

BOJAN KRAUT

# STROJARSKI PRIRUČNIK

DEVETO HRVATSKO ILI SRPSKO IZDANJE  
POTPUNO PRERAĐENO I DOPUNJENO



TEHNIČKA KNJIGA, ZAGREB

#### Dosadnja izdanja

slovenska izdanja	hrvatska ili srpska izdanja
1954	1956
1964	1963
1967	1965
1973	1970
1976	1975
1981	1976 (1980)**
1981 (A5)*	1982 (1984)**
1987	1986 (1987)**
1987 (A5)*	1988

\* Izdanje u A5 formatu. (Sva su druga izdanja bila u A6 formatu.)

\*\* Dotisak

#### IZ PREDGOVORA PRVOM IZDANJU

*Strojarski se stručnjak — bilo inženjer, tehničar ili majstor — u svome radu dnevno susreće s mnogobrojnim, ponajčešće brojčanim podacima.*

*U nas smo dosad upotrebljavali strane priručnike, no njihova je uporaba ograničena zbog visoke cijene i nedovoljnog znanja stranih jezika. Posebno valja spomenuti da ti priručnici ne pružaju materije na takav način kakav bi bio potreban za našu praksu i — što je najznačajnije — u njima nema domaćih standarda i drugih domaćih propisa.*

*Da bih barem djelomice popunio tu prazninu, odlučio sam se sastaviti ovaj priručnik.*

*Priručnik treba da je uvijek pristupačan svagdje i svakome, pa je stoga odabran džepni format. To je dakako ograničilo opseg. Zbog toga sam se pri izboru gradiva odlučio za ono što dnevno treba strojarskim inženjerima, tehničarima ili majstorima, pa i studentima strojarstva i dacima srednjih tehničkih učilišta. Izbor gradiva za tako različite stupnjeve znanja nije bio lak. Želio sam se što više približiti nekoj svima korisnoj sredini. Zato će jednome biti nečega previše, a drugome premalo, jednome će neko poglavlje biti preteško, a drugome prejednostavno.*

*Jezgra je ovoga priručnika brojčani materijal, jednako potreban za sve stupnjeve naobrazbe, za školu i praksu. Ostalo je gradivo sažeto na najnužnije. Posebnu sam pažnju posvetio razvoju nauke o mjerama i novostima na tom polju, koje zadiru u strojarstvo.*

*Jednadžbe su veličinske. Time je u nekim područjima omogućena i upotreba još ukorijenjenih sustava mjera — tehničkog i toplinskog (kalorijskog), a u svim područjima svijeta tehničkih grana upotreba novoga, apsolutnog sustava po Giorgiju. Teškoće, koje su kočile upotrebu Giorgijeva sustava mjera u toplinskoj tehnici, nastojao sam prebroditi sastavom odgovarajućih toplinskih tablica. U ovom su priručniku prvi put u stručnoj literaturi uopće objavljene više-manje potpune strojarske toplinske tablice, koje sadrže sve vrijednosti preračunate i u jedinice Giorgijeva sustava mjera. Time je i u toplinskoj tehnici bitno olakšano računanje s elegantnijim, veličinskim jednadžbama.*

*Ljubljana, u travnju 1954.*

B. K.

## PREDGOVOR DEVETOM HRVATSKOM ILI SRPSKOM IZDANJU

Prvo – slovensko (1954), i zatim drugo – hrvatsko ili srpsko (1956) – izdanje ovoga priručnika bilo je rasprodano u roku od po godinu dana, što je pokazalo kolika je bila potražnja za djelima te vrste naše strojarke literature. Ocjene djela, objavljene u stručnim časopisima ili saopćene osobno, također su potvrdile da su oba izdanja postigla svoj cilj.

Tom prilikom ponovno moramo zahvaliti radnim kolektivima – Titovih zavoda »Litostroj« u Ljubljani i Industrije lokomotiva, strojeva i mostova »Đuro Đaković« u Slavonskom Brodu, koji su kao nakladnici omogućili prvo i drugo izdanje priručnika.

Iskustvom stečenim u prvim izdanjima slijedila su nova, stalno dopunjavana izdanja. Djelo je s dosadašnjih devet slovenskih te devet hrvatskosrpskih izdanja doseglo ukupnu nakladu od 290 000 primjeraka. Na taj je način diljem Jugoslavije rašireni priručnik sve više dolazio u upotrebu ne samo na radnim mjestima, već i kao pomagalo pri učenju.

Kako se već razabire iz predgovora prvom izdanju, priručnik je od svoga početka trebao da posluži u dvije glavne svrhe:

- da pomaže strojarskim stručnjacima pri studiju i u praksi – đacima, studentima, tehničarima i inženjerima – mnogim brojčanim podacima iz struke, potrebnim pri svakodnevnom radu, i
- da jedinstveno prikaže sve zakonitosti za sve grane strojarstva veličinskim jednadžbama, tj. u prirodnim međusobnim odnosima veličina (što je bio u vrijeme prvog izdanja priručnika prerani i veoma smion zahvat). Stoga je bilo potrebno prijeći na upotrebu koherentnih jedinica.

U vezi s tim priručnik je već u prvom izdanju, g. 1954, upoznao čitaoce sa suvremenim mjernim jedinicama (tada još Giorgijeva sustava jedinica) te objavio i u tim jedinicama preračunane brojčane podatke. Tim jedinicama (sada međunarodnog sustava jedinica SI) posvetio je priručnik posebnu pažnju i u ovom izdanju, koje je potpuno usklađeno s jugoslavenskim zakonom o mjernim jedinicama i mjerilima.

Osim toga priručnik je u skladu s najnovijim stanjem standardizacije (JUS, ISO, DIN), a dopunjen je i proširen novim poglavljima.

U novom gradivu valja posebno spomenuti: pročišćeno i dopunjeno poglavlje o matematici; potpuno nanovo napisana poglavlja o osnovnim pojmovima s područja regulacije i elektronske obrade podataka; nadopunjeni podaci o plastičnim tvarinama, pregled područja preoblikovanja te korozije i površinske zaštite.

Da se s novim gradivom priručnik ne bi povećao preko priručnog opsega, u tom izdanju su izostale tablice o potencijama i korijenima brojeva (što više nije potrebno zbog široke upotrebe ručnih računala) kao i posebni dodatak o informatici i računarstvu (jer je u priručnik uključeno novo poglavlje s tog područja).

Naročitu zahvalnost dugujem nakladi »Springer Verlag« Berlin-Heidelberg-New York, i univ. prof. dr E. Schmidt, što su dopustili upotrebu podataka za tablice vodene pare iz djela »Properties of Water and Steam in SI-Units« (1969).

Zahvaljujem Jugoslovenskom zavodu za standardizaciju u Beogradu i ustanovi »Deutscher Normenausschuß« u Berlinu za pristanak i pomoć pri upotrebi brojčanih podataka iz standarda.

Za pomoć pri sastavljanju rukopisa dužan sam zahvaliti u prvom redu dr Jožetu Puharu za mnoge korisne prijedloge, napose pri lančanom i zupčanom prijenosu te tehnološkim postupcima i dr Pavli Mizori-Oblak za neposredno sudjelovanje pri dopunjavanju poglavlja o matematici; umir. prof. Miroslavu Pečorniku za konkretne prijedloge s područja hidromehanike i vlažnog zraka; mr. Dragu Kelšinu za pomoć pri proširenju poglavlja o elektrotehnici, dr Zoranu Karižu za sudjelovanje pri oblikovanju poglavlja o regulaciji, dr Jožetu Duhovniku za predloge o elektronskoj obradi podataka kao i svima drugima koji su mi pomogli korisnim savjetima i upozorenjima.

Toplo zahvaljujem također Anji Baras, za sudjelovanje pri dugotrajnom sastavljanju rukopisa i pažljivom popravljaju otisaka, i Joži Puhar za uzorno izrađene slike.

Zamisao takvog prikaza gradiva da je – zbog boljeg pregleda i veće upotrebljivosti – na jednoj ili dvije susjedne strane sabrano sve što je međusobno tijesno povezano, zahtijevala je mnogo dodatnog rada već pri samom oblikovanju rukopisa, a potom još stalnu i tijesnu suradnju autora sa slagarima.

Tiskara »Ljudske pravice« i njeni radnici strpljivo su ispunjavali mnoge sitne želje autora. Hvala svima!

U Ljubljani, kolovoza 1987

Bojan Kraut

## NAPOMENA PREVODIOCA

Po želji nakladnika i u ovom je izdanju upotrebljena stručna terminologija, uvriježena na Fakultetu za strojarstvo i brodogradnju Sveučilišta u Zagrebu, što je sabrana u Tehničkom rječniku Vlatka Dapca (izd. 1970).

Zbog veoma proširenog gradiva bila mi je potrebna pomoć u terminologiji. Tu su mi pružili: prof. dr ing. B. Ostojić, mr. Lovorka Tomašić i dipl. ing. A. Sok na čemu im se najtoplije zahvaljujem.

Jezično je dotjerivanje preuzeo izdavač.

Rijeka, kolovoza 1987

Miroslav Pečornik

## SADRŽAJ

### PRVI DIO

	Stranica
<b>MATEMATIKA</b>	1
Matematički znakovi	1
Važne vrijednosti ( $\pi$ , $e$ )	2
<b>RAČUNANJE S POTENCIJAMA I KORIJENIMA</b>	3
LOGARITMI – Računanje s logaritmima	4
Dekadski (Briggsovi) logaritmi – Prirodni logaritmi	5
<b>TRIGONOMETRIJSKE FUNKCIJE – Osnovni odnosi</b>	10
Trigonometrijske funkcije dvaju kutova	11
Sinus, kosinus – Tangens, kotangens	12
Izračunavanje stranica i kutova trokuta	16
<b>LIKOVII TIJELA</b>	18
Površina i opseg likova	18
Površine i volumeni tijela	20
<b>KOMBINATORIKA</b>	22
<b>NIZOVI I REDOVI</b>	22
Aritmetički niz – Geometrijski niz	22
Važnji redovi	23
<b>DETERMINANTE – MATRICE</b>	24
<b>APSOLOTNA I SREDNJA VRIJEDNOST</b>	26
<b>BINOMI</b>	26
<b>ALGEBARSKJE JEDNADŽBE</b>	27
Jednadžba $n$ -tog stupnja – Sistem linearnih jednadžbi	27
<b>TRANSCEDENTNE JEDNADŽBE</b>	29
<b>NEJEDNADŽBE</b>	29
<b>ANALITIČKA GEOMETRIJA</b>	30
Pravac – Potencijalne krivulje	30
Čunjosječne	31
Cikličke krivulje	32
<b>FUNKCIJE – Elementarne funkcije</b>	33
Eksponecijalna i logaritamska funkcija – Kutne funkcije	34
Ciklometričke i hiperbolne funkcije	35
<b>DERIVACIJA FUNKCIJE</b>	36
Diferencijal funkcije – Derivacije višeg reda	36
Geometrijsko značenje derivacije funkcije – Parcijalna derivacija	37
<b>INTEGRAL</b>	38
Neodređeni integral – Određeni integral	38
Numerička integracija	40
Višestruki integral	41
<b>DIFERENCIJALNE JEDNADŽBE</b>	42
<b>VEKTORI</b>	43
Zbrajanje i oduzimanje vektora – Množenje vektora	44
Krivulje u prostoru – Skalarna i vektorska polja	46
Derivacija i integracija vektorskih funkcija	47
<b>LAPLACEOVA TRANSFORMACIJA</b>	48
<b>STATISTIKA</b>	49
Statistička vjerojatnost – Statistički prosjek	49
Razdioba učestalosti	50
Regresija i korelacija – Greške mjerenja	52

<b>SUSTAVI MJERNIH JEDINICA</b>	53
Veličinske jednadžbe i koherentne jedinice – Brojčane jednadžbe	53
<b>MEĐUNARODNI SUSTAV JEDINICA SI</b>	54
Osnovne jedinice	55
Izvedene jedinice	56
Decimalne mjerne jedinice	58
<b>JEDINICE I MJERE VELIČINA</b>	59
Geometrijske veličine – Vremenske veličine	59
Masene veličine – Protočne veličine	63
Veličine za silu – Energetske veličine	64
Toplinske veličine – Molne veličine	66
Veličine zračenja	68
Električne veličine – Svjetlosne veličine	69
<b>STARE JEDINICE I MJERE</b>	71
<b>POSEBNE MJERE</b>	74
Standardni kubni metar	74
Bauméova areometarska skala – Beaufortova skala	74
<b>TVARI</b>	75
<b>SASTAV TVARI</b>	75
Kemijski elementi – Periodični sistem elemenata	76
Svojstva elemenata	80
<b>KEMIJSKI SPOJEVI</b>	81
Kemijske veze – Kemijske reakcije	82
Hidridi – Oksidi	83
Karbidi – Nitridi – Sulfidi – Fosfidi	85
Kiseline i baze – Vrijednosti pH	87
Soli	89
Organski spojevi – Polimeri	92
<b>PREGLED TVARI</b>	97
<b>MEHANIKA</b>	98
Masa i težina – Gustoća tehničkih materijala	98
Kutovi prirodnog pokosa	100
<b>STATIKA</b>	101
Sila – Statički moment sile	101
Ravnoteža sila – Nosači	104
Statika uzeta	106
<b>TEŽIŠTA</b>	106
Težišta linija, likova i tijela	106
<b>TRENJE</b>	109
<b>ČVRSTOĆA</b>	112
Naprezanje – Geometrijske karakteristike presjeka	112
Vlak i tlak – Savijanje – Smik – Torzija	114
Izvijanje	120
Složena opterećenja	122
<b>DINAMIKA</b>	124
Kinematika – Kinetika	124
Moment tromosti mase	128
Centrifugalna sila – Sudar	130
Titranje	131



<b>HIDROMEKANIKA</b>	133
Viskoznost	133
<b>HIDROSTATIKA</b>	133
Hidrostatski tlak	133
Atmosfersko stanje	135
<b>HIDRODINAMIKA</b>	136
Bernoullijeva jednadžba	136
Pritisak mlaza	137
Brzina istjecanja – Količina istjecanja	138
Protok	139
Zakoni sličnosti strujanja	140
Otpori strujanja u cijevima i armaturama	141
Otpori gibanja u fluidu	147
 <b>HIDRAULIČKI STROJEVI</b>	 148
<b>SISALJKE (PUMPE)</b>	148
Dobavna visina – Dopuštena usisna visina – Snaga	148
Stapne sisaljke – Turbopumpe – Ventilatori	150
<b>VODNE TURBINE</b>	154
Vodna snaga – Koristan pad	154
Snaga turbina – Brzohodnost turbina	155
 <b>TOPLINA</b>	 157
Specifični toplinski kapacitet	157
Entalpija	157
Temperaturna rastezljivost (dilatacija)	157
<b>OSNOVNI ZAKONI TERMODINAMIKE</b>	160
Prvi glavni zakon termodinamike	160
Drugi glavni zakon termodinamike	160
Promjena stanja tvari – Kružni procesi	161
<b>IDEALNI PLINOVI</b>	162
Toplinska svojstva plinova	163
Povratne promjene stanja plinova	165
Prigušivanje	166
Smjese idealnih plinova – Mješanje plinova	167
<b>PARE</b>	168
Zasićena para – Pregrijana para	168
Zrak (toplinska svojstva)	169
Mollierov $h, s$ – dijagram za vodenu paru	171
Zasićena vodena para (tablice)	172
Voda i pregrijana vodena para (tablice)	175
Zasićena para rashladnih tvari	188
Promjene stanja pare	192
<b>SMJESE PLINOVA I PARA</b>	193
Smjesa zraka i vodene pare (vlažni zrak)	193
Suhi i zasićeni vlažni zrak (tablica)	194
Vlažni zrak (tablica)	195
Mollierov $h, x$ – dijagram za vlažni zrak	198
Promjene stanja vlažnog zraka	199

<b>STRUJANJE PLINOVA I PARA</b>	201
Istjecanje iz sapnica – Prigušivanje	201
<b>IZGARANJE</b>	202
Potreba kisika i zraka – Količina dimnih plinova	202
Ogrijevne moći	203
Sastav dimnih plinova – Entalpija dimnih plinova	204
Teoretska temperatura izgaranja – Kontrola izgaranja	205
Goriva	206
<b>PRIJENOS TOPLINE</b>	210
Toplinska vodljivost – Prijelaz topline	210
Toplinska svojstva tvari	212
Toplinsko zračenje – Prolaz topline	218
Tehnički izmjenjivači topline	221
 <b>TOPLINSKI UREĐAJI I STROJEVI</b>	 222
Simboli	222
<b>PARNI KOTLOVI</b>	223
Ložišta – Izmjenjivači topline	223
Kapacitet (snaga) parnog kotla – Korisnost	225
Napojne pumpe	226
<b>RADNA SPOSOBNOST PARE</b>	227
Eksergija pare – Raspoloživi pad entalpije	227
<b>PARNI STROJEVI</b>	228
Snaga parnih strojeva	228
Stapni parni strojevi – Parne turbine	229
<b>KONDENZACIJA</b>	232
<b>PARNA POSTROJENJA</b>	233
Kondenzacijska parna postrojenja	233
Regenerativno grijanje napojne vode	236
Međupregrijavanje	237
Toplane	237
<b>MOTORI S UNUTRAŠNIM IZGARANJEM</b>	239
Sistemi Otto i Diesel	239
4-taktni i 2-taktni motori – Indikatorski dijagram	239
Ekonomičnost motora s unutarnjim izgaranjem	241
<b>KOMPRESORI</b>	243
Promjene stanja plina	243
Višestepena kompresija	244
Stapni kompresori – Turbokompresori	245
<b>PLINSKE TURBINE</b>	247
Mlazni motori	249
<b>TOPLINSKE PUMPE</b>	250
Kompresijske toplinske pumpe	250
Apsorpcijske toplinske pumpe	251
Rashladne smjese	252
<b>KLIMATIZACIJA I SUŠENJE</b>	253
Klimatizacija	253
Sušenje	254

<b>ELEKTROTEHNIKA</b>	255
Simboli	255
<b>ISTOSMJERNA STRUJA</b>	256
Ohmov zakon – Kirchhoffovi zakoni	256
<b>MAGNETSKO I ELEKTRIČNO POLJE</b>	262
Magnetsko polje – Gustoća magnetskog polja	262
Induktivitet – Električno polje	263
Kapacitet	265
Vodič električne struje u magnetskom polju	265
<b>IZMJENIČNA STRUJA</b>	266
Otpor za izmjeničnu struju	266
Jednofazni sistem – Trofazni sistem	267
Transformacija izmjenične struje	267
<b>ELEKTRIČNO GRIJANJE</b>	268
<b>ELEKTRIČNA RASVJETA</b>	270
<b>ELEKTROMOTORI</b>	271
Motori istosmjerne struje – Motori izmjenične struje	271
Snaga elektromotora – Izbor elektromotora	273
<b>ELEKTRIČNI VODOVI NISKOG NAPONA</b>	274
Pad napona	274
Zaštita vodova	275
Zaštitne mjere u niskonaponskim postrojenjima	275
<b>ELEKTRIČNA OPREMA MOTORNIM VOZILIMA</b>	277
<b>ELEKTRONIKA</b>	280
Električni ventili	280
Diode – Ispravljači	281
Tranzistori – Osnovni tranzistorski spojevi	284
<b>MJERENJE ELEKTRIČNIH VELIČINA</b>	286
<b>AKUSTIKA I OPTIKA</b>	288
Svjetlost	288
Zvuk	289
<b>UPRAVLJANJE – REGULACIJA – AUTOMATIZACIJA</b>	291
<b>REGULACIJSKI ČLANOVI</b>	291
Vremenski odzivi	292
Zamjećivanje veličina	295
Regulacijska petlja	296
Regulacijski uređaj	297
Regulatori	298
<b>ELEKTRONIČKA OBRADA PODATAKA</b>	301
Princip analogne tehnike	302
Princip digitalne tehnike	303
Kodiranje digitalnih podataka	304
Spremanje podataka	306
Armaturna oprema	307
Programska oprema	308
Programski jezici	311
Procesni računari – Pomoć računara	312

## DRUGI DIO

<b>ISPITIVANJE MATERIJALA</b>	313
Dijagram	313
<b>MEHANIČKO ISPITIVANJE METALA</b>	314
Vlačno ispitivanje	314
Pokus savijanja – Tlačno ispitivanje	317
Ispitivanje žica torzijom – Ispitivanje žica izmjeničnim pregibanjem	318
Ispitivanje sposobnosti za izvlačenje	318
Ispitivanje udarom po Charpyju	319
<b>ISPITIVANJE TRAJNE ČVRSTOĆE</b>	320
Ispitivanje trajne statičke i dinamičke čvrstoće	320
<b>ISPITIVANJE TVRDOĆE</b>	322
Ispitivanje tvrdoće po Brinellu	322
Ispitivanje tvrdoće po Vickersu	326
Ispitivanje tvrdoće po Rockwellu	330
Ispitivanje tvrdoće plastičnih tvari	334
<b>ISPITIVANJE BEZ OŠTEĆIVANJA MATERIJALA</b>	336
Magnetsko ispitivanje – Ispitivanje ultrazvukom	336
Ispitivanje rendgenskim zrakama – Ispitivanje $\gamma$ -zrakama	337
<b>ISPITIVANJE SASTAVA MATERIJALA</b>	338
Kemijska analiza – Ispitivanje iskrenjem	338
Metalografski pregledi	340
<b>KOVINSKI MATERIJALI</b>	341
Kristalna struktura kovina	341
Slitine	342
<b>ŽELJEZO I NJEGOVE SLITINE</b>	343
Čisto željezo – Tehničko željezo	343
Sistem željezo-ugljik	344
Utjecaj brzine ohlađivanja austenita na strukturu čelika	345
Utjecaj elemenata na strukturu čelika	346
<b>TOPLINSKA OBRADA ČELIKA</b>	348
Žarenje čelika – Kaljenje čelika	348
<b>LJEVANO ŽELJEZO</b>	354
Sivi lijev – Tvrdi lijev – Temperovani lijev	354
<b>VRSTE ČELIKA</b>	357
Razdioba čelika – Oznacivanje vrsta čelika po JUS	357
<b>KONSTRUKCIJSKI ČELICI</b>	360
Opći konstrukcijski čelici	362
Sitnozrnati konstrukcijski čelici	364
Čelici za cementiranje, poboljšanje, nitiranje	364
Magnetski lim – Čelici za automate – Čelici za opruge	369
Hladno valjani čelični lim – Valjana čelična žica	372
Čelik za valjane cijevi – Čelik za kotlovni lim	374
Čelici otporni na kemijske utjecaje	376
Čelici za ventile – Vatrostalni čelici	377
Čelici postojani pri višim temperaturama – Čelici otporni prema habanju	378
<b>ALATNI ČELICI</b>	379
Ugljični alatni čelici	379
Legirani alatni čelici za vruću i hladnu obradu	380
Brzorezni čelici	383

<b>ČELIČNI LIJEV</b>	384
Ugljični čelični lijev	384
Legirani čelični lijev za poboljšanje	384
Kemijski otporan čelični lijev	385
Čelični lijev otporan prema habanju	385
<b>OZNAKE ČELIKA</b>	386
Oznake čelika prema standardima JUS i DIN	386
Oznake domaćih i stranih alatnih čelika	389
<b>TVRDI METALI</b>	390
Lijevani tvrdi metali – Sinterovani tvrdi metali	390
<b>LAKE KOVINE</b>	392
Aluminij – Aluminijske slitine – Magnezijske slitine	392
<b>BAKAR I BAKRENE SLITINE</b>	400
Bakar – Bakrene slitine za gnječenje i lijevanje	400
<b>NIKAL I NIKLENE SLITINE</b>	408
Čisti nikal – Niklene slitine za lijevanje i gnječenje	408
<b>CINK I CINCANE SLITINE</b>	411
Čisti cink – Cincane slitine za lijevanje	411
<b>OLOVO I OLOVNE TE KOSITRENE SLITINE</b>	412
Čisto olovo – Slitine olova s kositrom i antimonom	412
Kositrene i olovne slitine za ležaje	413
<b>LEMOVI</b>	414
Tvrđi lemovi – Meki lemovi – Srebrni lemovi	414
Aluminijski lemovi	415
<b>POSEBNE SLITINE ZA ELEKTROTEHNIKU</b>	416
<b>TITAN I TITANOVE SLITINE</b>	417
<b>OBLICI KOVINSKIH POLUPROIZVODA</b>	418
<b>ODLJEVCI OD SIVOG LIJEVA</b>	418
Cijevi s kolčakom – Cijevi s prirubnicom – Fazonski cijevni komadi	418
<b>ČELIČNI POLUPROIZVODI</b>	422
Čelik u šipkama – Plosnati čelik	422
Čelični kutni profili – Čelični profili – Željezničke tračnice	426
Čelični limovi – Čelične bešavne cijevi	433
Čelična žica – Čelična užad – Čelični lanci	442
<b>ALUMINIJSKI POLUPROIZVODI</b>	451
Aluminijske šipke i žice	451
Aluminijski profili	456
Toplo valjani lim i cijevi	458
<b>POLUPROIZVODI OD BAKRA I BAKRENIH SLITINA</b>	462
Bakrene šipke, lim, žica i užad	462
Cijevi od bakra i bakrenih slitina	464
<b>POLUPROIZVODI OD MJEDI, CINKA I OLOVA</b>	468
<b>NEKOVINSKI MATERIJALI</b>	496
<b>ANORGANSKI NEKOVINSKI MATERIJALI</b>	469
Staklo – Beton – Keramički materijali	469
<b>DRVO</b>	472
<b>PLASTI</b>	473
Mehanička stanja plasta	475
Termoplasti – Elasti – Duroplast	476
Posebni proizvodi od plasta	482

<b>ELEMENTI STROJEVA</b>	483
Standardni brojevi – Standardne duljinske mjere	483
<b>DOSJEDANJE STROJNIH DIJELOVA</b>	486
Tolerancije mjera – Tolerancije mjerila	486
Dosjedi (naliježanja)	494
<b>POVRŠINSKA HRAPAVOST</b>	500
<b>NAVOJI</b>	504
Metarski navoji s trokutnim profilom ISO	504
Tolerancije metarskih navoja (ISO) – Navojni dosjedi	510
Cijevni navoji	519
Trapezni navoji – Pilasti navoji	520
Obli navoji – Navoji za bicikle – Edisonovi navoji	528
Navoji za oklopne cijevi – Navoji samoreznih vijaka	531
<b>DOPUŠTENA NAPREZANJA</b>	532
Dopuštena naprezanja najvažnijih kovinskih materijala	533
Dopuštena naprezanja za čelične konstrukcije	536
Utjecaj oblika predmeta	537
Utjecaj trajanja opterećenja	537
Utjecaj promjenljivog opterećenja	539
<b>NERASTAVLJIVI SPOJEVI</b>	543
Zakovični spojevi – Zavari	543
Lemljeni spojevi – Lijepljeni spojevi	546
Stezni spojevi	547
<b>RASTAVLJIVI SPOJEVI</b>	548
Spojevi klinovima – Utorni spojevi	548
Spojevi svornjacima i zaticima – Vijčani spojevi	549
<b>STROJNI DIJELOVI ZA PRIJENOS KRUŽNIH GIBANJA</b>	553
Osovine	553
Remenski prijenos – Lančani prijenos	553
Zupčani prijenos	560
Proračun čvrstoće čelnika	568
Parovi stožnika	572
Parovi hiperboloidnih zupčanika	573
Cilindrični pužni prijenos	574
<b>LEŽAJI</b>	576
Klizni ležaji	576
Valjni ležaji	577
Kuglični ležaji – Valjkasti ležaji	577
Bačvasti ležaji – Stožasti ležaji	586
Aksijalni kuglični ležaji – Aksijalni bačvasti ležaji	591
Nosivost valjnih ležaja	597
<b>MAZIVA</b>	601
Ležajna, vretenasta, osovinska i cirkulacijska ulja	603
Ulja za visoki tlak, zupčanike i zupčane prigone	604
Hidrauličko, kompresorsko, turbinsko i cilindarsko ulje	605
Motorno ulje	606
Vazelinsko, izolacijsko ulje i ulje za obradu	607
Masti za mazanje	608
Izbor maziva	609

<b>TEHNOLOGIJA</b>	613
<b>LJEVANJE</b>	613
Modeli	613
Kalupi	614
<b>PLASTIČNA OBRADA</b>	618
Kovanje – Valjanje	618
Utiskivanje – Vučenje – Savijanje – Odrezivanje	619
Oblikovanje plastu	620
<b>ZAVARIVANJE</b>	621
Zavarivanje pritiskom	621
Zavarivanje taljenjem	622
Aluminotermijsko zavarivanje – Otporno zavarivanje	623
Zavarivanje plamenom	624
Rezanje kovina plamenom	625
Elektrolučno zavarivanje	626
Zavarivanje plastu	631
<b>LEMLJENJE</b>	631
<b>LEMLJENJE KOVINA</b>	631
<b>OBRADA KOVINA ODVAJANJEM ČESTICA</b>	632
Osnovi – Geometrijski oblik oštrice	632
Tokarenje	634
Blanjanje i dubljenje	637
Piljenje kovina – Glodanje	640
Brušenje	644
Posebne obrade	647
Postojanost alata	648
Optimalna brzina rezanja	649
Središnja gnijezda	650
Četverobridni alat	651
Konični dršci za alat	652
<b>MJERENJE KUTOVA I KONUSA</b>	654
<b>KOROZIJA I POVRŠINSKA ZAŠTITA</b>	656
Korozija	656
Površinska zaštita	657
<b>RAZNO</b>	658
<b>TEHNIČKO PISMO</b>	658
Uspravni i nagnuti tisak	658
Normalni formati papira – Mjerila	659
Grčka slova – Rimski brojevi	659
<b>TOVARNE MJERE ŽELJEZNIČKIH VOZILA</b>	660
<b>JUGOSLAVENSKI STANDARDI – JUS</b>	661
<b>IZGOVARANJE STRANIH IMENA</b>	664
<b>IZVORI BROJČANIH PODATAKA</b>	665
<b>KAZALO</b>	667

## UPUTE za upotrebu priručnika

### 1. Pisanje razlomaka s kosom razlomkovom crtom

Zbog skućenog prostora i radi pojednostavnjenja tiskarskog sloga, razlomci su pisani kosom razlomkovom crtom. Pri tome se smatra da se značenje razlomkove crte proteže do prvog znaka plus, minus ili puta:

$$ab/cd = ab/(cd) = (ab)/(cd) = \frac{ab}{cd} \quad ab/c \cdot d = (ab/c) \cdot d = \frac{ab}{c} d$$

$$(a + b)/(c + d) = \frac{a + b}{c + d} \quad a + b/c + d = a + \frac{b}{c} + d$$

### 2. Označivanje vektora

Vektori su u ovom priručniku označeni:

- u tekstu — debljim tiskom simbola (**a**)
- u slikama — oznakom povrh simbola (***a***)

jer bi u tekstu označivanje povrh simbola povećalo grafičke teškoće, dok bi u slikama bilo teško izvedivo razlikovanje između običnog i deblje tiskanog simbola.

### 3. Označivanje lučne mjere

Da u preračunavanju prema jednadžbama ne bi došlo do zamjene između mjere za kut (°) i lučne mjere (rad), simboli su označeni:

- za kut (geometrijski)  $\alpha$
- za lučnu mjeru (analitički kut)  $\hat{\alpha}$

Osim toga je u svim jednadžbama, gdje se pojavljuje lučna mjera, dodano još upozorenje:  $\hat{\alpha}$  (rad).

### 4. Računanje s veličinskim jednadžbama

U ovom su priručniku u načelu upotrijebljene samo veličinske jednadžbe (vidi str. 53). Pri računanju s veličinskim jednadžbama moraju biti količine svih veličina izražene u **k o h e r e n t n i m** jedinicama.

Sve SI jedinice su međusobno koherentne. Stoga je pri računanju s veličinskim jednadžbama rezultat uvijek pravilan ako se sve mjeri u jedinicama SI.

Za pregledne, jednostavne veličinske jednadžbe mogu se upotrijebiti i druge koherentne jedinice, ako su prikladnije.

Pri kompliciranim veličinskim jednadžbama izbjegavaju se moguće pogreške isključivom upotrebom jedinica SI. Količinske vrijednosti veličina, zadanih u bilo kojim drugim mjerama, valja stoga ponajprije pretvoriti u jedinice SI.

Pri proračunavanju veličine brojčanim jednadžbama (vidi str. 53) moraju biti zadani za svaku veličinu i podaci o njenoj mjeri.

**Primjeri\***

a) Brzina  $v = s/t$   
 Za:  $s = 24 \text{ km}$   $t = 20 \text{ min} = 0,333 \text{ h}$   
 $t = 20 \text{ min} = 0,333 \text{ h}$   
 je  $v = \frac{24 \text{ km}}{0,333 \text{ h}} = 20 \text{ m/s}$   
 ili  $v = \frac{24 \text{ km}}{0,333 \text{ h}} = 72 \text{ km/h} (= 20 \text{ m/s})$

b) Čvrstoća  $R_m = F_m/S_0$   
 Za:  $F_m = 7,5 \text{ kN}$   $S_0 = 20 \text{ mm}^2$   
 $S_0 = 20 \text{ mm}^2$   
 je  $R_m = \frac{7500}{20 \cdot 10^{-6}} = 375 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 (= 375 \text{ MPa})$   
 ili  $R_m = \frac{7500 \text{ N}}{20 \text{ mm}^2} = 375 \text{ N/mm}^2 (= 375 \text{ MPa})$

c) Brzina istjecanja  $v_0 = \sqrt{2(g h + \Delta p/\rho)}$   
 Za:  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$   $h = 510 \text{ cm}$   $\Delta p = 2,5 \text{ bar}$   $\rho = 1 \text{ kg/dm}^3$   
 $h = 510 \text{ cm}$   $\Delta p = 2,5 \text{ bar}$   $\rho = 1 \text{ kg/dm}^3$   
 je  $v_0 = \sqrt{2(9,81 \cdot 5,1 + 2,5 \cdot 10^5/10^3)} = 24,5 \text{ m/s}$

δ) Toplinski tok  $\Phi = k(T_1 - T_2)A$   
 Za:  $k = 100 \text{ W/m}^2 \text{ K}$   $t_1 = 70^\circ \text{C}$   $t_2 = 20^\circ \text{C}$   $A = 200 \text{ dm}^2$   
 $t_1 = 70^\circ \text{C}$   $t_2 = 20^\circ \text{C}$   $A = 200 \text{ dm}^2$   
 je  $\Phi = 100 \cdot 50 \cdot 2 = 10000 \text{ W} (= 10 \text{ kW})$

é) Prandtllov broj  $Pr = \rho c v / \lambda$   
 Za:  $\rho = 0,871 \text{ kg/dm}^3$   $c = 1,850 \text{ kJ/kg K}$   $v = 15,0 \text{ mm}^2/\text{s}$   $\lambda = 0,144 \text{ W/m K}$   
 $c = 1,850 \text{ kJ/kg K}$   $v = 15,0 \text{ mm}^2/\text{s}$   $\lambda = 0,144 \text{ W/m K}$   
 je  $Pr = \frac{871 \cdot 1850 \cdot 15,0 \cdot 10^{-6}}{0,144} = 167,8 (-)$

\* Podaci desno od vertikalne crte su dani u jedinicama SI. – Pri proračunavanju veličinskih jednadžbi jedinicama SI nije potrebna dimenzijska kontrola.

XVI

## PRVI DIO

### MATEMATIKA

#### Matematički znakovi

=	jednako	a	apsolutna vrijednost
≡	istovjetno, identično	$a^m$	a na (potenciju) m
≠	nije jednako	$\sqrt{\quad}$	kvadratni korijen
≈	približno jednako	$\sqrt[n]{\quad}$	n-ti korijen
~	slično	log <sub>b</sub>	logaritam za bazu b
≡	sukladno, kongruentno	lg	dekadski logaritam
⊥	okomito	ln	prirodni logaritam
	usporedno, paralelno	arc	arkus
#	paralelno i jednako	sin	sinus
<	manje od	cos	kosinus
>	veće od	tan	tangens
≤	manje ili jednako	cot	kotangens
≥	veće ili jednako	!	faktorijela
∞	beskonačno	$\left(\begin{smallmatrix} a \\ b \end{smallmatrix}\right)$	a povrh b
const	konstantno	i	imaginarna jedinica
∠	kut	(i <sup>2</sup> = -1)	
∩	luk	lim	limes
+	plus – zbrajanje	→	teži k
-	minus – oduzimanje	f()	funkcija
·	puta – množenje	Δ	razlika
×	puta – množenje	d	diferencijal
:	dijeljenje	$y' = \frac{dy}{dx}$	prva
-	razlomkova crta	$y'' = \frac{d^2y}{dx^2}$	druga
/	kosa razlomkova crta	$\frac{\partial}{\partial x}$	parcijalna derivacija
()	okrugla	$\sum$	suma, zbroj
[]	uglata	∫	integral
{ }	vitičasta	$\vec{a}, \vec{a}$	oznake vektora*
...	od – do		
... (	od – do isključivo		
%	postotak, procent		
‰	promil		
ppm	dijelovi na milijun		
(partes pro millione)			

\* U ovom su priručniku vektori označeni:  $\vec{a}$  – u slikama,  $\vec{a}$  – u tekstu (iz tiskarskih razloga).

Posebni matematički znakovi

$\in$ je element skupa	$(a \in A: a \text{ je element skupa } A)$
$\notin$ nije element skupa	$(b \notin A: b \text{ nije element skupa } A)$
$\subset$ sadržan u skupu	$(A \subset B: \text{skup } A \text{ sadržan je u skupu } B)$
$\cup$ unija skupova	$(A \cup B: \text{unija skupova } A \text{ i } B \text{ sadrži sve elemente, koji su u skupovima } A \text{ ili } B)$
$\cap$ presjek skupova	$(A \cap B: \text{presjek skupova } A \text{ i } B \text{ sadrži sve one elemente, koji su ujedno u skupovima } A \text{ i } B)$
*	
$\nabla$ nabla (Hamiltonov operator deriviranja)	$\Delta$ Laplaceov operator
*	
<b>N</b> prirodni brojevi	<b>N</b> = {1, 2, 3, ...}
<b>Z</b> cijeli brojevi	<b>Z</b> = {0, 1, -1, 2, -2, ...}
<b>R</b> realni brojevi (racionalna i iracionalni brojevi)	
<b>Q</b> racionalni brojevi (razlomci)	<b>Q</b> = {m/n; m, n $\in$ <b>Z</b> ; n $\neq$ 0}
Iracionalni su svi realni brojevi koji nisu racionalni (mogu se prikazati kao neperiodiski beskonačni decimalni razlomci), npr. $\sqrt{2}$ , $\pi$ , e	
<b>C</b> kompleksni brojevi	<b>C</b> = a + bi
i – imaginarna jedinica ( $i^2 = -1$ )	$\left. \begin{array}{l} a - \text{realna komponenta} \\ b - \text{imaginarna komponenta} \end{array} \right\} a, b \in \mathbf{R}$

Važne vrijednosti

Ludolfov broj: $\pi = 3,141592$ (6535 ...) ( $\approx 22/7$ , $\approx 355/113$ )			
$2\pi = 6,283185 \dots$	$\pi^2 = 9,869604 \dots$	$2/\pi = 0,636620 \dots$	
$3\pi = 9,424778 \dots$	$\sqrt{\pi} = 1,772454 \dots$	$3/\pi = 0,954930 \dots$	
$4\pi = 12,566371 \dots$	$\sqrt{2\pi} = 2,506628 \dots$	$4/\pi = 1,273240 \dots$	
$\pi/2 = 1,570796 \dots$	$1/\pi = 0,318310 \dots$	$6/\pi = 1,909859 \dots$	
$\pi/3 = 1,047197 \dots$	$1/2\pi = 0,159155 \dots$	$1/\pi^2 = 0,101321 \dots$	
$\pi/4 = 0,785398 \dots$	$1/3\pi = 0,106103 \dots$	$\sqrt{1/\pi} = 0,564190 \dots$	
$\pi/6 = 0,523599 \dots$	$1/4\pi = 0,079577 \dots$	$\sqrt{1/2\pi} = 0,398942 \dots$	
$\ln \pi = 1,144730 \dots$	$\lg \pi = 0,497149 \dots$		
*			
Eulerov broj: e = 2,718282 ... (Osnova prirodnih logaritama)			
$e^2 = 7,389056 \dots$	$\sqrt[3]{e} = 1,395612 \dots$	$1/e^2 = 0,135335 \dots$	
$\sqrt{e} = 1,648721 \dots$	$1/e = 0,367879 \dots$	$\sqrt{1/e} = 0,606531 \dots$	
	$\lg e = 0,434294 \dots$		

RAČUNANJE S POTENCIJAMA I KORIJENIMA

Potencije

$a^n = a \cdot a \cdot a \dots$  (n-puta)  
a – osnova, baza  
n – eksponent

$$a^0 = 1 \quad a \neq 0$$

$$a^1 = a$$

Korijeni

$\sqrt[n]{a} = a^{1/n}$   
a – radikand  
n – korijenski eksponent

$$\sqrt[n]{a} = a$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} a^n = \begin{cases} 0 & \text{za } 0 < a < 1 \\ \infty & \text{za } a > 1 \end{cases}$$

Taki eksponenti ( $a > 0$ )

$$(\pm a)^{2n} = +a^{2n}$$

$$\sqrt[2n]{+a} = \sqrt[2n]{a}$$

$$\sqrt[2n]{-a} = i \sqrt[2n]{a}$$

Lihi eksponenti ( $a > 0$ )

$$(\pm a)^{2n+1} = \pm a^{2n+1}$$

$$\sqrt[2n+1]{\pm a} = \pm \sqrt[2n+1]{a}$$

\*

$$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$$

$$a^{-1/n} = \frac{1}{\sqrt[n]{a}}$$

$$a^{mn} = (a^m)^n = (a^n)^m$$

$$a^m a^n = a^{m+n}$$

$$\frac{a^m}{a^n} = a^{m-n}$$

$$a^n b^n = (ab)^n$$

$$\frac{a^n}{b^n} = \left(\frac{a}{b}\right)^n$$

$$a^{m/n} = \sqrt[n]{a^m} = (\sqrt[n]{a})^m$$

$$\sqrt[n]{\sqrt[m]{a}} = (a^{1/n})^{1/m} = a^{1/mn} = \sqrt[mn]{a}$$

$$\sqrt[n]{a} \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{ab}$$

$$\frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} = \sqrt[n]{\frac{a}{b}}$$

\*

$$0^n = 0$$

$$\sqrt[n]{0} = 0$$

$$\lim_{n \rightarrow 0} \frac{1}{n} = \infty$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} = 0$$

Neodređeni izrazi:  $1^\infty$ ,  $0^0$ ,  $\infty^0$ ,  $0/0$ ,  $\infty/\infty$ ,  $0 \cdot \infty$ ,  $\infty - \infty$

## LOGARITMI

Logaritmiranje je računska operacija, pri kojoj tražimo eksponent  $b$  iz poznate potencije  $c$  i baze  $a$

$$a^b = c$$

Broj  $b$  je logaritam broja  $c$  za bazu  $a$

$$b = \log_a c$$

(gdje su  $a$  i  $c$  pozitivni brojevi).

Za bilo koju bazu  $a > 0$ ,  $a \neq 1$  vrijedi:

$$\begin{aligned} \log_a a &= 1 \\ \log_a 1 &= 0 \\ \lim_{x \rightarrow 0} \log_a x &= \begin{cases} -\infty & \text{za } a > 1 \\ +\infty & \text{za } 0 < a < 1 \end{cases} \\ \lim_{x \rightarrow \infty} \log_a x &= \begin{cases} +\infty & \text{za } a > 1 \\ -\infty & \text{za } 0 < a < 1 \end{cases} \end{aligned}$$

### Računanje s logaritmima

$$\begin{aligned} \log_a (uv) &= \log_a u + \log_a v \\ \log_a \frac{u}{v} &= \log_a u - \log_a v \\ \log_a u^v &= v \log_a u \\ \log_a \sqrt[v]{u} &= \frac{1}{v} \log_a u \end{aligned}$$

Primjer

$$\begin{aligned} \log \frac{2a^3 \sqrt{b}}{3c^2 d} &= \log(2a^3 \sqrt{b}) - \log(3c^2 d) = \\ &= \log 2 + 3 \log a + \frac{1}{2} \log b - \log 3 - 2 \log c - \log d \end{aligned}$$

\*

Pretvaranje logaritama

$$\log_a u = M \log_b u \quad (M \text{ je modul pretvorbe})$$

U upotrebi su dekadski (Briggsovi) logaritmi s bazom  $a = 10$  i prirodni logaritmi s bazom  $a = e$  ( $e = 2,718282 \dots$ )

## Dekadski (Briggsovi) logaritmi

imaju bazu  $a = 10$

Označujemo ih

$$\log_{10} u = \lg u$$

npr.

$$\lg 10 = 1 \quad \lg 10^n = n$$

Svaki se dekadski logaritam sastoji od:

- karakteristike (cijelog broja u logaritmu), tj. potencije broja 10, koja odgovara mjesnoj vrijednosti prve brojke u danom broju  $u$ ;
- mantise (decimale u logaritmu), koju za redoslijed brojaka u danom broju  $u$  potražimo u tablicama na str. 6 i 7.

Primer:

$u$	Karakteristika	Mantisa	$\lg u$
642	$\lg 10^2 = 2$	.8075	2,8075
64,2	$\lg 10^1 = 1$	(iz tablica	1,8075
6,42	$\lg 10^0 = 0$	za redoslije	0,8075
0,642	$\lg 10^{-1} = -1$	brojaka 642)	0,8075 - 1
0,0642	$\lg 10^{-2} = -2$		0,8075 - 2

## Prirodni logaritmi

imaju bazu  $a = e = 2,718282 \dots$

Označujemo ih

$$\log_e u = \ln u$$

npr.

$$\ln e = 1 \quad \ln e^n = n$$

\*

Odnos dekadskih i prirodnih logaritama

$$\lg u = 0,4343 \ln u \quad \ln u = 2,3026 \lg u$$

Izračunavanje prirodnih logaritama iz dekadskih

$$\ln 6,42 = 2,3026 \cdot \lg 6,42 = 2,3026 \cdot 0,8075 = 1,8593$$

\*

Prirodni logaritmi brojeva od 100 do 999 sabrani su u tablicama na str. 8 i 9. Za sve se druge brojeve izračunavaju pomoću

$$\ln 10 = 2,3026 \text{ i } \ln 10^n = 2,3026 n$$

npr.

$$\ln 642 = 6,4646 \text{ (iz tablica)}$$

$$\ln 6,42 = \ln (642/100) = \ln 642 - \ln 10^2 = 6,4646 - 2 \cdot 2,3026 = 1,8594$$

Mantise dekadskih logaritama 100...549

<i>u</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10.	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374
11.	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755
12.	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106
13.	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430
14.	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732
15.	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014
16.	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279
17.	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529
18.	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765
19.	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989
20.	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201
21.	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404
22.	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598
23.	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784
24.	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962
25.	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133
26.	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298
27.	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456
28.	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609
29.	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757
30.	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900
31.	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038
32.	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172
33.	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302
34.	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428
35.	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551
36.	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670
37.	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786
38.	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899
39.	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010
40.	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117
41.	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222
42.	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325
43.	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425
44.	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522
45.	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618
46.	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712
47.	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803
48.	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893
49.	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981
50.	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067
51.	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152
52.	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235
53.	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316
54.	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396

Mantise dekadskih logaritama 550...999

<i>u</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
55.	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474
56.	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551
57.	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627
58.	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701
59.	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774
60.	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846
61.	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917
62.	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987
63.	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055
64.	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122
65.	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189
66.	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254
67.	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8300	8306	8312	8319
68.	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382
69.	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445
70.	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506
71.	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567
72.	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627
73.	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686
74.	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745
75.	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802
76.	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859
77.	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915
78.	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971
79.	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025
80.	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079
81.	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133
82.	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186
83.	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238
84.	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289
85.	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340
86.	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390
87.	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440
88.	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489
89.	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538
90.	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586
91.	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633
92.	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680
93.	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727
94.	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773
95.	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818
96.	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863
97.	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908
98.	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952
99.	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996



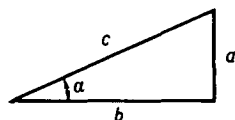
Prirodni logaritmi brojeva od 100 do 549

<i>u</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10.	4,6052	4,6151	4,6250	4,6347	4,6444	4,6540	4,6634	4,6728	4,6821	4,6913
11.	4,7005	4,7095	4,7185	4,7274	4,7362	4,7449	4,7536	4,7622	4,7707	4,7791
12.	4,7875	4,7958	4,8040	4,8122	4,8203	4,8283	4,8363	4,8442	4,8520	4,8598
13.	4,8675	4,8752	4,8828	4,8903	4,8978	4,9053	4,9127	4,9200	4,9273	4,9345
14.	4,9416	4,9488	4,9558	4,9628	4,9698	4,9767	4,9836	4,9904	4,9972	5,0039
15.	5,0106	5,0173	5,0239	5,0304	5,0370	5,0434	5,0499	5,0562	5,0626	5,0689
16.	5,0752	5,0814	5,0876	5,0938	5,0999	5,1059	5,1120	5,1180	5,1240	5,1299
17.	5,1358	5,1417	5,1475	5,1533	5,1591	5,1648	5,1705	5,1761	5,1818	5,1874
18.	5,1930	5,1985	5,2040	5,2095	5,2149	5,2204	5,2257	5,2311	5,2364	5,2417
19.	5,2470	5,2523	5,2575	5,2627	5,2679	5,2730	5,2781	5,2832	5,2883	5,2933
20.	5,2983	5,3033	5,3083	5,3132	5,3181	5,3230	5,3279	5,3327	5,3375	5,3423
21.	5,3471	5,3519	5,3566	5,3613	5,3660	5,3706	5,3753	5,3799	5,3845	5,3891
22.	5,3936	5,3982	5,4027	5,4072	5,4116	5,4161	5,4205	5,4249	5,4293	5,4337
23.	5,4381	5,4424	5,4467	5,4510	5,4553	5,4596	5,4638	5,4681	5,4723	5,4765
24.	5,4806	5,4848	5,4889	5,4931	5,4972	5,5013	5,5053	5,5094	5,5134	5,5175
25.	5,5215	5,5255	5,5294	5,5334	5,5373	5,5413	5,5452	5,5491	5,5530	5,5568
26.	5,5607	5,5645	5,5683	5,5722	5,5759	5,5797	5,5835	5,5872	5,5910	5,5947
27.	5,5984	5,6021	5,6058	5,6095	5,6131	5,6168	5,6204	5,6240	5,6276	5,6312
28.	5,6348	5,6384	5,6419	5,6454	5,6490	5,6525	5,6560	5,6595	5,6630	5,6664
29.	5,6699	5,6733	5,6768	5,6802	5,6836	5,6870	5,6904	5,6937	5,6971	5,7004
30.	5,7038	5,7071	5,7104	5,7137	5,7170	5,7203	5,7236	5,7268	5,7301	5,7333
31.	5,7366	5,7398	5,7430	5,7462	5,7494	5,7526	5,7557	5,7589	5,7621	5,7652
32.	5,7683	5,7714	5,7746	5,7777	5,7807	5,7838	5,7869	5,7900	5,7930	5,7961
33.	5,7991	5,8021	5,8051	5,8081	5,8111	5,8141	5,8171	5,8201	5,8230	5,8260
34.	5,8289	5,8319	5,8348	5,8377	5,8406	5,8435	5,8464	5,8493	5,8522	5,8551
35.	5,8579	5,8608	5,8636	5,8665	5,8693	5,8721	5,8749	5,8777	5,8805	5,8833
36.	5,8861	5,8889	5,8916	5,8944	5,8972	5,8999	5,9026	5,9054	5,9081	5,9108
37.	5,9135	5,9162	5,9189	5,9216	5,9243	5,9269	5,9296	5,9322	5,9349	5,9375
38.	5,9402	5,9428	5,9454	5,9480	5,9506	5,9532	5,9558	5,9584	5,9610	5,9636
39.	5,9661	5,9687	5,9713	5,9738	5,9764	5,9789	5,9814	5,9839	5,9865	5,9890
40.	5,9915	5,9940	5,9965	5,9989	6,0014	6,0039	6,0064	6,0088	6,0113	6,0137
41.	6,0162	6,0186	6,0210	6,0234	6,0259	6,0283	6,0307	6,0331	6,0355	6,0379
42.	6,0403	6,0426	6,0450	6,0474	6,0497	6,0521	6,0544	6,0568	6,0591	6,0615
43.	6,0638	6,0661	6,0684	6,0707	6,0730	6,0753	6,0776	6,0799	6,0822	6,0845
44.	6,0868	6,0890	6,0913	6,0936	6,0958	6,0981	6,1003	6,1026	6,1048	6,1070
45.	6,1092	6,1115	6,1137	6,1159	6,1181	6,1203	6,1225	6,1247	6,1269	6,1291
46.	6,1312	6,1334	6,1356	6,1377	6,1399	6,1420	6,1442	6,1463	6,1485	6,1506
47.	6,1527	6,1549	6,1570	6,1591	6,1612	6,1633	6,1654	6,1675	6,1696	6,1717
48.	6,1738	6,1759	6,1779	6,1800	6,1821	6,1841	6,1862	6,1883	6,1903	6,1924
49.	6,1944	6,1964	6,1985	6,2005	6,2025	6,2046	6,2066	6,2086	6,2106	6,2126
50.	6,2146	6,2166	6,2186	6,2206	6,2226	6,2246	6,2265	6,2285	6,2305	6,2324
51.	6,2344	6,2364	6,2383	6,2403	6,2422	6,2442	6,2461	6,2480	6,2500	6,2519
52.	6,2538	6,2558	6,2577	6,2596	6,2615	6,2634	6,2653	6,2672	6,2691	6,2710
53.	6,2729	6,2748	6,2766	6,2785	6,2804	6,2823	6,2841	6,2860	6,2879	6,2897
54.	6,2916	6,2934	6,2953	6,2971	6,2989	6,3008	6,3026	6,3044	6,3063	6,3081

Prirodni logaritmi brojeva od 550 do 999

<i>u</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
55.	6,3099	6,3117	6,3135	6,3154	6,3172	6,3190	6,3208	6,3226	6,3244	6,3261
56.	6,3279	6,3297	6,3315	6,3333	6,3351	6,3368	6,3386	6,3404	6,3421	6,3439
57.	6,3456	6,3474	6,3491	6,3509	6,3526	6,3544	6,3561	6,3578	6,3596	6,3613
58.	6,3630	6,3648	6,3665	6,3682	6,3699	6,3716	6,3733	6,3750	6,3767	6,3784
59.	6,3801	6,3818	6,3835	6,3852	6,3869	6,3886	6,3902	6,3919	6,3936	6,3953
60.	6,3969	6,3986	6,4003	6,4019	6,4036	6,4052	6,4069	6,4085	6,4102	6,4118
61.	6,4135	6,4151	6,4167	6,4184	6,4200	6,4216	6,4232	6,4249	6,4265	6,4281
62.	6,4297	6,4313	6,4329	6,4345	6,4362	6,4378	6,4394	6,4409	6,4425	6,4441
63.	6,4457	6,4473	6,4489	6,4505	6,4520	6,4536	6,4552	6,4568	6,4583	6,4599
64.	6,4615	6,4630	6,4646	6,4661	6,4677	6,4693	6,4708	6,4723	6,4739	6,4754
65.	6,4770	6,4785	6,4800	6,4816	6,4831	6,4846	6,4862	6,4877	6,4892	6,4907
66.	6,4922	6,4938	6,4953	6,4968	6,4983	6,4998	6,5013	6,5028	6,5043	6,5058
67.	6,5073	6,5088	6,5103	6,5117	6,5132	6,5147	6,5162	6,5177	6,5191	6,5206
68.	6,5221	6,5236	6,5250	6,5265	6,5280	6,5294	6,5309	6,5323	6,5338	6,5352
69.	6,5367	6,5381	6,5396	6,5410	6,5425	6,5439	6,5453	6,5468	6,5482	6,5497
70.	6,5511	6,5525	6,5539	6,5554	6,5568	6,5582	6,5596	6,5610	6,5624	6,5639
71.	6,5653	6,5667	6,5681	6,5695	6,5709	6,5723	6,5737	6,5751	6,5765	6,5779
72.	6,5793	6,5806	6,5820	6,5834	6,5848	6,5862	6,5876	6,5889	6,5903	6,5917
73.	6,5930	6,5944	6,5958	6,5971	6,5985	6,5999	6,6012	6,6026	6,6039	6,6053
74.	6,6067	6,6080	6,6093	6,6107	6,6120	6,6134	6,6147	6,6161	6,6174	6,6187
75.	6,6201	6,6214	6,6227	6,6241	6,6254	6,6267	6,6280	6,6294	6,6307	6,6320
76.	6,6333	6,6346	6,6359	6,6373	6,6386	6,6399	6,6412	6,6425	6,6438	6,6451
77.	6,6464	6,6477	6,6490	6,6503	6,6516	6,6529	6,6542	6,6554	6,6567	6,6580
78.	6,6593	6,6606	6,6619	6,6631	6,6644	6,6657	6,6670	6,6682	6,6695	6,6708
79.	6,6720	6,6733	6,6746	6,6758	6,6771	6,6783	6,6796	6,6809	6,6821	6,6834
80.	6,6846	6,6859	6,6871	6,6884	6,6896	6,6908	6,6921	6,6933	6,6946	6,6958
81.	6,6970	6,6983	6,6995	6,7007	6,7020	6,7032	6,7044	6,7056	6,7069	6,7081
82.	6,7093	6,7105	6,7117	6,7130	6,7142	6,7154	6,7166	6,7178	6,7190	6,7202
83.	6,7214	6,7226	6,7238	6,7250	6,7262	6,7274	6,7286	6,7298	6,7310	6,7322
84.	6,7334	6,7346	6,7358	6,7370	6,7382	6,7393	6,7405	6,7417	6,7429	6,7441
85.	6,7452	6,7464	6,7476	6,7488	6,7499	6,7511	6,7523	6,7534	6,7546	6,7558
86.	6,7569	6,7581	6,7593	6,7604	6,7616	6,7627	6,7639	6,7650	6,7662	6,7673
87.	6,7685	6,7696	6,7708	6,7719	6,7731	6,7742	6,7754	6,7765	6,7776	6,7788
88.	6,7799	6,7811	6,7822	6,7833	6,7845	6,7856	6,7867	6,7878	6,7890	6,7901
89.	6,7912	6,7923	6,7935	6,7946	6,7957	6,7968	6,7979	6,7991	6,8002	6,8013
90.	6,8024	6,8035	6,8046	6,8057	6,8068	6,8079	6,8090	6,8101	6,8112	6,8123
91.	6,8134	6,8145	6,8156	6,8167	6,8178	6,8189	6,8200	6,8211	6,8222	6,8233
92.	6,8244	6,8255	6,8266	6,8276	6,8287	6,8298	6,8309	6,8320	6,8330	6,8341
93.	6,8352	6,8363	6,8373	6,8384	6,8395	6,8405	6,8416	6,8427	6,8437	6,8448
94.	6,8459	6,8469	6,8480	6,8491	6,8501	6,8512	6,8522	6,8533	6,8544	6,8554
95.	6,8565	6,8575	6,8586	6,8596	6,8607	6,8617	6,8628	6,8638	6,8648	6,8659
96.	6,8669	6,8680	6,8690	6,8701	6,8711	6,8721	6,8732	6,8742	6,8752	6,8763
97.	6,8773	6,8783	6,8794	6,8804	6,8814	6,8824	6,8835	6,8845	6,8855	6,8865
98.	6,8876	6,8886	6,8896	6,8906	6,8916	6,8926	6,8937	6,8947	6,8957	6,8967
99.	6,8977	6,8987	6,8997	6,9007	6,9017	6,9027	6,9037	6,9047	6,9057	6,9068

## TRIGONOMETRIJSKE FUNKCIJE



U pravokutnom su trokutu:  
katete – stranice  $a$  i  $b$  uz pravi kut,  
hipotenuza – stranica  $c$  nasuprot pravom kutu.

Trigonometrijske funkcije kuta  $\alpha$  su omjeri stranica pravokutnog trokuta:

$$\begin{array}{ll} \text{sinus} & \sin \alpha = a/c \\ \text{kosinus} & \cos \alpha = b/c \\ \text{tangens} & \tan \alpha = a/b \\ \text{kotangens} & \cot \alpha = b/a \end{array}$$

Vrijednosti trigonometrijskih funkcija kutova od  $0^\circ$  do  $90^\circ$  sabrane su u tablicama: za sin i cos na str. 12 i 13, a za tan i cot na str. 14 i 15.

Vrijednosti trigonometrijskih funkcija češće potrebnih kutova

$\alpha =$ ° rad	$0^\circ$ 0	$30^\circ$ $\pi/6$	$45^\circ$ $\pi/4$	$60^\circ$ $\pi/3$	$90^\circ$ $\pi/2$	$180^\circ$ $\pi$	$270^\circ$ $3\pi/2$	$360^\circ$ $2\pi$
$\sin \alpha =$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	1	0	-1	0
$\cos \alpha =$	1	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	$\frac{1}{2}\sqrt{2}$	$\frac{1}{2}$	0	-1	0	1
$\tan \alpha =$	0	$\frac{1}{3}\sqrt{3}$	1	$\sqrt{3}$	$\pm \infty$	0	$\pm \infty$	0
$\cot \alpha =$	$\pm \infty$	$\sqrt{3}$	1	$\frac{1}{3}\sqrt{3}$	0	$\pm \infty$	0	$\pm \infty$

Trigonometrijske funkcije u različitim područjima kutova

$\varphi =$ ° rad	$\pm \alpha$ $\pm \alpha$	$90^\circ \pm \alpha$ $(\pi/2) \pm \alpha$	$180^\circ \pm \alpha$ $\pi \pm \alpha$	$270^\circ \pm \alpha$ $(3\pi/2) \pm \alpha$	$360^\circ \pm \alpha$ $2\pi \pm \alpha$
$\sin \varphi =$	$\pm \sin \alpha$	$+\cos \alpha$	$\mp \sin \alpha$	$-\cos \alpha$	$\pm \sin \alpha$
$\cos \varphi =$	$+\cos \alpha$	$\mp \sin \alpha$	$-\cos \alpha$	$\pm \sin \alpha$	$+\cos \alpha$
$\tan \varphi =$	$\pm \tan \alpha$	$\mp \cot \alpha$	$\pm \tan \alpha$	$\mp \cot \alpha$	$\pm \tan \alpha$
$\cot \varphi =$	$\pm \cot \alpha$	$\mp \tan \alpha$	$\pm \cot \alpha$	$\mp \tan \alpha$	$\pm \cot \alpha$

### Osnovni odnosi trigonometrijskih funkcija

$$\begin{array}{ll} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1 & \sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} \\ \tan \alpha = \sin \alpha / \cos \alpha & \cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} \\ \cot \alpha = \cos \alpha / \sin \alpha & 1 + \tan^2 \alpha = 1 / \cos^2 \alpha \\ \tan \alpha \cot \alpha = 1 & 1 + \cot^2 \alpha = 1 / \sin^2 \alpha \end{array}$$

## Trigonometrijske funkcije dvaju kutova

$$\sin (\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta$$

$$\cos (\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$$

$$\tan (\alpha \pm \beta) = \frac{\tan \alpha \pm \tan \beta}{1 \mp \tan \alpha \tan \beta}$$

$$\cot (\alpha \pm \beta) = \frac{\cot \alpha \cot \beta \mp 1}{\cot \beta \pm \cot \alpha}$$

Za  $\alpha = \beta$  vrijedi:

$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$$

$$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha$$

$$\tan 2\alpha = 2 \tan \alpha / (1 - \tan^2 \alpha)$$

$$\cot 2\alpha = (\cot^2 \alpha - 1) / 2 \cot \alpha$$

Nadalje vrijedi:

$$\sin 3\alpha = 3 \sin \alpha - 4 \sin^3 \alpha$$

$$\cos 3\alpha = 4 \cos^3 \alpha - 3 \cos \alpha$$

$$2 \sin^2 \alpha = 1 - \cos 2\alpha$$

$$2 \cos^2 \alpha = 1 + \cos 2\alpha$$

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\sin \alpha - \sin \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\cos \alpha - \cos \beta = -2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\tan \alpha \pm \tan \beta = \frac{\sin (\alpha \pm \beta)}{\cos \alpha \cos \beta}$$

$$\cot \alpha \pm \cot \beta = \frac{\sin (\beta \pm \alpha)}{\sin \alpha \sin \beta}$$

$$2 \sin \alpha \sin \beta = -\cos (\alpha + \beta) + \cos (\alpha - \beta)$$

$$2 \sin \alpha \cos \beta = \sin (\alpha + \beta) + \sin (\alpha - \beta)$$

$$2 \cos \alpha \cos \beta = \cos (\alpha + \beta) + \cos (\alpha - \beta)$$

Trigonometrijske funkcije: sinus od 0° do 45°, kosinus od 45° do 90°

sin $\alpha$							
$\alpha$	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'
0°	0,00000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01454	0,01745
1°	0,01745	0,02036	0,02327	0,02618	0,02908	0,03199	0,03490
2°	0,03490	0,03781	0,04071	0,04362	0,04653	0,04943	0,05234
3°	0,05234	0,05524	0,05814	0,06105	0,06395	0,06685	0,06976
4°	0,06976	0,07266	0,07556	0,07846	0,08136	0,08426	0,08716
5°	0,08716	0,09005	0,09295	0,09585	0,09874	0,10164	0,10453
6°	0,10453	0,10742	0,11031	0,11320	0,11609	0,11898	0,12187
7°	0,12187	0,12476	0,12764	0,13053	0,13341	0,13629	0,13917
8°	0,13917	0,14205	0,14493	0,14781	0,15069	0,15356	0,15643
9°	0,15643	0,15931	0,16218	0,16505	0,16792	0,17078	0,17365
10°	0,17365	0,17651	0,17937	0,18224	0,18509	0,18795	0,19081
11°	0,19081	0,19366	0,19652	0,19937	0,20222	0,20507	0,20791
12°	0,20791	0,21076	0,21360	0,21644	0,21928	0,22212	0,22495
13°	0,22495	0,22778	0,23062	0,23345	0,23627	0,23910	0,24192
14°	0,24192	0,24474	0,24756	0,25038	0,25320	0,25601	0,25882
15°	0,25882	0,26163	0,26443	0,26724	0,27004	0,27284	0,27564
16°	0,27564	0,27843	0,28123	0,28402	0,28680	0,28959	0,29237
17°	0,29237	0,29515	0,29793	0,30071	0,30348	0,30625	0,30902
18°	0,30902	0,31178	0,31454	0,31730	0,32006	0,32282	0,32557
19°	0,32557	0,32832	0,33106	0,33381	0,33655	0,33929	0,34202
20°	0,34202	0,34475	0,34748	0,35021	0,35293	0,35565	0,35837
21°	0,35837	0,36108	0,36379	0,36650	0,36921	0,37191	0,37461
22°	0,37461	0,37730	0,37999	0,38268	0,38537	0,38805	0,39073
23°	0,39073	0,39341	0,39608	0,39875	0,40141	0,40408	0,40674
24°	0,40674	0,40939	0,41204	0,41469	0,41734	0,41998	0,42262
25°	0,42262	0,42525	0,42788	0,43051	0,43313	0,43575	0,43837
26°	0,43837	0,44098	0,44359	0,44620	0,44880	0,45140	0,45399
27°	0,45399	0,45658	0,45917	0,46175	0,46433	0,46690	0,46947
28°	0,46947	0,47204	0,47460	0,47716	0,47971	0,48226	0,48481
29°	0,48481	0,48735	0,48989	0,49242	0,49495	0,49748	0,50000
30°	0,50000	0,50252	0,50503	0,50754	0,51004	0,51254	0,51504
31°	0,51504	0,51753	0,52002	0,52250	0,52498	0,52745	0,52992
32°	0,52992	0,53238	0,53484	0,53730	0,53975	0,54220	0,54464
33°	0,54464	0,54708	0,54951	0,55194	0,55436	0,55678	0,55919
34°	0,55919	0,56160	0,56401	0,56641	0,56880	0,57119	0,57358
35°	0,57358	0,57596	0,57833	0,58070	0,58307	0,58543	0,58779
36°	0,58779	0,59014	0,59248	0,59482	0,59716	0,59949	0,60182
37°	0,60182	0,60414	0,60645	0,60876	0,61107	0,61337	0,61566
38°	0,61566	0,61795	0,62024	0,62251	0,62479	0,62706	0,62932
39°	0,62932	0,63158	0,63383	0,63608	0,63832	0,64056	0,64279
40°	0,64279	0,64501	0,64723	0,64945	0,65166	0,65386	0,65606
41°	0,65606	0,65825	0,66044	0,66262	0,66480	0,66697	0,66913
42°	0,66913	0,67129	0,67344	0,67559	0,67773	0,67987	0,68200
43°	0,68200	0,68412	0,68624	0,68835	0,69046	0,69256	0,69466
44°	0,69466	0,69675	0,69883	0,70091	0,70298	0,70505	0,70711
60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	$\alpha$
cos $\alpha$							

Trigonometrijske funkcije: sinus od 45° do 90°, kosinus od 0° do 45°

sin $\alpha$							
$\alpha$	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'
45°	0,70711	0,70916	0,71121	0,71325	0,71529	0,71732	0,71934
46°	0,71934	0,72136	0,72337	0,72537	0,72737	0,72937	0,73135
47°	0,73135	0,73333	0,73531	0,73728	0,73924	0,74120	0,74314
48°	0,74314	0,74509	0,74703	0,74896	0,75088	0,75280	0,75471
49°	0,75471	0,75661	0,75851	0,76041	0,76229	0,76417	0,76604
50°	0,76604	0,76791	0,76977	0,77162	0,77347	0,77531	0,77715
51°	0,77715	0,77897	0,78079	0,78261	0,78442	0,78622	0,78801
52°	0,78801	0,78980	0,79158	0,79335	0,79512	0,79688	0,79864
53°	0,79864	0,80038	0,80212	0,80386	0,80558	0,80730	0,80902
54°	0,80902	0,81072	0,81242	0,81412	0,81580	0,81748	0,81915
55°	0,81915	0,82082	0,82248	0,82413	0,82577	0,82741	0,82904
56°	0,82904	0,83066	0,83228	0,83389	0,83549	0,83708	0,83867
57°	0,83867	0,84025	0,84182	0,84339	0,84495	0,84650	0,84805
58°	0,84805	0,84959	0,85112	0,85264	0,85416	0,85567	0,85717
59°	0,85717	0,85866	0,86015	0,86163	0,86310	0,86457	0,86603
60°	0,86603	0,86748	0,86892	0,87036	0,87178	0,87321	0,87462
61°	0,87462	0,87603	0,87743	0,87882	0,88020	0,88158	0,88295
62°	0,88295	0,88431	0,88566	0,88701	0,88835	0,88968	0,89101
63°	0,89101	0,89232	0,89363	0,89493	0,89623	0,89752	0,89879
64°	0,89879	0,90007	0,90133	0,90259	0,90383	0,90507	0,90631
65°	0,90631	0,90753	0,90875	0,90996	0,91116	0,91236	0,91355
66°	0,91355	0,91472	0,91590	0,91706	0,91822	0,91936	0,92050
67°	0,92050	0,92164	0,92276	0,92388	0,92499	0,92609	0,92718
68°	0,92718	0,92827	0,92935	0,93042	0,93148	0,93253	0,93358
69°	0,93358	0,93462	0,93565	0,93667	0,93769	0,93869	0,93969
70°	0,93969	0,94068	0,94167	0,94264	0,94361	0,94457	0,94552
71°	0,94552	0,94646	0,94740	0,94832	0,94924	0,95015	0,95106
72°	0,95106	0,95195	0,95284	0,95372	0,95459	0,95545	0,95630
73°	0,95630	0,95715	0,95799	0,95882	0,95964	0,96046	0,96126
74°	0,96126	0,96206	0,96285	0,96363	0,96440	0,96517	0,96593
75°	0,96593	0,96667	0,96742	0,96815	0,96887	0,96959	0,97030
76°	0,97030	0,97100	0,97169	0,97237	0,97304	0,97371	0,97437
77°	0,97437	0,97502	0,97566	0,97630	0,97692	0,97754	0,97815
78°	0,97815	0,97875	0,97934	0,97992	0,98050	0,98107	0,98163
79°	0,98163	0,98218	0,98272	0,98325	0,98378	0,98430	0,98481
80°	0,98481	0,98531	0,98580	0,98629	0,98676	0,98723	0,98769
81°	0,98769	0,98814	0,98858	0,98902	0,98944	0,98986	0,99027
82°	0,99027	0,99067	0,99106	0,99144	0,99182	0,99219	0,99255
83°	0,99255	0,99290	0,99324	0,99357	0,99390	0,99421	0,99452
84°	0,99452	0,99482	0,99511	0,99540	0,99567	0,99594	0,99619
85°	0,99619	0,99644	0,99668	0,99692	0,99714	0,99736	0,99756
86°	0,99756	0,99776	0,99795	0,99813	0,99831	0,99847	0,99863
87°	0,99863	0,99878	0,99892	0,99905	0,99917	0,99929	0,99939
88°	0,99939	0,99949	0,99958	0,99966	0,99973	0,99979	0,99985
89°	0,99985	0,99989	0,99993	0,99996	0,99998	1,00000	1,00000
60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	$\alpha$
cos $\alpha$							

**Trigonometrijske funkcije: tangens od 0° do 45°, kotangens od 45° do 90°**

tan α							
α	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'
0°	0,00000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01455	0,01746
1°	0,01746	0,02036	0,02328	0,02619	0,02910	0,03201	0,03492
2°	0,03492	0,03783	0,04075	0,04366	0,04658	0,04949	0,05241
3°	0,05241	0,05533	0,05824	0,06116	0,06408	0,06700	0,06993
4°	0,06993	0,07285	0,07578	0,07870	0,08163	0,08456	0,08749
5°	0,08749	0,09042	0,09335	0,09629	0,09923	0,10216	0,10510
6°	0,10510	0,10805	0,11099	0,11394	0,11688	0,11983	0,12278
7°	0,12278	0,12574	0,12869	0,13165	0,13461	0,13758	0,14054
8°	0,14054	0,14351	0,14648	0,14945	0,15243	0,15540	0,15838
9°	0,15838	0,16137	0,16435	0,16734	0,17033	0,17333	0,17633
10°	0,17633	0,17933	0,18233	0,18534	0,18835	0,19136	0,19438
11°	0,19438	0,19740	0,20042	0,20345	0,20648	0,20952	0,21256
12°	0,21256	0,21560	0,21864	0,22169	0,22475	0,22781	0,23087
13°	0,23087	0,23393	0,23700	0,24008	0,24316	0,24624	0,24933
14°	0,24933	0,25242	0,25552	0,25862	0,26172	0,26483	0,26795
15°	0,26795	0,27107	0,27419	0,27732	0,28046	0,28360	0,28675
16°	0,28675	0,28990	0,29305	0,29621	0,29938	0,30255	0,30573
17°	0,30573	0,30891	0,31210	0,31530	0,31850	0,32171	0,32492
18°	0,32492	0,32814	0,33136	0,33460	0,33783	0,34108	0,34433
19°	0,34433	0,34758	0,35085	0,35412	0,35740	0,36068	0,36397
20°	0,36397	0,36727	0,37057	0,37388	0,37720	0,38053	0,38386
21°	0,38386	0,38721	0,39055	0,39391	0,39727	0,40065	0,40403
22°	0,40403	0,40741	0,41081	0,41421	0,41763	0,42105	0,42447
23°	0,42447	0,42791	0,43136	0,43481	0,43828	0,44175	0,44523
24°	0,44523	0,44872	0,45222	0,45573	0,45924	0,46277	0,46631
25°	0,46631	0,46985	0,47341	0,47698	0,48055	0,48414	0,48773
26°	0,48773	0,49134	0,49495	0,49858	0,50222	0,50587	0,50953
27°	0,50953	0,51319	0,51688	0,52057	0,52427	0,52798	0,53171
28°	0,53171	0,53545	0,53920	0,54296	0,54673	0,55051	0,55431
29°	0,55431	0,55812	0,56194	0,56577	0,56962	0,57348	0,57735
30°	0,57735	0,58124	0,58513	0,58905	0,59297	0,59691	0,60086
31°	0,60086	0,60483	0,60881	0,61280	0,61681	0,62083	0,62487
32°	0,62487	0,62892	0,63299	0,63707	0,64117	0,64528	0,64941
33°	0,64941	0,65355	0,65771	0,66189	0,66608	0,67028	0,67451
34°	0,67451	0,67875	0,68301	0,68728	0,69157	0,69588	0,70021
35°	0,70021	0,70455	0,70891	0,71329	0,71769	0,72211	0,72654
36°	0,72654	0,73100	0,73547	0,73996	0,74447	0,74900	0,75355
37°	0,75355	0,75812	0,76272	0,76733	0,77196	0,77661	0,78129
38°	0,78129	0,78598	0,79070	0,79544	0,80020	0,80498	0,80978
39°	0,80978	0,81461	0,81946	0,82434	0,82923	0,83415	0,83910
40°	0,83910	0,84407	0,84906	0,85408	0,85912	0,86419	0,86929
41°	0,86929	0,87441	0,87955	0,88473	0,88992	0,89515	0,90040
42°	0,90040	0,90569	0,91099	0,91633	0,92170	0,92709	0,93252
43°	0,93252	0,93797	0,94345	0,94896	0,95451	0,96008	0,96569
44°	0,96569	0,97133	0,97700	0,98270	0,98843	0,99420	1,00000
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'
	cot α						
α							α

**Trigonometrijske funkcije: tangens od 45° do 90°, kotangens od 0° do 45°**

tan α							
α	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'
45°	1,00000	1,00583	1,01170	1,01761	1,02355	1,02952	1,03553
46°	1,03553	1,04158	1,04766	1,05378	1,05994	1,06613	1,07237
47°	1,07237	1,07864	1,08496	1,09131	1,09770	1,10414	1,11061
48°	1,11061	1,11713	1,12369	1,13029	1,13694	1,14363	1,15037
49°	1,15037	1,15715	1,16398	1,17085	1,17777	1,18474	1,19175
50°	1,19175	1,19882	1,20593	1,21310	1,22031	1,22758	1,23490
51°	1,23490	1,24227	1,24969	1,25717	1,26471	1,27230	1,27994
52°	1,27994	1,28764	1,29541	1,30323	1,31110	1,31904	1,32704
53°	1,32704	1,33511	1,34323	1,35142	1,35968	1,36800	1,37638
54°	1,37638	1,38484	1,39336	1,40195	1,41061	1,41934	1,42815
55°	1,42815	1,43703	1,44598	1,45501	1,46411	1,47330	1,48256
56°	1,48256	1,49190	1,50133	1,51084	1,52043	1,53010	1,53987
57°	1,53987	1,54972	1,55966	1,56969	1,57981	1,59002	1,60033
58°	1,60033	1,61074	1,62125	1,63185	1,64256	1,65337	1,66428
59°	1,66428	1,67530	1,68643	1,69766	1,70901	1,72047	1,73205
60°	1,73205	1,74375	1,75556	1,76749	1,77955	1,79174	1,80405
61°	1,80405	1,81649	1,82906	1,84177	1,85462	1,86760	1,88073
62°	1,88073	1,89400	1,90741	1,92098	1,93470	1,94858	1,96261
63°	1,96261	1,97680	1,99116	2,00569	2,02039	2,03526	2,05030
64°	2,05030	2,06553	2,08094	2,09654	2,11233	2,12832	2,14451
65°	2,14451	2,16090	2,17749	2,19430	2,21132	2,22857	2,24604
66°	2,24604	2,26374	2,28167	2,29984	2,31826	2,33693	2,35585
67°	2,35585	2,37504	2,39449	2,41421	2,43422	2,45451	2,47509
68°	2,47509	2,49597	2,51715	2,53865	2,56046	2,58261	2,60509
69°	2,60509	2,62791	2,65109	2,67462	2,69853	2,72281	2,74748
70°	2,74748	2,77254	2,79802	2,82391	2,85023	2,87700	2,90421
71°	2,90421	2,93189	2,96004	2,98869	3,01783	3,04749	3,07768
72°	3,07768	3,10842	3,13972	3,17159	3,20406	3,23714	3,27085
73°	3,27085	3,30521	3,34023	3,37594	3,41236	3,44951	3,48741
74°	3,48741	3,52609	3,56557	3,60588	3,64705	3,68909	3,73205
75°	3,73205	3,77595	3,82083	3,86671	3,91364	3,96165	4,01078
76°	4,01078	4,06107	4,11256	4,16530	4,21933	4,27471	4,33148
77°	4,33148	4,38969	4,44942	4,51071	4,57363	4,63825	4,70463
78°	4,70463	4,77286	4,84300	4,91516	4,98940	5,06584	5,14455
79°	5,14455	5,22566	5,30928	5,39552	5,48451	5,57638	5,67128
80°	5,67128	5,76937	5,87080	5,97576	6,08444	6,19703	6,31375
81°	6,31375	6,43484	6,56055	6,69116	6,82694	6,96823	7,11537
82°	7,11537	7,26873	7,42871	7,59575	7,77035	7,95302	8,14435
83°	8,14435	8,34496	8,55555	8,77689	9,00983	9,25530	9,51436
84°	9,51436	9,78817	10,0780	10,3854	10,7119	11,0594	11,4301
85°	11,4301	11,8262	12,2505	12,7062	13,1969	13,7267	14,3007
86°	14,3007	14,9244	15,6048	16,3499	17,1693	18,0750	19,0811
87°	19,0811	20,2056	21,4704	22,9038	24,5418	26,4316	28,6363
88°	28,6363	31,2416	34,3678	38,1885	42,9641	49,1039	57,2900
89°	57,2900	68,7501	85,9398	114,589	171,885	343,774	∞
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'
	cot α						
α							α

### Izračunavanje stranica i kutova trokuta

a) *Pravokutni trokut* ( $\gamma = 90^\circ$ )

$$\alpha + \beta = 90^\circ$$

$$a/c = \sin \alpha = \cos \beta = h/b$$

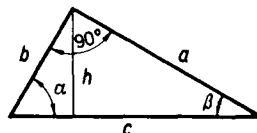
$$b/c = \cos \alpha = \sin \beta = h/a$$

$$a/b = \tan \alpha = \cot \beta$$

$$b/a = \cot \alpha = \tan \beta$$

$$\text{Visina nad hipotenuzom } h = ab/c$$

$$\text{Pitagorin poučak } a^2 + b^2 = c^2$$



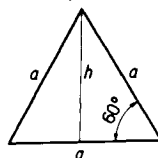
Poznato	Tražimo	
$a, b$	$c = \sqrt{a^2 + b^2}$ $\tan \alpha = a/b$ $\tan \beta = b/a$	$h = ab/\sqrt{a^2 + b^2}$ $\beta = 90^\circ - \alpha$
$a, c$	$b = \sqrt{c^2 - a^2}$ $\sin \alpha = a/c$ $\cos \beta = a/c$	$h = (a/c)\sqrt{c^2 - a^2}$ $\beta = 90^\circ - \alpha$
$b, c$	$a = \sqrt{c^2 - b^2}$ $\cos \alpha = b/c$ $\sin \beta = b/c$	$h = (b/c)\sqrt{c^2 - b^2}$ $\beta = 90^\circ - \alpha$
$a, \alpha$	$b = a/\tan \alpha = a \cot \alpha$ $c = a/\sin \alpha$	$h = a \cos \alpha$ $\beta = 90^\circ - \alpha$
$b, \alpha$	$a = b \tan \alpha = b/\cot \alpha$ $c = b/\cos \alpha$	$h = b \sin \alpha$ $\beta = 90^\circ - \alpha$
$c, \alpha$	$a = c \sin \alpha$ $b = c \cos \alpha$	$h = (c/2) \sin 2\alpha$ $\beta = 90^\circ - \alpha$

b) *Jednakostranični trokut*

$$a = (b) = (c)$$

$$\alpha = (\beta) = (\gamma) = 60^\circ$$

$$h = \frac{a}{2}\sqrt{3} \approx 0,866a$$

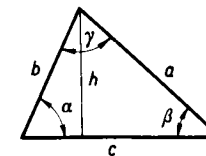


c) *Kosokutni trokut*

$$\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$$

$$\sin \alpha = \sin (\beta + \gamma)$$

$$\cos \alpha = -\cos (\beta + \gamma)$$



$$\text{Sinusov poučak } a/\sin \alpha = b/\sin \beta = c/\sin \gamma$$

$$\text{Kosinusov poučak } a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cos \beta$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma$$

$$\text{Projekcijski poučak } a = b \cos \gamma + c \cos \beta$$

$$b = a \cos \gamma + c \cos \alpha$$

$$c = b \cos \alpha + a \cos \beta$$

$$\text{Visina (nad stranicom } c) \quad h = a \sin \beta = b \sin \alpha$$

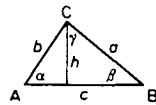
Poznato	Tražimo
$a, b, c,$	$\cos \alpha = (b^2 + c^2 - a^2)/2bc$ $\cos \beta = (a^2 + c^2 - b^2)/2ac$ $\cos \gamma = (a^2 + b^2 - c^2)/2ab$ $\gamma = 180^\circ - (\alpha + \beta)$
$a, b, \gamma$	$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma}$ $\tan \alpha = a \sin \gamma / (b - a \cos \gamma)$ $\tan \beta = b \sin \gamma / (a - b \cos \gamma)$ $\beta = 180^\circ - (\alpha + \gamma)$
$a, b, \alpha$	$c = b \cos \alpha \pm \sqrt{a^2 - b^2 \sin^2 \alpha}$ 1 realno rješenje za: $a = b \sin \alpha$ 2 realna rješenja za: $a > b \sin \alpha$ $\sin \beta = (b/a) \sin \alpha$ $\gamma = 180^\circ - (\alpha + \beta)$
$a, \beta, \gamma$	$b = a \sin \beta / \sin (\beta + \gamma)$ $c = a \sin \gamma / \sin (\beta + \gamma)$ $\alpha = 180^\circ - (\beta + \gamma)$

## LIKOV I TIJELA

### Površina i opseg likova

$A$  – površina,  $O$  – opseg

#### 1. Trokuti



Stranice  $a, b, c$   
 Kutovi  $\alpha, \beta, \gamma$   
 Zbroj kutova  $\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$   
 Visina na  $c$   $h = a \sin \beta$  ( $h \perp c$ )  
 Koordinate vršaka  $A(x_A, y_A), B(x_B, y_B), C(x_C, y_C)$

$$A = hc/2$$

$$A = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)} \quad 2s = a + b + c$$

$$A = 1/2 \cdot ab \sin \gamma = 1/2 \cdot ac \sin \beta = 1/2 \cdot bc \sin \alpha$$

$$A = 1/2 \cdot [x_A(y_B - y_C) + x_B(y_C - y_A) + x_C(y_A - y_B)]$$

$$O = a + b + c = 2s$$

#### 2. Četverokuti

Stranice  $a, b, (c, d)$

Kutovi  $\alpha, \beta, (\gamma, \delta)$

Dijagonala  $D$

Visina  $h$

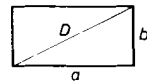


Kvadrat  $a (= b) = h, \alpha = 90^\circ$

$$A = a^2$$

$$O = 4a$$

$$D = a\sqrt{2}$$



Pravokutnik  $a \neq b = h, \alpha = 90^\circ$

$$A = ab$$

$$O = 2(a + b) \quad D = \sqrt{a^2 + b^2}$$

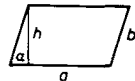


Romb  $a (= b) \neq h, \alpha \neq 90^\circ$

$$A = ah = a^2 \sin \alpha$$

$$O = 4a$$

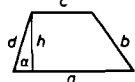
$$h = a \sin \alpha$$



Paralelogram  $a \neq b \neq h, \alpha \neq 90^\circ$

$$A = ah = ab \sin \alpha$$

$$O = 2(a + b) \quad h = b \sin \alpha$$



Trapez  $a \neq b \neq c \neq d (a \parallel c)$

$$A = \frac{a+c}{2} h = \frac{a+c}{2} d \sin \alpha$$

$$O = a + b + c + d \quad h = d \sin \alpha$$

#### 3. Višekuti (poligoni)

Broj stranica  $n$  Zbroj unutarnjih kutova  $180^\circ (n - 2)$

Površinu određujemo rastavljanjem višekuta na trokute. Opseg je zbroj svih stranica.

#### 4. Pravilni višekuti sa $n$ stranica

Središnji kut  $2\hat{\varphi} = 2\pi/n \quad \hat{\varphi}(\text{rad})$

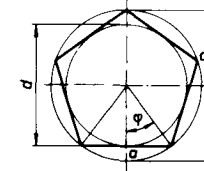
$$2\varphi = 360^\circ/n$$

Površina  $A = n(a^2/4) \cot \varphi$

Opseg  $O = na$

Promjer opisane kružnice  $D = a/\sin \varphi$

Promjer upisane kružnice  $d = a/\tan \varphi$



Pravilni likovi	$n$	$\hat{\varphi}$	$\varphi$	$A$	$O$	$D$	$d$
trokut	3	$\pi/3$	$60^\circ$	$0,433a^2$	$3a$	$1,1547a$	$0,5774a$
kvadrat	4	$\pi/4$	$45^\circ$	$a^2$	$4a$	$1,4142a$	$a$
peterokut	5	$\pi/5$	$36^\circ$	$1,7205a^2$	$5a$	$1,7013a$	$1,3764a$
šesterokut	6	$\pi/6$	$30^\circ$	$2,5981a^2$	$6a$	$2a$	$1,7321a$
osmerokut	8	$\pi/8$	$22,5^\circ$	$4,8284a^2$	$8a$	$2,6132a$	$2,4142a$

#### 5. Kруг

Polumjer  $r$ , promjer  $d$

$$A = r^2\pi = d^2\pi/4$$

$$O = 2r\pi = d\pi (= \text{duljina kružnice})$$

Kružni isječak i odsječak

Polumjer  $r$ , središnji kut  $\varphi$   $\hat{\varphi}(\text{rad})$

$$\text{Luk } l = r\hat{\varphi} \quad \text{Tetiva } i = 2r \sin \frac{\varphi}{2}$$

$$\text{Visina odsječka} \quad h = r \left( 1 - \cos \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$\text{Površina odsječka} \quad A_o = \frac{r^2}{2} (\hat{\varphi} - \sin \varphi)$$

$$\text{Površina isječka} \quad A_i = \frac{r^2}{2} \hat{\varphi} = \frac{lr}{2}$$

Kružni vijenac

Vanjski i unutarnji polumjer  $R, r$

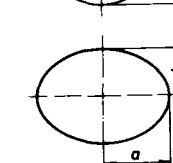
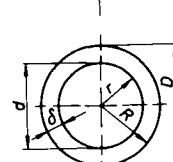
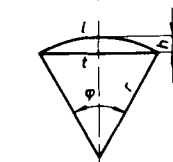
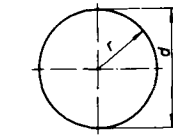
Vanjski i unutarnji promjer  $D, d$

$$A = (R^2 - r^2)\pi = (D^2 - d^2)\pi/4$$

Uski vijenac širine  $\delta = R - r$

Srednji polumjer  $\varrho = (R + r)/2$

$$A = 2\varrho\pi\delta$$

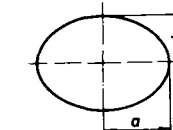


#### 6. Elipsa

Poluosi  $a, b$

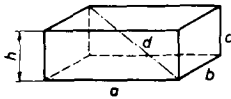
$$A = ab\pi$$

$$O \approx \pi[1,5(a + b) - \sqrt{ab}]$$



### Površine i volumeni tijela

$V$  – volumen, obujam,  $A_o$  – površina osnovke (baze),  $A_p$  – površina plašta,  $A$  – oplošje (ukupna površina),  $h$  – visina



#### 1. Prizma

$$V = A_o h$$

Pravokutni paralelepiped sa stranicama  $a, b, c$

$$V = abc \quad A = 2(ab + ac + bc)$$

$$\text{Dijagonala} \quad d = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$$

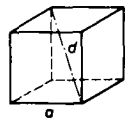
Kocka s bridom  $a$

$$V = a^3$$

$$A_o = a^2 \quad h = a$$

$$A = 6a^2$$

$$\text{Dijagonala} \quad d = a\sqrt{3}$$



#### 2. Valjak

$$V = A_o h$$

Uspravni valjak s polumjerom  $r$

$$V = r^2 \pi h \quad A_o = r^2 \pi$$

$$A = 2r\pi(r + h)$$

Šuplji valjak s polumjerima  $R$  i  $r$

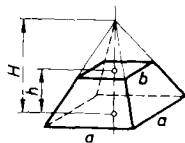
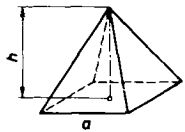
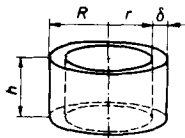
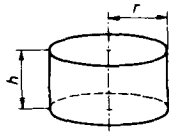
$$V = (R^2 - r^2)\pi h \quad A_o = (R^2 - r^2)\pi$$

Šuplji valjak s tankom stijenkom

$$\text{Debljina stijenke} \quad \delta = R - r$$

$$\text{Srednji polumjer} \quad \varrho = \frac{R + r}{2}$$

$$V = 2\varrho\pi\delta h \quad A_o = 2\varrho\pi\delta$$



#### 3. Piramida

$$V = \frac{1}{3} A_o h$$

Kvadratna piramida sa stranicom osnovke  $a$  i visinom  $h$

$$V = a^2 h / 3$$

Kut  $\alpha$  između osnovke i pobočke

$$\tan \alpha = 2h/a$$

Prikraćena kvadratna piramida sa stranicama osnovki  $a$  i  $b$  i visinom  $h$

$$\text{Visina piramide} \quad h = ha/(a - b)$$

$$V = h(a^2 + ab + b^2)/3$$

#### 4. Klin

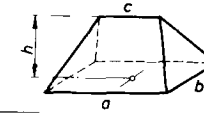
Stranice osnovke  $a, b$

Greben  $c$

$$V = (2a + c)bh/6$$

$$A_p = (a + c)\sqrt{h^2 + b^2/4} + b\sqrt{h^2 + (a - c)^2/4}$$

$$A = A_p + ab$$

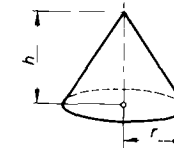


#### 5. Stožac

$$V = \frac{1}{3} r^2 \pi h \quad r - \text{polumjer osnovke}$$

$$A_p = r\pi s \quad s = \sqrt{r^2 + h^2}$$

$$A = r\pi(s + r)$$



Prikraćeni stožac

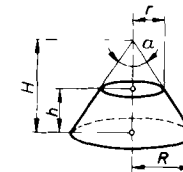
$R, r$  – polumjeri osnovki

$h$  – visina

$$\text{Visina stošca} \quad H = hR/(R - r)$$

$$\text{Kut stošca} \quad \tan(\alpha/2) = (R - r)/h$$

$$V = (R^2 + rR + r^2)\pi h/3$$



#### 6. Kugla Polumjer $R$ , promjer $D$

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = 4,1888 R^3 = \frac{1}{6} \pi D^3 = 0,5236 D^3$$

$$A = 4\pi R^2 = \pi D^2$$

Kuglin isječak i odsječak

Visina odsječka (kalote)  $h$

polumjer kugline paralele

$$a = \sqrt{h(2R - h)}$$

volumen odsječka

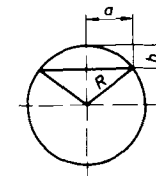
$$V_o = \pi h^2 (R - h/3)$$

volumen isječka

$$V_i = \frac{2}{3} \pi R^2 h = 2,0944 R^2 h$$

površina plašta odsječka

$$A_p = 2\pi R h$$



## KOMBINATORIKA

Broj permutacija (poredaka) za  $n$  različitih elemenata

$$P(n) = n! = 1.2.3. \dots .n$$

Broj permutacija za  $n$  elemenata, među kojima je  $m$  jednakih

$$P(n) = \frac{n!}{m!}$$

Broj kombinacija  $n$  elemenata  $r$ -tog razreda:

– bez ponavljanja  $K_r(n) = \binom{n}{r} = \frac{n!}{r!(n-r)!}$

– s ponavljanjem  $K_r(n) = \binom{n+r-1}{r} = \frac{(n+r-1)!}{r!(n-1)!}$

Broj varijacija  $n$  elemenata  $r$ -tog razreda:

– bez ponavljanja  $V_r(n) = \binom{n}{r} r! = \frac{n!}{(n-r)!}$

– s ponavljanjem  $V_r(n) = n^r$

## NIZOVI I REDOVI

Niz:  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, \dots$

Red:  $a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n + \dots = \sum_{n=1}^{\infty} a_n$

### Aritmetički niz

$$a, a+d, a+2d, a+3d, \dots, a+(n-1)d, \dots$$

$$d = a_n - a_{n-1} = (a_n - a_1)/(n-1) = \text{konst}$$

Suma  $n$  članova aritmetičkog niza

$$s_n = \frac{n}{2}(a_1 + a_n) = \frac{n}{2}[2a_1 + (n-1)d]$$

Neke sume:  $s_1 = 1 + 2 + 3 + \dots + n = \frac{n}{2}(1+n)$

$$s_2 = 1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + n^2 = \frac{1}{6}n(n+1)(2n+1)$$

$$s_3 = 1^3 + 2^3 + 3^3 + \dots + n^3 = \frac{1}{4}n^2(n+1)^2$$

## Geometrijski niz

$$a, aq, aq^2, aq^3, \dots, aq^{n-1}, \dots$$

$$q = a_n/a_{n-1} = \sqrt[n-1]{a_n/a_1} = \text{konst}$$

Suma  $n$  članova geometrijskog niza

$$s_n = a_1 \frac{q^n - 1}{q - 1}$$

## Važniji redovi

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} = \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} + \dots \quad \text{nema konačne sume}$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} = \frac{1}{1^2} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{3^2} + \dots + \frac{1}{n^2} + \dots = \pi^2/6$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \cdot \frac{1}{n^2} = \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} + \frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2} + \dots = \pi^2/12$$

## Važniji Taylorovi redovi

$$e^{\pm x} = 1 \pm x/1! + x^2/2! \pm x^3/3! + \dots$$

$$a^x = 1 + \frac{\ln a}{1!}x + \frac{(\ln a)^2}{2!}x^2 + \frac{(\ln a)^3}{3!}x^3 + \dots \quad a > 0$$

$$\ln(1 \pm x) = \pm x - x^2/2 \pm x^3/3 - x^4/4 \pm \dots \quad -1 < x < 1$$

$$\ln x = 2 \left[ \frac{x-1}{x+1} + \frac{1}{3} \left( \frac{x-1}{x+1} \right)^3 + \frac{1}{5} \left( \frac{x-1}{x+1} \right)^5 + \dots \right] \quad x > 0$$

$$\sin x = x/1! - x^3/3! + x^5/5! - x^7/7! + \dots$$

$$\cos x = 1 - x^2/2! + x^4/4! - x^6/6! + \dots$$

$$\frac{1}{1 \mp x} = 1 \pm x + x^2 \pm x^3 + \dots \quad -1 < x < 1$$

$$(1+x)^n = 1 + \binom{n}{1}x + \binom{n}{2}x^2 + \binom{n}{3}x^3 + \dots \quad -1 < x < 1$$

$n$  – realni broj



## DETERMINANTE

Determinanta 1. reda

$$|a_{11}| = a_{11}$$

Determinanta 2. reda

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = a_{11} a_{22} - a_{21} a_{12}$$

Determinanta 3. reda

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} &= a_{11} \begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} \\ a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} - a_{12} \begin{vmatrix} a_{21} & a_{23} \\ a_{31} & a_{33} \end{vmatrix} + a_{13} \begin{vmatrix} a_{21} & a_{22} \\ a_{31} & a_{32} \end{vmatrix} \\ &= a_{11} (a_{22} a_{33} - a_{32} a_{23}) - a_{12} (a_{21} a_{33} - a_{31} a_{23}) + \\ &+ a_{13} (a_{21} a_{32} - a_{31} a_{22}) \end{aligned}$$

Vrijednost determinante  $n$ -tog reda izračunamo tako, da skalarno pomnožimo kojigod redak ili stupac sa subdeterminantama tog retka ili stupca, npr.:

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} &= a_{11} \begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} - a_{12} \begin{vmatrix} a_{23} & a_{24} & a_{21} \\ a_{33} & a_{34} & a_{31} \\ a_{43} & a_{44} & a_{41} \end{vmatrix} + \\ &+ a_{13} \begin{vmatrix} a_{24} & a_{21} & a_{22} \\ a_{34} & a_{31} & a_{32} \\ a_{44} & a_{41} & a_{42} \end{vmatrix} - a_{14} \begin{vmatrix} a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} \end{vmatrix} \end{aligned}$$

Vrijednost determinante se ne mijenja, ako zaokrenemo determinantu oko glavne dijagonale (za  $180^\circ$ ):

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{vmatrix}$$

Ako su u determinanti dva retka ili dva stupca jednaka ili proporcionalna, vrijednost determinante jednaka je nuli:

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = 0 \quad \begin{vmatrix} a_{11} & a_{11} & a_{13} \\ a_{21} & a_{21} & a_{23} \\ a_{31} & a_{31} & a_{33} \end{vmatrix} = 0 \quad \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & ka_{12} \\ a_{21} & a_{22} & ka_{22} \\ a_{31} & a_{32} & ka_{32} \end{vmatrix} = 0$$

## MATRICE

Matrica  $A$  dimenzije  $m, n$  ima  $m$  redaka i  $n$  stupaca

Ako je  $n = 1$ , nazivamo matricu – (stupnim) vektorom

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} = [a_{ik}]_{m,n} \quad A = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{bmatrix}$$

Dvije su matrice jednake, ako imaju jednake dimenzije i odgovarajuće elemente jednake. Matrica  $0$  ima kojigod dimenziju, a svi su njeni elementi  $0$ . Zbrajati možemo matrice samo jednakih dimenzija:

$$A = [a_{ik}]_{m,n} \quad B = [b_{ik}]_{m,n} \\ A + B = [a_{ik} + b_{ik}]_{m,n}$$

Matricu  $A = [a_{ik}]_{m,n}$  množimo sa skalarom  $k$  (realnim brojem) tako, da svaki element u matrici pomnožimo s  $k$

$$kA = [k a_{ik}]_{m,n}$$

Umnožak matrica  $A [a_{ik}]_{m,n}$  i  $B [b_{ik}]_{n,p}$  je matrica

$$C = AB = [c_{ik}]_{m,p}$$

gdje je  $c_{ik} = a_{i1} b_{1k} + a_{i2} b_{2k} + \dots + a_{in} b_{nk}$ .

Iz elemenata matrice  $A = [a_{ik}]_{m,n}$  možemo križanjem redaka ili stupaca tvoriti determinante svih redova.

K matrici  $A = [a_{ik}]_{m,n}$  dobivamo transponiranu matricu  $A' = [b_{ik}]_{n,m}$  ako redom zapišemo retke u stupce i stupce u retke ( $b_{ik} = a_{ki}$ ).

Ako je  $m = n$ , matrica je kvadratna. Svako je kvadratnoj matrici pridružena determinanta jednakog sastava. Matrica  $A$  je regularna, ako je determinanta različita od  $0$ .

Kvadratna matrica je simetrična, ako je  $A' = A$ , a nesimetrična, ako je  $A' = -A$ .

Matrica  $A = [a_{ik}]_{m,n}$  je  $r$ -tog ranga, ako je bar jedna determinanta  $r$ -tog reda matrice  $A$  različita od  $0$ , a sve višeredne determinante pa su jednake  $0$ .

Rang matrice se ne mijenja, ako:

- međusobno zamijenimo dva stupca (dva retka)
- elemente nekog stupca (retka) pomnožimo brojem  $k$  ( $k \neq 0$ )
- stupac (redak) pomnožimo proizvoljnim brojem te ga pribrojimo k drugom (stupcu) retku.

## APSOLUTNA I SREDNJA VRIJEDNOST

### Apsolutna vrijednost

Definicija apsolutne vrijednosti  $|a|$  realnog broja  $a$  glasi

$$|a| = \begin{cases} a & \text{za } a \geq 0 \\ -a & \text{za } a < 0 \end{cases}$$

Apsolutna vrijednost kompleksnog broja  $\alpha$  definirana je jednakšbom

$$|\alpha| = +\sqrt{\alpha\bar{\alpha}} = +\sqrt{a^2 + b^2} \quad \begin{matrix} \alpha = a + bi \\ \bar{\alpha} = a - bi \end{matrix}$$

$$|\alpha| = |- \alpha|$$

Za proizvoljne kompleksne brojeve  $\alpha$  i  $\beta$  vrijedi

$$|\alpha\beta| = |\alpha||\beta| \quad ||\alpha| - |\beta|| \leq |\alpha + \beta| \leq |\alpha| + |\beta|$$

### Poprečne vrijednosti

Za  $n$  realnih brojeva  $a_1, a_2, \dots, a_n$  bit će:

– aritmetički prosjek  $A$

$$A = \frac{1}{n} (a_1 + a_2 + \dots + a_n)$$

– geometrijski prosjek  $G$

$$G = \sqrt[n]{a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_n} \quad a_1, \dots, a_n > 0$$

– harmonički prosjek  $H$

$$H = \frac{1}{n} \left( \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \dots + \frac{1}{a_n} \right) \quad a_1, \dots, a_n \neq 0$$

### BINOMI

$$(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2$$

$$(a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3$$

$$(a \pm b)^n = a^n \pm \binom{n}{1} a^{n-1}b + \dots + (-1)^k \binom{n}{k} a^{n-k}b^k + \dots + (-1)^n b^n$$

$$\binom{n}{k} = \frac{n(n-1)(n-2)\dots(n-k+1)}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$

$$n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot n \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

\*

$$a^2 + b^2 = (a + ib)(a - ib)$$

$$a^2 - b^2 = (a + b)(a - b)$$

$$a^3 \pm b^3 = (a \pm b)(a^2 \mp ab + b^2)$$

## ALGEBARSKJE JEDNADŽBE

### Jednadžba $n$ -tog stupnja

$$a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0 = 0 \quad a_n \neq 0$$

ima u opsegu kompleksnih brojeva  $n$  korijena. Korijene takve jednadžbe određujemo, u općem slučaju, poželjnom točnošću metodama numeričke matematike.

### Jednadžba prvog stupnja (linearna jednadžba)

$$ax + b = 0 \quad a \neq 0$$

ima jedno rješenje

$$x = -b/a$$

### Jednadžba drugog stupnja (kvadratna jednadžba)

$$ax^2 + bx + c = 0 \quad a \neq 0$$

ima dva rješenja

$$x_{1,2} = \left( -b \pm \sqrt{b^2 - 4ac} \right) / 2a$$

Diskriminanta jednadžbe

$$\Delta = b^2 - 4ac$$

Za  $\Delta > 0$  ima jednadžba dva različita realna korijena,

za  $\Delta = 0$  ima jednadžba dva jednaka realna korijena,

za  $\Delta < 0$  su korijeni jednadžbe konjugirano kompleksni brojevi.

Ako su  $x_1$  i  $x_2$  korijeni jednadžbe  $x^2 + px + q = 0$ , vrijedi

$$q = x_1 x_2 \quad \text{in} \quad p = -(x_1 + x_2)$$

**Jednadžba višeg stupnja** (trećeg, četvrtog . . .) rješavamo jednostavno samo ako je možemo brzo rastaviti.

**Sistem dviju linearnih jednadžbi s dvije nepoznanice** ( $x, y$ )

$$a_1 x + b_1 y = c_1 \quad a_2 x + b_2 y = c_2$$

Metode rješavanja:

a) Metoda supstitucije

Iz druge jednadžbe  $y = (c_2 - a_2 x)/b_2$  uvrštavamo u prvu jednadžbu.

b) Metoda komparacije

Iz obiju jednadžbi dobivamo nepoznanicu  $y = (c_1 - a_1 x)/b_1 = (c_2 - a_2 x)/b_2$ .

c) Metoda suprotnih koeficijenata

Jednadžbe množimo takvim brojevima, da dobijemo pri članovima s istom nepoznanicom suprotne koeficijente, a potom ih zbrojimo.

$$a_1 b_2 x + b_1 b_2 y = b_2 c_1 \quad -a_2 b_1 x - b_1 b_2 y = -b_1 c_2$$

Rješenje glasi

$$x = \frac{b_2 c_1 - b_1 c_2}{a_1 b_2 - a_2 b_1}$$

Na isti način izračunavamo nepoznanicu  $y$ .

### Sistem linearnih jednačini

Sistem  $n$  jednačini s nepoznanicama  $x_1, x_2, \dots, x_n$

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2$$

$\vdots$

$$a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n = b_n$$

Sistem je homogen, ako je  $b_1 = b_2 = \dots = b_n = 0$ . Ako je ma i jedan  $b_k \neq 0$ , sistem nije homogen.

Nehomogen sistem jednoliko je rješiv, ako je determinanta sistema

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix} \neq 0$$

Rješenje sistema glasi tada

$$x_1 = \frac{A_1}{A}, \quad x_2 = \frac{A_2}{A}, \quad \dots \quad x_n = \frac{A_n}{A},$$

gdje su:

$$A_1 = \begin{vmatrix} b_1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ b_2 & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_n & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix} \quad A_2 = \begin{vmatrix} a_{11} & b_1 & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & b_2 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & b_n & \dots & a_{nn} \end{vmatrix} \quad A_n = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & \dots & b_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & b_n \end{vmatrix}$$

Za nehomogen sistem dviju linearnih jednačini s dvije nepoznate

$$\begin{aligned} a_1 x + b_1 y &= c_1 \\ a_2 x + b_2 y &= c_2, \end{aligned}$$

za koje vrijedi  $A = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} = a_1 b_2 - a_2 b_1 \neq 0$ ,

glasi rješenje

$$\begin{aligned} x &= \frac{\begin{vmatrix} c_1 & b_1 \\ c_2 & b_2 \end{vmatrix}}{A} = \frac{b_2 c_1 - b_1 c_2}{a_1 b_2 - a_2 b_1} \\ y &= \frac{\begin{vmatrix} a_1 & c_1 \\ a_2 & c_2 \end{vmatrix}}{A} = \frac{a_1 c_2 - a_2 c_1}{a_1 b_2 - a_2 b_1} \end{aligned}$$

### TRANSCENDENTNE JEDNAČINE

#### Eksponencijalne jednačine

Jednostavna se eksponencijalna jednačina

$$a^x = b \quad a > 0, a \neq 1$$

rješava logaritmiranjem (naravnim ili dekadnim logaritima).

Rješenje glasi  $x = \ln b / \ln a$

#### Logaritamske jednačine

Jednostavna logaritamska jednačina

$$\log_a x = b \quad a > 0, a \neq 1$$

ima rješenje

$$x = a^b$$

#### Trigonometrijske jednačine

Za rješavanje jednostavnih trigonometrijskih jednačini, npr.

$$\sin(mx + n) = a \quad m \neq 0,$$

potrebne su tablice vrijednosti trigonometrijskih funkcija ili odgovarajuće računalo. Za jednačinu  $\sin(mx + n) = a$  tražimo iz tablica kut  $u$

$$mx + n = u$$

te dobivamo rješenje

$$x = (u - n)/m$$

\*

#### Numerično rješavanje jednačini

U općem slučaju možemo korijene transcendentnih jednačini odrediti metodama numeričke matematike.

Realne korijene jednačine  $f(x) = 0$  pokušavamo izračunati numeričkim metodama tako, da funkciju  $y = f(x)$ , koja mora biti neprekidna, prikazemo tablicom ili grafički. Korijene dobivamo pri vrijednosti  $y = 0$ .

### NEJEDNAČINE

Linearna nejednačina s jednom nepoznanicom

$$ax + b \geq 0$$

ima dva rješenja:

$$x \geq \frac{-b}{a} \quad \text{za } a > 0 \quad x \leq \frac{-b}{a} \quad \text{za } a < 0$$

Kvadratnu nejednačinu s jednom nepoznanicom

$$ax^2 + bx + c \geq 0$$

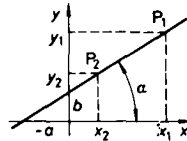
možemo riješiti grafom funkcije

$$y = ax^2 + bx + c$$

tako, da iz slike ustanovimo intervale, gdje je  $y \geq 0$ .

## ANALITIČKA GEOMETRIJA u ravlini

### Pravac



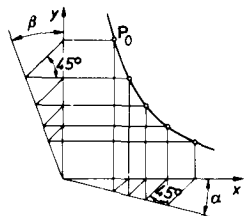
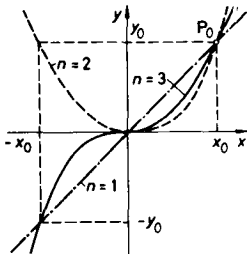
Jednadžba pravca kroz zadanu točku  $P_1(x_1, y_1)$  uz prikloni kut  $\alpha$  (priklonski koeficijent  $m$ )

$$y - y_1 = m(x - x_1)$$

Jednadžba pravca kroz dvije zadane točke  $P_1(x_1, y_1)$  i  $P_2(x_2, y_2)$

$$(y - y_1)(x_1 - x_2) = (x - x_1)(y_1 - y_2)$$

### Potencijalne krivulje



Opći oblik jednadžbe

$$Ax + By + C = 0$$

Eksplisicirni oblik jednadžbe

$$y = mx + b \quad m = \tan \alpha$$

$b$  – odsječak na osi  $y$

Segmentni oblik

$$x/a + y/b = 1$$

Parabole kroz točku  $P_0(x_0, y_0)$

$$y = y_0 \left( \frac{x}{x_0} \right)^n$$

$$n = 1$$

$$y = y_0(x/x_0) \quad (\text{pravac})$$

$$n = 2$$

$$y = y_0(x/x_0)^2 \quad (\text{kvadratna parabola})$$

$$n = 3$$

$$y = y_0(x/x_0)^3 \quad (\text{kubna parabola})$$

Hiperbole kroz točku  $P_0(x_0, y_0)$

$$yx^m = y_0x_0^m = \text{konst}$$

Konstrukcija krivulje

$$1 + \tan \beta = (1 + \tan \alpha)^m$$

Npr. za  $\tan \alpha = 0,25$  je

$m$	1,1	1,2	1,3	1,4
$\tan \beta$	0,278	0,307	0,336	0,367

### Čunjosječnice

#### Kružnica

Opća jednadžba – za središte u točki  $(x_0, y_0)$

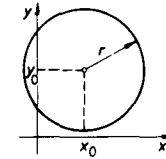
$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = r^2$$

Središnja jednadžba – za središte u ishodištu

$$(x_0 = 0, y_0 = 0) \quad x^2 + y^2 = r^2$$

Tjemenska jednadžba – s ordinatnom osi kao tangentom ( $x_0 = r, y_0 = 0$ )

$$y^2 = 2rx - x^2$$



Elipsa  $a, b$  – poluosi (u smjerovima  $x, y$ )

Središnja jednadžba

$$x^2/a^2 + y^2/b^2 = 1$$

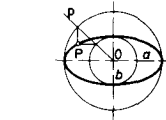
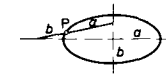
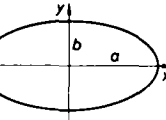
Tjemenska jednadžba

$$y^2 = (b^2/a^2) x (2a - x)$$

Konstrukcija elipse:

a) Ako dužinu, čiju duljinu  $a + b$  točka  $P$  dijeli na krakove  $a$  i  $b$ , pomaknemo tako, da njene krajnje točke kliču po međusobno okomitim pravcima, opisuju točka  $P$  elipsu.

b) Presjecišta kružnica s polumjerima  $a$  i  $b$  iz zajedničkog središta  $O$  s proizvoljnim pravcem  $p$  određuje točku  $P$  elipse.



#### Parabola

Tjemenska jednadžba – s ordinatnom osi kao tangentom in s koordinatama žarišta  $F(p/2, 0)$

$$y^2 = 2px \quad 2p - \text{parametar}$$

Za parabolu s osi u smjeru ordinate  $y$  su u jednadžbi koordinate  $x$  i  $y$  zamijenjene.

Jednadžba parabole za tjeme s koordinatama  $(x_0, y_0)$

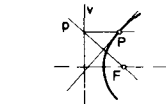
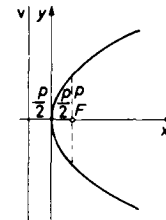
$$(y - y_0)^2 = 2p(x - x_0)$$

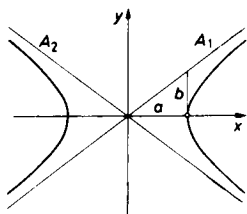
Opći oblik jednadžbe (za os u smjeru ordinate  $y$ )

$$y = ax^2 + bx + c$$

Konstrukcija parabole:

Simetrala udaljenosti što je presjeca proizvoljni pravac  $p$  kroz žarište  $F$  s vodicom  $v$  i paralela s osi parabole kroz presjecište određuju točku  $P$  parabole.





**Hiperbola** ( $A$  – asimptote)

Središnja jednačba

$$x^2/a^2 - y^2/b^2 = 1$$

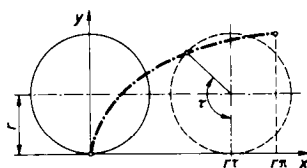
Tjemenska jednačba

$$y^2 = (b^2/a^2) x (x - 2a)$$

Kod istostrane hiperbole ( $a = b$ ) su asimptote međusobno okomite i zatvaraju s koordinatnim osima kut  $45^\circ$

$$x^2 - y^2 = a^2$$

**Cikličke krivulje (trohoide)**



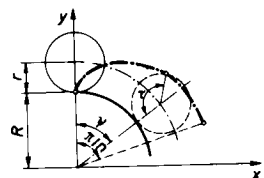
**Cikloida** nastaje pri kotrljanju kružnice po pravcu

$$x = r(\hat{\tau} - \sin \tau)$$

$$y = r(1 - \cos \tau)$$

$\tau$  – kut kotrljanja

$$\hat{\tau}(\text{rad})$$



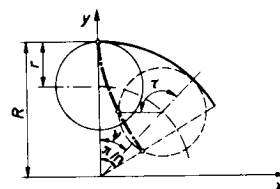
**Epicikloida** nastaje pri kotrljanju kružnice po vanjskoj strani druge kružnice

$$x = r(m \sin \psi - \sin m\psi)$$

$$y = r(m \cos \psi - \cos m\psi)$$

$$m = (R + r)/r = n + 1$$

$$n = R/r \quad \psi = \tau/n$$



**Hipocikloida** nastaje pri kotrljanju kružnice po unutrašnjoj strani druge kružnice

$$x = r(m \sin \psi - \sin m\psi)$$

$$y = r(m \cos \psi + \cos m\psi)$$

$$m = (R - r)/r = n - 1$$

$$n = R/r \quad \psi = \tau/n$$

**Evolventa** (involuta) nastaje pri odmatanju oboda s kružnice

$$x = R(\sin \tau - \hat{\tau} \cos \tau)$$

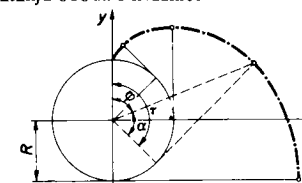
$$y = R(\cos \hat{\tau} + \hat{\tau} \sin \tau)$$

$$r = R/\cos \alpha$$

$$\hat{\tau} = \tan \alpha$$

$$\varphi = \tan \alpha - \hat{\alpha} = \text{inv } \alpha$$

$$\hat{\tau}, \hat{\alpha}(\text{rad})$$



**Evolventna funkcija**  $\text{inv } \alpha = \tan \alpha - \hat{\alpha}$

$\alpha^\circ$	0'	10'	20'	30'	40'	50'
15	0,006 150	0,006 361	0,006 577	0,006 798	0,007 025	0,007 256
16	0,007 493	0,007 735	0,007 982	0,008 234	0,008 492	0,008 756
17	0,009 025	0,009 299	0,009 580	0,009 866	0,010 158	0,010 456
18	0,010 760	0,011 071	0,011 387	0,011 709	0,012 038	0,012 373
19	0,012 715	0,013 063	0,013 418	0,013 779	0,014 148	0,014 523
20	0,014 904	0,015 293	0,015 689	0,016 092	0,016 502	0,016 920
21	0,017 345	0,017 777	0,018 217	0,018 665	0,019 120	0,019 583
22	0,020 054	0,020 533	0,021 019	0,021 514	0,022 018	0,022 529
23	0,023 049	0,023 577	0,024 114	0,024 660	0,025 214	0,025 777
24	0,026 350	0,026 931	0,027 521	0,028 121	0,028 729	0,029 348
25	0,029 975	0,030 613	0,031 260	0,031 917	0,032 583	0,033 260
26	0,033 947	0,034 644	0,035 352	0,036 069	0,036 798	0,037 537
27	0,038 287	0,039 047	0,039 819	0,040 602	0,041 395	0,042 201
28	0,043 017	0,043 845	0,044 685	0,045 537	0,046 400	0,047 276
29	0,048 164	0,049 064	0,049 976	0,050 901	0,051 838	0,052 788
30	0,053 751	0,054 728	0,055 717	0,056 720	0,057 736	0,058 765

## FUNKCIJE

Ako je svakoj vrijednosti  $x$  za  $a \leq x \leq b$  pridružen točno određen realni broj  $y$ , kaže se, da je u intervalu  $[a, b]$  dana funkcija  $f$ , što se piše

$$y = f(x)$$

$x$  – argument ili neodvisna varijabla

$f(x)$  – funkcijska vrijednost

$[a, b]$  – definicijsko područje funkcije

Graf funkcije  $f$  (krivulja  $f(x)$ ) je skup svih točaka  $(x, f(x))$  u ravni  $x, y$ .

## Elementarne funkcije

Polinom ili cijela racionalna funkcija  $n$ -tog stupnja je

$$f(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0 \quad a_n \neq 0$$

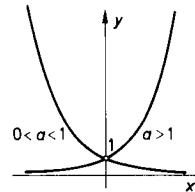
Razlomljena racionalna funkcija je kvocijent dvaju polinoma

$$f(x) = \frac{b_m x^m + b_{m-1} x^{m-1} + \dots + b_1 x + b_0}{a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0}$$

## Eksponencijalna i logaritamska funkcija

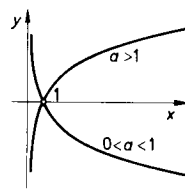
### Eksponencijalna funkcija

$$y = a^x \quad a > 0, a \neq 1$$



### Logaritamska funkcija

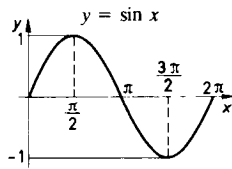
$$y = \log_a x \quad a > 0, a \neq 1$$



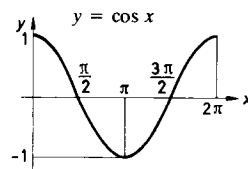
Logaritamske su funkcije inverzne eksponencijalnim funkcijama.

### Kutne funkcije

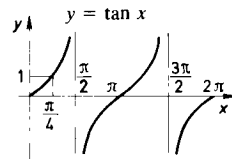
#### Sinus



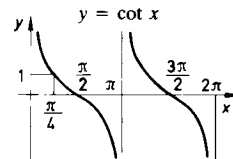
#### Kosinus



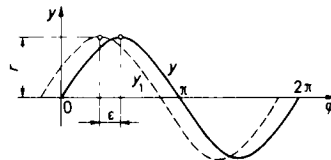
#### Tangens



#### Kotangens



### Pomaknuta sinusoida



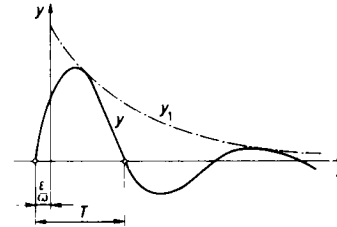
$$y = r \sin \varphi$$

$r$  – amplituda

Za fazni kut  $\epsilon$  pomaknuta sinusoida

$$y_1 = r \sin (\varphi + \epsilon)$$

### Krivulja prigušenog titranja



$$y = ce^{-ax} \sin (\omega x + \epsilon)$$

$$y_1 = ce^{-ax}$$

$$T = 2\pi/\omega$$

### Logaritamski dekrement

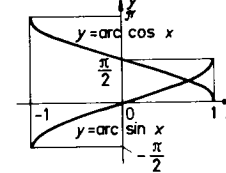
$$\Lambda = \ln \frac{y_i}{y_{i+1}} = a \frac{\pi}{\omega}$$

$y_i$  i  $y_{i+1}$  su ordinate dvaju susjednih ekstrema.

### Ciklometrične funkcije

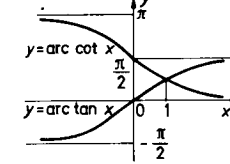
Arkus sinus      Arkus kosinus

$$y = \arcsin x \quad y = \arccos x$$



Arkus tangens      Arkus kotangens

$$y = \arctan x \quad y = \text{arccot } x$$



Ciklometričke su funkcije inverzija kutnih funkcija. Među njima postoje slijedeće veze:

$$\begin{aligned} \arcsin(-x) &= -\arcsin x \\ \arccos(-x) &= \pi - \arccos x \\ \arcsin x + \arccos x &= \pi/2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \arctan(-x) &= -\arctan x \\ \text{arccot}(-x) &= \pi - \text{arccot } x \\ \arctan x + \text{arccot } x &= \pi/2 \end{aligned}$$

### Hiperbolne funkcije

#### Sinus hiperbolni

$$y = \text{sh } x = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$$

#### Kosinus hiperbolni

$$y = \text{ch } x = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$$

#### Tangens hiperbolni

$$y = \text{th } x = \frac{\text{sh } x}{\text{ch } x} = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$

#### Kotangens hiperbolni

$$y = \text{cth } x = \frac{\text{ch } x}{\text{sh } x} = \frac{e^x + e^{-x}}{e^x - e^{-x}}$$

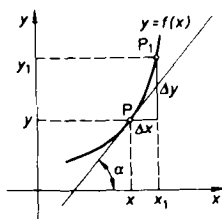
Osnovne veze među hiperbolnim funkcijama:

$$\begin{aligned} \text{ch}^2 x - \text{sh}^2 x &= 1 \\ 1 - \text{th}^2 x &= 1/(\text{ch}^2 x) \\ \text{cth}^2 x - 1 &= 1/(\text{sh}^2 x) \\ \text{sh } 2x &= 2 \text{ sh } x \text{ ch } x \\ \text{ch } 2x &= \text{ch}^2 x + \text{sh}^2 x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{sh}(x \pm y) &= \text{sh } x \text{ ch } y \pm \text{ch } x \text{ sh } y \\ \text{ch}(x \pm y) &= \text{ch } x \text{ ch } y \pm \text{sh } x \text{ sh } y \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{sh}^2 x &= (\text{ch } 2x - 1)/2 \\ \text{ch}^2 x &= (\text{ch } 2x + 1)/2 \end{aligned}$$

## DERIVACIJA FUNKCIJE



Derivacija funkcije  $y = f(x)$  u točki  $x$

$$y' = f'(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x} = \frac{dy}{dx}$$

Osnovna pravila deriviranja

$$\begin{aligned} [u(x) \pm v(x)]' &= u'(x) \pm v'(x) \\ [c \cdot u(x)]' &= c \cdot u'(x) \quad c = \text{konst} \\ [u(x) \cdot v(x)]' &= u'(x)v(x) + u(x)v'(x) \\ [u(x)/v(x)]' &= [u'(x)v(x) - u(x)v'(x)]/[v(x)]^2 \\ [u\{v(x)\}]' &= u'(v) \cdot v'(x) \end{aligned}$$

Derivacija elementarnih funkcija

$y = c$	$y' = 0$
$y = x^n$	$y' = nx^{n-1} \quad n - \text{realni broj}$
$y = \sqrt{x}$	$y' = 1/(2\sqrt{x})$
$y = a^x$	$y' = a^x \ln a$
$y = e^x$	$y' = e^x$
$y = \log_a x$	$y' = 1/(x \ln a)$
$y = \lg x$	$y' = 1/(2.3026 x)$
$y = \ln x$	$y' = 1/x$
$y = \sin x$	$y' = \cos x$
$y = \cos x$	$y' = -\sin x$
$y = \tan x$	$y' = 1/\cos^2 x = 1 + \tan^2 x$
$y = \cot x$	$y' = -1/\sin^2 x = -(1 + \cot^2 x)$
$y = \arcsin x$	$y' = 1/\sqrt{1-x^2}$
$y = \arccos x$	$y' = -1/\sqrt{1-x^2}$
$y = \arctan x$	$y' = 1/(1+x^2)$
$y = \text{arc cot } x$	$y' = -1/(1+x^2)$

**Diferencijal funkcije**  $y = f(x)$  u točki  $x$  je  $dy = f'(x)dx = df$

Osnovna pravila pri računanju diferencijala

$$\begin{aligned} d[u(x) \pm v(x)] &= du \pm dv & d[u(x) \cdot v(x)] &= u(x)dv + v(x)du \\ d[c \cdot u(x)] &= c \cdot du & d[u(x)/v(x)] &= [v(x)du - u(x)dv]/[v(x)]^2 \end{aligned}$$

**Derivacije višega reda**

Ako je  $f'(x)$  derivacija funkcije  $y = f(x)$ , tada je derivacija drugoga reda (druga derivacija)

$$f''(x) = [f'(x)]' = y'' = d^2y/dx^2$$

Derivacija  $n$ -tog reda funkcije  $f(x)$

$$f^{(n)}(x) = [f^{(n-1)}(x)]' = y^{(n)} = d^n y/dx^n$$

## Derivacija parametarski zadane funkcije

Za funkciju  $x = x(t)$ ,  $y = y(t)$ , gdje je  $t$  parametar, bit će  $y'(x) = \dot{y}(t)/\dot{x}(t)$  i  $y''(x) = [\dot{x}(t)\ddot{y}(t) - \ddot{x}(t)\dot{y}(t)]/[\dot{x}(t)]^3$ , pri čemu je točkom označena derivacija funkcije s obzirom na parametar  $t$ .

## Geometrijsko značenje derivacije funkcije

Derivacija funkcije  $f'(x)$  jednaka je koeficijentu nklona tangente na krivulju  $f(x)$  u točki  $x$

$$f'(x) = \tan \alpha$$

Tangenta na krivulju  $f(x)$  u točki  $P_1(x_1, y_1)$

$$y - y_1 = f'(x_1)(x - x_1)$$

Normala na krivulju  $f(x)$  u točki  $P_1(x_1, y_1)$

$$y - y_1 = [-1/f'(x_1)](x - x_1)$$

Ekstremne vrijednosti funkcije  $f(x)$  bit će u točki, gdje je  $f'(x) = 0$ :

maksimum (A):  $f'(x_A) = 0 \quad f''(x_A) < 0$

minimum (B):  $f'(x_B) = 0 \quad f''(x_B) > 0$

Infleksija funkcije  $f(x)$  će biti u točki (C), gdje

$$f''(x_C) = 0 \quad \text{in} \quad f'''(x_C) \neq 0$$

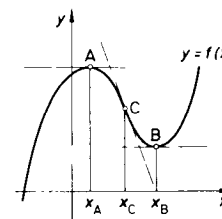
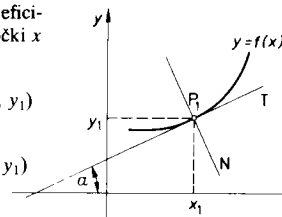
Za krivulju  $y = f(x)$  su:

– polumjer kružnice zakrivljenosti

$$r = \sqrt{(1 + y'^2)^3}/|y''|$$

– koordinate središta kružnice zakrivljenosti

$$p = x - [y'(1 + y'^2)]/y'' \quad q = y + (1 + y'^2)/y''$$



## Parcijalna derivacija

Parcijalnu derivaciju funkcije  $z = f(x, y)$  – npr. po varijabli  $x$  – računamo tako, da nezavisnu varijablu  $x$  deriviramo, dok nezavisnu varijablu  $y$  pritom smatramo konstantom.

Parcijalna derivacija po  $x$  funkcije  $z = f(x, y)$

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x, y) - f(x, y)}{\Delta x}$$

Totalni diferencijal funkcije  $z$

$$dz = \frac{\partial z}{\partial x} dx + \frac{\partial z}{\partial y} dy$$

Parcijalna derivacija po  $y$  funkcije  $z = f(x, y)$

$$\frac{\partial z}{\partial y} = \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \frac{f(x, y + \Delta y) - f(x, y)}{\Delta y}$$

Derivacije implicitne funkcije  $y(x)$ , zadane jednačom  $\varphi(x, y) = 0$

$$y'(x) = - \frac{\partial \varphi / \partial x}{\partial \varphi / \partial y}$$

## INTEGRAL

### Neodređeni integral

$\int f(x) dx = I(x) + C$ , gdje je  $I'(x) = f(x)$ ,  $C = \text{konst}$

Osnovna pravila za izračunavanje neodređenog integrala

$$\begin{aligned}\int [u(x) \pm v(x)] dx &= \int u(x) dx \pm \int v(x) dx \\ \int [C \cdot u(x)] dx &= C \int u(x) dx\end{aligned}$$

Parcijalna integracija (*integratio per partes*)

$$\int u(x) dv = u(x) v(x) - \int v(x) du$$

Neki osnovni integrali

$$\begin{aligned}\int a dx &= ax + C \\ \int x^n dx &= (x^{n+1})/(n+1) + C \quad n \neq -1 \\ \int (1/x) dx &= \ln x + C \\ \int a^x dx &= a^x / \ln a + C \\ \int e^x dx &= e^x + C \\ \int \ln x dx &= x(\ln x - 1) + C \quad \int (1/\sin^2 x) dx = -\cot x + C \\ \int \sin x dx &= -\cos x + C \quad \int (1/\cos^2 x) dx = \tan x + C \\ \int \cos x dx &= \sin x + C \quad \int (1/\sqrt{1-x^2}) dx = \arcsin x + C \\ \int \tan x dx &= -\ln |\cos x| + C \quad \int [1/(1+x^2)] dx = \arctan x + C \\ \int \cot x dx &= \ln |\sin x| + C \quad \int (1/\sqrt{x^2-a^2}) dx = \ln(x + \sqrt{x^2-a^2}) + C\end{aligned}$$

Uvođenje nove integracijske varijable

$$\begin{aligned}x &= x(t) & dx &= \dot{x}(t) dt \\ \int f(x) dx &= \int f[x(t)] \dot{x}(t) dt\end{aligned}$$

Primjeri:

- $\int (a + bx)^n dx = \int t^n (1/b) dt = (1/b) (a + bx)^{n+1}/(n+1) + C \quad n \neq -1$   
 $a + bx = t \quad dx = (1/b) dt$
- $\int e^{nx} dx = (1/n) e^{nx} + C \quad \int \sin nx dx = -(1/n) \cos nx + C$   
 $nx = t \quad dx = (1/n) dt$
- $\int 1/(x^2 + 4) dx = (1/4) \int 1/[(x/2)^2 + 1] dx = (1/2) \arctan(x/2) + C$   
 $x/2 = t$

### Određeni integral

$$\int_a^b f(x) dx = [I(x)]_a^b = I(b) - I(a), \text{ kjer je } I(x) = \int f(x) dx$$

Upotreba određenog integrala

Proračunavanje duljine luka krivulje i površine lika

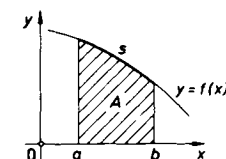
- Krivulja je zadana jednadžbom  $y = f(x)$ ,  
 $a \leq x \leq b$ .

Duljina luka  $s$  krivulje

$$s = \int_a^b \sqrt{1 + y'^2} dx \quad ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

Površina  $A$  lika između luka krivulje i osi  $x$

$$A = \int_a^b f(x) dx$$



- Krivulja je zadana parametarski

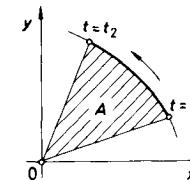
$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad t_1 \leq t \leq t_2$$

Duljina luka  $s$  krivulje

$$s = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} dt$$

Površina  $A$  lika

$$A = \frac{1}{2} \int_{t_1}^{t_2} (x\dot{y} - \dot{x}y) dt$$



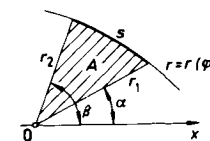
- Krivulja je zadana polarnim koordinatama  
 $r = r(\varphi), \quad \alpha \leq \varphi \leq \beta$ .

Duljina luka  $s$  krivulje

$$s = \int_{\alpha}^{\beta} \sqrt{r^2 + r'^2} d\varphi$$

Površina  $A$  isječka

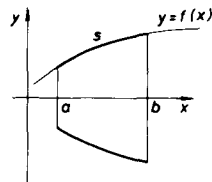
$$A = \frac{1}{2} \int_{\alpha}^{\beta} r^2(\varphi) d\varphi$$





### Izračunavanje površine i volumena rotacijskih tijela

Rotacijsko tijelo nastaje rotacijom krivulje  $y = f(x)$  oko osi  $x$ ,  $a \leq x \leq b$ .



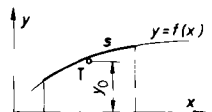
Površina  $A$  rotacijskog tijela

$$A = 2\pi \int_a^b y \sqrt{1 + y'^2} dx$$

Volumen  $V$  rotacijskog tijela

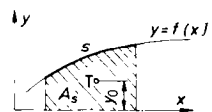
$$V = \pi \int_a^b y^2 dx$$

Guldinova pravila:



Površina  $A$  rotacijskog tijela jednaka je umnošku duljine luka  $s$  krivulje i opsega kružnice što ga opisuje njeno težište  $T$ :

$$A = 2\pi y_0 s$$



Volumen  $V$  rotacijskog tijela jednak je umnošku površine plohe  $A_s$  ispod krivulje i opsega kružnice što ga opisuje težište  $T$ :

$$V = 2\pi y_0 A_s$$

Težišta linija, likova i tijela – vidi st. 106 do 108.

### Numerička integracija

Često treba izračunati vrijednost određenog integrala gdje je funkcija  $f(x)$  zadana u obliku tablice ili ne poznajemo njen neodređeni integral.

#### Trapezna jednačba

Interval  $[a, b]$  podijelimo na  $n$  jednakih delova širine  $h = (b - a)/n$ . Konačne točke  $k$ -toga podintegrala su

$$x_{k-1} = x_0 + (k - 1)h \quad x_k = x_0 + kh$$

pri čemu vrijedi:  $x_0 = a$ ,  $x_n = b$ ,  $f(x_k) = y_k$ , pa je

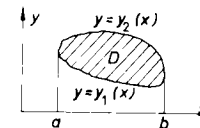
$$\int_a^b f(x) dx \approx h \left( \frac{1}{2} y_0 + y_1 + \dots + y_{n-1} + \frac{1}{2} y_n \right)$$

### Višestruki integrali

#### Dvostruki integral

Dvostruki integral funkcije  $f(x, y)$  na području  $D$  izračunavamo jednačbom

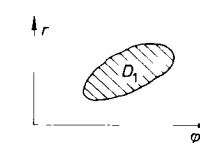
$$\iint_D f(x, y) dx dy = \int_a^b dx \int_{y_1(x)}^{y_2(x)} f(x, y) dy$$



Transformacija dvostrukog integrala u polarne koordinate

$$x = r \cos \varphi \quad y = r \sin \varphi$$

$$\iint_D f(x, y) dx dy = \iint_{D_1} f(r \cos \varphi, r \sin \varphi) r dr d\varphi$$



Površina područja  $D_1$

$$A = \iint_D dx dy$$

Volumen tijela što ga nad područjem  $D$  omeđuju plohe, dane jednačbama:

$$z = z_1(x, y) \quad \text{in} \quad z = z_2(x, y)$$

gdje su:

$$z_2(x, y) \geq z_1(x, y) \quad (x, y) \in D$$

$$V = \iint_D [z_2(x, y) - z_1(x, y)] dx dy$$

#### Trostruki integral

Trostruki integral funkcije  $f(x, y, z)$  na području  $V$  izračunavamo jednačbom

$$\iiint_V f(x, y, z) dx dy dz = \int_a^b dx \int_{y_1(x)}^{y_2(x)} dy \int_{z_1(x, y)}^{z_2(x, y)} f(x, y, z) dz$$

Transformacija trostrukog integrala u polarne (kugline) koordinate:

$$x = r \cos \varphi \cos \vartheta \quad y = r \cos \varphi \sin \vartheta \quad z = r \sin \varphi$$

$$\iiint_V f(x, y, z) dx dy dz = \iiint_{V_1} f(r \cos \varphi \cos \vartheta, r \cos \varphi \sin \vartheta, r \sin \varphi) r^2 \cos \varphi dr d\varphi d\vartheta$$

## DIFERENCIJALNE JEDNADŽBE

Diferencijalna jednačina s rastavljivim varijablama

$$f(x)dx = g(y)dy$$

Opće rješenje

$$\int f(x)dx = \int g(y)dy + C \quad C = \text{konst}$$

Homogena diferencijalna jednačina

$$y' = f\left(\frac{y}{x}\right)$$

Rješavamo je supstitucijom

$$y = ux, \quad y' = u'x + u$$

Opće rješenje

$$\int \frac{1}{x} dx = \int \frac{1}{f(u) - u} du + C$$

Linearna diferencijalna jednačina 1. reda

$$y' + g(x)y + h(x) = 0$$

Opće rješenje

$$y = -e^{-G(x)} \int h(x)e^{G(x)}dx + Ce^{-G(x)}$$

gdje je

$$G(x) = \int g(x)dx$$

Homogena diferencijalna jednačina 2. reda s konstantnim koeficijentima

$$y'' + a_1y' + a_2y = 0$$

Rješenje pomoću

$$y = e^{kx}, \quad y' = ke^{kx}, \quad y'' = k^2e^{kx}$$

otkuda proizlazi karakteristična jednačina

$$k^2 + a_1k + a_2 = 0$$

Opće rješenje diferencijalne jednačine ovisno je o korijenima  $k_1$  i  $k_2$  karakteristične jednačine:

$$k_1, k_2 - \text{različiti realni brojevi} \quad y = C_1e^{k_1x} + C_2e^{k_2x}$$

$$k_1, k_2 - \text{jednaki realni brojevi: } k_1 = k_2 = k \quad y = (C_1 + C_2x)e^{kx}$$

$$k_1, k_2 - \text{konjugirano kompleksni brojevi: } k_{1,2} = a \pm ib$$

$$y = e^{ax}(C_1 \cos bx + C_2 \sin bx)$$

Nehomogene linearne diferencijalne jednačine 2. reda rješavaju se metodom varijacije konstanti.

## VEKTORI

Skalari su veličine potpuno određene samo jednim podatkom (npr. vrijeme, masa, radnja, energija, temperatura itd.).

Skalare označujemo simbolima, npr.  $a$ .

Vektori su veličine, određene intenzitetom (apsolutnom vrijednošću) i smjerom (npr. sila, moment, brzina, ubrzanje itd.).

Vektore označujemo znakom iznad simbola, npr.  $\vec{a}$  ili debljim simbolom, npr.  $\mathbf{a}$ ; geometrijski ih prikazujemo orijentiranim dužinama\*.

Vektori mogu biti slobodni ili vezani. Slobodni se vektori mogu pomicati u svojem smjeru ili paralelno kamo god u prostoru, a njihovo hvatište može biti svaka točka u prostoru (npr. moment para sila). Vezani se vektori mogu pomicati samo u svojem smjeru, a njihovo hvatište može biti samo neka točka na pravcu u kojem djeluju (npr. sila, kutna brzina). – Više sila koje djeluju u istoj točki su slobodni vektori, ali ako djeluju u različitim točkama, to su vezani vektori.

Apsolutna vrijednost vektora  $|\mathbf{a}| = a$  je dužina kojom prikazujemo vektor.

Ako je vektor zadan svojim komponentama (koordinatama)

$$\mathbf{a} = (a_x, a_y, a_z)$$

vrijedi

$$|\mathbf{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

Vektori  $\mathbf{a} = (a_x, a_y, a_z)$  i  $\mathbf{b} = (b_x, b_y, b_z)$  su jednaki, ako su im jednake sve komponente

$$a_x = b_x \quad a_y = b_y \quad a_z = b_z$$

Radij vektor je vektor, koji vodi od koordinatnoga ishodišta 0 do točke P u prostoru, a označujemo ga sa  $\mathbf{r}$

$$\mathbf{r} = \vec{OP}$$

Njegove koordinate su i koordinate točke

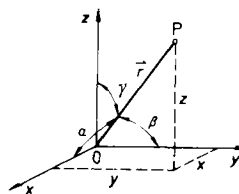
P(x, y, z)

$$\mathbf{r} = (x, y, z)$$

$$|\mathbf{r}| = r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

Ako vektor  $\mathbf{r}$  zatvara s osima koordinata kutove  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$ , bit će smjerni kosinusi vektora  $\mathbf{r}$

$$\cos \alpha = \frac{x}{r} \quad \cos \beta = \frac{y}{r} \quad \cos \gamma = \frac{z}{r}$$



\* U ovom su priručniku vektori označeni sa  $\vec{a}$  – u slikama, a sa  $\mathbf{a}$  – u tekstu (iz crtačkih i tiskarskih razloga).

### Zbrajanje i oduzimanje vektora

Vektore zbrajamo i oduzimamo po zakonu paralelograma.

Zbroj vektora  $\mathbf{s} = \mathbf{a} + \mathbf{b}$

Koordinate zbroja  $\mathbf{s} = (s_x, s_y, s_z)$  su

$$s_x = a_x + b_x$$

$$s_y = a_y + b_y$$

$$s_z = a_z + b_z$$

Razlika vektora  $\mathbf{d} = \mathbf{a} - \mathbf{b}$

Koordinate razlike  $\mathbf{d} = (d_x, d_y, d_z)$  su

$$d_x = a_x - b_x$$

$$d_y = a_y - b_y$$

$$d_z = a_z - b_z$$

$$\mathbf{a} + \mathbf{b} = \mathbf{b} + \mathbf{a} \quad (\mathbf{a} + \mathbf{b}) + \mathbf{c} = \mathbf{a} + (\mathbf{b} + \mathbf{c}) \quad \mathbf{a} - \mathbf{a} = \mathbf{0}$$

$$\mathbf{0} = \mathbf{0} = (0, 0, 0)$$

### Množenje vektora

a) Množenje vektora skalarom  $m$ , koji je proizvoljan realan broj

$$m\mathbf{a} = (ma_x, ma_y, ma_z)$$

Vektor  $m\mathbf{a}$  leži na istom pravcu kao i vektor  $\mathbf{a}$ , a njegova je apsolutna vrijednost

$$|m\mathbf{a}| = |m| |\mathbf{a}|$$

Za  $m > 0$  vektori  $\mathbf{a}$  i  $m\mathbf{a}$  su istog smisla

za  $m < 0$  vektori  $\mathbf{a}$  i  $m\mathbf{a}$  su suprotnog smisla

b) Skalarni produkt dvaju vektora  $\mathbf{a}$  i  $\mathbf{b}$  je skalar

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z = |\mathbf{a}| |\mathbf{b}| \cos \alpha$$

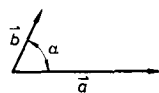
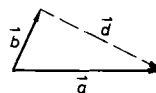
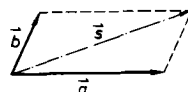
$\alpha$  je kut među vektorima  $\mathbf{a}$  i  $\mathbf{b}$ ; dobivamo ga iz

$$\cos \alpha = \mathbf{a} \cdot \mathbf{b} / (|\mathbf{a}| |\mathbf{b}|)$$

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = \mathbf{b} \cdot \mathbf{a} \quad (\mathbf{a} + \mathbf{b}) \cdot \mathbf{c} = \mathbf{a} \cdot \mathbf{c} + \mathbf{b} \cdot \mathbf{c}$$

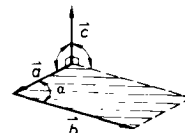
$$\alpha = 0: \quad \mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = |\mathbf{a}| |\mathbf{b}|$$

$$\alpha = \pi/2: \quad \mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = 0$$



c) Vektorski produkt dvaju vektora  $\mathbf{a}$  i  $\mathbf{b}$  je vektor

$$\mathbf{c} = \mathbf{a} \times \mathbf{b}$$



koji stoji okomito na ravninu vektora  $\mathbf{a}$  i  $\mathbf{b}$ . Njegova apsolutna vrijednost jednaka je površini paralelograma, omeđenoga vektorima  $\mathbf{a}$  i  $\mathbf{b}$ . Vektor  $\mathbf{c}$  ima smisao, određen po pravilu desnog vijka.

Koordinate vektorskog produkta  $\mathbf{c} = (c_x, c_y, c_z)$  su:

$$c_x = a_y b_z - a_z b_y, \quad c_y = a_z b_x - a_x b_z, \quad c_z = a_x b_y - a_y b_x$$

$$\mathbf{a} \times \mathbf{b} = -\mathbf{b} \times \mathbf{a} \quad (\mathbf{a} + \mathbf{b}) \times \mathbf{c} = \mathbf{a} \times \mathbf{c} + \mathbf{b} \times \mathbf{c}$$

$$\text{Za } \alpha = 0, \pi \quad \text{je} \quad \mathbf{a} \times \mathbf{b} = \mathbf{0}$$

Površina  $A$ , koju određuju vektori  $\mathbf{a}$  i  $\mathbf{b}$ , je

$$\text{za trokut } A = 1/2 |\mathbf{a} \times \mathbf{b}| \quad \text{za paralelogram } A = |\mathbf{a} \times \mathbf{b}|$$

č) Mješoviti produkt vektora  $\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{b}$  i  $\mathbf{c}$  je skalar

$$(\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c}) = \mathbf{a} \cdot (\mathbf{b} \times \mathbf{c}) = (\mathbf{a} \times \mathbf{b}) \cdot \mathbf{c}$$

Apsolutna vrijednost mješovitog produkta jednaka je volumenu  $V$  paralelopipeda, konstruiranoga nad vektorima  $\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{b}$  i  $\mathbf{c}$  u prostoru

$$V = |(\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c})|$$

d) Rastavljanje vektora u ravnini i prostoru

Ako vektori  $\mathbf{a} = (a_x, a_y, a_z)$  i  $\mathbf{b} = (b_x, b_y, b_z)$  nisu paralelni ( $\mathbf{a} \times \mathbf{b} \neq \mathbf{0}$ ), tada se svaki treći vektor  $\mathbf{c} = (c_x, c_y, c_z)$ , koji leži u njihovoj ravnini rastavlja u obliku

$$\mathbf{c} = m\mathbf{a} + n\mathbf{b}$$

gdje su  $m$  i  $n$  skalari, određeni jednačbama:

$$m = \frac{c_y b_z - c_z b_y}{a_x b_z - a_z b_y}, \quad n = \frac{a_x c_y - a_y c_x}{a_x b_z - a_z b_y}$$

Ako vektori  $\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{b}$  i  $\mathbf{c}$  nisu u istoj ravnini (miješani produkt  $(\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c}) \neq 0$ ), tada svaki četvrti vektor  $\mathbf{d}$  u prostoru rastavljamo u obliku

$$\mathbf{d} = m\mathbf{a} + n\mathbf{b} + p\mathbf{c}$$

gdje su skalari  $m$ ,  $n$  i  $p$  određeni jednačbama:

$$m = \frac{(\mathbf{d}, \mathbf{b}, \mathbf{c})}{(\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c})}, \quad n = \frac{(\mathbf{d}, \mathbf{c}, \mathbf{a})}{(\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c})}, \quad p = \frac{(\mathbf{d}, \mathbf{a}, \mathbf{b})}{(\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c})}$$

### Krivulje u prostoru

Duljinu luka  $s$  prostorne krivulje  $x = x(t)$ ,  $y = y(t)$ ,  $z = z(t)$  za  $\alpha \leq t \leq \beta$  proračunavamo jednažbom

$$s = \int_{\alpha}^{\beta} \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2} dt$$

Ako je krivulja dana jednažbama  $y = y(x)$ ,  $z = z(x)$ , bit će duljina luka  $s$  za  $a \leq x \leq b$  jednaka

$$s = \int_a^b \sqrt{1 + y'^2 + z'^2} dx$$

Za krivulju danu u vektorskom obliku jednažbom

$$\begin{aligned} \mathbf{r} &= \mathbf{r}(t) = (x(t), y(t), z(t)) \\ \dot{\mathbf{r}} &= (\dot{x}(t), \dot{y}(t), \dot{z}(t)) \end{aligned}$$

bit će:

infleksijska zakrivljenost

$$\frac{1}{\rho} = \frac{|\dot{\mathbf{r}} \times \ddot{\mathbf{r}}|}{|\dot{\mathbf{r}}|^3}$$

torzijska zakrivljenost

$$\frac{1}{\tau} = \frac{(\dot{\mathbf{r}}, \ddot{\mathbf{r}}, \dddot{\mathbf{r}})}{|\dot{\mathbf{r}} \times \ddot{\mathbf{r}}|^2}$$

### Skalarna i vektorska polja

Skalarno polje  $u = u(x, y, z)$

Vektorsko polje  $\mathbf{V} = (X(x, y, z), Y(x, y, z), Z(x, y, z))$

Operator derivacije (nabla):  $\nabla = \left( \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right)$

Gradijent skalarnoga polja  $u$  je vektorsko polje

$$\text{grad } u = \left( \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y}, \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \nabla u$$

Divergencija vektorskog polja  $\mathbf{V}$  je skalarno polje, određeno jednažbom

$$\text{div } \mathbf{V} = \nabla \cdot \mathbf{V} = \frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z}$$

Rotor vektorskog polja  $\mathbf{V}$  je vektorsko polje, određeno jednažbom

$$\text{rot } \mathbf{V} = \nabla \times \mathbf{V} = \left( \frac{\partial Z}{\partial y} - \frac{\partial Y}{\partial z}, \frac{\partial X}{\partial z} - \frac{\partial Z}{\partial x}, \frac{\partial Y}{\partial x} - \frac{\partial X}{\partial y} \right)$$

Vektorsko je polje  $\mathbf{V}$  potencijalno, ako je izvedeno kao gradijent skalarnoga polja  $u$

$$\mathbf{V} = \text{grad } u$$

Vektorsko je polje  $\mathbf{V}$  solenoidalno (bez izvora), ako je  $\text{div } \mathbf{V} = 0$ .

Vektorsko polje  $\mathbf{V}$  nema vrtloga, ako je  $\text{rot } \mathbf{V} = 0$ . Bezvrtložno je vektorsko polje samo tada, ako je potencijalno.

Vektorsko polje  $\mathbf{V}$  je harmoničko (Laplaceovo), ako u njemu nema ni izvora, ni vrtloga. Tada postoji takvo skalarno polje  $u$  kod kojega je

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \Delta u = 0$$

gdje je

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad - \quad \text{Laplaceov operator}$$

### Derivacija i integracija vektorskih funkcija

Definicije vektorske funkcije  $\mathbf{a}(t)$  realne varijable  $t$  i njene derivacije su iste kao pri skalarnoj funkciji.

Derivacija zbroja i razlike vektora

$$[m\mathbf{a}(t) \pm n\mathbf{b}(t)]' = m\mathbf{a}'(t) \pm n\mathbf{b}'(t)$$

Derivacija skalarnog produkta

$$[\mathbf{a}(t) \cdot \mathbf{b}(t)]' = \mathbf{a}'(t) \cdot \mathbf{b}(t) + \mathbf{a}(t) \cdot \mathbf{b}'(t)$$

Derivacija vektorskoga produkta

$$[\mathbf{a}(t) \times \mathbf{b}(t)]' = \mathbf{a}'(t) \times \mathbf{b}(t) + \mathbf{a}(t) \times \mathbf{b}'(t)$$

Vektor  $\mathbf{a}(t)$  s komponentama  $X$ ,  $Y$  i  $Z$  (koje su skalarne funkcije)

$$\mathbf{a}(t) = [X(t), Y(t), Z(t)]$$

ima derivaciju

$$\mathbf{a}'(t) = [X'(t), Y'(t), Z'(t)]$$

Funkcija  $\mathbf{a}(t, s)$  ima dvije parcijalne derivacije

$$\mathbf{a}_t = \left( \frac{\partial X}{\partial t}, \frac{\partial Y}{\partial t}, \frac{\partial Z}{\partial t} \right) \quad \mathbf{a}_s = \left( \frac{\partial X}{\partial s}, \frac{\partial Y}{\partial s}, \frac{\partial Z}{\partial s} \right)$$

i totalni diferencijal

$$d\mathbf{a} = \mathbf{a}_t dt + \mathbf{a}_s ds$$

Neodređeni integral vektorske funkcije

$$\mathbf{a}(t) = (X(t), Y(t), Z(t))$$

dan je jednažbom

$$\int \mathbf{a}(t) dt = \left( \int X(t) dt, \int Y(t) dt, \int Z(t) dt \right)$$

a određeni integral za  $\alpha \leq t \leq \beta$  jednažbom

$$\int_{\alpha}^{\beta} \mathbf{a}(t) dt = \left( \int_{\alpha}^{\beta} X(t) dt, \int_{\alpha}^{\beta} Y(t) dt, \int_{\alpha}^{\beta} Z(t) dt \right)$$

## LAPLACEOVA TRANSFORMACIJA

Laplaceov transformat  $F(x)$  funkcije  $f(t)$  (za realni broj  $t$ ) definiran je jednačom

$$F(x) = L\{f(t)\} = \int_0^{\infty} e^{-tx} f(t) dt \quad x \in \mathbb{C}$$

Svojstva transformacije:

$$L\{a f(t) + b g(t)\} = a L\{f(t)\} + b L\{g(t)\}$$

Za  $L\{f(t)\} = F(x)$  je:

$$L\{f(at)\} = 1/a \cdot F(x/a) \quad a > 0$$

$$L\{e^{-at} f(t)\} = F(x + a)$$

$$L\{f'(t)\} = x F(x) - f(0)$$

$$L\{f^{(n)}(t)\} = x^n F(x) - x^{n-1} f(0) - x^{n-2} f'(0) - \dots - x f^{(n-2)}(0) - f^{(n-1)}(0)$$

$$L\{t^n f(t)\} = (-1)^n F^{(n)}(x)$$

Primjeri transformacije:

$f(t)$	$F(x)$	$f(t)$	$F(x)$
1	$1/x$	$\text{sh } at$	$a/(x^2 - a^2)$
$t^n$	$n!/x^{n+1}$	$\text{ch } at$	$x/(x^2 - a^2)$
$e^{at}$	$1/(x - a)$	$t e^{at}$	$1/(x - a)^2$
$\sin at$	$a/(x^2 + a^2)$	$t \sin at$	$2ax/(x^2 + a^2)^2$
$\cos at$	$x/(x^2 + a^2)$	$t \cos at$	$(x^2 - a^2)/(x^2 + a^2)^2$

Primjeri inverzne transformacije:

$F(x)$	$f(t)$
1	$\delta(t)$ (impulsna funkcija)
$1/x^n$	$t^{n-1}/(n-1)!$
$1/(x - a)^n$	$t^{n-1} e^{at}/(n-1)!$
$1/(1 + ax)$	$1/a \cdot e^{-t/a}$
$1/[(x - b)^2 + a^2]$	$1/a \cdot e^{bt} \sin at$
$(x - b)/[(x - b)^2 + a^2]$	$e^{bt} \cos at$
$1/[(x - b)^2 - a^2]$	$1/a \cdot e^{bt} \text{sh } at$
$(x - b)/[(x - b)^2 - a^2]$	$e^{bt} \text{ch } at$

## STATISTIKA

Matematička se statistika bavi metodama vrednovanja pokusima dobivenih podataka, da bi ustanovila vjerojatne zakonitosti opaženih slučajnih pojava i veličina.

### Statistička vjerojatnost

Relativna učestalost  $p$  događaja A određena je omjerom

$$p = \frac{m}{n}$$

gdje znače

$n$  — broj ponavljanja pokusa

$m$  — broj koliko se puta događaj A zbija.

Relativna je učestalost uvijek

$$0 \leq p \leq 1$$

pri čemu vrijedi

za  $p = 0$  je  $m = 0$ : događaj nije moguć ni pri jednom opažanju,

za  $p = 1$  je  $m = n$ : događaj se zbija pri svakom opažanju.

Ako je broj  $n$  vrlo velik, uzimamo, da je relativna učestalost  $p$  približno jednaka statističkoj vjerojatnosti događaja A pri pokusu.

### Statistički prosjek

Najznačajnije karakteristike slučajnih veličina su prosječna vrijednost i varijanca.

Prosječna vrijednost  $\bar{x}$  je broj, oko kojeg su nanizane pokusima dobivene vrijednosti slučajne veličine

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

gdje su

$n$  — broj jednakih pokusa

$x_i$  — vrijednost slučajne veličine pri  $i$ -tom pokusu.

Ako su vrijednosti  $x_i$  brojčano velike, možemo odabrati približnu prosječnu vrijednost  $X$  i računati s razlikama

$$\bar{x} = X + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - X)$$

Zbroj odstupanja vrijednosti slučajne veličine  $x_i$  od njene prosječne vrijednosti  $\bar{x}$  jednaka je 0

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) = 0$$

Mjera rasapa  $s^2$  (varijanca) je pri  $n$  pokusa dobivena prosječna vrijednost svote kvadrata odstupanja slučajne veličine  $x_i$  od njene prosječne vrijednosti  $\bar{x}$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Standardna devijacija  $s$  je realni korijen mjere rasapa

$$s = + \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Relativna standardna devijacija (koeficijent varijacije) je

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (= \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100\%)$$

Ako pokusom izmjerimo dvije slučajne veličine  $x$  i  $y$ , a pri  $n$  mjerenjima dobivamo za njih vrijednosti:

$$x_1, x_2, \dots, x_n \quad \text{in} \quad y_1, y_2, \dots, y_n$$

to će za veličine  $x$  i  $y$  biti karakterističan broj  $s_{x,y}$  (kovarijanca)

$$s_{x,y} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

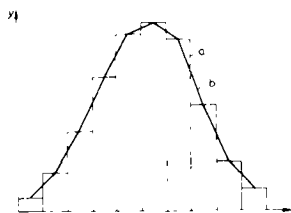
\*

Za vrlo veliki osnovni skup vrijedi ukupna devijacija

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - m)^2}$$

gdje su:  $N$  – kardinalni broj (brojnost osnovnog skupa),  $m$  – srednja vrijednost.

### Razdioba učestalosti



Histogram je dijagram, koji pokazuje učestalost vrijednosti slučajne veličine. U njemu se na apscisu nanose mjerene vrijednosti, a na ordinatu učestalost.

Iz grafikona razdiobe učestalosti (a) dobivamo spajanjem sredine vrhova izlomljenu crtu (b) koja se to više približava neprekidnoj krivulji, što je sitnija podjela na apscisi.

Pokusom dobiveni histogram je približenje zakonu razdiobe slučajne veličine.

### Normalna razdioba

Pri normalnoj razdiobi teče krivulja učestalosti po Gaussovu zakonu

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-m}{\sigma}\right)^2}$$

gdje su:  $m$  – srednja vrijednost,  $\sigma$  – standardna devijacija

Gaussova krivulja proteže se od  $-\infty$  do  $+\infty$ , a simetrična je s obzirom na vrijednost  $x = m$ , gdje je najveća učestalost

$$x = m \quad y_{\text{maks}} = 1/\sigma\sqrt{2\pi} = 0,399/\sigma$$

Od te vrijednosti krivulja vrlo naglo pada simetrično s obje strane i ima infleksiju u točkama  $x = m \pm \sigma$ , gdje je učestalost

$$x = m \pm \sigma \quad y = 0,607 y_{\text{maks}} = 0,242/\sigma$$

Nadalje vrijedi

$$x = m \pm 2\sigma \quad y = 0,135 y_{\text{maks}} = 0,054/\sigma$$

$$x = m \pm 3\sigma \quad y = 0,011 y_{\text{maks}} = 0,004/\sigma$$

Kod manjih vrijednosti  $\sigma$  krivulja je normalne razdiobe strma, a kod većih  $\sigma$  je položita.

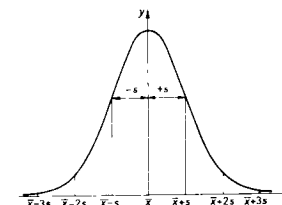
Cjelokupna površina lika među Gaussovom krivuljom i apscisnom osi iznosi

$$A = \int_{-\infty}^{+\infty} y dx = 1$$

a površine među Gaussovom krivuljom i apscisnom osi u pojedinim intervalima iznose:

u intervalu $m \pm 0,67 \sigma$	$A = 0,5$
u intervalu $m \pm \sigma$	$A = 0,683$
u intervalu $m \pm 2 \sigma$	$A = 0,955$
u intervalu $m \pm 3 \sigma$	$A = 0,997$

Gaussovu krivulju (koja vrijedi za vrlo veliki broj pokusa  $N$ ) možemo dovoljnom točnošću upotrebiti i pri manjem broju pokusa  $n$ , ako u njoj ukupnu devijaciju  $\sigma$  zamijenimo standardnom devijacijom  $s$ , a srednju vrijednost  $m$  prosječnom vrijednošću  $\bar{x}$ .



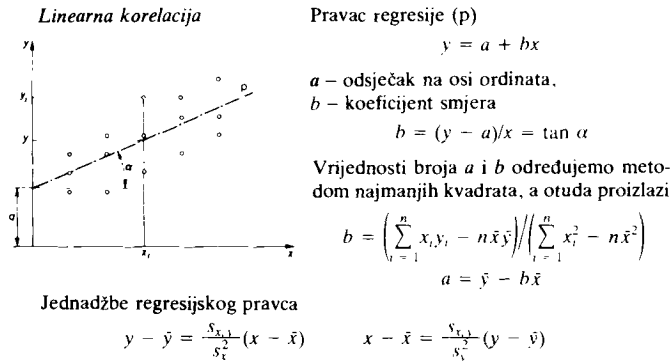
Druge značajnije razdiobe:

binomna, Poissonova, Studentova, razdioba  $\chi^2$  itd.

## Regresija i korelacija

Krivulja koja spaja pokusom dobivenih  $n$  točaka, s apscisama  $x_1, x_2, \dots, x_n$  i ordinatama  $y_1, y_2, \dots, y_n$  nazivamo regresijskom krivuljom odgovarajućih veličina  $x$  i  $y$ .

Želimo ustanoviti funkcionalnu zavisnost (korelaciju)  $y = f(x)$ .



## Greške mjerenja

Pri svakom se mjerenju – bez obzira na okolnosti – pojavljuje *mjerna greška*  $\Delta x$ , a to je razlika između izmjerene vrijednosti  $x_i$  i stvarne vrijednosti  $x$

$$\Delta x = x_i - x$$

Iz izmjerene vrijednosti, koju po potrebi valja popraviti (npr. greška mjernog uređaja) ili naknadno preračunati, proizlazi *mjerni rezultat*.

*Sistematske greške* pojavljuju se pod jednakim okolnostima i uvijek s jednakom vrijednošću i jednakim predznakom. Možemo ih lako ustanoviti i odgovarajuće računski ispraviti (npr. netočnost = greška mjernog uređaja).

*Slučajne greške* javljaju se po mjestima i vremenu potpuno nesređeno, s različnim vrijednostima i predznacima (npr. zbog istrošenosti, trenja i sl.). Ne možemo ih predvidjeti, a ne možemo ni popravljati mjerne rezultate. Zbog slučajnih grešaka postaju mjerni rezultati nepouzdana. Ovu manu možemo smanjiti samo većim brojem mjerenja.

U suprotnosti sa sistematskim i slučajnim greškama koje prate svako mjerenje, su *mnjeme greške*, a to su mjerna odstupanja koja potiču od zabuna mjerioca, nepravilnog mjernog postupka, oštećenog ili pokvarenog mjernog uređaja itd. Mjerne greške treba bezuvjetno izlučiti pri ocjeni mjernih rezultata.

## SUSTAVI MJERNIH JEDINICA

### Veličinske jednadžbe i koherentne jedinice

Veličina je svaki (fizikalni) pojam koji se može mjeriti, npr.: put, brzina, težina, temperatura, električni otpor itd. Po srodnosti fizikalnih pojava s kojima su vezane, dijelimo veličine na geometrijske, vremenske, mehaničke (masa, sila, rad i snaga), električne, magnetske itd.

Fizikalni zakoni određuju međusobnu zavisnost raznovrsnih veličina. Svaki matematički izraz, koji pokazuje samo međusobno zavisnost veličina zovemo *veličinskom jednadžbom*.\*

Veličine mjerimo uspoređivanjem s određenom vrijednošću iste veličine, koju smo odabrali za mjeru. Između različitih mjera odabiremo najprikladniju jedinicu.

Jedinice koje odgovaraju veličinskim jednadžbama su *dimenzijski koherentne jedinice*.

Od dimenzijski koherentnih jedinica možemo samo neke odabrati po volji. Nazivamo ih *osnovnim jedinicama*. Sve ostale jedinice koje određujemo iz osnovnih jedinica s pomoću odgovarajućih veličinskih jednadžbi (»definijske jednadžbe«) nazivamo *izvedenim jedinicama*.

Broj osnovnih jedinica veoma je malen. Za sve geometrijske veličine dovoljna je samo jedna osnovna jedinica: za duljinu. Kinematika treba već dvije osnovne jedinice: za duljinu i vrijeme. U kinetici moramo tim dvjema dodati i treću: za masu, a električne i magnetske veličine traže još i četvrtu: za jakost električne struje. Osim tih, potrebne su još osnovne jedinice za temperaturu, svjetlosnu jakost i količinu tvari (materije).

Sve druge jedinice možemo izvesti iz tih osnovnih jedinica.

Sustavi jedinica povezuju osnovne i izvedene jedinice u zajedničku dimenzijsku koherenciju. Novi međunarodni sustav jedinica (SI) odlikuje se dimenzijskom koherencijom za sve značajnije veličine u fizici i tehnici.

### Brojčane jednadžbe

Ako se pri izboru različitih veličina ne bismo obazirali na jedinice ostalih veličina, mogli bismo fizikalne zakone prikazati samo jednadžbama u kojima bi – kao parazitne koeficijente – trebalo uzimati u obzir i međusobne omjere različitih jedinica.

Takav matematički izraz, prilagođen povoljno odabranim dimenzijski nekoherentnim jedinicama, nije više veličinska jednadžba, već samo *brojčana jednadžba*.

Brojčane se jednadžbe upotrebljavaju samo kada se njima želi prikazati međusobni omjer veličina (npr. prema rezultatima mjerenja kod pokusa) kojih međusobna fizikalna ovisnost (još) nije poznata. U svim slučajevima kad su fizikalne ovisnosti poznate, opravdane su samo veličinske jednadžbe.

\* U ovome su priručniku sve jednadžbe pisane u veličinskom obliku.

## MEĐUNARODNI SUSTAV JEDINICA SI

Godine 1799. u Francuskoj su uredovno ustanovljene jedinice: m e t a r za duljinu i k i l o g r a m za masu.

Godine 1875. u Parizu je 17 država potpisalo *Međunarodnu metarsku konvenciju*, kojoj su postupno pristupale nove države članice, tako da je konvencija nakon sto godina imala 43 članice potpisnice (među njima i Jugoslaviju), dok je metarski sustav upotrebljavalo već više od 120 država.

Za primanje zaključaka Međunarodne metarske konvencije bile su zadužene *Generalne konferencije za utege i mjere*.

Godine 1901. je prof. Giorgi predložio novi »apsolutni sustav jedinica«, koji je bio prvobitno sastavljen za potrebe elektrotehnike te je, osim jedinica metra i kilograma t e s e k u n d e kao jedinice za vrijeme, povezivao sve najznačajnije elektrotehničke jedinice. Taj (»Giorgijev«) sustav jedinica je pokazao velike prednosti i na drugim tehničkim područjima, napose u mehanici. Stoga ga je 9. generalna konferencija za utege i mjere u Parizu god. 1948. definitivno primila kao opće prikladan sustav jedinica, koji ima, osim osnovnih jedinica (metra, kilograma i sekunde) još i četvrtu osnovnu jedinicu – a m p e r kao jedinicu za električnu struju, a nazvan je, po tim osnovnim jedinicama »sustav jedinica MKSA«.

10. generalna konferencija god. 1954. dodala je još dvije osnovne jedinice: stupanj Kelvina (godine 1969. preimenovan u k e l v i n) za temperaturu i k a n d e l u za jakost svjetla. 11. generalna konferencija je god. 1960. odredila mnogokratnike jedinica i novome sustavu jedinica dala ima **Međunarodni sustav jedinica SI** (*Système International d'Unités*). Na 13. generalnoj konferenciji god. 1967. ustanovljena je nova definicija za sekundu, a na 14. generalnoj konferenciji god. 1971 dodana je još i sedma osnovna jedinica – m o l kao osnovna jedinica za količinu tvari\*

Osnovne jedinice međunarodnoga sustava SI su sada:

za duljinu	– metar	m
za masu	– kilogram	kg
za vrijeme	– sekunda	s
za električnu struju	– amper	A
za temperaturu	– kelvin	K
za jakost svjetla	– kandela	cd
za količinu tvari	– mol	mol

U Jugoslaviji je međunarodni sustav jedinica SI uzakonjen g. 1976. Novi zakon o mjernim jedinicama i mjerama objavljen je u veljači 1984. s važnošću od 17. svibnja 1984.

## Osnovne jedinice SI:

Osnovna jedinica za duljinu – m e t a r (m), je bila najprije određena razmakom dviju crtica na međunarodnom prametu od platine i iridija pri temperaturi 0 °C. Prametar je bio određen mjerenjem Zemljina kvadranta, i to kao njegov 10-milijunti dio, ali je kasnijim mjerenjima ustanovljeno neznatno odstupanje od te definicije (kraći je za 0,2 mm).

17. generalna konferencija za mjere i utege u Parizu je g. 1983. odredila novu definiciju metra: to je duljina puta koju u vakuumu prevali svjetlost u 1/299 792 458 sekunde.

Osnovna jedinica za masu – k i l o g r a m (kg) – je određena masom međunarodnog prakilograma od platine i iridija.

Prakilogram je najprije bio određen masom 1 dm<sup>3</sup> destilirane vode pri 4 °C i tlaku 1,01325 bar. Kasnijim je mjerenjima ustanovljeno odstupanje i pri izradi prakilograma, koji stvarno odgovara masi od 1,000 028 dm<sup>3</sup> vode pri 4 °C.

Osnovna jedinica za vrijeme – s e k u n d a (s) – prvobitno je bila određena kao 86 400. dio srednjeg Sunčeva dana.

13. generalna konferencija za mjere i utege 1967. god u Parizu utvrdila je i novu definiciju sekunde: to je trajanja 9 192 631 770 perioda zračenja cezija <sup>133</sup>Cs.

Osnovna jedinica jakosti električne struje – a m p e r (A) – je istosmjerna električna struja koja protječući u vakuumu kroz dva ravna i međusobno 1 m udaljena paralelna vodiča beskonačne duljine i zanemarljivo malena presjeka uzrokuje među vodičima po svakom metru duljine silu od 2 · 10<sup>-7</sup> N.

Osnovna jedinica za temperaturu (termodinamičku) – k e l v i n (K) – je 273,16. dio temperaturnog intervala između apsolutne nule i trojne točke vode.

Osnovna jedinica za jakost svjetla – k a n d e l a (cd) – je jakost svjetla jednovalnoga zračenja frekvencije 540 · 10<sup>12</sup> Hz i snage 1/683 W/sr. (Hz, W i sr – vidi str. 57)

Jedinica za količinu tvari – m o l (mol) – jest ona količina tvari sustava koja sadrži toliko elementarnih čestica koliko je atoma u 12 g ugljika <sup>12</sup>C.

Kad upotrebljavamo mol, moraju elementarne čestice biti posebno označene. To mogu biti: atomi, molekule, ioni, elektroni i druge čestice ili posebno označene skupine takvih čestica.

Broj čestica u molu određuje Avogadrova konstanta

$$N_A = 6,022\,045 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$



### Izvedene jedinice SI

Od osnovnih jedinica međunarodnog sustava jedinica SI izvedene su dimenzijski koherentne jedinice geometrijskih i vremenskih veličina:

za površinu	– m <sup>2</sup>	za ubrzanje	– m/s <sup>2</sup>
za volumen	– m <sup>3</sup>	za kutnu brzinu	– 1/s
za brzinu	– m/s	za kutno ubrzanje	– 1/s <sup>2</sup>

Jedinica za silu proizlazi iz Newtonova zakona, da je sila  $F$  jednaka umnošku mase  $m$  s ubrzanjem  $a$  ( $F = ma$ ), iz kojeg slijedi dimenzijski koherentna jedinica

$$\text{za silu} - \text{kg m/s}^2 = \text{N}$$

Ta jedinica sile – nazvana »njutn (N)« – je ona sila koja tijelu mase 1 kg daje ubrzanje 1 m/s<sup>2</sup>.

Iz definicije, da je rad  $W$  umnožak sile  $F$  s putem  $s$  ( $W = Fs$ ) slijedi dimenzijski koherentna jedinica

$$\text{za rad} - \text{N m} = \text{J}$$

Ta jedinica energije (rada) – nazvana »džul (J)« – je rad sile 1 N na putu od 1 m.

U međunarodnom sustavu jedinica SI J je istovremeno i koherentna jedinica za toplinu, koja je samo poseban oblik energije.

Definicija za snagu  $P$ , koja je rad  $W$  obavljen u vremenu  $t$  ( $P = W/t$ ) daje dimenzijski koherentnu jedinicu

$$\text{za snagu} - \text{J/s} = \text{W}$$

Jedinica za snagu – nazvana »vat (W)« – je rad 1 J, izvršen u 1 s. Jedinica za energiju (rad) je dakle i J = Ws.

\*

Na te glavne dimenzijski koherentne jedinice međunarodnog sustava jedinica SI nastavljaju se jedinice električnih i magnetskih veličina.

Iz zakona o snazi  $P$  istosmjerne električne struje, koja je umnožak napona  $U$  i struje  $I$  ( $P = UI$ ), slijedi dimenzijski koherentna jedinica

$$\text{za napon} - \text{W/A} = \text{V}$$

Ta jedinica napona – nazvana »volt (V)« – je potencijalna razlika između dviju točaka vodiča u kojem se pri protoku istosmerne struje od 1 A troši među tim točkama snaga od 1 W.

Iz Ohmova zakona, po kojem je napon  $U$  jednak umnošku struje  $I$  i električnog otpora  $R$  ( $U = IR$ ) slijedi dimenzijski koherentna jedinica

$$\text{za električni otpor} - \text{V/A} = \Omega$$

Ta jedinica električnog otpora – nazvana »om (Ω)« – je otpor između dviju točaka vodiča među kojima pri naponu od 1 V teče istosmjerna struja od 1 A.

Slično su definirane i ostale koherentne jedinice međunarodnog sustava jedinica SI.

Izvedene jedinice međunarodnog sustava jedinica SI koje nose posebno ime:

za frekvenciju	— herc (hertz)	1 Hz = 1 s <sup>-1</sup>
za silu	— njutn (newton)	1 N = 1 kg m/s <sup>2</sup>
za energiju	— džul (joule)	1 J = 1 N m
za snagu	— vat (watt)	1 W = 1 J/s
za tlak	— paskal (pascal)	1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup>
za količinu elektriciteta	— kulon (coulomb)	1 C = 1 A s
za električni napon	— volt	1 V = 1 W/A
za električni otpor	— om (ohm)	1 Ω = 1 V/A
za električnu vodljivost	— simens (siemens)	1 S = 1 Ω <sup>-1</sup>
za električni kapacitet	— farad	1 F = 1 C/V
za električni induktivitet	— henri (henry)	1 H = 1 V s/A
za gustoću magnetskog toka	— tesla	1 T = 1 N/A m
za magnetski tok	— veber (weber)	1 Wb = 1 T m <sup>2</sup>
za svjetlosni tok	— lumen	1 lm = 1 cd sr
za razsvjetljenost	— luks (lux)	1 lx = 1 lm/m <sup>2</sup>
za radioaktivnost	— bekerel (becquerel)	1 Bq = 1 s <sup>-1</sup>
za apsorbiranu dozu zračenja	— grej (gray)	1 Gy = 1 J/kg
za ekvivalentnu dozu zračenja	— svert (sievert)	1 Sv = 1 J/kg

Koherentne jedinice međunarodnog sustava jedinica SI su i jedinice za kutove:

$$\text{za ravninski kut} - \text{radian} \quad 1 \text{ rad} = \text{puni ravninski kut}/2\pi$$

$$\text{za prostorni kut} - \text{steradian} \quad 1 \text{ sr} = \text{puni prostorni kut}/4\pi$$

Osim navedenih izvedenih koherentnih jedinica koje imaju posebna imena, koherentne jedinice međunarodnog sustava jedinica SI su i sve jedinice izvedene neposredno iz osnovnih jedinica množenjem ili dijeljenjem, npr.

$$\text{m}^2, \text{m}^3, \text{m}^4, \text{s}^{-1}, \text{s}^{-2}, \text{K}^{-1} \\ \text{m/s}, \text{m/s}^2, \text{m}^2/\text{s}, \text{m}^3/\text{s}, \text{kg/s}, \text{kg/m}^3, \text{kg m}$$

ili iz već izvedenih jedinica s posebnim imenom, npr.

$$\text{N m}, \text{N/m}^2, \text{N/m}^3, \text{N s/m}^2, \text{rad/s} \\ \text{J/kg}, \text{J/K}, \text{J/kg K}, \text{W/(m} \cdot \text{K)}, \text{W/m}^2 \text{K}, \text{W/m}^2 \text{K}^4$$

Pri jedinicama, koje su množenjem izvedene iz osnovnih jedinica ili izvedenih jedinica s posebnim imenom, valja među umnoženim jedinicama ostaviti vidljiv prostor ili točku (znak za množenje), npr.

$$\text{kg m} = \text{kg} \cdot \text{m} \quad (\text{ne: kgm}), \quad \text{N m} = \text{N} \cdot \text{m} \quad (\text{ne: Nm}), \\ \text{W/m K} = \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K}) \quad (\text{ne: W/mK})$$

Jednakovrijedni način pisanja

$$1 \frac{\text{W}}{\text{m K}} = 1 \text{ W/m K} = 1 \text{ W}/(\text{m K}) = 1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) = 1 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

### Decimalne mjerne jedinice

S obzirom na to da se mjerena veličina gdje kada mora izraziti neprikladno velikim ili malim brojem jedinica, ustanovljeni su u međunarodnom sustavu jedinica SI i decimalni višekratnici jedinica obilježeni posebnim predmecima:

predmetak	znak	vrijednost	predmetak	znak	vrijednost
deka	da	$10^1$	deci	d	$10^{-1}$
hekto	h	$10^2$	centi	c	$10^{-2}$
kilo	k	$10^3$	mili	m	$10^{-3}$
mega	M	$10^6$	mikro	$\mu$	$10^{-6}$
giga	G	$10^9$	nano	n	$10^{-9}$
tera	T	$10^{12}$	piko	p	$10^{-12}$
peta	P	$10^{15}$	femo	f	$10^{-15}$
eksa	E	$10^{18}$	ato	a	$10^{-18}$

Ti se decimalni višekratnici dodaju svim osnovnim i izvedenim jedinicama s posebnim imenom, a pišu se ispred tih jedinica i tik uz njih (bez razmaka), npr.

km, mm,  $\mu\text{m}$ ; dag, mg; ms,  $\mu\text{s}$ ; mA  
kN, MN, mN; kJ, MJ; kW, MW, GW,

Pisanjem predmetaka tik uz mjerne jedinice, decimalne se mjerne jedinice razlikuju od izvedenih jedinica koje su umnožak osnovnih ili izvedenih jedinica s posebnim imenom, pri kojima se mora ostaviti razmak (vidi str. 57). Tako treba razlikovati npr.

ms = milisekunda      m s = m · s = metar-sekunda  
mN = milinjutn      m N = m · N = metar-njutn  
W/mK = vat po milikelvinu      W/m K = W/(m · K) = vat po metar-kelvinu

Pri svakoj je decimalnoj mjernoj jedinici moguć samo jedan predmetak, npr.

$10^{-9}\text{m} = 1\text{ nm}$  (ne:  $= 1\text{ }\mu\text{mm}$ ),  $10^6\text{g} = 1\text{ Mg}$  (ne:  $= 1\text{ kkg}$ )

Decimalni se višekratnici ne dodaju jedinicama, izraženim potencijom (npr. jedinica za površinu, volumen, frekvenciju itd.) Dakle:

$1\text{ mm}^2 = (10^{-3}\text{m})^2 = 10^{-6}\text{m}^2$  (ne:  $= 1\text{ m}(\text{m}^2) = 10^{-3}\text{m}^2$ )  
 $1\text{ ns}^{-1} = (10^{-9}\text{s})^{-1} = 10^9\text{s}^{-1}$  (ne:  $= 1\text{ n}(\text{s}^{-1}) = 10^{-9}\text{s}^{-1}$ )  
 $1\text{ mm}^2/\text{s} = (10^{-3}\text{m})^2/\text{s} = 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$  (ne:  $= 1\text{ m}(\text{m}^2/\text{s}) = 10^{-3}\text{m}^2/\text{s}$ )

\* Upotreba višekratnika da, h, d i c je ograničena; treba ih upotrebljavati samo u slijedećim slučajevima:

dag, dalm, dl, dm, dm<sup>2</sup>, dm<sup>3</sup>  
ha, hl, cl, cm, cm<sup>2</sup>, cm<sup>3</sup>, cm<sup>4</sup>

### JEDINICE I MJERE VELIČINA

(dozvoljene jugoslavenskim zakonom o mjernim jedinicama i mjerilima)

#### Geometrijske veličine

#### 1. Duljina $l$ , put $s$

Jedinica SI 1 metar (m)

##### Druge mjere

nanometar 1 nm =  $10^{-9}\text{m} = 10^{-6}\text{mm}$   
mikrometar 1  $\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m} = 10^{-3}\text{mm}$   
milimetar 1 mm =  $10^{-3}\text{m}$   
centimetar 1 cm =  $10^{-2}\text{m} = 10\text{mm}$   
decimetar 1 dm =  $10^{-1}\text{m} = 10\text{cm}$   
kilometar 1 km =  $10^3\text{m}$   
morska milja\* = 1852 m

#### 2. Ploha, površina $A$ , $S$

Jedinica SI 1 kvadratni metar (m<sup>2</sup>)

##### Druge mjere

kvadratni milimetar 1 mm<sup>2</sup> =  $10^{-6}\text{m}^2$   
kvadratni centimetar 1 cm<sup>2</sup> =  $10^{-4}\text{m}^2$   
kvadratni decimetar 1 dm<sup>2</sup> =  $10^{-2}\text{m}^2$   
ar 1 a =  $10^2\text{m}^2$   
hektar 1 ha =  $10^4\text{m}^2 = 100\text{a}$   
kvadratni kilometar 1 km<sup>2</sup> =  $10^6\text{m}^2 = 100\text{ha}$

#### 3. Volumen (obujam, zapremina) $V$

Jedinica SI 1 kubni metar (m<sup>3</sup>)

##### Druge mjere

kubni milimetar 1 mm<sup>3</sup> =  $10^{-9}\text{m}^3$   
kubni centimetar 1 cm<sup>3</sup> =  $10^{-6}\text{m}^3$   
kubni decimetar 1 dm<sup>3</sup> =  $10^{-3}\text{m}^3$

##### Mjere za volumen tekućina (i sipkih tvari)

litar\*\* 1 l (1 L) =  $10^{-3}\text{m}^3 = 1\text{ dm}^3$   
mikrolitar 1  $\mu\text{l}$  (1  $\mu\text{L}$ ) =  $10^{-9}\text{m}^3 = 10^{-6}\text{l}$  ( $10^{-6}\text{L}$ )  
mililitar 1 ml (1 mL) =  $10^{-6}\text{m}^3 = 10^{-3}\text{l}$  ( $10^{-3}\text{L}$ )  
centilitar 1 cl (1 cL) =  $10^{-5}\text{m}^3 = 10^{-2}\text{l}$  ( $10^{-2}\text{L}$ )  
decilitar 1 dl (1 dL) =  $10^{-4}\text{m}^3 = 10^{-1}\text{l}$  ( $10^{-1}\text{L}$ )  
hektolitar 1 hl (1 hL) =  $10^{-1}\text{m}^3 = 10^2\text{l}$  ( $10^2\text{L}$ )

\* Smije se upotrebljavati samo za označavanje udaljenosti u pomorskom, riječnom i zračnom saobraćaju. – \*\* Oznake za litar: l i L su jednakovrijedne.

#### 4. Ravninski kut $\alpha$ , $\hat{\alpha}$

Ravninski kut je dio ravnine između dva pravca koji se sjeku u vrhu kuta. Merimo ga duljinom luka među sjecištima pravaca i kružnice sa središtem u vrhu kuta i to omjerima duljine luka i opsega kružnice ili duljine luka i polumjera kružnice ( $m/m = 1$ ).

Prirodna jedinica za ravninski kut je 1 puni kut\*. Puni kut je kut pri kojem je luk jednak opsegu kružnice.

Općenito su u upotrebi mjere za kut  $\alpha$ :

kutni stupanj  $1^\circ = \text{puni kut}/360$

kutna minuta  $1' = 1^\circ/60$

kutna sekunda  $1'' = 1'/60 = 1^\circ/3600$

Druge kutne mjere:

gradus ili gon  $1^g = \text{puni kut}/400$

pravi kut  $= \text{puni kut}/4$

Jedinica SI za lučnu mjeru (= analitički ravninski kut)  $\hat{\alpha}$  je 1 radijan (rad). Radian je kut, pri kojem je luk jednak polumjeru kružnice.

$1 \text{ rad} = \text{puni kut}/2\pi = 360^\circ/2\pi = 57,29578^\circ = 57^\circ 17' 45''$

Zbog razlikovanja su u ovom priručniku označeni:

— kutovi, mjereni u stupnjevima, oznakama  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma \dots$

— lučne mjere, mjerene u radijanima, oznakama  $\hat{\alpha}$ ,  $\hat{\beta}$ ,  $\hat{\gamma} \dots$

##### Pretvaranje radijana u kutne stupnjeve

rad	°	rad	°	rad	°	rad	°	rad	°
0,01	0,573	0,32	18,335	0,64	36,670	0,96	55,004	1,28	73,339
0,02	1,146	0,34	19,481	0,66	37,815	0,98	56,150	1,30	74,485
0,04	2,292	0,36	20,626	0,68	38,961	1,00	57,296	1,32	75,630
0,06	3,438	0,38	21,772	0,70	40,107	1,02	58,442	1,34	76,776
0,08	4,584	0,40	22,918	0,72	41,253	1,04	59,588	1,36	77,922
0,10	5,730	0,42	24,064	0,74	42,399	1,06	60,734	1,38	79,068
0,12	6,875	0,44	25,210	0,76	43,545	1,08	61,879	1,40	80,214
0,14	8,021	0,46	26,356	0,78	44,691	1,10	63,025	1,42	81,360
0,16	9,167	0,48	27,502	0,80	45,837	1,12	64,171	1,44	82,506
0,18	10,313	0,50	28,648	0,82	46,983	1,14	65,317	1,46	83,652
0,20	11,459	0,52	29,794	0,84	48,128	1,16	66,463	1,48	84,798
0,22	12,605	0,54	30,940	0,86	49,274	1,18	67,609	1,50	85,944
0,24	13,751	0,56	32,086	0,88	50,420	1,20	68,755	1,52	87,090
0,26	14,897	0,58	33,232	0,90	51,566	1,22	69,901	1,54	88,236
0,28	16,043	0,60	34,377	0,92	52,712	1,24	71,047	1,56	89,381
0,30	17,189	0,62	35,523	0,94	53,858	1,26	72,193	1,57	89,954

\* Predložena je (po DIN-u), no međunarodno još nije usvojena, oznaka: *pla* (lat. *plenus angulus* = puni kut). Jedinica puni kut potpuno odgovara jedinici jedan okretaj (vidi str. 62).

##### Pretvaranje kutnih stupnjeva, minuta i sekunda u radijane

$1^\circ = 0,017453 \text{ rad}$        $1' = 0,000291 \text{ rad}$        $1'' = 0,000005 \text{ rad}$

°	rad	°	rad	°	rad	°	rad	°	rad
1	0,017 5	19	0,331 6	37	0,645 8	55	0,959 9	73	1,274
2	0,034 9	20	0,349 1	38	0,663 2	56	0,977 4	74	1,291
3	0,052 4	21	0,366 5	39	0,680 7	57	0,994 8	75	1,309
4	0,069 8	22	0,384 0	40	0,698 1	58	1,012	76	1,326
5	0,087 3	23	0,401 4	41	0,715 6	59	1,030	77	1,344
6	0,104 7	24	0,418 9	42	0,733 0	60	1,047	78	1,361
7	0,122 2	25	0,436 3	43	0,750 5	61	1,064	79	1,379
8	0,139 6	26	0,453 8	44	0,767 9	62	1,082	80	1,396
9	0,157 1	27	0,471 2	45	0,785 4	63	1,099	81	1,413
10	0,174 5	28	0,488 7	46	0,802 9	64	1,117	82	1,431
11	0,192 0	29	0,506 1	47	0,820 3	65	1,134	83	1,448
12	0,209 4	30	0,523 6	48	0,837 8	66	1,152	84	1,466
13	0,226 9	31	0,541 0	49	0,855 2	67	1,169	85	1,483
14	0,244 3	32	0,558 5	50	0,872 7	68	1,187	86	1,501
15	0,261 8	33	0,576 0	51	0,890 1	69	1,204	87	1,518
16	0,279 3	34	0,593 4	52	0,907 6	70	1,222	88	1,536
17	0,296 7	35	0,610 9	53	0,925 0	71	1,239	89	1,553
18	0,314 2	36	0,628 3	54	0,942 5	72	1,256	90	1,571

##### Pretvaranje kutnih minuta i sekunda u decimale kutnih stupnjeva

°	°	°	°	°	°	°	°
1	0,017	4	0,067	7	0,117	10	0,167
2	0,033	5	0,083	8	0,133	20	0,333
3	0,050	6	0,100	9	0,150	30	0,500
40	0,667	50	0,833	60	1,000		
1	0,000	4	0,001	7	0,002	10	0,003
2	0,001	5	0,001	8	0,002	20	0,006
3	0,001	6	0,002	9	0,003	30	0,008
40	0,011	50	0,014	60	0,017		

##### Pretvaranje decimala kutnih stupnjeva u kutne minute i sekunde

°	°	°	°	°	°	°	°
0,001	4''	0,006	22''	0,01	0'36''	0,06	3'36''
0,002	7''	0,007	25''	0,02	1'12''	0,07	4'12''
0,003	11''	0,008	29''	0,03	1'48''	0,08	4'48''
0,004	14''	0,009	32''	0,04	2'24''	0,09	5'24''
0,005	18''	0,010	36''	0,05	3'	0,10	6'
0,1	6'	0,5	30'	1,0	60'		

#### 5. Prostorni kut

Jedinica za prostorni kut je 1 steradian (sr)

$1 \text{ sr} = \text{puni prostorni kut}/4\pi$

### Vremenske veličine

#### 1. Vrijeme $t$

Jedinica SI	1 sekunda (s)	
Druge mjere	milisekunda	1 ms = $10^{-3}$ s
	kilosekunda	1 ks = $10^3$ s
	minuta	1 min = 60 s
	sat (hora)	1 h = 60 min = 3600 s
	dan (dies)	1 d = 24 h = 86 400 s
	godina (annus)*1 a	= 8760 h = 31 536 ks

#### 2. Brzina $v$ , $s$

Jedinica SI	1 metar u sekundi (m/s)	
Druge mjere	metar u minuti	1 m/min = 1/60 m/s
	kilometar u sekundi	1 km/s = $10^3$ m/s
	kilometar na sat	1 km/h = 1/3,6 m/s
	čvor (milja na sat)	1,852 km/h = 0,5144 m/s
	brzina svjetlosti	$c_0 = 299\,792,458$ km/s

#### 3. Ubrzanje, $a$ , $\dot{v}$ , $\ddot{s}$

Jedinica SI	1 metar u sekundi na kvadrat (m/s <sup>2</sup> )	
Druga mjera	zemaljsko ubrzanje	$g = 9,806\,65$ m/s <sup>2</sup>

#### 4. Frekvencija $f$

Jedinica SI	1 herc (hertz) (Hz = s <sup>-1</sup> )	
Druge mjere	kiloherc	1 kHz = $10^3$ Hz
	megaherc	1 MHz = $10^6$ Hz
	gigaherc	1 GHz = $10^9$ Hz

#### 5. Kružna frekvencija $\omega$

Jedinica SI	1 sekunda na minus prvu (s <sup>-1</sup> )	
-------------	--	--

#### 6. Brzina vrtnje $n$

Jedinica SI	1 okretaj u sekundi (okr./s)**	
Druga mjera	okretaj u minuti	1 okr./min = 1/60 okr./s

#### 7. Kutna brzina $\omega$

Jedinica SI	1 radijan u sekundi (rad/s)	
-------------	-----------------------------	--

#### 8. Kutno ubrzanje $\epsilon$

Jedinica SI	1 radijan u sekundi na kvadrat (rad/s <sup>2</sup> )	
-------------	--	--

\* Sobzirom na prestupne godine vrijedi u prosjeku: 1 a = 8765,76 h = 31 556,736 ks

\*\* Međunarodno je predložena, ali još nije usvojena, oznaka: rev/s (lat. *revolutio* = okretaj). Jedinica okretaj potpuno odgovara jedinici puni kut (vidi str. 60).

### Masene veličine

#### 1. Masa $m$

Jedinica SI	1 kilogram (kg)	
Druge mjere	miligram	1 mg = $10^{-6}$ kg = $10^{-3}$ g
	centigram	1 cg = $10^{-5}$ kg = $10^{-2}$ g
	decigram	1 dg = $10^{-4}$ kg = $10^{-1}$ g
	gram	1 g = $10^{-3}$ kg
	dekagram	1 dag = $10^{-2}$ kg = 10 g
	megagram	1 Mg = $10^3$ kg = 1 t
	tona	1 t = $10^3$ kg = 1 Mg
	kilotona	1 kt = $10^6$ kg = $10^3$ t
	megatona	1 Mt = $10^9$ kg = $10^6$ t
	atomska jedinica mase*	$u = 1,660\,531 \cdot 10^{-27}$ kg

#### 2. Duljinska masa $m_l$

Jedinica SI	1 kilogram po metar (kg/m)	
Druge mjere	kilogram po kilometru	1 kg/km = $10^{-3}$ kg/m
	teks, tex**	1 teks = $10^{-6}$ kg/m = 1 g/km

#### 3. Plošna masa $m_A$

Jedinica SI	1 kilogram po kvadratnom metru (kg/m <sup>2</sup> )	
-------------	---	--

#### 4. Volumna masa, gustoća (specifična masa)

Jedinica SI	1 kilogram po kubnom metru (kg/m <sup>3</sup> )	
Druge mjere	gram po kubnom decimetru	1 g/dm <sup>3</sup> = 1 kg/m <sup>3</sup>
	gram po kubnom centimetru	1 g/cm <sup>3</sup>
	kilogram po kubnom decimetru	1 kg/dm <sup>3</sup>
	megagram po kubnom metru	1 Mg/m <sup>3</sup>
	tona po kubnom metru	1 t/m <sup>3</sup>
		$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ g/dm}^3 \\ 1 \text{ g/cm}^3 \\ 1 \text{ kg/dm}^3 \\ 1 \text{ Mg/m}^3 \\ 1 \text{ t/m}^3 \end{array} \right\} = 10^3 \text{ kg/m}^3$

#### 5. Specifični volumen $v$

Jedinica SI	1 kubni metar po kilogramu (m <sup>3</sup> /kg)	
Druga mjera	kubni decimetar po kilogramu	1 dm <sup>3</sup> /kg = $10^{-3}$ m <sup>3</sup> /kg

#### 6. Moment tromosti mase $J$

Jedinica SI	1 kilogram-kvadratni metar (kg m <sup>2</sup> )	
Druge mjere	gram-kvadratni metar	1 g m <sup>2</sup> = $10^{-3}$ kg m <sup>2</sup>
	kilogram-kvadratni milimetar	1 kg mm <sup>2</sup> = $10^{-6}$ kg m <sup>2</sup>

\* Upotreba je dozvoljena samo u kemiji i fizici.

\*\* Upotreba je dozvoljena samo za dužinsku masu tekstilnoga vlakna ili konca.

### Protočne veličine

#### 1. Pretok mase $q_m$ , $q$ , $\dot{m}$

Jedinica SI	1 kilogram u sekundi (kg/s)
Druge mjere	gram u sekundi    1 g/s    = $10^{-3}$ kg/s gram u minuti      1 g/min = $10^{-3}/60$ kg/s gram na sat          1 g/h    = $10^{-3}/3600$ kg/s kilogram u minuti   1 kg/min = $1/60$ kg/s kilogram na sat      1 kg/h    = $1/3600$ kg/s tona u sekundi       1 t/s     = $10^3$ kg/s tona u minuti        1 t/min   = $10^3/60$ kg/s tona na sat           1 t/h     = $10^3/3600$ kg/s

#### 2. Volumenski protok $q_v$ , $\dot{V}$

Jedinica SI	1 kubni metar u sekundi (m <sup>3</sup> /s)
Druge mjere	kubni metar u minuti    1 m <sup>3</sup> /min = $1/60$ m <sup>3</sup> /s kubni metar na sat       1 m <sup>3</sup> /h    = $1/3600$ m <sup>3</sup> /s litar u sekundi           1 l/s      = $10^{-3}$ m <sup>3</sup> /s litar u minuti            1 l/min    = $10^{-3}/60$ m <sup>3</sup> /s litar na sat               1 l/h      = $10^{-3}/3600$ m <sup>3</sup> /s

### Veličine za silu

#### 1. Sila $F$

Jedinica SI	1 njutn, newton (N = kg m/s <sup>2</sup> )
Druge mjere	mikronjutn    1 μN = $10^{-6}$ N milinjutn      1 mN = $10^{-3}$ N kilonjutn      1 kN = $10^3$ N meganjutn     1 MN = $10^6$ N

#### Upozorenje!

Veličine »težina« i »specifična težina« nisu spomenute u jugoslavenskom zakonu o mjernim jedinicama i mjerilima.

Težina  $G$  je sila, koja proistječe iz privlačnosti Zemlje za masu  $m$  ( $G = mg$ ); mjerimo je dakle kao silu (N). U svakidanjem životu upotrebljavamo »težinu« za vaganjem ustanovljenu masu (g, kg, t).\*

»Specifična težina  $\gamma$ « je (zbog prednosti nepromjenljive mase prema promjenljivoj težini) izgubila svoj smisao; stoga je treba u potpunosti zamjeniti gustoćom  $\rho$  ( $\gamma = \rho g$ ).

\* To je u smislu JUS A.A 1.025 (1980). Po DIN-u valja razlikovati »težinu-silu« (*Gewichtskraft*), mjerenu u N, od »težine« (*Gewicht*), mjerene u kg.

#### 2. Moment sile $M$ , okretni moment $T$ , $M_t$

Jedinica SI	1 njutn-metar (N m)
Druge mjere	milinjutn-metar    1 mN m = $10^{-3}$ N m njutn-milimetar    1 N mm = $10^{-3}$ N m kilonjutn-metar    1 kN m = $10^3$ N m meganjutn-metar   1 MN m = $10^6$ N m

#### 3. Tlak $p$ , naprezanje $\sigma$ , $\tau$

Jedinica SI	1 paskal, (pascal) (Pa = N/m <sup>2</sup> )
Druge mjere	milipaskal            1 mPa = $10^{-3}$ Pa kilopaskal            1 kPa = $10^3$ Pa megapaskal           1 MPa = $10^6$ Pa kilonjutn na kvadratni metar   1 kN/m <sup>2</sup> = 1 kPa meganjutn na kvadratni metar   1 MN/m <sup>2</sup> = 1 MPa njutn na kvadratni milimetar   1 N/mm <sup>2</sup> = 1 MPa kilonjutn na kvadr. milimetar   1 kN/mm <sup>2</sup> = 1 GPa bar                      1 bar = $10^5$ Pa milibar                1 mbar = $10^2$ Pa mikrobar              1 μbar = $10^{-1}$ Pa standardni atmosferski tlak $p_a = 1013,25$ mbar

»Relativni tlak  $p_e$ « je ralika apsolutnoga tlaka  $p$  i (nekog drugog ali redovno) atmosferskog tlaka  $p_a$ :  $p_e = p - p_a$

$p > p_a$	$p_e > 0$	pretlak
$p < p_a$	$p_e < 0$	podtlak

#### 4. Impuls sile $Ft$ , količina gibanja $mv$

Jedinica SI	1 njutn-sekunda (N s) = = 1 kilogram-metar u sekundi (kg m/s)
Druge mjere	milinjutn-sekunda    1 mN s = $10^{-3}$ N s = 1 g m/s kilonjutn-sekunda    1 kN s = $10^3$ N s = 1 Mg m/s

#### 5. Dinamička viskoznost $\eta$

Jedinica SI	1 paskal-sekunda (Pa · s = N s/m <sup>2</sup> )
Druga mjera	milipaskal-sekunda    1 mPa · s = $10^{-3}$ Pa · s

#### 6. Kinematička viskoznost $\nu$

Jedinica SI	1 kvadratni metar u sekundi (m <sup>2</sup> /s)
Druga mjera	kvadratni milimeter u sekundi    1 mm <sup>2</sup> /s = $10^{-6}$ m <sup>2</sup> /s

### Energetske veličine

1. *Energija E, rad W, toplina Q*  
 Jedinica SI 1 džul (Joule) (J = N m)  
 Druge mjere
 

kilodžul	1 kJ	= 10 <sup>3</sup> J
megadžul	1 MJ	= 10 <sup>6</sup> J
gigadžul	1 GJ	= 10 <sup>9</sup> J
vat-sekunda	1 W s	= 1 J
vat-sat	1 W h	= 3600 J
kilovat-sekunda	1 kW s	= 1 kJ
kilovat-sat	1 kW h	= 3600 kJ
megavat-sat	1 MW h	= 3600 MJ
elektron-volt	1 eV	= 0,160 219 aJ

2. *Snaga P, toplinski tok Φ, Q̇*  
 Jedinica SI 1 vat (watt) (W = J/s)  
 Druge mjere
 

milivat	1 mW	= 10 <sup>-3</sup> W
kilovat	1 kW	= 10 <sup>3</sup> W
megavat	1 MW	= 10 <sup>6</sup> W
gigavat	1 GW	= 10 <sup>9</sup> W
kilodžul u sekundi	1 kJ/s	= 1 kW
kilodžul na sat	1 kJ/h	= 1/3600 kW

### Toplinske veličine

1. *Temperatura*  
 Jedinica SI za (termodinamičku) temperaturu je 1 kelvin (K).  
 Jedinica kelvin je 273,16. dio temperaturne razlike između apsolutne nule i trojne točke vode.  
 Druga mjera za temperaturu je stupanj Celzija (°C).  
 Stupanj Celzija je 100. dio temperaturne razlike (pri tlaku od 1, 01325 bar) između ledišta i vrelišta vode.

Jedinica kelvin i stupanj Celzija su jednaki: 1 K = 1 °C

a) *Temperaturna skala*

Apsolutna se temperatura  $T$  mjeri od apsolutne nule (0,00 K).

Celzijeva se temperatura  $t$  mjeri od ledišta vode (0,00 °C).

$$T(K) - t(^{\circ}C) = 273,15$$

Dakle vrijedi:

	$T$	$t$
apsolutna nula	0,00 K	-273,15 °C
ledište vode	273,15 K	0,00 °C
trojna točka vode	273,16 K	0,01 °C
vrelište vode	373,15 K	100,00 °C

- b) Među istim je temperaturama temperaturna razlika  $\Delta T$ , mjerena u kelvinima (K), jednaka temperaturnoj razlici  $\Delta t$ , mjerenoj u stupnjevima Celzija (°C):

$$\Delta T(K) = \Delta t(^{\circ}C)$$

2. *Temperaturno raztezanje  $\alpha$ ,  $\beta$*

Jedinica SI	1 metar po metru i kelvinu	$m/(m \cdot K) = K^{-1}$
Druga mjera	mikrometar po metru i kelvinu	$1\mu m/(m \cdot K) = 10^{-6} K^{-1}$

3. *Brzina zagrijavanja i ohlađivanja  $T/t$  (dT/dt)*

Jedinica SI	1 kelvin u sekundi (K/s)	
Druge mjere	kelvin u minuti	1 K/min = 1/60 k/s
	kelvin na sat	1 K/h = 1/3600 k/s

4. *Specifični toplinski kapacitet c*

Jedinica SI	1 džul po kilogramu i kelvinu (J/kg K)	
Druga mjera	kilodžul po kilogramu i kelvinu	1 kJ/kg K = 10 <sup>3</sup> J/kg K

5. *Entalpija H*

Jedinica SI	1 džul (J)	
Druga mjera	kilodžul	1 kJ = 10 <sup>3</sup> J

6. *Specifična entalpija h*

Jedinica SI	1 džul po kilogramu (J/kg)	
Druga mjera	kilodžul po kilogramu	1 kJ/kg = 10 <sup>3</sup> J/kg

7. *Entropija S*

Jedinica SI	1 džul po kelvinu (J/K)	
Druga mjera	kilodžul po kelvinu	1 kJ/K = 10 <sup>3</sup> J/K

8. *Specifična entropija s*

Jednota SI	1 džul po kelvinu i kilogramu (J/K kg)	
Druga mjera	kilodžul po kelvinu i kilogramu	1 kJ/K kg = 10 <sup>3</sup> J/K kg

9. *Ogrjevna moć gornja  $H_s$ , i donja  $H_i$*

Jedinica SI	1 džul po kilogramu (J/kg)	
Druge mjere	kilodžul na kilogram	1 kJ/kg = 10 <sup>3</sup> J/kg
	megadžul po kilogramu	1 MJ/kg = 10 <sup>6</sup> J/kg

10. *Toplinska vodljivost  $\lambda$*

Jedinica SI	1 vat po metru i kelvinu (W/(m · K))	
Druga mjera	kilovat po metru i kelvinu	1 kW/(m · K) = 10 <sup>3</sup> W/(m · K)

11. *Toplinski prijelaz  $\alpha$ , toplinski prolaz  $k$*

Jedinica SI	1 vat po kvadratnom metru i kelvinu (W/m <sup>2</sup> K)	
Druga mjera	kilovat po kvadratnom metru i kelvinu	1 kW/m <sup>2</sup> K = 10 <sup>3</sup> W/m <sup>2</sup> K

### Molne veličine

- Molna masa  $m_m$**   
 Jedinica SI 1 kilogram po molu (kg/mol)  
 Druge mjere gram po molu 1 g/mol =  $10^{-3}$  kg/mol  
 kilogram po kilomolu 1 kg/kmol =  $10^{-3}$  kg/mol
- Molni volumen  $V_m$**   
 Jedinica SI 1 kubni metar po molu (m<sup>3</sup>/mol)  
 Druge mjere kubni metar po kilomolu 1 m<sup>3</sup>/kmol =  $10^{-3}$ /mol
- Koncentracija tvari (molarost)  $1/V_m$**   
 Jedinica SI 1 mol po kubnom metru (mol/m<sup>3</sup>)  
 Druge mjere kilomol po kubnom metru 1 kmol/m<sup>3</sup> =  $10^3$  mol/m<sup>3</sup>
- Molni toplinski kapacitet  $c_m$**   
 Jedinica SI 1 džul po molu i kelvinu (J/mol K)  
 Druge mjere džul po kilomolu i kelvinu 1 J/kmol K =  $10^{-3}$  J/mol K  
 kilodžul po kilomolu i kelvinu 1 kJ/kmol K = 1 J/mol K  
 kilodžul po molu i kelvinu 1 kJ/mol K =  $10^3$  J/mol K
- Molna entalpija  $h_m$**   
 Jedinica SI 1 džul po molu (J/mol)  
 Druge mjere džul po kilomolu 1 J/kmol =  $10^{-3}$  J/mol  
 kilodžul po kilomolu 1 kJ/kmol = 1 J/mol  
 kilodžul po molu 1 kJ/mol =  $10^3$  J/mol
- Molna entropija  $s_m$**   
 Jedinica SI 1 džul po kelvinu i molu (J/K mol)  
 Druge mjere džul po kilomolu i kelvinu 1 J/K mol =  $10^{-3}$  J/K mol  
 kilodžul po kilomolu i kelvinu 1 kJ/K mol = 1 J/K mol  
 kilodžul po molu i kelvinu 1 kJ/K mol =  $10^3$  J/K mol

### Veličine zračenja

- Aktivnost radioaktivnoga izvora  $A = dN/dt$**  (broj jezgri  $N$  raspalih u vremenu  $t$ )  
 Jedinica SI 1 bekerel, becquerel (Bq = s<sup>-1</sup>)
- Apsorbirana doza ionizirajućega zračenja  $D = E/m$**  (energija zračenja  $E$ , dovedena tijelu mase  $m$ )  
 Jedinica SI 1 grej, gray (Gy = J/kg)
- Ekvivalentna doza ionizirajućega zračenja  $BD$**  = (biološki učin raznih vrsta zračenja s obzirom na rendgensko zračenje:  $B = 1$ ; npr. za zračenje  $\alpha$  je  $B = 10$ )  
 Jedinica SI 1 sivert, sievert (Sv = J/kg)
- Ekspozicijska doza ionizirajućega zračenja  $Q/m$**  (ionizacijom izazvan naboj  $Q$  u zraku mase  $m$ )  
 Jedinica SI 1 kulon po kilogramu (C/kg)

### Električne veličine

- Električna struja  $I$**   
 Jedinica SI 1 amper (ampère) (A)  
 Druge mjere nanoamper 1 nA =  $10^{-9}$  A  
 mikroamper 1  $\mu$ A =  $10^{-6}$  A  
 miliamper 1 mA =  $10^{-3}$  A  
 kiloamper 1 kA =  $10^3$  A
- Količina elektriciteta (električni naboj)  $Q$**   
 Jedinica SI 1 kulon (coulomb) (C = A s)  
 Druge mjere milikulon 1 mC =  $10^{-3}$  C  
 kilokulon 1 kC =  $10^3$  C  
 amper-sekunda 1 A s = 1 C  
 amper-sat 1 A h = 3600 C
- Električni napon  $U$**   
 Jedinica SI 1 volt (V = W/A)  
 Druge mjere mikrovolt 1  $\mu$ V =  $10^{-6}$  V  
 milivolt 1 mV =  $10^{-3}$  V  
 kilovolt 1 kV =  $10^3$  V  
 megavolt 1 MV =  $10^6$  V
- Električna jakost polja  $E$**   
 Jedinica SI 1 volt po metru (V/m = N/C)  
 Druge mjere milivolt po metru 1 mV/m =  $10^{-3}$  V/m  
 kilovolt po metru 1 kV/m =  $10^3$  V/m  
 volt po milimetru 1 V/mm =  $10^3$  V/m
- Električni otpor  $R$**   
 Jedinica SI 1 om (ohm) ( $\Omega$  = V/A)  
 Druge mjere miliom 1 m $\Omega$  =  $10^{-3}$   $\Omega$   
 kiloom 1 k $\Omega$  =  $10^3$   $\Omega$
- Specifični (električni) otpor  $\rho$**   
 Jedinica SI 1 om-meter ( $\Omega$  m)  
 Druge mjere om-kvadratni milimetar na metar 1  $\Omega$  mm<sup>2</sup>/m =  $10^{-6}$   $\Omega$  m
- Električna vodljivost  $G$**   
 Jedinica SI 1 simens (siemens) (S = 1/ $\Omega$ )

### 8. Kapacitet $C$

Jedinica SI	1 farad ( $F = C/V$ )		
Druge mjere	pikofarad	1 pF	$= 10^{-12} F$
	nanofarad	1 nF	$= 10^{-9} F$
	mikrofarad	1 $\mu F$	$= 10^{-6} F$
	milifarad	1 mF	$= 10^{-3} F$

### 9. Induktivitet $L$

Jedinica SI	1 henri (henry) ( $H = Vs/A$ )		
Druge mjere	pikohenri	1 pH	$= 10^{-12} H$
	nanohenri	1 nH	$= 10^{-9} H$
	mikrohenri	1 $\mu H$	$= 10^{-6} H$
	milihenri	1 mH	$= 10^{-3} H$

### 10. Gustoća magnetskoga toka (magnetska indukcija) $B$

Jedinica SI	1 tesla ( $T = N/A \cdot m = Wb/m^2$ )		
Druge mjere	nanotesla	1 nT	$= 10^{-9} T$
	mikrotesla	1 $\mu T$	$= 10^{-6} T$
	militesla	1 mT	$= 10^{-3} T$

### 11. Magnetski tok $\Phi$

Jedinica SI	1 veber (weber) ( $Wb = T \cdot m^2$ )		
Druga mjera	miliveber	1 mWb	$= 10^{-3} Wb$

### 12. Magnetska jakost polja $H$

Jedinica SI	1 amper po metru ( $A/m$ )		
Druge mjere	miliamper po metru	1 mA/m	$= 10^{-3} A/m$
	kiloamper po metru	1 kA/m	$= 10^3 A/m$
	amper po milimetru	1 A/mm	$= 10^3 A/m$

### Svjetlosne veličine

#### 1. Jakost energetskega zračenja

Jedinica SI	1 vat na steradian ( $W/sr$ )		
-------------	-------------------------------	--	--

#### 2. Jakost svjetla $I$

Jedinica SI	1 kandela (candela) (cd)		
-------------	--------------------------	--	--

#### 3. Luminancija $B$

Jedinica SI	1 kandela na kvadratni metar ( $cd/m^2$ )		
-------------	---	--	--

#### 4. Svjetlosni tok

Jedinica SI	1 lumen ( $lm = cd \cdot sr$ )		
-------------	--------------------------------	--	--

#### 5. Rasvjetljenost $E$

Jedinica SI	1 luks (lux) ( $lx = lm/m^2$ )		
-------------	--------------------------------	--	--

### STARE JEDINICE I MJERE (uključivši i anglosaske mjere)

Zakonom o mjernim jedinicama i mjerilima (1984) ove su jedinice za bra-njene za javnu upotrebu u Jugoslaviji. Za uža stručna područja dopuštene su iznimke (koje proizlaze iz međunarodnih ugovora Jugoslavije).

#### 1. Za duljinu

ongstrem, (ångström)	1 Å	$= 0,1 \text{ nm}$	$= 10^{-10} \text{ m}$
mikron	1 $\mu$	$= 1 \mu m$	$= 10^{-6} \text{ m}$
palac, col, inch	1 in. (")	$= 25,4 \text{ mm}$	$= 0,0254 \text{ m}$
stopa, foot	1 ft. (')	$= 12"$	$= 0,3048 \text{ m}$
jard (yard)	1 yd.	$= 3'$	$= 0,9144 \text{ m}$
fadom, fathom	1 fm.	$= 2 \text{ yds.}$	$= 1,8288 \text{ m}$

#### 2. Za površinu

barn	1 b	$= 100 \text{ fm}^2$	$= 10^{-28} \text{ m}^2$
square inch	1 sq. in.	$= 6,4516 \text{ cm}^2$	$= 645,16 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$
square foot	1 sq. ft.	$= 9,2903 \text{ dm}^2$	$= 92,903 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
square yard	1 sq. yd.		$= 0,83613 \text{ m}^2$

#### 3. Za volumen

cubic inch	1 cu. in.	$= 16,387 \text{ cm}^3$	$= 16,387 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$
cubic foot	1 cu. ft.	$= 28,32 \text{ dm}^3$	$= 28,32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
cubic yard	1 cu. yd.		$= 0,76455 \text{ m}^3$
regstarska tona	1 R. T.	$= 100 \text{ cu. ft.}$	$= 2,832 \text{ m}^3$

#### 4. Za brzinu

foot per minute	1 ft./min.	$= 0,00508 \text{ m/s}$
foot per second	1 ft./sec.	$= 0,3048 \text{ m/s}$
yard per second	1 yd./sec.	$= 0,9144 \text{ m/s}$

#### 5. Za ubrzanje

gal	1 Gal	$= 1 \text{ cm/s}^2$	$= 0,01 \text{ m/s}^2$
foot per sec. per sec.	1 ft./sec. sec.		$= 0,3048 \text{ m/s}^2$
yard per sec. per sec.	1 yd./sec. sec.		$= 0,9144 \text{ m/s}^2$

#### 6. Za masu

kvintal, metrička centa	1 q	$= 100 \text{ kg}$
hyl	1 hyl	$= 9,80665 \text{ kg}$
funta, pound (libre)	1 lb.	$= 0,45359 \text{ kg}$
long-tons, long ton	1 L/T	$= 2240 \text{ lb.}$
karat (metrički)	1 k	$= 0,2 \text{ g}$

#### 7. Za gustoću

pound per cubic inch	1 lb./cu. in.	$= 27680 \text{ kg/m}^3$
pound per cubic foot	1 lb./cu. ft.	$= 16,017 \text{ kg/m}^3$
pound per cubic yard	1 lb./cu. yd.	$= 0,59328 \text{ kg/m}^3$



# 8. Za silu

milipond	1 mp	= 10 <sup>-3</sup> p	= 9,80665 · 10 <sup>-6</sup> N
pond	1 p	= 10 <sup>-3</sup> kp	= 9,80665 · 10 <sup>-3</sup> N
kilopond	1 kp		= 9,80665 N
megapond	1 Mp	= 10 <sup>3</sup> kp	= 9,80665 · 10 <sup>3</sup> N
din	1 dyn	= 10 <sup>-5</sup> N	
sthène	1 st	= 10 <sup>3</sup> N	
poundal	1 pd.		= 0,138254 N

# 9. Za tlak i naprezanje

fizikalna atmosfera	1 atm	= 760 mm Hg	= 101 325 Pa
tehnička atmosfera	1 at	= 1 kp/cm <sup>2</sup>	= 98 066,5 Pa
stupac žive (0°C)	1 mm Hg		= 133,323 Pa
stupac vode (4°C)	1 mm H <sub>2</sub> O	= 1 kp/m <sup>2</sup>	= 9,80665 Pa
kilopond			
— po kvadratnom metru	1 kp/m <sup>2</sup>	= 1 mm H <sub>2</sub> O	= 9,80665 Pa
— po kvadratnom centimetru	1 kp/cm <sup>2</sup>	= 1 at	= 98 066,5 Pa
— po kvadratnom milimetru	1 kp/mm <sup>2</sup>		= 980 650 Pa
barye	1 barye	= 0,1 N/m <sup>2</sup>	= 10 <sup>-1</sup> Pa
pièze	1 pz	= 1 kN/m <sup>2</sup>	= 10 <sup>3</sup> Pa
hectopièze	1 hpz	= 1 bar	= 10 <sup>5</sup> Pa
inch of mercury	1 in. Hg		= 3 386 Pa
inch of water	1 in. H <sub>2</sub> O		= 249,1 Pa
pound per square inch	1 p. s. i.		= 6 895 Pa
pound per square foot	1 p. s. f.		= 47,88 Pa
pound per square yard	1 p. s. y.		= 5,320 Pa
long ton per square inch	1 L/T s. i.		= 15 444 151 Pa
long ton per square foot	1 L/T s. f.		= 107 251 Pa

# 10. Za dinamičku viskoznost

centipoaz	1 cP	= 10 <sup>-3</sup> Pa s
poaz (poise)	1 P	= 10 <sup>-1</sup> Pa s
dekapoaz	1 daP	= 1 Pa s

# 11. Za kinematičnu viskoznost

centistoks	1 cSt	= 1 mm <sup>2</sup> /s	= 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s
stoks (stokes)	1 St		= 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s

stupnjevi po Engleru °E:

°E	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0
mm <sup>2</sup> /s	1,00	1,82	2,82	3,92	5,08	6,25	7,41	9,66	11,8

°E	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
mm <sup>2</sup> /s	16,7	21,1	29,5	37,4	45,2	52,9	60,8	68,4	76,0

Iznad 10°E = 76 mm<sup>2</sup>/s treba za svaki 1°E dodati 7,6 mm<sup>2</sup>/s.

# 12. Za energiju, rad, toplinu

kilopond-metar	1 kp m	= 9,80665 J
konjska snaga-sat	1 KM h (KS h)	= 2,648 · 10 <sup>6</sup> J
kalorija	1 cal	= 4,1868 J
kilokalorija	1 kcal	= 4 186,8 J
litar-atmosfera	1 l at	= 98,0665 J
erg	1 erg	= 10 <sup>-7</sup> J
foot-pound	1 ft.-lb.	= 1,3558 J
horse power-hour	1 HP h	= 2,685 · 10 <sup>6</sup> J
british thermal unit	1 BTU	= 1,055 · 10 <sup>3</sup> J

# 13. Za snagu, toplinski tok

kilopond-metar u sekundi	1 kp m/s	= 9,80665 W
konjska snaga	1 KM (KS)	= 735,499 W
kalorija u sekundi	1 cal/s	= 4,1868 W
kilokalorija na sat	1 kcal/h	= 1,163 W
erg u sekundi	1 erg/s	= 10 <sup>-7</sup> W
foot-pound per second	1 ft.-lb./sec.	= 1,3558 W
horse power	1 HP	= 745,7 W
british thermal unit per hour	1 BTU/h	= 0,293 W

# 14. Za temperaturu

stupanj Fahrenheita (°F) je definiran temperaturama: ledište vode 32 °F, vrelište vode 212 °F. Preračunavanje na temperaturnoj skali

$$x \text{ °F} = \frac{5}{9} (x - 32) \text{ °C} = \frac{5}{9} (x - 32) + 273 \text{ K}$$

# 15. Za električne veličine

za gustoću magnetskoga toka	1 gauss	= 10 <sup>-4</sup> T
za magnetski tok	1 maxwell	= 10 <sup>-8</sup> Wb
za magnetsku jakost polja	1 oersted	= 10 <sup>3</sup> /4π A/m

# 16. Za svjetlosne veličine

za jakost svjetla	1 hefnerova svijeća	= 0,917 cd
	1 međunarodna svijeća	= 1,02 cd
za luminanciju	stilb	= 1 sb
	nit	= 1 nt
	phot	= 1 ph
		= 10 <sup>4</sup> lx

# 17. Za veličine zračenja

za aktivnost			
radioaktivnoga izvora	curie	= 1 Ci	= 3,7 · 10 <sup>10</sup> Bq
za apsorbiranu dozu			
ionizirajućeg zračenja	rad	= 1 rd	= 0,01 Gy
za ekvivalentnu dozu			
ionizirajućeg zračenja	rem	= 1 rem	= 0,01 Sv
za ekspoziциjsku dozu			
ioniziranoga zračenja	röntgen	= 1 R	= 2,58 · 10 <sup>-4</sup> C/kg

### POSEBNE MJERE

1. »Standardni (normni) kubni metar« je masa plina koja pri standardnom stanju (pri temperaturi 0 °C i tlaku 1,013 25 bar) zaprema volumen od 1 m<sup>3</sup>. To je masa plina (kg) koja je brojčano jednaka njegovoj gustoći (kg/m<sup>3</sup>) pa ima stoga za svaki plin drugu vrijednost, npr.:

1,2505 kg dušika      1,4290 kg kisika      1,9768 kg ugljičnog dioksida

Volumen »standardnoga kubnog metra« je za različite temperature veoma različit pa iznosi za idealni plin

pri temperaturi °C	-100	0	100	1000
volumen m <sup>3</sup>	0,634	1	1,366	4,663

(Pritom nije uzeto u obzir odstupanje realnih plinova od ponašanja idealnih, niti njihova disocijacija pri visokim temperaturama.)

»Standardni kubni metar« je nepregledna, zastarjela mjera (u jugoslavenskom zakonu o mjernim jedinicama i mjerilima uopće nije spomenuta).

2. »Baumé-ova areometarska skala« služi za određivanje gustoće kapljevine pomoću stupnjeva Baumé-a (°Bé).  
a) Za kapljevine gustoće  $\rho \geq 1 \text{ kg/dm}^3$  određena je Baumé-ova skala vrijednostima  $N$

$$\begin{aligned} N &= 0 \text{ }^\circ\text{Bé} \quad \text{pri} \quad \rho = 1,0 \text{ kg/dm}^3 \\ N &= 66 \text{ }^\circ\text{Bé} \quad \text{pri} \quad \rho = 1,8427 \text{ kg/dm}^3 \end{aligned}$$

Za preračunavanje vrijedi

$$\rho = 144,32 / (144,32 - N) \quad (\text{kg/dm}^3)$$

- b) Za kapljevine gustoće  $\rho \leq 1 \text{ kg/dm}^3$  određena je Baumé-ova skala vrijednostima  $N$

$$\begin{aligned} N &= 10 \text{ }^\circ\text{Bé} \quad \text{pri} \quad \rho = 1,0 \text{ kg/dm}^3 \\ N &= 90 \text{ }^\circ\text{Bé} \quad \text{pri} \quad \rho = 0,6434 \text{ kg/dm}^3 \end{aligned}$$

Za preračunavanje vrijedi

$$\rho = 144,32 / (134,32 + N) \quad (\text{kg/dm}^3)$$

3. »Beaufortova skala« označuje brzinu vjetra (u meteorologiji) pomoću posebne mjere »bofor« – u ovisnosti o brzini vjetra  $v$ :

bofor	$v$ km/h	bofor	$v$ km/h
1	1 ... 5	7	50 ... 61
2	6 ... 11 lahor	8	62 ... 74 olujni vjetar
3	12 ... 19	9	75 ... 88
4	20 ... 28 vjetrić	10	89 ... 102 vihor
5	29 ... 38	11	103 ... 117
6	39 ... 49 jači vjetar	12	> 117 orkan

### TVARI

#### SASTAV TVARI

Tvar (materija) se sastoji od kemijskih *elemenata* ili njihovih *spojeva*. Sve spojeve možemo rastaviti na elemente koje dalje ne možemo rastavljati nikakvim kemijskim sredstvima.

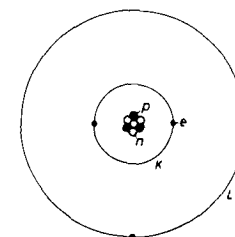
Dio elementa koji dalje ne možemo više dijeliti nazivamo *atom*. (Promjer atoma iznosi po redu veličine približno 0,1 nm =  $10^{-10}$  m.)

Nuklearna je fizika po svojim otkrićima razvila (Bohrov) model o zgradi atoma, prema kojem se sastoji atom svakoga elementa od jezgre, gdje su sabrani *nukleoni*, tj. pozitivno nabijeni *protoni* i električki neutralni *neutroni*, a jezgru okružuju negativno nabijeni *elektroni*.

U jezgri atoma (promjera reda veličine  $\approx 10^{-14}$  m) skupljena je gotovo sva masa atoma.

Mase i naboji nukleona i elektrona iznose:

	masa	naboj
proton	$1,672 \cdot 10^{-24} \text{ g}$	$+ 0,160 \cdot 10^{-18} \text{ As}$
neutron	$1,675 \cdot 10^{-24} \text{ g}$	0
elektron	$0,9108 \cdot 10^{-27} \text{ g}$	$- 0,160 \cdot 10^{-18} \text{ As}$



$p = \text{protoni}, n = \text{neutroni}, e = \text{elektroni}$

Naboj jezgre određen je brojem protona koji je jednak »rednom broju  $Z$ « elementa. Tim su nabojem određena kemijska i fizikalna svojstva elementa.

Ukupan broj nukleona, tj. protona i neutrona, daje »maseni broj  $A$ « (relativnu atomsku masu) elementa.

Npr. uranov atom ( $Z = 92$ ) relativne atomske mase  $A = 238$  sastoji se iz 92 protona i 146 neutrona.

Pri električki neutralnim atomima je broj elektrona jednak broju protona (= rednom broju  $Z$ ).

Elektroni kruže oko atomske jezgre po određenim stazama (kružnim odnosno eliptičnim) koje teku po energetski razmještenim *ljuskama* K, L, M, N, O, P i Q (kojih se polumjeri odnose kao kvadrati cijelih brojeva, tj.  $1^2: 2^2: 3^2: \dots$ ). Broj elektrona u svakoj ljusci je ograničen ( $2n^2$ ):

ljuska	K	L	M	N	O	P	Q
najveći broj elektrona	2	8	18	32	(50)	(72)	(98)

Elektronima su sasvim popunjene samo ljuske K, L, M i N.

Kemijski

Simbol, redni (atomska) broj  $Z$  (= broj  
atomska masa  $A$  (s obzirom na ugljikov izotop  $^{12}\text{C}$ ))

Element	Simbol	$Z$	$A$	K	L	M	N	O
vodik	H	1	1,008	1				
helij	He	2	4,003	2				
litij	Li	3	6,939	2	1			
berilij	Be	4	9,012	2	2			
bor	B	5	10,81	2	3			
ugljik	C	6	12,01	2	4			
dušik	N	7	14,01	2	5			
kisik	O	8	16,00	2	6			
fluor	F	9	19,00	2	7			
neon	Ne	10	20,18	2	8			
natrij	Na	11	22,99	2	8	1		
magnezij	Mg	12	24,31	2	8	2		
aluminij	Al	13	26,98	2	8	3		
silicij	Si	14	28,09	2	8	4		
fosfor	P	15	30,97	2	8	5		
sumpor	S	16	32,06	2	8	6		
klor	Cl	17	35,45	2	8	7		
argon	Ar	18	39,95	2	8	8		
kalij	K	19	39,10	2	8	8	1	
kalcij	Ca	20	40,08	2	8	8	2	
skandij	Sc	21	44,96	2	8	9	2	
titan	Ti	22	47,90	2	8	10	2	
vanadij	V	23	50,94	2	8	11	2	
krom	Cr	24	52,00	2	8	13	1	
mangan	Mn	25	54,94	2	8	13	2	
željezo	Fe	26	55,85	2	8	14	2	
kobalt	Co	27	58,93	2	8	15	2	
nikal	Ni	28	58,71	2	8	16	2	
bakar	Cu	29	63,54	2	8	18	1	
cink	Zn	30	65,37	2	8	18	2	
galij	Ga	31	69,72	2	8	18	3	
germanij	Ge	32	72,59	2	8	18	4	
arsen	As	33	74,92	2	8	18	5	
selen	Se	34	78,96	2	8	18	6	
brom	Br	35	79,91	2	8	18	7	
kripton	Kr	36	83,80	2	8	18	8	
rubidij	Rb	37	85,47	2	8	18	8	1
stroncij	Sr	38	87,62	2	8	18	8	2
itrij	Y	39	88,91	2	8	18	9	2
cirkonij	Zr	40	91,22	2	8	18	10	2
niobij	Nb	41	92,91	2	8	18	12	1
molibden	Mo	42	95,94	2	8	18	13	1
tehnecij	Tc	43	(99)	2	8	18	14	1
rutenij	Ru	44	101,1	2	8	18	15	1
rodij	Rh	45	102,9	2	8	18	16	1
paladij	Pd	46	106,4	2	8	18	18	

<div>Kemijski elementi</div> <div> <div>protona u atomu), relativna i raspored elektrona po ljuskama (K do Q)</div> </div>												
Element	Simbol	$Z$	$A$	K	L	M	N	O	P	Q		
srebro	Ag	47	107,9	2	8	18	18	1				
kadmij	Cd	48	112,4	2	8	18	18	2				
indij	In	49	114,8	2	8	18	18	3				
kositar	Sn	50	118,7	2	8	18	18	4				
antimon	Sb	51	121,8	2	8	18	18	5				
telur	Te	52	127,6	2	8	18	18	6				
jod	J	53	126,9	2	8	18	18	7				
ksenon	Xe	54	131,3	2	8	18	18	8				
cezij	Cs	55	132,9	2	8	18	18	8	1			
barij	Ba	56	137,3	2	8	18	18	8	2			
lantan	La	57	138,9	2	8	18	18	9	2			
cer	Ce	58	140,1	2	8	18	20	8	2			
praseodim	Pr	59	140,9	2	8	18	21	8	2			
neodim	Nd	60	144,2	2	8	18	22	8	2			
prometij	Pm	61	(145)	2	8	18	23	8	2			
samarij	Sm	62	150,4	2	8	18	24	8	2			
europij	Eu	63	152,0	2	8	18	25	8	2			
gadolinij	Gd	64	157,3	2	8	18	25	9	2			
terbij	Tb	65	158,9	2	8	18	27	8	2			
disprozij	Dy	66	162,5	2	8	18	28	8	2			
holmij	Ho	67	164,9	2	8	18	29	8	2			
erbij	Er	68	167,3	2	8	18	30	8	2			
tulij	Tm	69	168,9	2	8	18	31	8	2			
iterbij	Yb	70	173,0	2	8	18	32	8	2			
lutecij	Lu	71	175,0	2	8	18	32	9	2			
hafnij	Hf	72	178,5	2	8	18	32	10	2			
tantal	Ta	73	180,9	2	8	18	32	11	2			
volfram	W	74	183,9	2	8	18	32	12	2			
renij	Re	75	186,2	2	8	18	32	13	2			
osmij	Os	76	190,2	2	8	18	32	14	2			
iridij	Ir	77	192,2	2	8	18	32	15	2			
platina	Pt	78	195,1	2	8	18	32	16	2			
zlato	Au	79	197,0	2	8	18	32	18	1			
živa	Hg	80	200,6	2	8	18	32	18	2			
talij	Tl	81	204,4	2	8	18	32	18	3			
olovo	Pb	82	207,2	2	8	18	32	18	4			
bizmut	Bi	83	209,0	2	8	18	32	18	5			
polonij	Po	84	(210)	2	8	18	32	18	6			
astat	At	85	(210)	2	8	18	32	18	7			
radon	Rn	86	(222)	2	8	18	32	18	8			
francij	Fr	87	(223)	2	8	18	32	18	8	1		
radij	Ra	88	(226)	2	8	18	32	18	8	2		
aktinij	Ac	89	(227)	2	8	18	32	18	9	2		
torij	Th	90	232,0	2	8	18	32	18	10	2		
protaktinij	Pa	91	(231)	2	8	18	32	20	9	2		
uran	U	92	238,0	2	8	18	32	21	9	2		

Transurani su umjetno dobiveni (radioaktivni) elementi, kojih u prirodi nema:

Element	Simbol	Z	A* ≈
neptunij	Np	93	(237)
plutonij	Pu	94	(242)
americij	Am	95	(243)
kirij (curij)	Cm	96	(247)
berkelij	Bk	97	(247)
kalifornij	Cf	98	(249)
ajnstajnij	Es	99	(254)
fermij	Fm	100	(253)
mendelevij	Md	101	(256)
nobelij	No	102	(253)
lavrencij	Lw	103	(257)
kurčatovij	Ku	104	(261)
hanij (borij)	Ha (Bo)	105	(262)

\* Podaci se iz raznih izvora znatno razlikuju, a vrijede za najstabilniji izotop.

Pri jednakom rednom broju Z (tj. pri jednakom broju protona) moguće su različite atomske mase A (zbog različitog broja neutrona). Elemente s jednakim rednim brojem (s jednakim nabojem jezgre), ali s različitim relativnim atomskim masama (masenim brojevima), nazivamo *izotopima*. Izotopi se vladaju kemijski potpuno jednako; razlikuju se samo po fizikalnim svojstvima.

Pri vodik u npr. poznamo tri izotopa: vodik H =  $^1\text{H}$  (s protonom i bez neutrona), deuterij D =  $^2\text{H}$  (s protonom i jednim neutronom) i tritij T =  $^3\text{H}$  (s protonom i dvama neutronima).

Prirodni se elementi sastoje većinom od stalne mješavine svojih izotopa, (Samo 22 prirodna elementa sastoje se od samo jednoga izotopa, npr. F, Na, Al, P, Co itd.). Na primjer: prirodni uran sadrži 99,280% izotopa  $^{238}\text{U}$ , 0,714% izotopa  $^{235}\text{U}$  i 0,006% izotopa  $^{234}\text{U}$ .

Pri jednakom pozitivnom naboju jezgre (tj. pri jednakom broju protona) broj elektrona može biti veći ili manji. Takav atom, koji nije više električki neutralan, nazivamo *ion*.

Pozitivni ioni (*kationi*) nastaju od atoma, koji mogu odavati elektrone, tj. od takvih, koji imaju na vanjskoj ljusci samo jedan ili dva elektrona (pri elementima s većim brojem protona i više). To su tipične *k o v i n e* (dobro vode električnu struju). Većina kemijskih elemenata su kovine.

Negativni ioni (*anioni*) nastaju od atoma, koji mogu primiti elektrone, tj. od takvih, koji imaju na vanjskoj ljusci sedam ili šest elektrona (pri elementima s malim brojem protona i manje). To su tipične *n e k o v i n e* (ne vode električnu struju).

Među elementima, koji formiraju samo katione ili anione, postoje elementi, koji pod određenim okolnostima formiraju jedne ili druge atome. Elementi sa četiri elektrona u vanjskoj ljusci samo ponekad formiraju ione.

### Periodični sistem elemenata (po Mendeljejevu)

Brojevi površ simbola su redni brojevi Z.

Oznaka + : elementi (kovine), koji tvore samo pozitivne ione (katione).

Oznaka - : elementi (nekovine), koji tvore samo negativne ione (anione).

Period	Glavna skupina							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	1 H							2 He
2	3 + Li	4 Be	5 - B	6 - C	7 - N	8 - O	9 - F	10 Ne
3	11 + Na	12 + Mg	13 Al	14 - Si	15 - P	16 - S	17 - Cl	18 Ar
4	19 + K	20 + Ca	31 Ga	32 Ge	33 As	34 - Se	35 - Br	36 Kr
5	37 + Rb	38 + Sr	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 - J	54 Xe
6	55 + Cs	56 + Ba	81 Tl	82 Pb	83 + Bi	84 Po	85 - At	86 Rn
7	87 + Fr	88 + Ra						

Lijevo i pod debelom crtom — kovine; desno i iznad debele crte — nekovine.

Period	Sporedna skupina									
	1	2	3	4	5	6	7	8		
4	29 + Cu	30 Zn	21 + Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 + Ni
5	47 + Ag	48 + Cd	39 + Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 + Rh	46 + Pd
6	79 + Au	80 + Hg	57 + La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 + Ir	78 + Pt
7			89 + Ac	104 Ku	105 Ha					

Z = 58 ... 71: lantanidi\*, Z = 90 ... 103: aktinidi\*.

U sporednoj skupini su svi elementi samo kovine.

Svojstva elemenata

Element skupina	simbol	Promjer atoma nm	Valencija*	Talište °C	Vrelište °C	Gustoća (20 °C) kg/m <sup>3</sup>
	H	0,169	1	—259,4	—252,7	0,084
<i>Alkalne kovine</i>						
I	Li	0,313	1	186	1 370	530
	Na	0,383	1	97,7	892	970
	K	0,476	1	63	770	860
	Rb	0,502	1	39	680	1 530
	Cs	0,540	1	28	690	1 900
<i>Zemno-alkalne kovine</i>						
II	Be	0,225	2	1 280	2 770	1 820
	Mg	0,320	2	650	1 110	1 740
	Ca	0,393	2	850	1 440	1 550
	Sr	0,429	2	770	1 380	2 600
	Ba	0,448	2	704	1 640	3 500
<i>Borova skupina</i>						
III	B		3	2 300	2 550	2 300
	Al	0,282	3	660,1	2 060	2 699
	Ga	0,270	3	29,8	2 071	5 910
	In	0,314	3	156,4	1 450	7 310
	Tl	0,342	1, 3	300	1 460	11 850
<i>Ugljikova skupina</i>						
IV	C	0,154	4, 2	3 700	4 830	2 220
	Si	0,234	4	1 430	2 300	2 330
	Ge	0,279	4	958	2 700	5 360
	Sn	0,316	4, 2	231,9	2 270	7 298
	Pb	0,349	2, 4	327,3	1 740	11 340
<i>Dušikova skupina</i>						
V	N	0,106	3, 5, 2	—210,0	—195,8	1,165
	P	0,216	5, 3	44,1	280	1 820
	As	0,250	3, 5	610	5 730	5 730
	Sb	0,323	3, 5	630,5	1 440	6 620
	Bi	0,364	3, 5	271,3	1 420	9 800
<i>Halogeni</i>						
VI	O		2	—218,8	—183,0	1,332
	S	0,212	6, 4, 2	119,0	444,6	2 070
	Se	0,232	4, 6, 2	220	680	4 810
	Te	0,290	2, 4, 6	450	1 390	6 240

\* Valencija je broj vodikovih atoma koje atom elementa može vezati u molekulu ili ih u njoj može nadomjestiti.

elemenata

Element skupina	simbol	Promjer atoma nm	Valencija	Talište °C	Vrelište °C	Gustoća (20 °C) kg/m <sup>3</sup>
<i>Halogeni</i>						
VII	F	0,136	1	—223	—188,2	1,578
	Cl	0,194	1, 7, 5	—101	—34,7	3,000
	Br	0,226	1, 5	—7,2	58	3 120
	I	0,270	1, 5, 7	114	183	4 930
<i>Plemeniti plinovi</i>						
VIII	He		0	—271,4	—268,9	0,166
	Ne	0,320	0	—248,6	—246,0	0,839
	Ar	0,382	0	—189,4	—185,8	1,663
	Kr	0,400	0	—157	—152	3,488
	Xe	0,440	0	—112	—108	5,495
<i>Kovine sporednih skupina</i>						
4. period	Ti	0,293	4, 3	1 820	5 100	4 540
	V	0,271	5, 4, 2	1 735	3 400	6 000
	Cr	0,257	3, 6, 2	1 930	2 500	7 190
	Mn	0,250	2, 3, 4	1 245	2 150	7 430
	Fe	0,252	3, 2	1 539	2 740	7 870
	Co	0,250	2, 3	1 492	2 900	8 900
	Ni	0,249	2, 3	1 453	2 730	8 900
	Cu	0,255	2, 1	1 083	2 600	8 960
	Zn	0,275	2	419,5	906	7 133
5. period	Zr	0,319	4	1 750	5 050	6 500
	Nb	0,294	5, 3	2 415	3 300	8 570
	Mo	0,280	6, 3, 5	2 625	4 800	10 200
	Tc		7			11 460
	Ru	0,267	3, 4, 6	2 500	4 900	12 200
	Rh	0,270	3, 4	1 960	4 500	12 440
	Pd	0,275	2, 4	1 552	4 000	12 000
	Ag	0,288	1	960,8	2 210	10 490
	Cd	0,304	2	320,9	765	8 650
6. period	Hf	0,317	4		3 700	11 400
	Ta	0,294	5	2 996	6 100	16 600
	W	0,282	6, 4	3 380	5 930	19 300
	Re	0,275	7, 4, 1	3 170	5 900	20 000
	Os	0,270	4, 6	2 700	5 500	22 500
	Ir	0,271	4, 3, 6	2 443	5 300	22 500
	Pt	0,277	4, 2	1 769	4 410	21 450
	Au	0,288	1, 3	1 063	2 970	19 320
	Hg	0,310	2, 1	—38,9	356,6	13 550

## KEMIJSKI SPOJEVI

### Kemijske veze

#### 1. Atomske veze (homeopolarne, kovalentne)

Atomske veze su veze među nekovinskim atomima. Zajednički elektroni više atoma tvore molekule, i to od priprostih dvoatomnih do vrlo velikih molekula s više stotina ili više tisuća atoma.

Spojevi s atomskim vezama (molekularnu zgradu) obuhvaćaju razmjerno manji broj anorganskih spojeva; posebno su značajni organski spojevi.

Anorganski spojevi s atomskim vezama su:

— pretežno plinovite tvari (s niskim talištima i vrelištima), npr. nekovinski elementi ( $H_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ ), nekovinski oksidi i hidridi ( $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $NH_3$ ,  $H_2S$ ) i spojevi nekovina ( $SCl_2$ ,  $PCl_3$ );

— tvari dijamantnog tipa (s visokim talištima i vrelištima) s vrlo jakim atomskim vezama (tvrdoća!), npr. dijamant (C) i nekovinski karbidi (SiC,  $B_4C$ ). Tima su slični također nekovinski nitridi (BN,  $Si_3N_4$ ).

Organski spojevi sežu od malih molekula, npr. priprostih ugljikovodika ( $CH_4$ ,  $C_2H_6$ ), do veoma velikih molekula, npr. polivinilklorida ( $C_2H_3Cl$ )<sub>n</sub>. S porastom broja atoma u molekuli prelaze te tvari iz plinovitih u tekuće i potom u krute. Ne vode električne struje.

#### 2. Ionske veze (heteropolarne, elektrovalentne)

Ionske veze nastaju među kovinskim i nekovinskim atomima na taj način, da kovinski atomi odaju vanjske (valentne) elektrone (jednoga ili više) te postaju pozitivnim ionima — kationima, nekovinski atomi pak primaju vanjske elektrone i postaju negativnim ionima — anionima. U plinovitom ili tekućem stanju (ili u otopini) su pozitivni i negativni ioni slobodno gibljivi, dok u krutom stanju formiraju skupnu kristalnu rešetku.

Ionske su veze karakteristične za kovinske okside (npr.  $Na_2O$ ) i hidrokside (npr. NaOH) a naročito za soli, koje su spojevi pozitivnih (kovinskih) i negativnih (nekovinskih) iona ( $NaCl = Na^+ + Cl^-$ ).

Soli imaju visoka tališta i vrelišta te su pravi elektroliti; u taljevini ili otopini vode električnu struju, pri čemu su ioni nosioci naboja.

#### 3. Kovinske veze

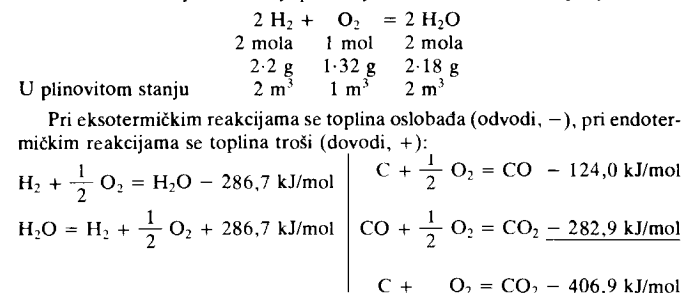
Kovinske veze su veze među kovinskim atomima.

U kristalnim rešetkama, koje tvore sve kovine, su atomi — odavanjem valentnih elektrona — pozitivno nabijeni, valentni elektroni pa se kreću među njima u rešetki razmjerno slobodno.

Kovinske su veze karakteristične za sve kovine i njihove slitine, a odlikuju se naročito dobrom električnom i toplinskom vodljivošću te tvrdoćom i gnjetljivošću (mogućnost preoblikovanja, kovkost).

### Kemijske reakcije

Jednadžbe kemijskih reakcija prikazuju količinske odnose sudjelujućih tvari



Pri kemijskoj reakciji odvedena ili dovedena toplina nije ovisna o toku reakcije — po međustupnjevima ili neposredno (Hessov zakon).

Reakcije redukcija — oksidacija (»red-oks«) nastaju iz djelomičnih reakcija redukcije (oduzimanje kisika spoju) i oksidacije (spajanje s kisikom).

### Hidridi

Hidridi su binarni spojevi vodika s nekovinama ili nekim kovinama. Hidridi su plinoviti, tekući ili kruti (nekovinski su hidridi plinoviti ili tekući).

#### Svojstva vodika i nekovinskih hidrida

Tvar	Relativna molekularna masa	Talište °C	Vrelište °C	Gustoća kg/m <sup>3</sup> (0 °C)	Opaska
Vodik					
$H_2$	2,016	–259,4	–252,7	0,090	
Hidridi					
$H_2O$ <sup>1)</sup>	18,02	0,00	100,0	1000,0 (4 °C)	voda (H oksid)
$H_2O_2$ <sup>1)</sup>	34,01	–89	152,1	1465	H peroksid
$NH_3$ <sup>2)</sup>	17,03	–77,7	–33,35	0,771	amonijak
HF	20,01	–92,3	19,4	987	fluorovodik
HCl	36,46	–112	–83,7	1,64	klorovodik
HBr	80,92	–88,5	–67,0	3,50	bromovodik
HJ	127,91	–50,8	–35,4 (4 bar)	5,66	jodovodik
$H_2S$	34,08	–82,9	–61,8	1,54	sumporovodik
$H_3P$	34,00	–133,5	–87,4	1,53	fosforovodik
HCN <sup>3)</sup>	27,03	–14	26	688	cijanovodik

<sup>1)</sup> Voda i vodikov peroksid su istodobno hidrid i oksid.

<sup>2)</sup> Pozitivno nabijena jednovalentna skupina  $NH_4^+$  = »amonij«.

<sup>3)</sup> Negativno nabijena jednovalentna skupina  $CN^-$  = »cijan«.

### Oksidi

Oksidi su binarni spojevi kisika s elementima te su plinoviti, tekući ili kruti. Elementi s više valencija mogu imati i više različitih oksida.

Svojstva kisika i oksida (pri  $p_a = 1,01325$  bar)

Tvar	Relat. molekul. masa	Talište °C (s = subl.)	Vrelište °C	Gustoća kg/m³ (0 °C)	Opaska
<b>Kisik</b>					
O <sub>2</sub>	32,00	—218,8	—183,0	1,429	
<b>Nekovinski oksidi</b>					
CO	28,01	—207	—191,5	1,250	C monoksid
CO <sub>2</sub>	44,01	—78,5 s	—	1,977	C dioksid
N <sub>2</sub> O	44,01	—102,3	—91,7	1,978	N(I) oksid
NO	30,01	—161	—151	1,340	N(II) oksid, N monoksid
NO <sub>2</sub>	46,01	—9,3	21,3	1,447	N dioksid
N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	76,01	—103	3,5	1,447	N(III) oksid, N trioksid
N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	108,01	30 s	—	2050	N pentoksid
SO <sub>2</sub>	64,06	—75,5	—10,0	2,926	S dioksid
SO <sub>3</sub>	80,06	16,8	44,5	1,923	S trioksid
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	109,95	23,8	173,1	1,943	P trioksid
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	141,94	250 s	—	2,387	P pentoksid
SiO <sub>2</sub>	60,08	1710	2630	2,320	Si dioksid, kremen
<b>Kovinski oksidi</b>					
Na <sub>2</sub> O	61,98	1275 s	—	2,270	
K <sub>2</sub> O	94,20	350	—	2,320	
MgO	40,31	2500	—	3,550	magnezija
CaO	56,08	2572 s	—	3,400	pečeno (živo) vapno
BaO	153,34	1923	2000	5,720	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	101,96	2050	2250	4,000	glinica, korund
CrO	68,00	—	—	—	Cr(II) oksid
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	151,99	2200	—	5,210	Cr(III) oksid
CrO <sub>3</sub>	99,99	196	—	2,800	Cr(VI) oksid
Cu <sub>2</sub> O	143,08	1235	—	6,000	Cu(I) oksid
CuO	79,54	—	—	6,400	Cu(II) oksid
FeO	71,85	1420	—	5,990	Fe(II) oksid
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	159,69	1595	—	5,240	Fe(III) oksid
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	231,54	1538	—	5,180	Fe(II), Fe(III) oksid
MnO	70,94	1650	—	5,090	Mn(II) oksid
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	157,87	1080	—	4,500	Mn(III) oksid
Mn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	228,81	1705	—	4,856	Mn(II), Mn(III) oksid
MnO <sub>2</sub>	86,94	535	—	5,026	Mn(IV) oksid
PbO	223,19	—	—	9,500	Pb(II) oksid
PbO <sub>2</sub>	239,19	—	—	9,365	Pb(IV) oksid
TiO	63,90	1750	—	5,500	
WO <sub>2</sub>	215,90	—	—	12,110	W(IV) oksid
WO <sub>3</sub>	231,90	1373	—	7,160	W(VI) oksid
ZnO	81,37	1700 s	—	5,606	cinkovo bjelilo

### Karbidi

Karbidi su binarni spojevi ugljika s kovinama, te s nekovinama B i Si. Karbidi su tvrde (i vrlo tvrde) tvari visokog tališta.

Svojstva ugljika i karbida

Tvar	Relativna molekul. masa	Talište °C (s = subl.)	Vrelište °C	Gustoća kg/m³ (0 °C)	Opaska
<b>Ugljik</b>					
grafit	12,01	3700	4830	2,220	gustoća amornoga C: 1970 kg/m³
dijamant	12,01	> 3500	—	3,510	
<b>Karbidi</b>					
B <sub>4</sub> C	55,25	2350	3500	2,515	brusni materijal karborund
SiC	40,10	2700 s	—	3,170	
CaC <sub>2</sub>	64,10	2300	—	2,220	s vodom: C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	180,01	1890	—	6,680	cementit
Cr <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	284,00	1665	—	6,950	
Fe <sub>3</sub> C	179,55	1837	—	7,680	
Mn <sub>3</sub> C	176,83	—	—	6,890	
MoC	107,95	2570	—	8,400	u čelicima
NbC	104,92	3500	—	8,200	
TaC	192,96	3877	5500	13,960	
TiC	59,91	3140	4300	4,250	
VC	62,95	2830	3900	5,380	karbidni tvrdi metali
WC	195,86	2777	—	15,700	
W <sub>2</sub> C	379,71	2857	—	16,060	

### Nitridi

Nitridi su binarni spojevi dušika s kovinama, među nekovinama pak naročito s B.

Svojstva dušika i nitrida

Tvar	Relativna molekul. masa	Talište °C (s = subl.)	Vrelište °C	Gustoća kg/m³ (0 °C)	Opaska
<b>Dušik</b>					
N <sub>2</sub>	28,01	—209,86	—195,8	1,251	
<b>Nitridi</b>					
BN	24,82	2730 s	—	2,255	u čelicima za nitiranje
AlN	40,99	2200 (4 bar)	—	3,050	
CrN	66,00	1500	—	—	
Fe <sub>3</sub> N	125,70	200	—	6,350	
Fe <sub>4</sub> N	237,39	—	—	6,570	
NbN	106,91	2050	—	8,260	
TaN	194,95	3360	—	14,100	
TiN	61,91	3220	—	5,190	
VN	64,95	2320	—	5,630	

### Sulfidi

Sulfidi su binarni spojevi sumpora s kovinama, a među nekovinama naročito sa C (i H – vidi: hidridi, str. 83).

#### Svojstva sumpora i sulfida

Tvar	Relativna molekul. masa	Talište °C	Vrelište °C (s = subl.)	Gustoća kg/m <sup>3</sup>	Opaska
<i>Sumpor</i>					
amorfan	32,06	120	444,6	2046	monoklin ortoromban
kristaličan	256,48	{ 119,0 112,8	444,6 —	1960 2070	
<i>Sulfidi</i>					
CS <sub>2</sub>	76,13	−111,6	46,3	1261	ortoromban kubičan
Al <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	150,12	1110	1550 s	2020	
CrS	84,07	1350	—	4100	
Cu <sub>2</sub> S	159,20	{ 1100 1130	—	5600 5780	—
CuS	95,63	—	220	4600	
FeS	87,90	1193	—	5010	pirit
FeS <sub>2</sub>	119,96	1171	—	5000	
MnS	86,99	—	1375 s	4000	
MoS <sub>2</sub>	160,07	1185	—	4800	
PbS	239,27	1114	—	7500	
SnS	150,76	882	1240	5080	
WS <sub>2</sub>	248,04	—	—	7500	
ZnS	97,44	1850 (150 bar)	1200 s	4087	

### Fosfidi

Fosfidi su birani spojevi fosfora s kovinama.

#### Svojstva fosfora i fosfida

Tvar	Relativna molekul. masa	Talište °C	Vrelište °C	Gustoća kg/m <sup>3</sup>	Opaska
<i>Fosfor</i>					
crni	123,92	—	—	2690	plamište 400 °C plamište 725 °C
crveni	123,92	610 (43 bar)	—	2200	
bijeli	123,92		280	1820	
<i>Fosfidi</i>					
CrP	83,03	—	—	5700	
Cu <sub>3</sub> P	221,73	—	—	6700	
Cu <sub>3</sub> P <sub>2</sub>	252,75	—	—	6350	
SnP <sub>3</sub>	211,76	415	—	4100	
Fe <sub>2</sub> P	142,70	1290	—	6560	
Fe <sub>3</sub> P	198,54	1100	—	6740	
MnP	85,95	1190	—	5390	

### Kiseline i baze

Kiseline su tvari, kojih molekule ili ioni lako odavaju protone (vodikove jezgre H<sup>+</sup>).

Kiseline su vodene otopine spojeva vodika s halogenima ili drugim nekovinama (»kiseline bez kisika«), ili pak nastaju pri reakciji nekovinskih oksida s vodom (»kiseline s kisikom«), npr.:

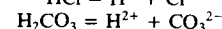
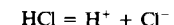
— *kiseline bez kisika*

fluorovodična	=	vodena otopina HF
klorovodična (solna)	=	vodena otopina HCl
bromovodična	=	vodena otopina HBr
jodovodična	=	vodena otopina HI
sumporovodična	=	vodena otopina H <sub>2</sub> S
fosforovodična	=	vodena otopina H <sub>3</sub> P
cijanovodična	=	vodena otopina HCN

— *kiseline s kisikom*

uglična	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	(CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O → H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )
sumporasta	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	(SO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O → H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> )
sumporna	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	(SO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O → H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
dušična	HNO <sub>3</sub>	(N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + H <sub>2</sub> O → 2 HNO <sub>3</sub> )
fosforna	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 3 H <sub>2</sub> O → 2 H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )

Karakteristični sastojak svih kiselina je vodik, koji je u vodenoj otopini pozitivno nabijen ion H<sup>+</sup>, dok je drugi dio kiseline negativno nabijena nekovina ili atomska skupina:



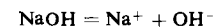
Baze (lužine) su spojevi, kojih molekule ili ioni lako primaju protone.

Baze su hidroksidi, koji nastaju pri reakciji određenih kovina, kovinskih oksida ili amonijaka s vodom, npr.

natrijev hidroksid	NaOH	2 Na + 2 H <sub>2</sub> O → 2 NaOH + H <sub>2</sub> ↑ Na <sub>2</sub> O + H <sub>2</sub> O → 2 NaOH
kalijev hidroksid	KOH	2 K + 2 H <sub>2</sub> O → 2 KOH + H <sub>2</sub> ↑ K <sub>2</sub> O + H <sub>2</sub> O → 2 KOH
kalcijev hidroksid	Ca(OH) <sub>2</sub>	Ca + 2 H <sub>2</sub> O → Ca(OH) <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> ↑ (gašeno vapno) CaO + H <sub>2</sub> O → Ca(OH) <sub>2</sub>
amonijev hidroksid	NH <sub>4</sub> OH	NH <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O → NH <sub>4</sub> OH

Karakteristična sastavina baza je negativno nabijena jednovalentna skupina OH<sup>–</sup> — »hidroksil«.

Vodne otopine baza sadrže pozitivne kovinske ione i negativne hidroksilne skupine (te su dobri vodiči električne struje), što vrijedi i za taljevine baza:





### Svojstva kiselina i baza

Kiselina = vodena otopina	Topivost (0 °C)		Kiselina = vodena otopina	Topivost (0 °C)	
	g/kg vode	koncen- tracija max. %		g/kg vode	koncen- tracija max. %
HF	∞	100	H <sub>2</sub> S	6,7	0,67
HCl	823	45	H <sub>3</sub> P	0,4	0,04
HBr	2210	69	CO <sub>2</sub>	3,4	0,34
HJ	2,4	0,24	SO <sub>2</sub>	228	18,6
HCN	∞	100			

Tvar	Relativna molek. masa	Talište °C	Vrelište °C	Gustoća kg/m <sup>3</sup> (0 °C)	Opaska
<i>Kiseline</i>					
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98,08	10,5	—	1834	sumporna kiselina
HNO <sub>3</sub>	63,02	—42	86	1508	dušična kiselina
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	98,00	42,35	213	1834	fosforna kiselina
HClO <sub>4</sub>	100,47	—112	(39)	1764	klorna kiselina (eksplozivna)
<i>Baze</i>					vodne otopine:
NaOH	40,00	318,4	1388	2130	— natrijeva lužina
KOH	56,11	360,4	1320	2044	— kalijeva lužina
Ca(OH) <sub>2</sub>	74,10	580	—	2239	— gašeno vapno
NH <sub>4</sub> OH	35,05	—77	—	—	— amonijačna vodica

### Vrijednost pH

Mjera za stupanj kiselosti vodenih otopina je »vrijednost pH« (= *potentia hydrogenii*), koja je definirana negativnim dekadskim logaritmom koncentracije vodikovih iona  $a$  (mol · l<sup>-1</sup>):

$$\text{pH} = -\lg a$$

Otuda proizlaze vrijednosti:

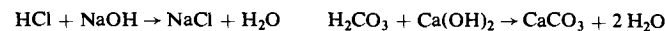
- za kisele otopine  $a > 10^{-7}$  pH < 7
- za neutralne otopine (čista voda)  $a = 10^{-7}$  pH = 7
- za bazične otopine  $a < 10^{-7}$  pH > 7 (... 14)

Vrijednost pH mjerimo pomoću elektrokemijskih mjerila, a možemo je očitovati raznobojnim indikatorima koji pri određenoj vrijednosti pH promijene boju, npr.:

Indikator	pH
metiloranž	crven 3 — 4,4 žut
metilno crvenilo	crveno 4,4 — 6,2 žuto
lakmus	crven 5 — 8 modar
bromtimol (modri)	žut 6 — 7,5 modar
fenolftalein	bezbojan 8 — 10 crven

### Soli

Soli nastaju pri reakciji kiseline s bazom:



Soli nastaju i pri:

- djelovanju halogena na kovine  
 $\text{Cl}_2 + 2 \text{Na} \rightarrow 2 \text{NaCl}$
- djelovanju nekovinskih oksida na kovinske okside ili baze  
 $\text{SO}_3 + \text{CaO} \rightarrow \text{CaSO}_4 \quad \text{CO}_2 + 2 \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- djelovanju kiselina na neplemenitu kovinu ili kovinski oksid  
 $2 \text{HCl} + \text{Zn} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2 \uparrow \quad \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CuO} \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

### Nazivi za soli

Imena soli iz kiselina bez kisika svršavaju na -id:

CaF <sub>2</sub> — Ca fluorid	Cu <sub>3</sub> P — Cu fosfid
NaCl — Na klorid	KCN — K cijanid
AgBr — Ag bromid	K <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> — K Fe(II) cijanid
KJ — K jodid	K <sub>3</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> — K Fe(III) cijanid
PbS — Pb sulfid	

Imena soli iz kiselina s kisikom svršavaju na -at (it):

Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> — Na karbonat	KClO <sub>4</sub> — K klorat
NaHCO <sub>3</sub> — Na hidrokarbonat	K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> — K silikat
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> — Na sulfit	K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> — K kromat
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> — Na sulfat	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> — K bikromat
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — Na tiosulfat	KMnO <sub>4</sub> — K manganat
NaNO <sub>3</sub> — Na nitrat	KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> — K Al sulfat
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> — Na fosfat	
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> — Na hidrofosfat	
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> — Na bihadrofosfat	

### Posebno značajne alkalne soli

Sol	Na	K	Ca	Ba	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
klorid	NaCl kuhinjska sol	KCl	CaCl <sub>2</sub>	BaCl <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> Cl salmijak
karbonat	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> kalcinirana soda	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> potaša	CaCO <sub>3</sub> vapnenac	BaCO <sub>3</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
sulfat	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CaSO <sub>4</sub> sadra	BaSO <sub>4</sub> barit	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
nitrat	NaNO <sub>3</sub> čilska salitra	KNO <sub>3</sub> indijska salitra			NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>

Svojstva					
Sol	Relat. molekul. masa	Talište °C (s = subl.)	Vrelište °C	Gustoća kg/m³ (0°C)	Opaska
BaCl <sub>2</sub>	208,25	962	1560	3856	
BaCO <sub>3</sub>	197,35	1380	—	4430	
BaSO <sub>4</sub>	233,40	1453	—	4500	baritno bjelilo
Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	261,35	595	—	3245	
BaCrO <sub>4</sub>	253,33	—	—	4600	
CaCl <sub>2</sub>	110,99	782	1600	2152	
CaCO <sub>3</sub>	100,09	898,6 s	—	2711	vapnenac, kreda
CaCO <sub>3</sub> · MgCO <sub>3</sub>	184,41	—	—	—	dolomit
CaSO <sub>4</sub>	136,14	1450	—	2960	sadra (gips)
CaSO <sub>4</sub> · 2 H <sub>2</sub> O	172,16	128	163	2320	
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	310,14	1670	—	3080	
CaHPO <sub>4</sub> · 2 H <sub>2</sub> O	172,09	25	100	2316	
CaCrO <sub>4</sub> · 2 H <sub>2</sub> O	192,10	200	—	—	
CaSiO <sub>3</sub>	116,16	1540	—	2905	
CuCl <sub>2</sub>	134,45	498	993	3054	
CuS	95,60	103	220	4600	
CuCO <sub>3</sub> · Cu(OH) <sub>2</sub>	221,08	200	—	4000	
CuSO <sub>4</sub>	159,60	200	650	3600	
CuSO <sub>4</sub> · 5 H <sub>2</sub> O	249,68	110	150	2284	modra galica
FeCl <sub>2</sub>	126,75	672	1023	2988	Fe(II) klorid
FeCl <sub>3</sub>	162,21	282	315	2894	Fe(III) klorid
FeSO <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O	169,92	—	—	3040	
FeSO <sub>4</sub> · 7 H <sub>2</sub> O	278,02	64	300	1898	zelena galica
KCl	74,56	776	1417	1989	
KCN	65,12	634,5	—	1560	cijankalij
KHCO <sub>3</sub>	100,12	150	—	2180	K. bikarbonat
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	138,21	896	—	2267	pepeljika (potaša)
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	174,27	588	1069	2664	
KNO <sub>3</sub>	101,11	337	400	2100	indijska salitra
K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	212,28	1340	—	2564	
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	174,18	—	—	—	
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136,09	252,6	300	2338	
KClO <sub>4</sub>	138,55	610	—	2525	
K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	154,29	976	—	—	
KMnO <sub>4</sub>	158,04	240	—	2703	permanganat
K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	194,20	968	—	2732	
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	294,19	236	500	2690	

soli					
Sol	Relat. molekul. masa	Talište °C (s = subl.)	Vrelište °C	Gustoća kg/m³ (0°C)	Opaska
KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · 12 H <sub>2</sub> O	474,39	92	—	1750	stipsa (alaun)
K <sub>3</sub> Fe(CN) <sub>6</sub>	329,26	—	—	1894	crvena krvna sol
K <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> · 3 H <sub>2</sub> O	422,41	70	—	1850	žuta krvna sol
MgCl <sub>2</sub>	95,22	712	1412	2316	
MgCO <sub>3</sub>	84,32	350	900	3010	magnezit
MgSO <sub>4</sub>	120,37	1124	—	2660	
MgSO <sub>4</sub> · 7 H <sub>2</sub> O	246,48	150	200	1636	gorka sol
NaF	41,99	993	1702	2790	
NaCl	58,44	801	1449	2165	kuhinjska sol
NaBr	102,90	756	1393	3203	
NaJ	149,89	665	1300	3665	
NaCN	49,01	563,7	1500	—	
NaHCO <sub>3</sub>	84,01	270	—	2221	soda bikarbona
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	105,99	860	—	2533	kalcinirana soda
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> · 10 H <sub>2</sub> O	286,14	—	—	1446	kristalna soda
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	142,04	884	—	2698	
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> · 10 H <sub>2</sub> O	322,19	—	—	1465	Glauberova sol
NaNO <sub>3</sub>	84,99	306,8	380	2267	čilska salitra
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> · 10 H <sub>2</sub> O	344,09	100	—	2536	
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> · 2 H <sub>2</sub> O	177,99	95	—	2066	
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O	137,99	100	200	1910	
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	122,06	1088	—	2400	
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 5 H <sub>2</sub> O	248,18	48	70	1750	fiksirna sol
NH <sub>4</sub> Cl	53,49	—	—	1527	salmijak (nišador)
NH <sub>4</sub> Br	97,95	542 s	—	2429	bijela sol (fot.)
NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>	79,06	107,5	—	1573	
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> · H <sub>2</sub> O	114,10	60	—	—	
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	132,14	100	—	1770	
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	80,04	169,6	210	1725	umjetno gnojivo
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	132,06	—	—	1619	
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	115,03	—	—	1794	
PbS	239,25	1114	—	7500	
PbSO <sub>4</sub>	303,25	1000	—	6380	
PbCrO <sub>4</sub>	323,18	844	—	6300	
ZnCl <sub>2</sub>	136,28	283	730	2910	
ZnS	97,43	1020	—	4102	
ZnCO <sub>3</sub>	125,38	300	—	4440	

## Organski spojevi

U svim organskim spojevima sadržan je ugljik. Međutim, u organske spojeve ne ubrajamo slijedeće anorganske spojeve sa C:

ugljične okside	CO, CO <sub>2</sub>	ugljični disulfid	CS <sub>2</sub>
ugljičnu kiselinu	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	cijanovodik	CN
karbonate	npr. CaCO <sub>3</sub>	cijanide	npr. KCN
karbide	npr. CaC <sub>2</sub>	i sl.	

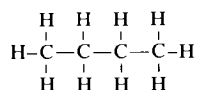
Organski su spojevi najčešće sastavljeni od ugljika i vodika (ugljikovodici), često još i s N i S. U principu su u organskim spojevima mogući svi elementi. U organskim spojevima prevladavaju u prvom redu atomske veze.

Nazivi organskih spojeva po broju atoma C u molekuli:

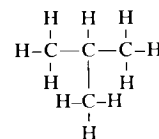
1 atom: met-	5 atoma: pent-	9 atoma: non-
2 atoma: et-	6 atoma: heks-	10 atoma: dek-
3 atoma: prop-	7 atoma: hept-	
4 atoma: but-	8 atoma: okt-	

Za molekule organskih spojeva karakteristična je atomska struktura ugljika, koji se veže u lance (lančani = aciklički, alifatski spojevi) ili u kolute (kolutni = ciklični spojevi). Molekule jednakog sastava mogu imati različite strukture (izomeri).

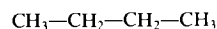
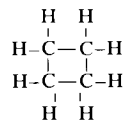
butan C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>



izobutan C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>



ciklobutan C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>



Ugljikovodici mogu biti:

- zasićeni
  - alkani, npr. etan CH<sub>3</sub>–CH<sub>3</sub>
  - nezasićeni: s dvojnim vezama – alkeni, npr. eten CH<sub>2</sub>=CH<sub>2</sub>
  - s trojnim vezama – alkini, npr. etin CH≡CH

Nezasićeni ugljikovodici teže pretvorbi u spojeve sa stabilnijom vezom (u zasićene). Stoga su nezasićeni ugljikovodici kemijski vrlo aktivni pa se takođe spajaju u velike molekule (polimeri).

Alikili (opća oznaka -R) su atomske skupine koje imaju jedan vodikov atom manje nego li odgovarajući alkani, npr.

metil	—CH <sub>3</sub>	propil	—C <sub>3</sub> H <sub>7</sub>	pentil (amil)	—C <sub>5</sub> H <sub>11</sub>
etil	—C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	butil	—C <sub>4</sub> H <sub>9</sub>		

Organske spojeve koji, osim C i H, sadrže i druge elemente, možemo razvrstati s obzirom na karakteristične skupine atoma (prema kojima imaju i slična kemijska svojstva).

## Sistemske skupine organskih spojeva

ime	Skupina karakteristični sastav	Broj atoma C u molekuli		
		1	2	3
alkani (parafini)	C <sub>n</sub> H <sub>2n+2</sub>	CH <sub>4</sub> metan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> etan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> propan
alkeni (olefini)	C <sub>n</sub> H <sub>2n</sub>	—	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eten	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> propen
alkini (acetileni)	C <sub>n</sub> H <sub>2n-2</sub>	—	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> etin (acetilen)	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> propin
alkanoli (alkoholi)	—OH (hidroksil)	CH <sub>3</sub> OH metanol (metilalkohol)	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH etanol (etilalkohol)	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH propanol (propilalkohol)
alkanali (aldehidi)	—CHO (aldehidna skupina)	HCHO metanal (formaldehid)	CH <sub>3</sub> CHO etanal (acetaldehid)	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO propanal
alkanske kisline (karbonske k.)	—COOH (karboksil)	HCOOH metanska k. (mravlja k.)	CH <sub>3</sub> COOH etanska k. (octena k.)	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> COOH propanska k.
alkanoni (ketoni)	—CO— (karbonil)			(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO propanon (aceton)

## Primjeri značajnih organskih skupina

Spoj	Karakteristična atomska skupina	Primjer	
eteri	—O—	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> —O—C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	dietileter
esteri	—COO—	CH <sub>3</sub> —COO—CH <sub>3</sub>	metiletanat
epoksidi	=C—O—C=	CH <sub>2</sub> Cl—HC—O—CH <sub>2</sub>	klorepoksi- propan
amini	—NH <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> —NH <sub>2</sub>	etilamin
amidi	—CONH <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> —CONH <sub>2</sub>	propanamid
nitrili	—CN	CH <sub>2</sub> =CH—CN	propennitril (vinilcianid)

## Aromatični ugljikovodici (benzenskog tipa)

benzen (benzol)	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	$\text{CH} \begin{array}{c} \diagup \text{CH} \\ \diagdown \text{CH} \end{array} \begin{array}{c} \diagdown \text{CH} \\ \diagup \text{CH} \end{array} \text{CH}$	(fenil —C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> )
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	fenol	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	ksilol
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	toluol	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (COOH) <sub>2</sub>	tereftalna kiselina
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	stirol		
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> SO <sub>3</sub> H	sulfonska kislina		

## Svojstva nekih

Spoj	Relat. molekul. masa	Talište °C	Vrelište °C	Gustoća kg/m <sup>3</sup> (0 °C)	Opaska
metan CH <sub>4</sub>	16,04	—182,5	—161,7	0,717	
etan C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30,07	—172	—88,6	1,356	
propan C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44,10	—187,7	—42,1	2,019	
n-butan C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,12	—138,3	—0,5	2,703	
izobutan C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,12	—159,6	—11,7	2,668	
ciklobutan C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56,11	—50	10*	703	
n-oktan C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114,23	—57,0	125,8	764	
izooktan C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114,23	—107,4	99,3	691	
eten C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28,05	—169	—103,5	1,260	»etilen« <sup>1)</sup>
propen C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42,08	—185,3	—47,7	1,915	»propilen« <sup>1)</sup>
buten C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56,05	—130	—6,5	2,500	»butilen« <sup>1)</sup>
ciklobuten C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	54,09	—1	2**	733	
etin C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26,04	—81,5	—83,6	1,171	aceten
propin C <sub>3</sub> H <sub>4</sub>	40,07	—102,7	—23,2	—	
butin C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	54,09	—32,2	27	693	
metanol CH <sub>3</sub> OH	32,04	—97,8	64,7	792	metilalkohol
etanol C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	46,07	—112	78,4	789	etilalkohol
propanol C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH	60,10	—127	97,8	804	propilalkohol
butanol C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH	74,12	—79,9	117	810	butilalkohol
metanal HCHO	30,03	—92	—21	—	formaldehid <sup>2)</sup>
etanal CH <sub>3</sub> CHO	44,05	—123,5	20,2	783	
propanal C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	58,08	—81	49,5	807	
butanal C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> CHO	72,11	—99	75,7	817	
metanska kiselina HCOOH	46,03	8,6	100,8	1220	mravlja kiselina
etanska kiselina CH <sub>3</sub> COOH	60,05	16	118,1	1049	octena kiselina
propanska kiselina C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> COOH	74,08	—22	141,1	992	
butanska kiselina C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> COOH	88,11	—4,7	164	964	maslačna kiselina
propanon (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO	58,08	—94,6	56,5	792	aceton
propantriol (CH <sub>2</sub> OH) <sub>2</sub> CHOH	92,09	17,9	290	1260	glicerin

<sup>1)</sup> Zastarjela imena! <sup>2)</sup> Rastopina formaldehida u vodi = formalin.

\* 968 mbar. \*\* 972 mbar.

## organskih spojeva

Spoj	Relat. molekul. masa	Talište °C	Vrelište °C	Gustoća kg/m <sup>3</sup> (0 °C)	Opaska
monoklor-metan CH <sub>3</sub> Cl	50,49	—97,7	—24	1,785	metil-klorid
diklor-metan CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	84,93	—96,7	—40	1,336	metilen-klorid
triklor-metan CHCl <sub>3</sub>	119,38	—63,5	61,2	1489	kloro-form
tetraklor-metan CCl <sub>4</sub>	153,82	—22,6	76,8	1595	
monofluor-triklor. CFCl <sub>3</sub>	137,37	—111	24,9	1494	R 11 freon 11
difluordiklorometan CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	120,91	—155	—29,2	—	R 12 freon 12
monofluordiklor. CHFCl <sub>2</sub>	102,92	—127	14,5	1426	R 21
monoklor-etan C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl	64,52	—139	13	917	etil-klorid
monoklor-eten C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl	62,50	—160	—12	0,908	vinil-klorid
naftalen C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	128,18	80,2	217,9	1145	naftalin
benzen C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78,11	5,5	80,1	879	»benzol«
hidroksi-benzen C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	94,11	42	182	1071	fenol
amino-benzen C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	93,13	—6,2	184,4	1022	anilin
eter (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> O	74,12	—116,3	34,6	708	
etandiol C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (OH) <sub>2</sub>	62,07	—15,6	197,4	1113	glikol
fenol-ftalein C <sub>20</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub>	318,33	261	—	1299	
celuloza (C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>n</sub>	(162,14) <sub>n</sub>	—	—	1350	
glukoza C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	180,16	146	—	1544	dekstroza
saharin C <sub>7</sub> H <sub>5</sub> O <sub>3</sub> NS	183,19	226 s	—	—	
salicilna kis. HOC <sub>6</sub> H <sub>4</sub> COOH	138,12	159	—	1443	salicil
fosgen COCl <sub>2</sub>	98,92	—104	8,2	1,392	
iperit (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl) <sub>2</sub> S	159,08	14	216	1279	
gliceril-nitrat (O <sub>2</sub> NO) <sub>3</sub> C <sub>3</sub> H <sub>5</sub>	227,09	13,3	160 (20 mbar)	1601	nitro-glicerin
trinitro-toluen (NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	227,13	81	280 ekspl.	1654	trotit (TNT)

## Polimeri

*Polimeri* (umjetni organski spojevi) su makromolekularni organski spojevi koji nastaju nizanjem molekula osnovnih tvari – monomera – u makromolekule s vrlo velikim brojem atoma (do 1000 i više). Relativna molekularna masa polimera iznosi prosječno oko  $10^4$  do  $10^7$ .

Brojem molekula – monomera, od kojih se sastoji molekula polimera, je određen *stupanj polimerizacije*. S porastom stupnja polimerizacije mijenjaju se i svojstva polimera (viskoznost, mogućnost preoblikovanja, čvrstoća, topivost itd.).

Pojedine molekule polimera nisu jednake veličine. Stoga se stupanj polimerizacije može smatrati samo prosječnim. Budući da je broj kemijski vezanih molekula (monomera) u molekuli polimera vrlo velik, to manje razlike u veličini makromolekula neće bitno utjecati na promjenu njihovih svojstava.

Najobičniji oblik makromolekule proizlazi iz lančanog nizanja monomera.

Polimere dobivamo iz monomera sintetički ili pretvorbom prirodnih tvari. Glavni postupci za dobivanje polimera su:

a) *Polimerizacija* je organska kemijska reakcija spajanja jednakih ili različitih nezasićenih spojeva s malenim molekulama u makromolekularne tvari, i to bez nastajanja nusprodukata.

b) *Polikondenzacija* je kemijska reakcija pri kojoj se osnovne tvari s malenim molekulama vežu u makromolekule uz izlučivanje nusprodukata (naročito vode, alkanola, halogenida).

c) *Poliadicijska* je organska kemijska reakcija spajanja različitih spojeva s malenim molekulama u makromolekularne tvari, bez nastajanja nusprodukata.

*Kopolimerizacija* je polimerizacija barem dvaju različitih monomera, pri čem nastaju makromolekule koje sadrže međusobno povezane monomerne molekule kao osnovne skupine.

Kopolimerizacijom nastaju polimerne tvari čija svojstva mogu biti u širokim granicama prilagođena potrebama za njihovu primjenu.

Primjeri najznačajnijih polimera:

celuloza	$(C_6H_{10}O_5)_n$	polietilen	$(C_2H_4)_n$
naravni kaučuk	$(C_5H_8)_n$	polipropilen	$(C_3H_6)_n$
sintetički kaučuk:		polistirol	$(C_8H_8)_n$
– buna S	$(C_{12}H_{14})_n$	polivinilklorid	$(C_2H_3Cl)_n$
– buna N	$(C_7H_9N)_n$	poliakrilonitril	$(C_3H_3N)_n$
silikon	$(RSiO_2)_n$	poliamid	$(C_6H_{11}ON)_n$

## Pregled tvari

Čiste tvari	elementi	čisti elementi (samo jedan red atoma)		jedna faza
		miješani elementi (najmanje dva izotopa)		
	spojevi	anorganski spojevi		
		organski spojevi		
Smjese (disperzni sistemi)	homogene smjese (moleku- larna disperzija) veličina čestica < 1 nm	(prave) otopine	tekuće otopine — plinova (CO <sub>2</sub> u vodi) — tekućina (alkohol u vodi) — krutina (sol u vodi)	više faza
			krute otopine — otopinski kristali (austenit)	
	heterogene smjese — jedna tvar u raz- nim fazama (voda i led) ili — više tvari (voda i ulje) veličina čestica > 1 nm	koloidne otopine veličina čestica 1 ... 100 nm	plinoviti dispergenti (aerosoli) — tekućina (magla) — krutina (dim, prah)	
			tekući dispergenti — plinova: koloidna pjena (sapunica) — tekućina: koloidna emulzija (mlijeko) — krutina: koloidna otopina	
			kruti dispergenti — plinova } krute pjene — tekućira } (plovuće) — krutina: koloidni eutektik	
		suspenzije veličina čestica > 100 nm		

*Taloženje* (sedimentacija) (čestice se talože zbog težine ili pomoću centrifuge):

- grubodisperzne suspenzije lako se talože,
- koloidne otopine talože se pomoću (ultra)centrifuge,
- prave se otopine ne talože.

*Filtriranje*:

- suspenzije se filtriraju kroz obične filtre (otvori očica 100 nm),
- koloidi se filtriraju kroz specijalne filtre (otvori očica 1 nm),
- prave se otopine ne mogu filtrirati.

## MEHANIKA

### Masa i težina

Masa  $m$  (kg) je svojstvo tijela koje se očituje u ustrajnosti protiv promjena gibanja i u uzajamnom privlačenju drugih tijela. Masu određujemo uspoređivanjem s drugim tijelima poznate mase (tj. vaganjem pomoću utega). Masa se ne mijenja s promjenom položaja.

Masa je također vaganjem određena količina tvari.

Gustoća  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) je odnos mase  $m$  i volumena  $V$ :  $\rho = m/V$ .

Gustoćom izražena masa:  $m = \rho V$ .

Težina  $G$  (N) je sila, kojom Zemlja privlači tijela. Određena je masom  $m$  tijela i ubrzanjem zemaljske sile teže  $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$ ;  $G = mg$ .

Težina nije konstantna, već se mijenja s promjenom ubrzanja  $g$  sile teže (koja se mijenja od ekvatora do polova od 9,78 do 9,83 m/s<sup>2</sup>).

U svakidašnjem životu označuje »težina« i vaganjem ustanovljenu masu (g, kg, t). (Vidi upozorenje na str. 64!)

### Gustoća tehničkih materijala (kg/m<sup>3</sup>)

#### Čisti elementi i spojevi

Gustoća čistih elemenata i spojeva sabrana je u podacima o tvarima:

čisti elementi	str. 80, 81	kiseline, baze	str. 88
hidridi, oksidi	str. 84, 85	sol	str. 90, 91
karbidi, nitridi	str. 86	organski spojevi	str. 94, 95

#### Tehničke kovine i spojevi

aluminij – lijevani	2560	delta kovina	8600
– kovani	2750	duralumin	2800
aluminijeve slitine	2600 ... 2900	elektron	1800
bakar – tekući	8220	konstantan	8800
– elektrolitski	8900 ... 8950	kositar – tekući	7025
– lijevani	8300 ... 8920	– lijevani	7200
– kovani, valjani	8800 ... 9000	manganin	8400
bijela kovina	7500 ... 10100	mjed (mesing)	8400 ... 8800
bronca – kositrena	8730 ... 8800	monel kovina	8580
– aluminijaska	7400 ... 8200	olovo – tekuće	10640
cink – tekući	6480	– lijevano	11340
– lijevani	6900	silumin	2500 ... 2650
– kovani	7000 ... 7200	sivi lijev	7250
čelik – lijevani	7850	srebro – lijevano	10400 ... 10500
– valjani	7850	– kovano	10500 ... 10600
– brzorezni	8100 ... 9000	zlato, lijevano	19250

### Nekovinske krutine

asfalt	1050 ... 1380	pepeo	1800 ... 2400
azbest	2100 ... 2800	pluto	200 ... 350
azbestna ljepenska	1200	porculan	2150 ... 2450
boksit	2400 ... 2600	smirak	4000
celofan	1420	smola, prirodna	1250 ... 1330
celuloid	1380	staklo	2400 ... 3000
cement	2200 ... 3250	svila, umjetna	1250 ... 1600
grafit	2000 ... 2500	šamot	1800 ... 2600
guma, tvrda	1150 ... 1700	šećer	1610
gumeni proizvodi	1000 ... 2000	škrob	1530
kaučuk, sirovi	910 ... 930	tinjac	2600 ... 3200
keramički proizvodi	1600 ... 3900	treset, posušen	800 ... 1600
koks	1600 ... 1900	troska	2500 ... 3000
kolofonij	1070 ... 1090	ugljen	1200 ... 1500
korund	3750 ... 4000	ugljen, drveni	1400 ... 1500
kreda	1800 ... 2600	ugljeni briketi	1250
kremen (kvarc)	2100 ... 2650	vapnenac	1500 ... 1700
kremeno staklo	2200	vapno – živo	900 ... 1300
kriolit	2950	– gašeno	1150 ... 1250
led (H <sub>2</sub> O)	880 ... 920	vosak	980 ... 1040
mast	910 ... 960	vuna	1300 ... 1400
pamuk	1480	zemlja	1300 ... 2000
papir	700 ... 1200	Zemlja (planet)*	5530

\* Ukupna masa Zemlje iznosi  $5960 \cdot 10^{18} \text{ t}$ .

### Kapljevine (pri 15 °C)

benzin – laki	680 ... 720	plinsko ulje iz	
– teški	< 760	– katrana	880 ... 900
cilindarsko ulje	930	– kamenog ugljena	1020 ... 1080
katran iz		– nafte	860 ... 890
– kamenog ugljena	1100 ... 1200	– smeđeg ugljena	880 ... 900
– smeđeg ugljena	850 ... 910	repičino ulje	911 ... 918
katransko ulje iz		ricinusovo ulje	959 ... 974
– kamenog ugljena	1080	solna otopina	
– smeđeg ugljena	780 ... 1040	(NaCl) – 10%	1071
laneno ulje	940	terpentinsko ulje	860
morska voda	1020 ... 1030	ulje za loženje	
nafta	700 ... 1040	– lako	890 ... 980
parafinsko ulje	900 ... 1020	– teško	1020 ... 1080
petrolej	760 ... 860	voda	999,13

Gradiva		
zid od prirodnog kamena:		
granit, porfir	2600	vapno 1700
mramor	2700	vapno-cement 1900
pješčnjak	2400	beton (od šljunka) 2200
vapnenac – gust	2600	drvo (prosušeno)
– porozan	2200	borovina 600 . . . 700
zid od umjetnog gradiva:		brezovina 700 . . . 800
obična opeka	1800	bukovina 700 . . . 800
porozna puna opeka	1100	hrastovina 800 . . . 900
porozna šuplja opeka	1000	javorovina 650 . . . 750
šuplja opeka	1450	jelovina 550 . . . 600
žbuka:		lipovina 500 . . . 600
cement	2100	smrekovina 550 . . . 600
sadra	1200	topolovina 450 . . . 500
Sipke i tvari		
briketi, ugljeni	750 . . . 1250	sol 1250
cement – rastresen	1200 . . . 1400	treset 300 . . . 900
– nabijen	1900 . . . 2000	ugljen drveni
drvo u cjepanicama	330 . . . 520	– od meka drveta 150
koks	320 . . . 450	– od tvrdra drveta 200
materijal		ugljen, kameni 800 . . . 900
za nasipavanje:		– smeđi 700 . . . 800
šljunak – suh	1700	vapnenac 1400
– vlažan	2000	vapno, gašeno 1150 . . . 1250
troska (šljaka)	1000	– živo 1060
zemlja, pijesak, ilovača		zemlja 1600 . . . 2000
– mokra	2100	žito, krumpir, voće
– prirodno vlažna	1800	brašno, rastreseno 500
– suha	1600	ječam 650
pijesak, ljevaonički		krumpir 750
– rastresen	1200	pšenica 760
– nabijen	1650	raž 680
slama	45	voće 360
snijeg – svjež zapao	80 . . . 190	zob 550
– mokr	200 . . . 800	
Kutovi prirodnog pokosa		
cement	40°	pšenica, raž 25 . . . 35°
grah, grašak	35°	ugljen, kameni 45°
ječam, zob	40 . . . 45°	– smeđi 35 . . . 50°
koks	35 . . . 50°	zemlja 27 . . . 35°

## STATIKA

## Sila

Sila  $F$  (N) je uzrok promjeni gibanja i oblika tijela. Sila je vektor određen veličinom, smjerom i hvatištem.

## Sila u ravni

$F$  — sila s hvatištem  $(x_0, y_0)$

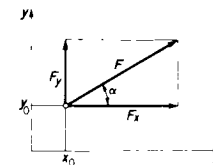
$F_x, F_y$  — komponente

$\alpha$  — kut što ga zatvara smjer sile  $F$  s osi  $x$

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_x + \mathbf{F}_y$$

$$F_x = F \cos \alpha \quad F_y = F \sin \alpha$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad \tan \alpha = F_y / F_x$$



## Sila u prostoru

$F$  — sila s hvatištem  $(x_0, y_0, z_0)$

$F_x, F_y, F_z$  — komponente

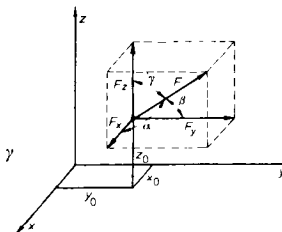
$\alpha, \beta, \gamma$  — kutovi što ih zatvara sila  $F$  s osima  $x, y, z$

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_x + \mathbf{F}_y + \mathbf{F}_z$$

$$F_x = F \cos \alpha \quad F_y = F \cos \beta \quad F_z = F \cos \gamma$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$$

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$$



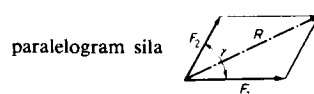
## Sastavljanje dviju sila u ravni

Sile koje sastavljamo  $F_1, F_2$  — komponente

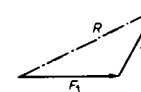
Kut među silama  $\gamma$

Ukupna sila  $R$  — rezultanta

## Grafičko rješenje:



trokut sila



## Analitičko rješenje:

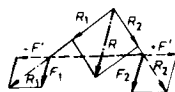
$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 F_1 F_2 \cos \gamma}$$

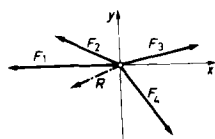
$R_x$  i  $R_y$  su projekcije rezultante  $R$  na osi  $x$  i  $y$

$$R_x = F_1 + F_2 \cos \gamma \quad R_y = F_2 \sin \gamma$$

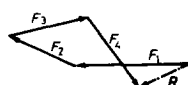
Pri sastavljanju dviju paralelnih sila  $F_1$  i  $F_2$  dodajemo dvije jednake, ali suprotne sile  $+F'$  i  $-F'$ .



Sastavljanje više sila sa zajedničkim hvatištem



Grafičko rješenje: poligon sila



Analitičko rješenje  $R = \sum_{i=1}^n F_i$

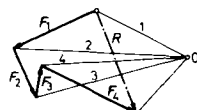
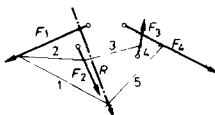
Projekcija rezultante na os  $x(y)$  jednaka je zbroju projekcija svih komponenti na os  $x(y)$ :

$$R_x = \sum_{i=1}^n F_{ix} \quad R_y = \sum_{i=1}^n F_{iy} \quad R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

Hvatište rezultante je u hvatištu sila.

Sastavljanje više sila s različitim hvatištima

Grafičko rješenje: verižni poligon

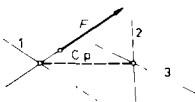


(0 – po volji odabrani pol)

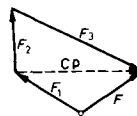
Analitičko rješenje  $R = \sum_{i=1}^n F_i$

Daljnje rješavanje – pomoću projekcija kao u prijašnjem primjeru.

Rastavljanje sile  $F$  u više komponenti (1, 2 i 3), koje se ne sijeku sve u istoj točki



Grafičko rješenje:



C.p. = Culmannov pravac spaja sjecište pravca djelovanja sile  $F$  i jednog od zadanih pravaca sa sjecištem ostalih dvaju pravaca.

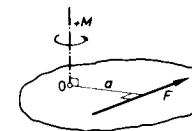
## Statički moment sile

Statički moment sile  $M$  (N m) s obzirom na neku točku (pol 0) je umnožak sile  $F$  i njena kraka  $a$  (tj. okomite udaljenosti te točke od smjera sile  $F$ )

$$M = Fa$$

Po dogovoru moment je pozitivan ako njegovo djelovanje ima smisao suprotan smislu kazaljke na satu.

Moment sile je vektor kojemu je smjer okomit na ravninu određenu smjerom sile i kraka. Vektor momenta sile ima takav smisao da je moment, gledan u suprotnom smislu, pozitivan.



Moment sile u ravnini

Momenti komponenti sile  $F$

$$-M_x = F_y y_0$$

$$M_y = F_x x_0$$

Moment sile  $F$

$$M = (-M_x) + M_y = M_y - M_x$$

Zbrajanje momenata s obzirom na istu točku (os)

$$M_R = \sum_{i=1}^n M_i$$

Moment sile u prostoru

Momenti s obzirom na pojedine koordinatne osi  $x$ ,  $y$  i  $z$  (vidi sliku: sile u prostoru – na str. 101):

$$M_x = F_z y_0 - F_y z_0 \quad M_y = F_x z_0 - F_z x_0 \quad M_z = F_y x_0 - F_x y_0$$

ukupni moment

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}$$

Spreg sila (par sila) su dvije jednako velike, usporedne i suprotno usmjerene sile  $F$  i  $-F$  s međusobnim razmakom  $a$ . Te se dvije sile ne mogu sastaviti u rezultantu. Moment sprega sila iznosi

$$M = Fa$$

Spreg sila može se u istoj ili paralelnoj ravnini po volji premještati ili zamijeniti drugim spregom sila koji ima isti moment.





### Ravnoteža sila

Sile su u ravnoteži ako kruto tijelo, na kojeg djeluju, ostaje u mirovanju (odn. ne mijenja stanje gibanja).

Uvjeti ravnoteže

a) Rezultanta svih sila mora biti jednaka nuli

$$R = \sum_{i=1}^n F_i = 0$$

Stoga moraju biti i rezultante komponenta jednake nuli

$$R_x = \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0 \quad R_y = \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0 \quad R_z = \sum_{i=1}^n F_{iz} = 0$$

Pri grafičkom rješavanju poligon sila mora biti zatvoren ( $R = 0$ ).

b) Zbroj svih momenata mora biti jednak nuli

$$M_R = \sum_{i=1}^n M_i = 0$$

Zato moraju zbrojevi momenata s obzirom na pojedine koordinatne osi također biti jednaki nuli

$$M_{Rx} = \sum_{i=1}^n M_{ix} = 0 \quad M_{Ry} = \sum_{i=1}^n M_{iy} = 0 \quad M_{Rz} = \sum_{i=1}^n M_{iz} = 0$$

U sila koje imaju isto hvatište nije potreban uvjet za momente.

### Stabilnost

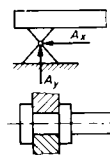
Tijelo je stabilno s obzirom na prevrtanje ako je

$$\sum \text{momenata stabilnosti} > \sum \text{momenata prevrtanja}$$

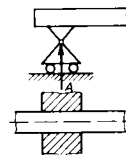
Pri tome računamo sve momente s obzirom na brid prevrtanja.

### Reakcije u osloncima (smjer)

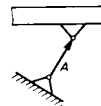
Nepomični oslonac



Pomični oslonac



Njihajni oslonac



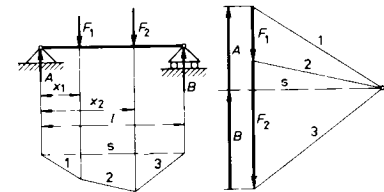
### Nosači

Nosač na dva oslonca

Reakcije u osloncima

$$A = F_1 \frac{l - x_1}{l} + F_2 \frac{l - x_2}{l}$$

$$B = F_1 \frac{x_1}{l} + F_2 \frac{x_2}{l}$$



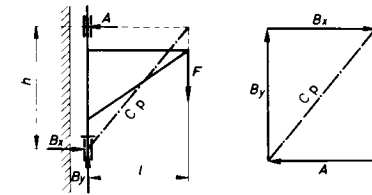
Zidni (okretni) nosač

Reakcije u osloncima

$$A_x = B_x = F \frac{l}{h}$$

$$A_y = F$$

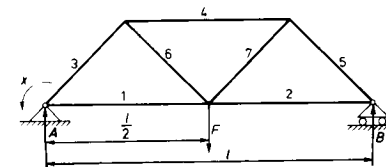
(C. p. = Culmannov pravac)



Rešetkasti nosač (rešetka)

Reakcije u osloncima

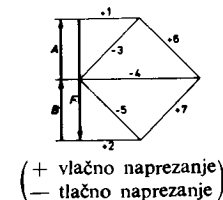
$$A = B = \frac{F}{2}$$



### Cremonin plan

sastavljen je od (zatvorenih) poligona sila koje djeluju u svakom čvoru, a nalaze se u ravnoteži.

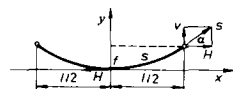
Najprije određujemo reakcije u osloncima A i B. Zatim crtamo plan tako da kod svih čvorova uzimamo u obzir redosljed sila kakav je na slici, pri čemu treba usvojiti isti smisao promatranja (npr. x).



(+ vlačno naprezanje)  
(- tlačno naprezanje)

## Statika užeta

Uže upeto na razmaku  $l$  s progibom  $f$ . Težina jedinice duljine



$$p = A \rho g \quad (\text{N/m})$$

$A$  — (ukupni) presjek užeta  
 $\rho$  — gustoća materijala užeta  
 $g$  — ubrzanje teže ( $= 9,81 \text{ m/s}^2$ ).

### 1. Maleni progib

Uže će poprimiti (dovoljnom točnošću) oblik parabole

$$y \approx 4f/l^2 \cdot x^2$$

Duljina užeta  $2s \approx l$

Težina užeta  $G \approx pl$

Progib  $f \approx pl^2/8H$

Prikloni kut  $\tan \alpha \approx 4f/l$

Sile u užetu: komponente  $V \approx pl/2$   $H \approx pl^2/8f$

rezultanta  $S \approx pl/8 \cdot \sqrt{(l/f)^2 + 16}$

### 2. Proizvoljni progib

Uže će poprimiti oblik lančaniće

$$y = h/2 \cdot (e^{x/h} + e^{-x/h}) - h \quad h = H/p \approx l^2/8f$$

Duljina užeta  $2s = 2\sqrt{f^2 + 2fh}$

Težina užeta  $G = 2ps$

Progib  $f = h/2 \cdot (e^{l/2h} + e^{-l/2h}) - h$

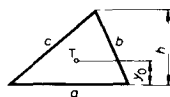
Prikloni kut  $\tan \alpha = s/h$

Sile u užetu: komponente  $V = ps$   $H = ph$

rezultanta  $S = p(f + h)$

## TEŽIŠTA

### Težišta linija



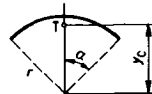
1. Dužina. Težište je na polovici dužine.

2. Obod trokuta

$$y_o = \frac{h}{2} \cdot \frac{b+c}{a+b+c}$$

3. Kružni luk s polumjerom  $r$  i kutom  $\alpha$

$$y_o = r \frac{\sin \alpha}{\alpha} \quad \hat{\alpha} \text{ (rad)}$$



$$\alpha = \pi/2 = 90^\circ \quad y_o = 2r/\pi \approx 0,6366 r$$

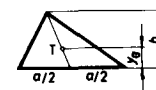
$$\alpha = \pi/4 = 45^\circ \quad y_o = 2r/\pi \cdot \sqrt{2} \approx 0,9003 r$$

$$\alpha = \pi/6 = 30^\circ \quad y_o = 3r/\pi \approx 0,9549 r$$

## Težišta likova

### 1. Trokut

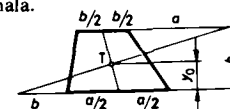
$$y_o = \frac{h}{3}$$



### 2. Paralelogram. Težište je u sjecištu dijagonala.

### 3. Trapez

$$y_o = \frac{h}{3} \cdot \frac{a+2b}{a+b}$$



### 4. Pravilni višekut i krug. Težište je u središtu.

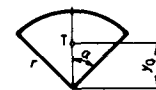
### 5. Kružni isječak

$$y_o = \frac{2}{3} r \frac{\sin \alpha}{\hat{\alpha}} \quad \hat{\alpha} \text{ (rad)}$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} = 90^\circ \quad y_o = \frac{4r}{3\pi} \approx 0,4244 r$$

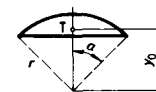
$$\alpha = \frac{\pi}{4} = 45^\circ \quad y_o = \frac{4\sqrt{2}}{3\pi} r \approx 0,6002 r$$

$$\alpha = \frac{\pi}{6} = 30^\circ \quad y_o = \frac{2r}{\pi} \approx 0,6366 r$$



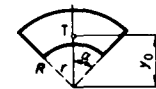
### 6. Kružni odsječak

$$y_o = \frac{2}{3} r \frac{\sin^3 \alpha}{\hat{\alpha} - \sin \alpha \cos \alpha} \quad \hat{\alpha} \text{ (rad)}$$



### 7. Isječak kružnog vijenca

$$y_o = \frac{2}{3} \cdot \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \cdot \frac{\sin \alpha}{\hat{\alpha}} \quad \hat{\alpha} \text{ (rad)}$$



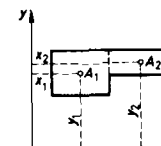
### 8. Sastavljeni lik

Pojedine površine  $A_i$

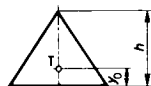
koordinate težišta

$$x_o = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i x_i)}{A} \quad A = \sum_{i=1}^n A_i$$

$$y_o = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i y_i)}{A}$$



## Težišta tijela



1. Kocka i prizma. Težište je u središtu.

2. Piramida i stožac

$$y_0 = \frac{h}{4}$$

3. Kugla. Težište je u središtu.

4. Polukugla

$$y_0 = \frac{3}{8}r$$

5. Kuglin odsječak (kalota)

$$y_0 = \frac{3}{4} \cdot \frac{(2r-h)^2}{(3r-h)}$$

6. Kuglin isječak

$$y_0 = \frac{3}{8}(2r-h)$$

7. Kuglina zona

$$y_0 = \frac{-3(a^4 - b^4)}{6h(a^2 + b^2) + 2h^3}$$

$$a = \sqrt{h_a(2r - h_a)} \quad b = \sqrt{h_b(2r - h_b)}$$

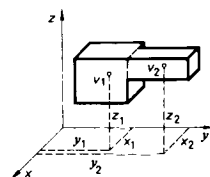
8. Sastavljeno tijelo

Pojedini volumeni  $V_i$   
koordinate težišta

$$x_0 = \sum_{i=1}^n (V_i x_i) / V$$

$$y_0 = \sum_{i=1}^n (V_i y_i) / V \quad V = \sum_{i=1}^n V_i$$

$$z_0 = \sum_{i=1}^n (V_i z_i) / V$$



## TRENJE

Trenje je otpor pri klizanju dvaju tijela koja se dodiruju plohami. Sila trenja  $F_t$  ovisi o hrapavosti i materijalu kliznih ploha, sredstvu za podmazivanje i o okomitoj (normalnoj) sili  $F_n$ , kojom jedna ploha tlači drugu.

1. Trenje mirovanja

Sila trenja  $F_t = \mu_0 F_n$   $\mu_0$  — koeficijent trenja mirovanja

2. Trenje gibanja

Sila trenja  $F_t = \mu F_n$   $\mu$  — koeficijent trenja gibanja

3. Koeficijenti trenja

Parovi materijala	$\mu_0$		$\mu$	
	suho	podmazano	suho	podmazano
čelik na čelik	0,12 ... 0,30	0,10	0,10	0,01 ... 0,05
čelik na lijev. željezo ili bronz	0,19 ... 0,20	0,10	0,18	0,01 ... 0,05
kovina na drvo	0,50 ... 0,65	0,10	0,20 ... 0,50	0,02 ... 0,10
drvo na drvo	0,40 ... 0,65	0,16 ... 0,20	0,20 ... 0,40	0,04 ... 0,16
koža na kovinu	0,60	0,20	0,22	0,12
koža na lijevano željezo	0,56	—	0,28	0,12

Koeficijent trenja  $\mu$  za gumeni kotač na dobroj cesti (asfalt, beton):

suho: 0,5 ... 0,65; vlažno: 0,2 ... 0,35; snijeg: 0,1 ... 0,5; led: 0,05 ... 0,15

4. Trenje tijela na kosini

Sila okomita na podlogu

$$F_n = G \cos \alpha \quad G — \text{težina}$$

Sila u smjeru podloge (niz kosinu)

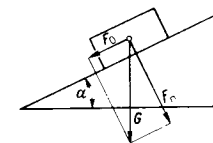
$$F_0 = G \sin \alpha$$

Tijelo miruje — zbog trenja — u svakom položaju kosine ako je

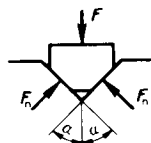
$$F_t \geq F_0 \quad \mu_0 \geq \tan \alpha \quad \varrho_0 \geq \alpha \quad F_t = \mu_0 F_n = \mu_0 G \cos \alpha$$

Kut trenja  $\tan \varrho_0 = \mu_0$   $\varrho_0$  — kut trenja mirovanja

$\tan \varrho = \mu$   $\varrho$  — kut trenja gibanja



### 5. Trenje u klinastom utoru pri djelovanju sile $F$ na klin



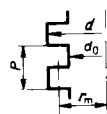
$$F = 2 F_n \sin \alpha$$

Trenje mirovanja

$$F_t = \mu_0 2 F_n = \frac{\mu_0}{\sin \alpha} F = \mu_0' F$$

Koeficijent trenja klina  $\mu_0' = \mu_0 / \sin \alpha$

### 6. Trenje vijka



a) Vijak s plosnatim navojem

$$\text{Srednji polumjer } r_m = \frac{d + d_0}{4}$$

$$\text{Kut uspona } \alpha \quad \tan \alpha = \frac{P}{2 r_m \pi}$$

Koeficijent trenja  $\tan \varrho = \mu$

Djelovanje vijka nasuprot sili opterećenja  $Q$ :

Sila gibanja bez trenja

$$F_0 = Q \tan \alpha$$

Sila gibanja s trenjem

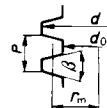
$$F = Q \tan (\alpha + \varrho) = Q \frac{P + 2 r_m \pi \mu}{2 r_m \pi - \mu P}$$

Korisnost

$$\eta = F_0 / F = \tan \alpha / \tan (\alpha + \varrho)$$

Sila samokočnosti  $F' = Q \tan (\alpha - \varrho_0)$

Uvjet samokočnosti vijka  $\alpha \leq \varrho_0$ .



b) Vijak s trapeznim navojem

Koeficijent trenja  $\mu' = \mu / \cos (\beta / 2)$

Sav ostali proračun trenja isti je kao i za vijak s plosnim navojem.

### 7. Trenje u kliznom ležaju u kojem djeluje sila $F$ na površinu $A$

Specifični pritisak  $p = F / A$

Moment trenja: za radijalni ležaj promjera  $d$  (polumjera  $r$ ) i duljine  $l$

$$M = \mu r F \quad p = F / l d$$

za aksijalni ležaj s polumjerom rukavca  $r$  i polumjerom otvora u ležaju  $r_0$

$$M = 2/3 \cdot \mu p \pi (r^3 - r_0^3) \quad p = F / \pi (r^2 - r_0^2)$$

### 8. Trenje kotrljanja

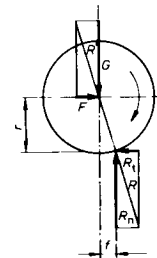
Kotač (kolot, kugla, valjak), opterećen silom (npr. težinom  $G$ ), kotrlja se po ravnoj podlozi zbog sile kotrljanja  $F$  koja na nj djeluje odnosno zbog momenta kotrljanja  $M$ .

Hvatište (prema središtu kola uperene) sile otpora  $R$  pomaknuto je za krak  $f$  pred kotačem.

Komponente sile otpora  $R$ :  $R_n = G$   $R_t = F$

Trenje kotrljanja:  $f/r = R_t/R_n = F/G$

Sila kotrljanja i moment:  $F = f/r \cdot G$   $M = fG$



Kotrljanje počinje samo pri nagibu podloge  $\tan \alpha > f/r$ .

Pri kotrljanju zbog momenta kotrljanja  $M$  mora biti koeficijent trenja između kotača i podloge (tračnice, ceste)  $\mu > f/r$ .

Krak momenta kotrljanja  $f$ :

kaljena čelična tijela (kugle, valjci)

na čeličnoj podlozi (kotrljajući ležaji)  $f \approx 0,01 \text{ mm}$

čelik, čelični lijev ili sivi lijev

na čeliku (vozila na tračnicama)  $f \approx 0,5 \text{ mm}$

drvo na drvetu  $f \approx 5,0 \text{ mm}$

Trenje kotrljanja  $f/r$  za gumene kotače na cesti (automobili):

asfalt  $\approx 0,01$ ; beton  $\approx 0,015$ ; makadam  $\approx 0,03$ ; pijesak do 0,3.

### 9. Kolutno obodno trenje

Trenje užeta ili trake na obodu koluta

Obuhvatni kut  $\hat{\alpha}$  (rad)  $= 180/\pi \cdot \alpha^\circ$

a) Trenje na užnici  $F > F_0$

Najveća obodna tarzna sila

$$F_{t \max} = F - F_0 = F(e^{\mu \hat{\alpha}} - 1)/e^{\mu \hat{\alpha}}$$

Najveći obodni tarzni moment

$$M_{t \max} = F_{t \max} r = Fr(e^{\mu \hat{\alpha}} - 1)/e^{\mu \hat{\alpha}}$$

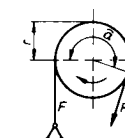
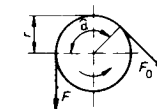
b) Trenje na zavornom kolutu  $F > F_0$

Tarzna sila

$$F_t = F - F_0 = F_0(e^{\mu \hat{\alpha}} - 1)$$

Tarzni moment

$$M_t = F_t r = F_0 r(e^{\mu \hat{\alpha}} - 1)$$



## ČVRSTOĆA

### Naprezanja

Pri deformacijama nastaju u materijalu naprezanja koja djeluju suprotno uzroku deformacija:

- normalne sile  $F_n$  djeluju okomito na promatrani presjek  $S$ , i uzrokuju *normalna naprezanja*  $\sigma$

$$\sigma = F_n / S$$



- tangencijalne sile  $F_t$  djeluju u presjeku  $S$  samom i uzrokuju *tangencijalna naprezanja*  $\tau$

$$\tau = F_t / S$$

a) Normalna naprezanja  $\sigma$  uzrokuju produljenje ili skraćanje materijala (npr. kod vlaka ili tlaka). Pri tom se pojavljuje

$$\begin{array}{ll} \text{aps. produljenje } \Delta l = l - l_0 & \text{rel. produljenje } \varepsilon = \Delta l / l_0 \\ \text{aps. suženje } \Delta d = d_0 - d & \text{rel. suženje } \varepsilon_q = \Delta d / d_0 \end{array}$$

$l_0, d_0$  — prvobitna duljina odnosno promjer epruvete (bez naprezanja),  
 $l, d$  — duljina i promjer epruvete pri naprezanju  $\sigma$ .

$$\varepsilon / \varepsilon_q = m \quad \text{Poissonov broj } \mu = 1/m$$

za kovine  $m = 3 \dots 4$  (za čelik: 10/3)

za sivi lijev  $m = 5 \dots 9$

Hookeov zakon vrijedi ako je rastezanje linearno proporcionalno naprezanju

$$\begin{array}{ll} \varepsilon = \alpha \sigma & \alpha \text{ — koeficijent rastezanja} \\ \sigma = \varepsilon E & E = 1/\alpha \text{ — modul elastičnosti} \end{array}$$



Hookeov zakon vrijedi (do granice linearne proporcionalnosti) za čelik, a praktično i za bakar aluminij i drvo.

$$\text{Deformacijski rad } W = \sigma \varepsilon / 2.$$

Potencijalni zakon (ustanovljen na temelju preciznih mjerenja)  $\varepsilon = \alpha_0 \sigma^n$  vrijedi osobito za sivi lijev, gdje je  $\alpha_0 \approx 1/E$ , dok je  $n = 1,08$  za vlak a  $n = 1,04$  za tlak. Za neke druge materijale je npr.

$n > 1$  — za lijevani cink, granit, beton ( $n = 1,14 \dots 1,16$ )

$n < 1$  — za kožu ( $n = 0,7$ ), užad od konoplje itd.

Modul elastičnosti  $E$  (N/mm<sup>2</sup>)

čelik	210 000	Al i Al-slitine	≈ 70 000
čelični lijev	200 000	Mg i Mg-slitine	≈ 39 000
nodularni lijev	≈ 180 000	bakar	125 000
sivi lijev	≈ 100 000	mjed	≈ 90 000
karbidni tvrdi metali	≈ 580 000	drvo	≈ 10 000

b) Tangencijalna naprezanja  $\tau$  uzrok su klizanju materijala (npr. kod smicanja). Pri tom se javlja tangencijalna deformacija  $\gamma$ . Slično Hookeovu zakonu vrijedi za područje u kojem je tangencijalno naprezanje  $\tau$  linearno proporcionalno klizanje (deformaciji  $\gamma$ )

$$\gamma = \beta \tau \quad \beta \text{ — koeficijent smicanja}$$

$$\tau = \gamma G \quad G = 1/\beta \text{ — modul smicanja}$$

Deformacijski rad  $W = \tau \gamma / 2$ .

Odnos između modula elastičnosti  $E$  i modula smicanja  $G$

$$G = E m / 2(m + 1) = E / 2(1 + \mu)$$

(Za čelik je  $m = 10/3$  pa je  $G = 0,385 E$ .)

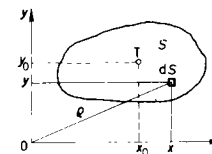
### Geometrijske karakteristike presjeka

Statički moment plohe  $S$  obzirom na neku os jest suma umnožaka elementarnih površina  $dS$  na te plohe i udaljenosti njihovih težišta od izabrane osi

$$M_x = \int y dS \approx \sum y_i S_i$$

a jednak je umnošku površine  $S$  i udaljenosti  $y_0$  njena težišta  $T$  od osi  $x$

$$M_x = y_0 S$$



Statički moment plohe  $S$  obzirom na os kroz težište je nula.

Moment tromosti plohe

Aksijalni moment plohe je suma umnožaka elementarnih površina i kvadrata udaljenosti njihovih težišta od izabrane osi, npr. od osi  $x$  ili  $y$ :

$$I_x = \int y^2 dS \approx \sum y_i^2 S_i \quad I_y = \int x^2 dS \approx \sum x_i^2 S_i$$

Polumjer tromosti  $i = \sqrt{I/S}$

Polarni moment tromosti plohe je suma umnožaka elementarnih površina i kvadrata udaljenosti njihovih težišta od izabranog pola (0)

$$I_p = \int \rho^2 dS \approx \sum \rho_i^2 S_i$$

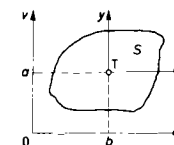
Pri tom vrijedi  $\rho^2 = x^2 + y^2$  i  $I_p = I_x + I_y$

Moment tromosti plohe uvijek je pozitivan.

Steinerovo pravilo

Aksijalni moment tromosti plohe  $S$  obzirom na os koja je paralelna s osi kroz težište iznosi

$$I_u = I_x + a^2 S \quad I_v = I_y + b^2 S$$



### Vlak i tlak

Opterećenje  $F$ , koje zamišljamo da je jednoliko raspodijeljeno po presjeku  $S$ , uzrokuje naprezanje

$$+\sigma \quad \text{kod vlaka} \quad +\sigma = \frac{F}{S}$$

$$-\sigma \quad \text{kod tlaka} \quad -\sigma = -\frac{F}{S}$$

Deformacija kod vlaka (tlaka) – produljenje (skraćenje)

$$\Delta l = \sigma l / E$$

Temperaturna naprezanja  $\sigma_T$  pojavljuju se pri zagrijavanju ili ohlađivanju čvrsto upeta predmeta

$$\sigma_T = \varepsilon E = E \cdot \Delta l / l_0$$

$\Delta l$  je linearno temperaturno produljenje (skraćenje) (v. str. 157)

$$\Delta l = \alpha_T l_0 \cdot \Delta T$$

gdje su:  $l_0$  – prvobitna duljina,  $\Delta T$  – temperaturna razlika,  $\alpha_T$  – linearni koeficijent temperaturnog rastezanja ( $K^{-1}$ ) (v. str. 158 i 159).

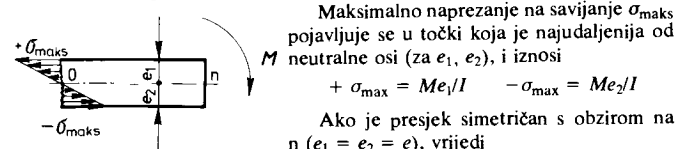
$$\sigma_T = E \alpha_T \cdot \Delta T$$

Temperaturna naprezanja ne zavise od dimenzija predmeta i mogu biti katkada vrlo velika.

### Savijanje

Moment savijanja  $M$  uzrokuje naprezanje  $\sigma$ , koje zamišljamo raspodijeljeno po presjeku razmjerno prema udaljenosti od neutralne osi  $n$ .

Neutralna os prolazi kroz težište promatranog presjeka (na sl.: kroz točku 0).



$$+\sigma_{\max} = M e_1 / I \quad -\sigma_{\max} = M e_2 / I$$

Ako je presjek simetričan s obzirom na  $n$  ( $e_1 = e_2 = e$ ), vrijedi

$$\sigma_{\max} = M e / I = M / W$$

$I$  – moment tromosti presjeka  $S$  s obzirom na  $n$

$W$  – moment otpora presjeka  $W = I / e$

Progib nosača  $f$  slijedi iz diferencijalne jednadžbe elastične linije









$$y'' = -M / EI$$

$M_{\max}$ ,  $f$ ,  $I$ ,  $W$  za najčešće slučajeve dani su na str. 115 i 116.

### Momenti i progibi nosača

Slika opterećenja	Moment savijanja $M_{\max}$	Opasni presjek	Progib	
			$f$	na mjestu
	$F l$	B	$\frac{F}{EI} \cdot \frac{l^3}{3}$	A ( $x = 0$ )
	$\frac{F l}{4}$	C	$\frac{F}{EI} \cdot \frac{l^3}{48}$	C ( $x = l/2$ )
	$\frac{F a b}{l}$	C	$\frac{F}{EI} \cdot \frac{a^2 b^2}{3 l}$ $\cdot \frac{l+b}{3 b} \sqrt{\frac{l+b}{3 a}}$	$x = a \sqrt{\frac{l+b}{3 a}}$ za $a > b$
	$\frac{3 F l}{16}$	B	$\frac{F}{EI} \cdot \frac{l^3}{48 \sqrt{5}}$	$x = \frac{l}{\sqrt{5}}$
	$\frac{F l}{8}$	A B C	$\frac{F}{EI} \cdot \frac{l^3}{192}$	C ( $x = l/2$ )
	$\frac{Q l}{2}$	B	$\frac{Q}{EI} \cdot \frac{l^3}{8}$	A ( $x = 0$ )
	$\frac{Q l}{8}$	C	$\frac{Q}{EI} \cdot \frac{5 l^3}{384}$	C ( $x = l/2$ )
	$(-) \frac{Q l}{8}$	B	$\frac{Q}{EI} \cdot \frac{l^3}{185}$	$x = 0,4215 l$
	$(-) \frac{Q l}{12}$	A B	$\frac{Q}{EI} \cdot \frac{l^3}{384}$	C ( $x = l/2$ )

Momenti inercije  $I_x$  i momenti otpora  $W_x$

Presjek	$I_x$	$W_x$
	$\frac{a h^3}{12}$	$\frac{a h^2}{6}$
	$\frac{a^4}{12}$	$\frac{a^3}{6}$
	$\frac{b h^3}{36}$	$\frac{b h^2}{24}$
	$\frac{5}{16} \sqrt{3} \cdot r^4 = 0,5413 r^4$	$\frac{5}{8} r^3$
	$\frac{\pi d^4}{64}$	$\frac{\pi d^3}{32} \approx 0,1 d^3$
	$\left(\frac{\pi}{8} - \frac{8}{9\pi}\right) \frac{d^4}{16} = 0,00686 d^4$	$0,0238 d^3$
	$\frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$	$\frac{\pi}{32} \frac{D^4 - d^4}{D} \approx 0,1 \frac{D^4 - d^4}{D}$
Za tanke stijenke $s = (D - d)/2$ $r = (D + d)/2$	$\approx \pi s r^3$	$\approx \pi s r^2$
	$\frac{\pi a b^3}{4}$	$\frac{\pi a b^2}{4}$

Momente tromosti i momente otpora za standardne čelične profile vidi u poglavlju: Oblici kovinskih poluproizvoda (str. 426 do 430).

### Smik (Odrez)

Poprečna sila  $F$ , koja djeluje u samom presjeku, a zamišljamo je jednoliko raspodijeljenom po presjeku  $S$ , uzrokuje naprezanja na smik

$$\tau_s = F/S$$

Naprezanja na smik uvijek su vezana s naprezanjem na savijanje.

U kratkih svornjaka i zakovica možemo naprezanje na savijanje zanemariti i izvršiti proračun samo na smik.

Međutim, čim se smicanju pridruži i moment savijanja, naprezanja na smik se raspodijele po presjeku nejednoliko. Zbog toga se pojavljuje najveće naprezanje na smik:

kod pravokutnog presjeka  $\tau_{s \max} = (3/2) \cdot F/S$

kod okruglog presjeka  $\tau_{s \max} = (4/3) \cdot F/S$

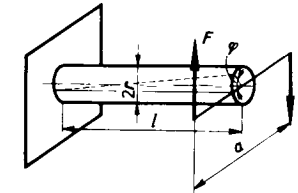
kod okruglog prstena s tankom stijenkom  $\tau_{s \max} \approx 2F/S$

### Torzija (Uvijanje)

Moment torzije  $T$

$$T = Fa$$

uzrokuje torziono naprezanje koje zamišljamo jednoliko razdijeljeno po presjeku i razmjerno prema udaljenosti od težišta. Najveće torziono naprezanje pojavljuje se u točki najudaljenijoj od težišta ( $r$ )



$$\tau_{\max} = (T/I_p)r = T/W_p$$

$I_p$  – polarni moment tromosti presjeka

$W_p$  – polarni moment otpora presjeka

$$W_p = I_p/r$$

Za kružni presjek je npr.  $I_p = \pi d^4/32 \approx 0,1 d^4$   $W_p = \pi d^3/16 \approx 0,2 d^3$

Kut torzije  $\phi$

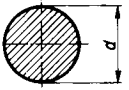

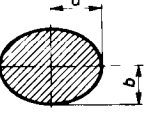
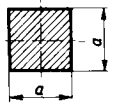
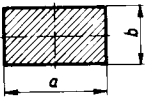
$$\phi = Tl/GI_p \quad \phi(\text{rad})$$

Kut torzije sveden na jedinicu duljine

$$\hat{\phi} = T/GI_p \quad \hat{\phi}(\text{rad/m})$$

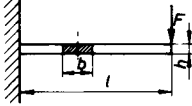
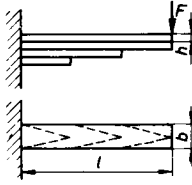
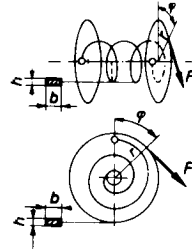
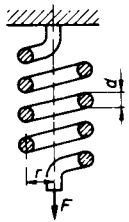
Polarni momenti otpora  $W_p$  i kutovi torzije svedeni na jedinicu duljine sabrani su za najvažnije presjeke na str. 118.

Polarni momenti otpora i kutovi torzije

Presjek	Polarni moment otpora $W_p$	Kut torzije na jedinicu duljine $\hat{\vartheta}$ (rad/m)
	$\frac{\pi}{16} \cdot d^3$	$\frac{32}{\pi d^4} \cdot \frac{T}{G}$
 Za tanke stijenke $s = (D - d)/2$ $r = (D + d)/2$	$\frac{\pi}{16} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D}$  $\approx 2 \pi s r^2$	$\frac{32}{\pi (D^4 - d^4)} \cdot \frac{T}{G}$  $\approx \frac{1}{2 \pi s r^3} \cdot \frac{T}{G}$
	$\frac{\pi}{2} \cdot a b^2$	$\frac{1}{\pi} \cdot \frac{a^2 + b^2}{a^3 b^3} \cdot \frac{T}{G}$
	$0,208 a^3$	$\frac{7,11}{a^4} \cdot \frac{T}{G}$
	$c_1 \cdot a b^2$	$\frac{1}{c_1 a b^3} \cdot \frac{T}{G}$
	$c_2 = \frac{1}{3} \left( 1 - \frac{0,630}{n} + \frac{0,052}{n^5} \right)$ $c_2 = 1 - \frac{0,65}{1 + n^3}$ $n = \frac{a}{b}$	

Opterećenje i progib opruga

$\sigma$  – normalno naprezanje  $F$  – opterećenje  
 $\tau$  – tangencijalno naprezanje  $f$  – progib

	$F = \frac{b h^2}{6} \cdot \frac{\sigma}{l}$ $f = \frac{F}{EI} \cdot \frac{l^3}{3} = \frac{4 l^3}{b h^3} \cdot \frac{F}{E} = \frac{2 l^2}{3 h} \cdot \frac{\sigma}{E}$																
	$F = \frac{n b h^2}{6 l} \sigma$ $f = \psi \frac{F}{EI} \cdot \frac{l^3}{3} = \psi \frac{4 l^3}{n b h^3} \cdot \frac{F}{E} = \psi \cdot \frac{2 l^2}{3 h} \cdot \frac{\sigma}{E}$ <p><math>n</math> – broj lamela</p> <table><tr><td><math>n</math></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>10</td><td><math>\infty</math></td></tr><tr><td><math>\psi</math></td><td>1,000</td><td>1,160</td><td>1,234</td><td>1,283</td><td>1,315</td><td>1,390</td><td>1,500</td></tr></table>	$n$	1	2	3	4	5	10	$\infty$	$\psi$	1,000	1,160	1,234	1,283	1,315	1,390	1,500
$n$	1	2	3	4	5	10	$\infty$										
$\psi$	1,000	1,160	1,234	1,283	1,315	1,390	1,500										
	$F = \frac{b h^2}{6 r} \sigma$ $f = r \hat{\varphi} = \frac{F}{EI} \cdot l r^2 =$ $= 12 \frac{F}{E} \cdot \frac{l r^2}{b h^3} = 2 \frac{l r}{h} \cdot \frac{\sigma}{E}$ <p><math>\hat{\varphi}</math> (rad)</p>																
	$F \approx \frac{\pi}{16} \cdot \frac{d^3}{r} \cdot \tau$ $f \approx \frac{64 n r^3}{d^4} \cdot \frac{F}{G} = \frac{32 l r^2}{\pi d^4} \cdot \frac{F}{G} =$ $= \frac{4 \pi n r^2}{d} \cdot \frac{\tau}{G} = \frac{2 l r}{d} \cdot \frac{\tau}{G}$ <p><math>n</math> – broj zavoja opruge <math>l</math> – duljina žice opruge</p> <p>(Te jednačbe vrijede samo ako je promjer žice vrlo malen prema promjeru opruge!)</p>																



### Izvijanje

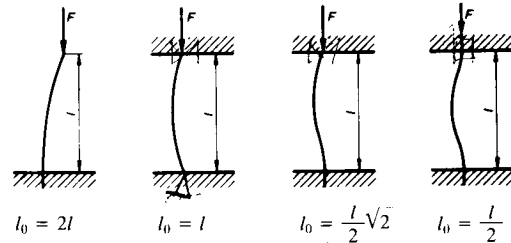
Najmanja sila pri kojoj se pojavljuje izvijanje je sila izvijanja  $F_k$ . Djelovanje te sile na nosač presjeka  $S$  uzrokuje u njemu naprezanje izvijanja  $\sigma_k$

$$\sigma_k = \frac{F_k}{S}$$

Sila izvijanja  $F_k$  i naprezanje izvijanja  $\sigma_k$  ovise o vitkosti  $\lambda$

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

gdje znače:  $l_0$  – slobodnu duljinu izvijanja,  $i$  – polumjer tromosti  
Slobodna duljina izvijanja  $l_0$  za različite slučajeve opterećenja na izvijanje iznosi:



Polumjer tromosti  $i$

$$i = \sqrt{I_{\min}/S}$$

gdje je  $S$  presjek nosača, a  $I_{\min}$  njegov najmanji aksijalni moment tromosti.

Eulerova jednačba za elastično izvijanje

$$F_k = \pi^2 \frac{EI_{\min}}{l_0^2}$$

Odatle slijedi naprezanje  $\sigma_k$  za elastično izvijanje

$$\sigma_k = \frac{F_k}{S} = \pi^2 \frac{EI_{\min}}{l_0^2 S} = \pi^2 \frac{E}{\lambda^2}$$

Te dvije jednačbe vrijede samo za elastično tlačno područje, tj. kod čelika za vitkost  $\lambda > 105$ .

Stvarnu silu  $F$  kojom možemo opteretiti nosač određujemo pomoću faktora sigurnosti  $v$

$$F = \frac{F_k}{v}$$

Faktor sigurnosti  $v$  iznosi: za sivi lijev  $v = 8$ , za čelik  $v = 5$ , za drvo  $v = 6 \dots 12$ .

Tetmajerove jednačbe za naprezanje  $\sigma_k$  pri neelastičnom izvijanju kojima se služimo pri gradnji strojeva:

Materijal	$E$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_k$ N/mm <sup>2</sup>	Vitkost $\lambda$
sivi lijev	100000	$776 - 12,0 \lambda + 0,053 \lambda^2$	$\lambda < 80$
čelični lijev	200000	$303 - 1,29 \lambda$	$\lambda < 112$
čelik:			
– mekan	210000	$310 - 1,14 \lambda$	$\lambda < 105$
– tvrd	210000	$335 - 0,62 \lambda$	$\lambda < 89$
– Cr Ni	210000	$470 - 2,30 \lambda$	$\lambda < 86$
drvo	10000	$29,3 - 0,194 \lambda$	$\lambda < 100$

Dopušteno opterećenje

$$F = \frac{F_k}{v} = \frac{\sigma_k S}{v}$$

Faktor sigurnosti  $v$  iznosi: za manje strojeve  $v = 8 \dots 10$ ,  
za veće strojeve  $v = 6 \dots 8$ .

\*

»Postupak ω« upotrebljavamo za čelične i drvene konstrukcije.

Naprezanje u nosaču određujemo izrazom

$$\frac{F}{S} \omega = \sigma$$

gdje su:  $S$  – presjek nosača,  $F$  – tlačna sila kojom je opterećen,  $\sigma$  – naprezanje (normalno),  $\omega$  – koeficijent izvijanja ovisan o vitkosti  $\lambda$  i materijalu nosača.

Koeficijenti izvijanja  $\omega$

za čelik čvrstoće 360 N/mm <sup>2</sup> ( $\omega_{360}$ ) i 510 N/mm <sup>2</sup> ( $\omega_{510}$ ):										
$\lambda$	0	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\omega_{360}$	1,00	1,04	1,08	1,14	1,21	1,30	1,41	1,55	1,71	1,90
$\omega_{510}$	1,00	1,06	1,11	1,19	1,28	1,41	1,58	1,79	2,05	2,53
$\lambda$	110	120	130	140	160	180	200	220	240	250
$\omega_{360}$	2,11	2,43	2,85	3,31	4,32	5,47	6,75	8,17	9,73	10,55
$\omega_{510}$	3,06	3,65	4,28	4,96	6,48	8,21	10,13	12,26	14,59	15,83

za sivi lijev

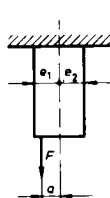
$\lambda$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\omega$	1,00	1,01	1,05	1,11	1,22	1,39	1,67	2,21	3,50	4,43	5,45

za drvo

$\lambda$	0	10	20	30	40	60	80	100	120	140	150
$\omega$	1,00	1,01	1,03	1,08	1,14	1,42	2,07	3,22	4,64	6,31	7,25

### Složena opterećenja

#### a) Vlak i savijanje



Nosač opterećen na vlak silom  $F$  koja djeluje na nj ekscentrično na udaljenosti  $a$  od osi nosača dodatno je opterećen momentom  $M = Fa$ .

Naprezanje zbog vlaka  $\sigma = F/S$

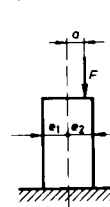
Najveće naprezanje zbog savijanja

$$+\sigma_1 = Me_1/I = Fae_1/I$$

$$-\sigma_2 = -Me_2/I = -Fae_2/I$$

Najveća ukupna naprezanja  $\sigma_{r1} = \sigma + \sigma_1 = F/S + Fae_1/I$   
 $\sigma_{r2} = \sigma - \sigma_2 = F/S - Fae_2/I$

#### b) Tlak i savijanje



Tlačna sila  $F$  koja djeluje na nosač u udaljenosti  $a$  od osi nosača uzrokuje opterećenje na tlak i dodatno opterećenje momentom  $M = Fa$ .

Naprezanja zbog tlaka  $-\sigma = -F/S$

Naprezanje zbog savijanja

$$+\sigma_1 = Me_1/I = Fae_1/I$$

$$-\sigma_2 = -Me_2/I = -Fae_2/I$$

Najveća ukupna naprezanja

$$\sigma_{r1} = -\sigma + \sigma_1 = -F/S + Fae_1/I$$

$$\sigma_{r2} = -\sigma - \sigma_2 = -F/S - Fae_2/I$$

Nosače koji su razmjerno vitki (velike duljine s obzirom na presjek) treba proračunati i na izvijanje.

\*

Što se hvatište sile  $F$  više udaljuje od osi nosača, dakle što se udaljenost  $a$  povećava, to se više smanjuju tlačna naprezanja u rubu nosača koji je nasuprot hvatištu sile  $F$ . Ta tlačna naprezanja poprimaju konačnu vrijednost jednaku nuli kad  $a$  naraste do vrijednosti  $a = l/Se_1$ . Poveća li se udaljenost  $a$  iznad te vrijednosti, u suprotnom rubu nosača pojavit će se vlačna naprezanja. Sama tlačna naprezanja (npr. kod materijala koji ne podnose vlačna naprezanja) dobivamo ako sila djeluje na površini je zgre presjeka koja je omeđena »polumjerom jezgre  $r$ «

$$r = l/Se_1$$

Polumjer jezgre  $r$  iznosi za različite nosače:

za kvadratni (sa stranicom  $h$ ) – u smjeru stranice  $r = h/6$   
 – u smjeru dijagonale  $r = 0,1179 h$   
 za okrugli (s promjerom  $d$ )  $r = d/8$   
 za prstenasti (s promjerima  $d$  i  $D$ )  $r = D/8 \cdot [1 + (d/D)^2]$

#### c) Smik i torzija

Silu  $F$  koja djeluje na obodu čepa promjera  $d$  možemo zamijeniti silom koja djeluje u središtu čepa i momentom para sila  $T = Fr = Fd/2$ .

Sila kroz središte uzrokuje naprezanje na smik  $\tau_s$

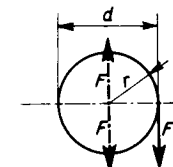
$$\tau_s = (4/3) \cdot F/S = (16/3) \cdot F/\pi d^2$$

Okretni moment dviju sila uzrokuje tangencijalno naprezanje  $\tau_t$

$$\tau_t = 16 T/\pi d^3 = 8 F/\pi d^2$$

Najveće ukupno naprezanje iznosi

$$\tau_{\max} = \tau_s + \tau_t = (16/3) \cdot F/\pi d^2 + 8 F/\pi d^2 = 40 F/3\pi d^2$$



#### d) Savijanje i torzija

Presjek nosača je opterećen istovremeno momentom savijanja  $M$  i okretnim momentom  $T$ .

U okruglog presjeka (ili kružnog vijenca) pojavljuju se najveće vrijednosti normalnog naprezanja  $\sigma$  i tangencijalnog naprezanja  $\tau$  na rubu na istom mjestu.

Okrugli presjek ima

$$\text{moment otpora } W = \pi d^3/32$$

$$\text{polarni moment otpora } W_p = \pi d^3/16 = 2W$$

Kružni vijenac ima

$$\text{moment otpora } W = (\pi/32) \cdot (D^4 - d^4)/D$$

$$\text{polarni moment otpora } W_p = (\pi/16) \cdot (D^4 - d^4)/D = 2W$$

Pojedinačna naprezanja iznose

$$\text{normalna naprezanja zbog savijanja } \sigma = M/W$$

$$\text{tangencijalna naprezanja zbog torzije } \tau = T/W_p = T/2W$$

Ukupna su naprezanja

$$\sigma_{\max} = \xi M/W$$

gdje vrijedi

$$\text{— po Bachu } \xi = 0,35 + 0,65 \sqrt{1 + (\alpha_0 T/M)^2} \quad \alpha_0 = \sigma_{\text{dop}}/1,3 \tau_{\text{dop}}$$

$$\text{— po Huberu (i dr.) } \xi = \sqrt{1 + 0,75 (\alpha_0 T/M)^2} \quad \alpha_0 = \sigma_{\text{dop}}/1,73 \tau_{\text{dop}}$$

$$\text{— po Mohru } \xi = \sqrt{1 + (\alpha_0 T/M)^2} \quad \alpha_0 = \sigma_{\text{dop}}/2 \tau_{\text{dop}}$$

U svim je slučajevima  $\sigma_{\text{dop}}$  dopušteno normalno naprezanje, a  $\tau_{\text{dop}}$  je dopušteno tangencijalno naprezanje (vidi str. 532).

## DINAMIKA

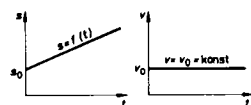
Dinamika je nauka o gibanju tijela. S obzirom na sile koje se javljaju pri gibanju, razlikujemo *kinematiku*, koja proučava gibanje tijela bez obzira na sile koje na nj djeluju, i *kinetiku*, koja proučava utjecaj djelovanja sila na gibanje tijela.

### Kinematika

#### a) Pravocrtno gibanje materijalne točke

Oznake:	put	$s$	brzina	$v = \frac{ds}{dt}$
	početni put	$s_0$	početna brzina	$v_0$
	vrijeme	$t$	ubrzanje	$a = \frac{dv}{dt}$

Jednoliko gibanje  $v = v_0 = \frac{ds}{dt} = \text{konst} \quad (a = 0)$



Za  $s_0 = 0$ :

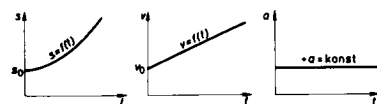
$$s = s_0 + vt \quad s = vt$$

$$t = (s - s_0)/v \quad t = s/v$$

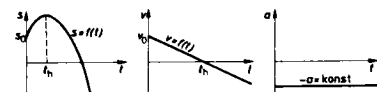
$$v = (s - s_0)/t \quad v = s/t$$

Jednoliko ubrzano gibanje  $a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2} = \text{konst}$

Ubrzanje  $+a$



Usporenje  $-a$



Za  $s_0 = 0, v_0 = 0$ :

$$s = s_0 + (v + v_0)t/2 \quad s = vt/2$$

$$s = s_0 + (v^2 - v_0^2)/2a \quad s = v^2/2a$$

$$s = s_0 + v_0t + at^2/2 \quad s = at^2/2$$

$$v = v_0 + at \quad v = at$$

Primjer — slobodni pad ubrzanje  $a = g = 9,81 \text{ m/s}^2$   
dubina  $s \approx h$

$$v = gt = \sqrt{2gh} \quad t = v/g = \sqrt{2h/g}$$

#### b) Krivocrtno gibanje materijalne točke

Svako je krivocrtno gibanje ubrzano, jer se mijenja smjer brzine. Ubrzanje je uvijek usmjereno prema konkavnoj strani putanje. (Smjer ubrzanja ne podudara se sa smjerom brzine.)

Kosi hitac (u zrakopraznom prostoru)

Početna brzina  $v_0$  pod kutom  $\alpha$

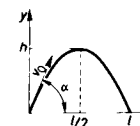
$$x = v_0 t \cos \alpha \quad y = v_0 t \sin \alpha - gt^2/2$$

$$v_x = v_0 \cos \alpha \quad v_y = v_0 \sin \alpha - gt$$

Trajanje uspona ( $v_y = 0$ )  $t_h = v_0 \sin \alpha / g$

Visina hica  $h = v_0^2/2g \cdot \sin^2 \alpha \quad h_{\max} = v_0^2/2g \quad \text{pri } \alpha = 90^\circ$

Domet hica  $l = v_0^2/g \cdot \sin 2\alpha \quad l_{\max} = v_0^2/g \quad \text{pri } \alpha = 45^\circ$



#### c) Kružno gibanje

Oznake: kut  $\hat{\varphi}$  (rad) kutna brzina  $\omega = \frac{d\hat{\varphi}}{dt}$

vrijeme  $t$  kutno ubrzanje  $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$

Jednoliko kružno gibanje  $\omega = \frac{d\hat{\varphi}}{dt} = \text{konst} \quad \hat{\varphi} = \omega t$

Trajanje 1 okretaja (period vrtnje)  $T = 2\pi/\omega$

Kružna frekvencija  $f = 1/T \quad (\text{s}^{-1})$

Brzina vrtnje  $n = \omega/2\pi \quad (\text{okr./s})$

Obodna brzina (na polumjeru  $r$ )  $u = r\omega = 2r\pi n$

#### d) Harmonijsko titranje

Harmonijsko titranje je pravocrtno gibanje amo-tamo pri kojem je ubrzanje razmjerno putu.

Otklon  $x = r \sin \varphi$   $r$  — amplituda

$\hat{\varphi}$  (rad)  $= \omega t \quad (\omega = \text{konst})$

$x = r \sin \omega t$

Period (trajanje titraja)  $T = 2\pi/\omega$

Frekvencija  $f = 1/T = \omega/2\pi$

Brzina  $v = r\omega \cos \omega t$

Ubrzanje  $a = -r\omega^2 \sin \omega t = -\omega^2 x$

### Kinetika

a) Newtonov zakon (osnovni zakon dinamike)

»Sila  $F$  je jednaka umnošku mase  $m$  i ubrzanja  $a$ «  $F = ma$

Ako su vektori sile i ubrzanja istog smjera, vrijedi  $F = ma$ .

Suma komponenta ( $F_{ix}$ ,  $F_{iy}$ ,  $F_{iz}$ ) sile  $F_i$  koja djeluje na masu  $m$  proporcionalna je s komponentama ubrzanja ( $a_x$ ,  $a_y$ ,  $a_z$ )

$$\sum F_{ix} = m a_x \quad \sum F_{iy} = m a_y \quad \sum F_{iz} = m a_z$$

Izraz ( $-ma$ ) nazivamo »silom tromosti«.

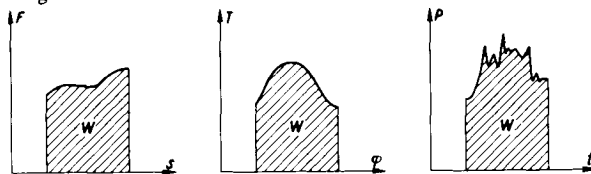
Mehanički je sustav u dinamičkoj ravnoteži ako je suma svih vanjskih sila koje na nj djeluju i svih sila tromosti sustava jednaka nuli (D'Alembertov princip)

$$\sum F_i - \sum m_i a_i = 0$$

b) Zakretni moment  $T$  sile  $F$  na kraku  $r$   $T = Fr$

Obodna sila  $F = T/r$

c) Rad  $W$  sile  $F$  na putu  $s$  ili zakretnog momenta  $T$  pri zakretu za kut  $\varphi$  (rad) ili snage  $P$  u vremenu  $t$  iznosi

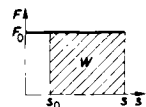


$$W = \int F ds = \int F v dt \quad W = \int T d\varphi = \int T \omega dt \quad W = \int P dt$$

Kad su vektori  $F$ ,  $v$  i  $s$  istog smjera vrijedi:

$$F = \text{konst} \quad W = F s \quad T = \text{konst} \quad W = T \varphi \quad P = \text{konst} \quad W = P t$$

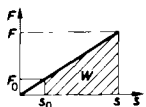
Rad pomaka



$$F = F_0 = \text{konst}$$

$$W = \int_{s_0}^s F ds = F(s - s_0)$$

Elastični deformacijski rad



$$F = k s$$

$k$  – konstanta elastičnosti opruge

$$W = \int_{s_0}^s F ds = k \frac{s^2 - s_0^2}{2} = \frac{F + F_0}{2} (s - s_0)$$

d) Snaga  $P$  je rad obavljen u jedinici vremena  $t$

$$P = \frac{dW}{dt} = F v = F \frac{ds}{dt} \quad P = T \frac{d\varphi}{dt}$$

U isto usmjerenih vektora  $F$ ,  $v$  i  $s$  i pri konstantnoj snazi  $P$  vrijedi

$$P = W/t \quad P = F v \quad P = T \omega = T 2\pi n$$

e) Korisnost

Korisnost nekog procesa, stroja ili uređaja jest omjer između korisno dobivene energije  $W$  (snage  $P$ ) i utrošene energije  $W_0$  (snage  $P_0$ )

$$\eta = W/W_0 = P/P_0 < 1$$

f) Kinetička energija  $W_k$  je energija mase u gibanju.

Pri pravocrtnom gibanju izražavamo kinetičku energiju masom  $m$  i brzinom  $v$

$$W_k = m v^2 / 2$$

Pri kružnom gibanju izražavamo kinetičku energiju momentom tromosti mase  $J$  (vidi str. 129) i kutnom brzinom  $\omega$

$$W_k = J \omega^2 / 2$$

Za promjenu kinetičke energije

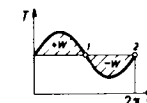
$$\text{od } W_0 = m v_0^2 / 2 + J \omega_0^2 / 2 \text{ na } W_k = m v^2 / 2 + J \omega^2 / 2$$

potreban je rad

$$W = m(v^2 - v_0^2) / 2 + J(\omega^2 - \omega_0^2) / 2$$

Zamašnjak

Nejednoliki zakretni moment  $T$  pogonskog stroja, koji se mijenja za vrijeme jednog okretaja ( $2\pi$ ), povećava kutnu brzinu zamašnjaka do  $\omega_{\max}$  (u točki 1) i smanjuje je do  $\omega_{\min}$  (u točki 2).



Prosječna kutna brzina  $\omega_{\text{med}} = (\omega_{\max} + \omega_{\min}) / 2$

Stupanj nejednolikosti  $\delta = (\omega_{\max} - \omega_{\min}) / \omega_{\text{med}}$

Primljeni odnosno predani rad zamašnjaka, koji ima moment tromosti mase  $J$  i prosječnu brzinu vrtnje  $n$ , iznosi

$$W = J(\omega_{\max}^2 - \omega_{\min}^2) / 2 = J \omega_{\text{med}}^2 \delta = J \cdot 4\pi^2 n_{\text{med}} \delta$$

g) Potencijalna energija  $W_p$  je energija položaja (stanja). Tijelo mase  $m$ , tj. težine  $G = mg$ , ima, s obzirom na neku ravninu, iznad koje se nalazi na visini  $h$ , potencijalnu energiju (energiju položaja)

$$W_p = mgh = Gh$$

Osim toga primjera, potencijalna se energija pojavljuje i kao energija napete opruge ili komprimiranog plina, kao toplinska ili kemijska energija itd.

h) Impuls sile  $Fdt$  izražava djelovanje sile  $F$  u vremenu  $t$ , a jednak je promjeni količine gibanja  $mv$

$$Fdt = mdv$$

$$\int Fdt = m(v - v_0)$$

gdje je  $v_0$  — početna brzina.

Za  $F = \text{konst}$  vrijedi  $Ft = m(v - v_0)$

Ako su vektori  $F$  i  $v$  istoga smjera, bit će

$$Ft = m(v - v_0)$$

\*

Za sustav materijalnih točaka vrijedi

$$\sum F_i = a_0 \sum m_i$$

gdje je  $a_0$  ubrzanje težišta.

Težište sustava materijalnih točaka giba se kao da je u njemu združena sva masa sustava sa svim vanjskim silama koje na nj djeluju.

Nema li vanjskih sila (odnosno ako su u međusobnoj ravnoteži pa je njihova rezultanta jednaka nuli), vrijedi

$$\sum m_i a_i = 0$$

$$\sum m_i v_i = \text{konst}$$

i) Moment impulsa  $Tdt$  je moment količine gibanja  $mv$  s obzirom na neku točku (pol) ili os

$$Tdt = rmdv = Jd\omega$$

$$\int Tdt = rm(v - v_0) = J(\omega - \omega_0)$$

gdje su:  $r$  — okomita udaljenost točke (osi) od smjera vektora brzine  $v$ ,  $J$  — moment tromosti mase s obzirom na točku (os),  $\omega$  — kutna brzina.

Moment impulsa je vektor koji je okomit na ravninu vektora  $v$  i  $r$ .

Pri rotaciji sustava materijalnih točaka oko neke osi vrijedi

$$\int Tdt = \int Frdt = \sum (r_i m_i v_i) - \sum (r_i m_i v_{i0}) = J(\omega - \omega_0)$$

**Moment tromosti mase**

— aksijalni (s obzirom na os  $x$ )

$$J_x = \int r_x^2 dm \quad r_x^2 = y^2 + z^2$$

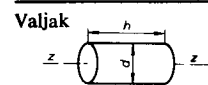
— polarni (s obzirom na pol)

$$J = \int r^2 dm \quad r^2 = x^2 + y^2 + z^2$$

Polumjer tromosti  $i \quad i = \sqrt{J/m} \quad J = mi^2$

Zamašni moment  $mD^2 \quad i = D/2 \quad J = mD^2/4 \quad mD^2 = 4J$

**Momenti tromosti mase tijela (gustoće  $\rho$ )**



$$J_z = \frac{1}{2} mr^2 = \frac{\pi}{32} d^4 h \rho$$

$$m = d^2 \pi / 4 \cdot h \rho$$



$$J_z = \frac{1}{2} m(R^2 + r^2) = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4) h \rho$$

$$m = (D^2 - d^2) \pi / 4 \cdot h \rho$$

tankih stijena  
 $d_m = (D + d)/2$   
 $s = (D - d)/2$

$$J_z \approx m r_m^2 = \frac{\pi}{4} d_m^3 s h \rho$$

$$m \approx d_m \pi s h \rho$$

Kugla  
 $d = 2r$   
(os  $z$  kroz središte)

$$J_z = \frac{2}{5} m r^2 = \frac{\pi}{60} d^5 \rho$$

$$m = \pi / 6 \cdot d^3 \rho$$

Šuplja kugla  
 $D = 2R$   
 $d = 2r$

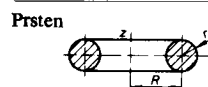
$$J_z = \frac{2}{5} m \frac{R^5 - r^5}{R^3 - r^3} = \frac{\pi}{60} (D^5 - d^5) \rho$$

$$m = \pi / 6 \cdot (D^3 - d^3) \rho$$

tankih stijena  
 $d_m = (D + d)/2$   
 $s = (D - d)/2$

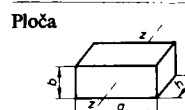
$$J_z \approx \frac{2}{3} m r_m^2 = \frac{\pi}{6} d_m^4 s \rho$$

$$m \approx \pi d_m^2 s \rho$$



$$J_z \approx m \left( R^2 + \frac{3}{4} r^2 \right) = 2\pi^2 R r^2 \left( R^2 + \frac{3}{4} r^2 \right) \rho$$

$$m \approx 2\pi^2 R r^2 \rho$$



$$J_z = \frac{1}{12} m(a^2 + b^2) = \frac{1}{12} a b h (a^2 + b^2) \rho$$

$$m = a b h \rho$$

**Steinerovo pravilo**

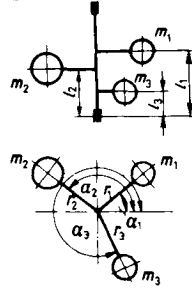
$$J_a = J_t + me^2$$

$J_t$  — moment tromosti tijela s obzirom na os kroz težište tijela

$J_a$  — moment tromosti tijela s obzirom na os koja je paralelna s osi kroz težište i od nje udaljena za  $e$

**Centrifugalna sila**  $F_c$  mase  $m$ , koja rotira obodnom brzinom  $u$  odnosno kutnom brzinom  $\omega$  na polumjeru  $r_0$  (udaljenost težišta tijela od osi rotacije) iznosi

$$F_c = m u^2 / r_0 = m r_0 \omega^2$$



#### Dinamička ravnoteža

Osovina je u dinamičkoj ravnoteži ako na nju ne djeluju nikakve centrifugalne sile ili se utjecaji tih sila međusobno poništavaju (»slobodna osovina«).

Uvjeti dinamičke ravnoteže su:

$$\sum m r \sin \alpha = 0$$

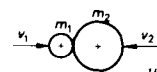
$$\sum m r \cos \alpha = 0$$

$$\sum m r l \sin \alpha = 0$$

$$\sum m r l \cos \alpha = 0$$

**Sudar** je dodir dvaju tijela koji se zbiva u vrlo kratkom vremenu razmjerno velikim silama.

#### Centralni sudar



Mase  $m_1$  i  $m_2$  koje se gibaju po istom pravcu sudaraju se brzinama (prije sudara)  $v_1$  odn.  $v_2$ .

Brzine masa  $m_1$  i  $m_2$  nakon sudara

$$u_1 = v_1 - (1 + \epsilon)(v_1 - v_2) \frac{m_2}{m_1 + m_2}$$

$$u_2 = v_2 + (1 + \epsilon)(v_1 - v_2) \frac{m_1}{m_1 + m_2}$$

Koeficijent sudara

$$\epsilon = (u_2 - u_1) / (v_1 - v_2)$$

Zbog gubitaka je (zvuk, deformacija, toplina)  $0 < \epsilon < 1$ :

materijal obaju tijela	staklo	čelik	slonovača	pluto	drvo
$\epsilon$	0,95	0,6 ... 0,95	0,9	0,55	0,5

( $\epsilon$  u čeliku raste s tvrdoćom)

$\epsilon = 0$  potpuno plastičan sudar

$$u_1 = u_2 = (m_1 v_1 + m_2 v_2) / (m_1 + m_2)$$

$\epsilon = 1$  potpuno elastičan sudar

$$u_1 = v_1 - 2(v_1 - v_2)m_2 / (m_1 + m_2)$$

$$u_2 = v_2 + 2(v_1 - v_2)m_1 / (m_1 + m_2)$$

Gubitak energije pri sudaru

$$W = (1 - \epsilon^2)(v_1 - v_2)^2 m_1 m_2 / 2(m_1 + m_2)$$

## Titranje

### 1. Slobodno neprigušeno titranje

Giba li se materijalna točka periodično s frekvencijom  $f$  tako, da je sila  $F$  koja na nju djeluje razmjerna razmaku  $y$  od središnjeg položaja, a suprotna po smjeru, bit će gibanje harmonijsko

$$F = -cy \quad c - \text{konstanta opruge}$$

Vlastita frekvencija  $f$  neprigušenoga harmonijskoga titranja

$$f = 1/2\pi \cdot \sqrt{c/m}$$

Iz diferencijalne jednadžbe neprigušenoga harmonijskoga titranja

$$m(d^2y/dt^2) + cy = 0$$

proizlazi rješenje:

$$- \text{put} \quad y = y_m \sin(\omega_0 t + \varphi) \quad y_m - \text{amplituda}$$

$$- \text{brzina} \quad v = v_m \cos(\omega_0 t + \varphi) \quad |v_m| = \omega y_m$$

$$- \text{ubrzanje} \quad a = -a_m \sin(\omega_0 t + \varphi) \quad |a_m| = \omega^2 y_m$$

gdje znače:

$t$  – vrijeme  $\varphi$  – faznu konstantu

$\omega_0 = 2\pi f$  – »kružna frekvencija« vlastitog titranja

$$\omega_0 = \sqrt{c/m} \quad - \text{pri običnom titranju}$$

$$\omega_0 = \sqrt{c/J} \quad - \text{pri kružnom titranju}$$

$$\text{Period (vrijeme njihaja)} \quad T = 1/f = 2\pi/\omega_0$$

### 2. Prigušeno slobodno titranje

Djeluje li na materijalnu točku što titra otpor  $R$  koji je razmjernan brzini, ali suprotan po smjeru, bit će titranje prigušeno

$$R = -k(dy/dt) \quad k = \text{konstanta prigušivanja}$$

Za prigušeno titranje vrijedi diferencijalna jednadžba

$$m(d^2y/dt^2) + k(dy/dt) + cy = 0$$

Uvođenjem izraza

$$\lambda = k/2m = \nu\omega_0 \quad \nu = k/2\sqrt{cm}$$

dobivamo rješenje diferencijalne jednadžbe

$$y = y_0 e^{-\lambda t} \sin(\omega t + \varphi)$$

gdje je kružna frekvencija prigušenoga titranja

$$\omega = \sqrt{(c/m) - \lambda^2} = \omega_0 \sqrt{1 - \nu^2}$$

$\nu = 0$  – neprigušeno njihanje  $\nu < 1$  – periodičko prigušeno titranje

Pri aperiodičnom gibanju ( $\nu > 1$ ) nema titranja pa se put  $y$  postupno približava nuli.

### 3. Prisilno titranje

Na materijalnu točku koja titra djeluje — osim otpora  $R$  — još i vanjska sila  $F$ , npr.

$$F = F_0 \sin \omega t$$

Za takvo titranje vrijedi jednačba

$$m(d^2y/dt^2) + k(dy/dt) + cy = F_0 \sin \omega t$$

Približava li se kružna frekvencija  $\omega$  prisilnog titranja kružnoj frekvenciji  $\omega_0$  vlastitog titranja, amplituda titranja se povećava i dostiže maksimum (rezonancija) pri kružnoj frekvenciji

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1 - 2\nu^2}$$

odnosno, uz neznatno prigušivanje pri kritičnoj kružnoj frekvenciji  $\omega_k$

$$\omega_k = \omega_0 = \sqrt{c/m}$$

Pri prisilnom titranju bez prigušivanja postala bi amplituda kritične kružne frekvencije beskonačno velikom.

### 4. Kritična brzina vrtnje osovine

Karakteristika je elastičnog progiba osovine omjer  $c$  između sile  $F$  i deformacije  $y$

$$c = F/y$$

Pri ekscentričnosti  $e$  težišta osovine mase  $m$  djeluje na nju pri rotaciji sila  $F_c$ , koja dodatno opterećuje osovinu za vrijednost  $y$ . Centrifugalna sila, koja zahvaća u težištu, udaljenom za  $e + y$  od središnjice osovine u mirovanju, iznosi pri rotaciji kutnom brzinom  $\omega$

$$F_c = m\omega^2(e + y) = cy$$

Progib osovine pri rotaciji iznosi

$$y = (me\omega^2)/(c - m\omega^2)$$

Za kutnu brzinu kod koje bi bilo  $c = m\omega^2$  (ne uzimajući u obzir prigušivanje) bilo bi  $y = \infty$ . Tome odgovaraju

$$\begin{aligned} \text{kritična kutna brzina} \quad \omega_k &= \sqrt{c/m} \\ \text{kritična brzina vrtnje} \quad n_k &= \omega_k/2\pi \end{aligned}$$

Za određivanje omjera  $c$  elastičnog progiba može se uzeti progib  $y_0$  osovine u mirovanju što ga izaziva težina osovine  $G = mg$ :

$$c = G/y_0 = mg/y_0 \quad \omega_k = \sqrt{g/y_0}$$

Naraste li kutna brzina  $\omega$  iznad kritične  $\omega_k$

$$\omega > \omega_k$$

smanjit će se progib  $y$  osovine pri rotaciji (osovina će se sama centrirati).

## HIDROMEHANIKA

Zakone hidromehanike primjenjujemo za fluide (tekućine u širem smislu), tj. na sve kapljevine (tekućine u užem smislu) i na plinove do granice do koje ih još možemo smatrati praktički nestlačivima (inkompresibilnima), tj. do brzine strujanja oko 100 m/s. Isključene su tzv. nepravne tekućine, kao npr. katran, asfalt, med i sl.

Kod nestlačivog fluida mase  $m$  jesu volumen  $V$  i gustoća  $\rho$  konstantni

$$V = \text{konst} \quad \rho = m/V = \text{konst}$$

U *idealnom fluidu* nema sila trenja. Takav fluid ne postoji, ali njime često pojednostavljujemo računske probleme. U *realnom fluidu* postoji trenje između čestica — fluid je viskozan.

**Viskoznost** je otpor fluida protiv tangencijalnih sila ili kutnih deformacija čestica.

*Dinamička viskoznost*  $\eta$  definirana je Newtonovim zakonom.

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy}$$

$\tau$  je naprezanje na smik,  $dv$  je razlika u brzini slojeva na razmaku  $dy$ ,  $\eta$  je apsolutna (dinamička) viskoznost.

*Kinematička viskoznost*  $\nu$  je omjer dinamičke viskoznosti  $\eta$  i gustoće  $\rho$

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

Mjere za viskoznost — vidi str. 65 i 72. Brojčane vrijednosti za kinematičku viskoznost — vidi u tablicama na str. 212 do 214.

## HIDROSTATIKA

**Hidrostatički tlak**  $p$  je tlak u tekućini, što ga uzrokuje težina. Ovisi samo o visini  $h$  razine (nivoa) tekućine iznad mjesta mjerenja i gustoći tekućine  $\rho$

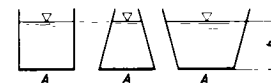
$$p = h\rho g$$

gdje je  $g$  zemaljsko ubrzanje ( $= 9,81 \text{ m/s}^2$ ).

Sila tlaka  $F$  na horizontalno dno posude ovisi samo o hidrostatičkom tlaku  $p$  i o površini dna  $A$

$$F = pA = h\rho gA$$

Ta sila tlaka, međutim, ne ovisi o obliku posude (»hidrostatički paradoks«).



Uzgon  $F_v$  je sila kojom tekućina djeluje okomito prema gore na tijelo uronjeno u tekućinu. Po veličini je jednak težini istisnute tekućine, a hvatište mu je u njezinu težištu (Arhimedov zakon)

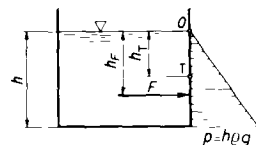
$$F_v = mg = \rho g V$$

$m$  je masa,  $V$  volumen istisnute tekućine (istisnine), a  $\rho$  njena gustoća.

#### Sila tlaka na stijenke

Sila tlaka  $F$  tekućine gustoće  $\rho$  na ravnu stijenk posude kojoj je omeđena ploha površine  $A$  iznosi

$$F = h_T \rho g A$$

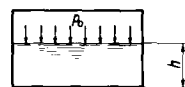


$h_T$  je vertikalna udaljenost težišta (T) omeđene plohe od razine tekućine. Hvatište sile  $F$  je, međutim, ispod težišta plohe, na dubini

$$h_T = \frac{I}{h_T A}$$

gdje je  $I$  geometrijski moment tromosti omeđene plohe s obzirom na njezin rub u visini razine tekućine (0).

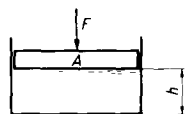
#### Pascalov zakon



Narinuti tlak širi se po tekućini nesmanjeno i jednako u svim smjerovima.

Tlak  $p$  na dno posude u kojoj je iznad površine tekućine (visine  $h$  i gustoće  $\rho$ ) tlak  $p_0$

$$p = p_0 + h \rho g$$



Tlak  $p$  na dno posude, uzrokovan u tekućini silom  $F$  na stap površine  $A$  iznosi

$$p = \frac{F}{A} + h \rho g$$

Atmosferski tlak  $p_a$  na površini tekućine prouzrokuje u tekućini stvarni tlak koji je veći od hidrostatskog i iznosi

$$p = p_a + h \rho g$$

Pri proračunavanju posuda s obzirom na tlak tekućine, atmosferski tlak u tekućini ne uzimamo u obzir jer on djeluje i s druge strane stijenke posude, pa se djelovanja, u odnosu na stijenke, međusobno poništavaju.

#### Atmosfersko stanje

Zračni tlak  $p_a$ , temperatura  $t$  i gustoća  $\rho$   
Višegodišnji prosjek (po: Mende/Simon)

Godišnje doba	Tlak $p_a$ mbar		Temperatura $t$ °C		Gustoća $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	
			na visini $h$ (m)			
	0	2000	0	2000	0	2000
siječanj	1 019	791	0	-3	1,28	1,026
srpanj	1 015	799	16	7	1,23	0,996
godišnji prosjek	1 016	795	8	0	1,25	1,008

Zbog vremenskih upliva mijenjaju se: zračni tlak za  $\pm 5\%$ , gustoća zraka za  $\pm 20\%$ , a relativna vlaga (vidi str. 193) među 60 i 100%.

Pri potpunoj zasićenosti zraka ( $\varphi = 100\%$ ) zavisi apsolutna vlaga  $x$  o temperaturi  $t$ :

$t$	°C	-20	-10	0	10	20	30
$x$	g/m <sup>3</sup>	0,883	2,14	4,86	9,46	17,5	31,1

Standardne (normne) vrijednosti zračnoga tlaka  $p_a$ , temperature  $t$  i gustoće  $\rho$  pri različitim nadmorskim visinama  $h$  (po ICAO – *International Civil Aviation Organization*)

$h$ m	$p_a$ mbar	$t$ °C	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$h$ m	$p_a$ mbar	$t$ °C	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>
0	1 013	15	1,225	2 500	737	-1,25	0,945
100	1 001	14,35	1,214	3 000	701	-4,5	0,910
200	989	13,7	1,202	4 000	616	-11	0,819
300	978	13,05	1,191	5 000	540	-17,5	0,736
400	966	12,4	1,179	6 000	472	-24	0,660
500	954	11,75	1,167	8 000	356	-37	0,526
600	943	11,1	1,157	10 000	265	-50	0,413
800	921	9,8	1,135	12 000	195	-56,5	0,314
1 000	898	8,5	1,111	15 000	121	-56,5	0,195
1 200	877	7,2	1,091	20 000	55	-56,5	0,0889
1 500	845	5,25	1,060	25 000	25	-56,5	0,0406
2 000	795	2,0	1,007	30 000	12	-42,8	0,0179

Kinematička viskoznost  $\nu$  pri različitim nadmorskim visinama  $h$ :

$h$	km	0	5	10	15	20	25	30
$\nu$	mm <sup>2</sup> /s	14,61	22,10	35,23	73,03	160,0	350,0	835,7



## HIDRODINAMIKA

Promatramo stacionarno strujanje, tj. ono, pri kojem brzina u određenoj točki ne mijenja s vremenom ni veličinu ni smjer.

**Laminarno strujanje** je ono, pri kojem se čestice gibaju u beskonačno tankim slojevima, što se klišu jedan po drugome bez miješanja. **Turbulento strujanje** je ono, pri kojem se čestice gibaju nepravilno u svim smjerovima. U obzir uzimamo samo njihovo prosječno gibanje u smjeru strujanja.

Jednadžba kontinuiteta glasi da je protok mase  $q_m = \text{konst.}$  što možemo izraziti presjekom  $A$ , brzinom  $v$  i gustoćom  $\rho$

$$q_m = A v \rho = \text{konst}$$

Za nestlačive fluide, za koje vrijedi  $\rho = \text{konst.}$  i volumenski je protok  $q_v = \text{konst}$

$$q_v = A v = \text{konst}$$

**Bernoullijeva jednadžba** za stacionarno strujanje nestlačivog fluida (bez trenja) glasi, da je suma svih energija (položajne + tlačne + brzinske) u svakom presjeku (na svakoj strujnici) konstantna. Bernoullijevu jednadžbu možemo izraziti (za dva promatrana presjeka 1 i 2)

- specifičnom energijom s obzirom na jedinicu mase

$$z_1 g + \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = z_2 g + \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} = e = \text{konst}$$

- tlakom (energijom za jedinicu volumena)

$$z_1 \rho g + p_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} = z_2 \rho g + p_2 + \rho \frac{v_2^2}{2} = p = \text{konst}$$

- tlačnom visinom (energijom za jedinicu težine)

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} = H = \text{konst}$$

Bernoullijeva jednadžba za stacionarno strujanje realnog fluida uzima u obzir gubitke (od presjeka 1 do 2), koje izražavamo gubitkom tlaka  $\Delta p_t$

$$z_1 \rho g + p_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} = z_2 \rho g + p_2 + \rho \frac{v_2^2}{2} + \Delta p_t$$

ili gubitkom tlačne visine  $\Delta h_t$

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta h_t$$

U tim su jednadžbama:  $z_i$  - geodetska visina nad po volji odabranim horizontom,  $p_i = h_i \rho g$  statički tlak u fluidu (gdje je  $h_i$  tlačna visina),  $\rho$  - gustoća i  $v_i$  - brzina strujanja.

Gubitak tlaka  $\Delta p_t$  ili tlačne visine  $\Delta h_t$  računamo s pomoću Darcyjeve formule (str. 141).

Bernoullijeva jednadžba za sustav koji jednoliko rotira (s gubicima)

$$z_1 \rho g + p_1 + \rho w_1^2/2 - \rho u_1^2/2 = z_2 \rho g + p_2 + \rho w_2^2/2 - \rho u_2^2/2 + \Delta p_t$$

Osim oznaka navedenih na kraju str. 136, u ovoj jednadžbi znače:  $w_i$  - relativnu brzinu fluida (s obzirom na rotirajući kanal),  $u_i$  - obodnu brzinu rotacije sustava.

**Impulzni stavak**

Struja fluida protoka mase  $q_m$  promijenit će pod utjecajem vanjskih sila (kojih je suma  $F$ ) brzinu za  $\Delta v$

$$F = q_m \cdot \Delta v = q_m(v_2 - v_1) = -R$$

$q_m v$  - sekundni impuls.

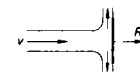
Budući da su sile i brzine vektorske naravi, treba istaknuti da je smjer sile  $F$  (odn.  $-R$ ) identičan sa smjerom promjene brzine  $\Delta v$ .

Sila  $F$  kojom okoliš djeluje na fluid, jest aktivna sila, dok je sila  $R$  kojom fluid djeluje na okoliš - reaktivna sila. (Npr. u turbinama fluid djeluje na lopatice silom  $R$ , dok u pumpama lopatice djeluju na fluid silom  $F$ .)

**Pritisak mlaza na plohu**

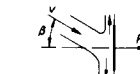
Protok mase mlaza je  $q_m$ , brzina mlaza je  $v$ .

Ravna ploča smještena okomito na smjer mlaza izvrgnuta je pritisku mlaza  $R = q_m v$



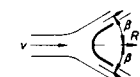
Ravna ploča o koju udara mlaz pod kutom  $\beta$  izvrgnuta je pritisku mlaza

$$R = q_m v \cos \beta$$



Konveksna ploča o koju udara mlaz u sredini i otklanja se od prvobitnog smjera pod kutom  $\beta$  izvrgnuta je pritisku mlaza

$$R = q_m v (1 - \cos \beta)$$



Konkavna ploča o koju udara mlaz u sredini i skreće unatrag pod kutom  $\beta$  izvrgnuta je pritisku

$$R = q_m v (1 + \cos \beta)$$

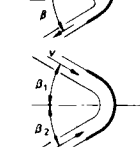


Za kut  $\beta = 0^\circ$  pritisak mlaza iznosi  $R = 2 q_m v$

Konkavna ploča o koju udara mlaz pod kutom  $\beta_1$  i skreće unatrag pod kutom  $\beta_2$  izvrgnuta je pritisku mlaza

$$R = q_m v (\cos \beta_1 + \cos \beta_2)$$

Za kutove  $\beta_1 = \beta_2 = 0^\circ$  pritisak mlaza iznosi  $R = 2 q_m v$



Reakcija mlaza koji izlazi s protokom mase  $q_m$  i brzinom  $v$  kroz izlazni otvor presjeka  $A$  iz posude gdje vlada tlak  $p$  iznosi

$$R = q_m v = 2 A p$$

### Brzina istjecanja

Teoretska brzina istjecanja kroz maleni otvor iz otvorene posude u kojoj je stalna razina tekućine visine  $h$  iznad izlaza (Torricellijeva formula)

$$v_0 = \sqrt{2gh}$$

gdje je  $g$  ubrzanje sile teže.

Teoretska brzina istjecanja iz posude u kojoj je iznad tekućine gustoće  $\rho$  pretlak  $\Delta p$

$$v_0 = \sqrt{2(gh + \Delta p/\rho)}$$

Ako visinu  $h$  ne treba uzeti u obzir (kod plinova i para), teoretska brzina istjecanja pri pretlaku  $\Delta p$

$$v_0 = \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}}$$

Zbog trenja u mlazu i o sapnicu bit će stvarna brzina manja

$$v = \varphi v_0$$

U dobro zaobljene sapnice koeficijent je brzine  $\varphi = 0,95 \dots 0,99$ .

### Količina istjecanja

a) Količina istjecanja kroz otvor presjeka  $A$  izražena protokom mase  $q_m$  iznosi

$$q_m = A v \rho$$

gdje je  $v$  izlazna brzina i  $\rho$  gustoća fluida.

Zbog kontrakcije mlaza  $\mu$  i uzimajući u obzir koeficijent brzine  $\varphi$  dobivamo

$$q_m = \alpha A v_0 \rho$$

$\alpha$  je koeficijent istjecanja koji združuje koeficijente kontrakcije i brzine:  $\alpha = \mu \varphi$ .

Pri istjecanju tekućine iz otvorene posude je

$$q_m = \alpha A \rho \sqrt{2gh}$$

Za istjecanje iz zatvorene posude u kojoj je iznad površine tekućine pretlak  $\Delta p$  vrijedi

$$q_m = \alpha A \rho \sqrt{2(gh + \Delta p/\rho)}$$

Za  $h = 0$  (što vrijedi za plinove i pare) dobiva se

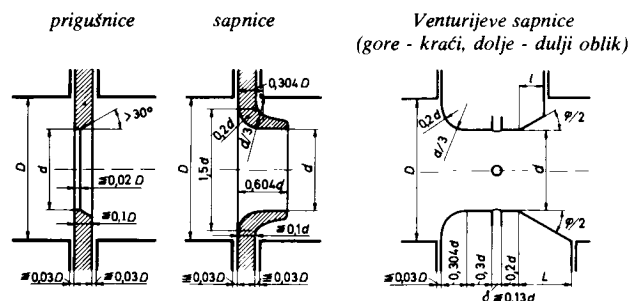
$$q_m = \alpha A \sqrt{2 \rho \cdot \Delta p}$$

b) Količina istjecanja kroz otvor presjeka  $A$  izražena volumenskim protokom fluida  $q_V$  iznosi

$$q_V = q_m/\rho = \alpha A v_0$$

### Protok

1. Za određivanje protoka kroz cjevovod služe:



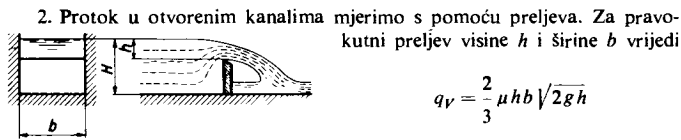
Protječe li najužim otvorom presjeka  $A$  fluid gustoće  $\rho$ , nastat će pad tlaka  $\Delta p$ . Protok izražavamo:

$$\begin{aligned} - \text{protokom mase } q_m & q_m = \alpha A \sqrt{2 \rho \cdot \Delta p} \\ - \text{volumenskim protokom } q_V & q_V = \alpha A \sqrt{2 \cdot \Delta p / \rho} \end{aligned}$$

Koeficijent protjecanja  $\alpha$  određen je za svaku vrstu mjernog uređaja u ovisnosti o omjeru  $m = (d/D)^2$ , gdje je  $D$  promjer cijevi, a  $d$  promjer otvora protjecanja kojemu je presjek  $A (= d^2 \pi/4)$ .

Gubitak tlaka u prigušnici odnosno sapnici  $\Delta p_i$  ovisan je o omjeru  $m$ :

$m = \left(\frac{d}{D}\right)^2$	Koeficijent $\alpha$ za		
	prigušnice	sapnice	venturijeve sapnice
0,05	0,598	—	—
0,10	0,602	0,989	0,989
0,15	0,608	0,993	0,994
0,20	0,615	0,999	1,001
0,25	0,624	1,005	1,010
0,30	0,634	1,015	1,020
0,35	0,645	1,029	1,032
0,40	0,660	1,043	1,048
0,45	0,676	1,060	1,067
0,50	0,695	1,081	1,091
0,55	0,716	1,108	1,120
0,60	0,740	1,142	1,155
0,65	0,768	1,183	—
$\Delta p_i$	$(1 - m) \cdot \Delta p$	$(1 - m)/(1 + m) \cdot \Delta p$	$\approx 0,1 \cdot \Delta p$



Koeficijent  $\mu$  ovisan je o visinama  $H$  i  $h$  te iznosi

	$h$ (m)					
	0,025	0,050	0,100	0,200	0,400	0,800
$H = 0,6$ m	0,639	0,629	0,630	0,652	—	—
$H = 1,0$ m	0,638	0,628	0,624	0,630	0,666	—
$H = 1,6$ m	0,638	0,627	0,622	0,623	0,636	0,693
$H = 2,4$ m	0,638	0,627	0,622	0,620	0,626	0,650

#### Zakoni sličnosti strujanja

Promjene pri strujanju ne možemo obuhvatiti samo teoretskim sredstvima, već ih treba i mjeriti. Strujanja, međutim, ne moramo mjeriti na predmetima u naravnoj veličini, već to možemo načiniti i na geometrijski sličnim modelima (manjima ili većima). U tu svrhu se mora — osim geometrijske — postići još kinematička i dinamička sličnost strujanja.

Reynoldsova značajka  $Re$  je najviše upotrebljavani kriterij za sličnost strujanja nestlačivih tekućina u potpuno ispunjenim cijevima gdje težina ne utječe na profil brzine.

Reynoldsova značajka (bezdimenzijska) jest omjer sila tromosti i sila trenja i iznosi

$$Re = \frac{vl}{\nu}$$

gdje su:  $v$  — brzina strujanja,  $l$  — karakteristična linearna dimenzija,  $\nu$  — kinematička viskoznost.

Kinematička viskoznost  $\nu$  iznosi (pri 20 °C) za vodu 1,01 mm<sup>2</sup>/s, za zrak pa 15,7 mm<sup>2</sup>/s. Kinematička viskoznost za vodu, zrak i druge fluide pri različitim temperaturama sabrana je na str. 212 do 214.

Kod okruglih je cijevi promjera  $d$ :  $Re = vd/\nu$

Općenito vrijedi:  $Re = vd'/\nu$

$d'$  je tzv. »hidraulički promjer«

$$d' = 4A/O$$

gdje su:  $A$  — presjek voda,  $O$  — fluidom omočeni opseg.

Reynoldsovom značajkom razgraničujemo laminarno i turbulentno strujanje. Za strujanje u cijevima vrijedi

$$Re < 2320 \text{ — laminarno strujanje}$$

$$Re > 2320 \text{ — turbulentno strujanje}$$

#### Otpori strujanja u cijevima i armaturama

Gubitak tlaka zbog otpora pri strujanju fluida gustoće  $\rho$  brzinom  $v$  daje Darcyjeva formula

$$\Delta p = \zeta \rho v^2 / 2$$

$\zeta$  je koeficijent gubitaka, koji za ravne cijevi kružnog presjeka iznosi

$$\zeta = \lambda l / d$$

$\lambda$  je koeficijent trenja,  $l$  je duljina cijevi,  $d$  je promjer cijevi.

##### 1. Koeficijent trenja $\lambda$

Koeficijent trenja  $\lambda$  ovisi o Reynoldsovoj značajci  $Re$  i relativnoj hrapavosti cijevi  $k/d$ , gdje je  $k$  apsolutna hrapavost (prosječna visina izbočina) stijenke.

U laminarnom području (do  $Re < 2320$ )  $\lambda$  ovisi o obliku cijevi i o  $Re$ , te iznosi

$$\lambda = \varphi 64 / Re$$

$\varphi$  je faktor oblika cijevi. Za okrugle je cijevi  $\varphi = 1$  pa je

$$\lambda = 64 / Re = 64 \nu / vd$$

Pri turbulentnom strujanju ( $Re > 2320$ ) razlikujemo:

a) *Hidraulički glatke cijevi.* Cijevi smatramo hidraulički glatkima do

$$Re \approx d/k \cdot \lg(0,1 d/k) \approx 2 d/k$$

Za proračun  $\lambda_g$  služi Prandtl-Karmanova formula

$$1/\sqrt{\lambda_g} = 2 \lg(0,398 Re \sqrt{\lambda_g})$$

Vrijednosti  $\lambda_g$  za različite  $Re$ :

$Re$	2320	$10^4$	$10^5$	$10^6$	$10^7$	$10^8$
$\lambda_g$	0,04725	0,03089	0,018	0,01165	0,00811	0,005945

Za praktičko računanje služimo se eksplicitnom, aproksimativnom Colebrookovom formulom  $\lambda_g = 0,31 / (\lg 0,143 Re)^2$

U cijelom praktički uporabivom području  $Re = 5 \cdot 10^3 \dots 10^8$  iznosi odstupanje  $\approx \pm 1\%$ .

b) *Prelazno područje*, u kojem vrijedi Colebrookova formula

$$1/\sqrt{\lambda} = -2 \lg(0,269 k/d + 2,51/Re \sqrt{\lambda})$$

praktički završava kod  $Re \approx 400 d/k \cdot \lg(3,715 d/k) \approx 10^3 d/k$ .

Za praktičko proračunavanje služi eksplicitna, aproksimativna Pečornikova formula

$$\lambda = 0,25 / [\lg(15/Re + 0,269 k/d)]^2$$

koja vrijedi s maksimalnom pogreškom od  $\approx 6\%$  za  $Re = 4 \cdot 10^3 \dots 10^8$  i relativne hrapavosti  $k/d = 10^{-2} \dots 5 \cdot 10^{-6}$ .

c) Područje potpune hrapavosti (koje obuhvaća vrijednosti  $Re > 400 d/k \cdot \lg(3,715 d/k)$ , u kojemu određujemo  $\lambda_h$  po Nikuradseovoj formuli

$$\lambda_h = 0,25 / [\lg(3,715 d/k)]^2$$

Vrijednosti  $\lambda_h$  za različite  $d/k$ :

$d/k$	10	40	60	100	200	500	1000
$\lambda_h$	0,1014	0,0529	0,0453	0,0378	0,0303	0,0234	0,0196

\*

Sa stanovitim ograničenjima ( $k/d < 0,01$  in  $\lambda < 0,05$ ) i s nešto manjom točnošću ( $\pm 5\%$ ) vrijedi u području  $Re = 4 \cdot 10^3 \dots 10^7$  (dakle u svim područjima) Moodyjeva formula

$$\lambda = 5,5 \cdot 10^{-3} \left( 1 + \sqrt[3]{2 \cdot 10^4 k/d + 10^6 / Re} \right)$$

U glatkom području je  $k/d = 0$ , dok je u potpuno hrapavom području  $Re \approx \infty$  pa formula prelazi u oblik

$$\lambda_h = 5,5 \cdot 10^{-3} + 0,15 \sqrt[3]{k/d}$$

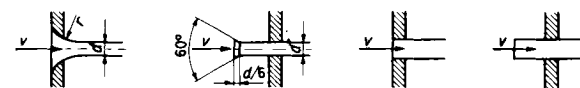
Apsolutne prosječne visine hrapavosti  $k$  (po Richteru)

Materijal i stanje cijevi	$k$ mm
Vučene cijevi od bakra, mjedi, bronce, aluminijske, stakla, umjetnih tvari itd.	$\dots 0,002$
Vučene čelične cijevi — nove	$0,02 \dots 0,10$
— malo zardale	$\dots 0,40$
— jako inkrustirane	$\dots 3$
Zavarene čelične cijevi — nove	$0,04 \dots 0,10$
— nove, prevučene bitumenom	$\approx 0,05$
— rabljene, jednoliko zardale	$\approx 0,15$
— nakon višegodišnje uporabe	$\approx 0,5$
— malo inkrustirane	$\approx 1,5$
— jako inkrustirane	$2 \dots 4$
Zakovane čelične cijevi (prema načinu izvedbe)	$0,5 \dots 10$
Pocinčane čelične cijevi — nove	$0,07 \dots 0,15$
Cijevi od lijevanog željeza — nove	$0,25 \dots 1$
— nove, prevučene bitumenom	$0,1 \dots 0,15$
— rabljene, malo zardale	$1 \dots 1,5$
— inkrustirane	$1,5 \dots 4$
Drvene cijevi, nove (uporabom postaju glade)	$0,2 \dots 1$
Betonske cijevi — sirove	$1 \dots 3$
— zaglađene	$0,3 \dots 0,8$

## 2. Koefficienti gubitaka $\zeta$

Ulazna ušća

zaobljena $r > 0,5 d$	konična (konfuzor)	oštra sa stijenkom	oštra bez stijenke
$\zeta = 0,05$	$\zeta = 0,20$	$\zeta = 0,50$	$\zeta = 1,00$



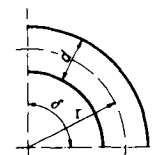
Kružni lukovi polumjera zakrivljenosti  $r$ , s kružnim ili kvadratnim presjekom i kutom skretanja  $\delta = 90^\circ$ :

$r/d$	1,0	1,5	2	3	4	5	6	10
$\zeta$	0,27	0,20	0,15	0,13	0,10	0,10	0,10	0,11

Navedeni  $\zeta$  vrijede za tehnički glatke cijevi (npr. lim), dok za tehnički hrapave cijevi (npr. sivi lijev, zide i sl.) uzimamo dvostruke vrijednosti.

Za kutove  $\delta = 0 \dots 180^\circ$  treba vrijednosti za  $\zeta$  množiti s faktorom  $n$ :

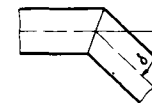
$\delta$	30°	60°	90°	120°	150°	180°
$n$	0,4	0,7	1,0	1,3	1,5	1,7



## Koljena

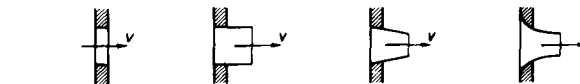
$\delta$	15°	30°	45°	60°	90°	105°	120°
$\zeta_g$	0,04	0,13	0,24	0,47	1,13	1,80	2,26
$\zeta_h$	0,06	0,17	0,32	0,68	1,27	2,00	2,54

Vrijednosti  $\zeta_g$  vrijede za glatke, a vrijednosti  $\zeta_h$  za hrapave stijenke cijevi.



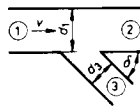
Izlazni otvori (otvori u stijenkama)

provrt u stijenci (oštri rubovi)	cilindrični nastavak	konični nastavak	zaobljenje s nastavkom
$\zeta = 1,8$	$\zeta = 0,5$	$\zeta = 0,25$	$\zeta = 0,1$



## Odvojci

Volumenski protoci:



$q_{v1} = q_{v2} + q_{v3}$  – u dovodu 1,  
 $q_{v2}$  – u dovodu 2,  $q_{v3}$  – u odvoju 3  
 Gubici – u odvodu 2:  $\Delta p_2 = \zeta_2 \rho v^2/2$   
 – u odvoju 3:  $\Delta p_3 = \zeta_3 \rho v^2/2$   
 $v$  – brzina u dovodu 1

Odvojci jednakog kružnog presjeka ( $d_1 = d_2 = d_3$ )

$q_{v3}/q_{v1}$		0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$\delta = 90^\circ$	$\zeta_2$	0,05	-0,08	-0,04	0,07	0,21	0,35
	$\zeta_3$	0,96	0,88	0,89	0,96	1,10	1,29
$\delta = 45^\circ$	$\zeta_2$	0,04	-0,06	-0,04	0,07	0,20	0,33
	$\zeta_3$	0,90	0,66	0,47	0,33	0,29	0,35

Odvojci jednakog kvadratnog presjeka

$q_{v3}/q_{v1}$		0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$\delta = 90^\circ$	$\zeta_2$	0,04	0,00	0,05	0,15	0,28	0,42
	$\zeta_3$	0,91	0,75	0,70	0,74	0,79	0,84
$\delta = 45^\circ$	$\zeta_2$	0,10	0,03	0,05	0,14	0,29	0,49
	$\zeta_3$	0,88	0,65	0,47	0,32	0,20	0,18

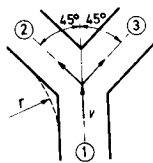
R a č v e (Y – komadi) s kružnim ili kvadratnim presjekom površine  $A$

Volumenski protok:

u dovodu 1:  $q_v$

Gubici:

$\Delta p = \zeta \rho v^2/2$



Protok	$\zeta$ za oštre rubove	
	$A_1 = A_2 = A_3$	$A_2 = A_3 = 0,5 A_1$
od 1 prema 2 i 3	0,55	0,75
od 1 prema 2; dok je 3 zatvoren	0,50	1,35
smanjenje $\zeta$ pri zaobljenju ( $r$ ) za	$\approx 40\%$	$\approx 40\%$

$\zeta$  se odnosi na brzinu  $v$  u dovodu 1.

## Sastavci

Volumenski protoci:

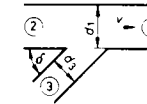
$q_{v1} = q_{v2} + q_{v3}$  – u odvodu 1,

$q_{v2}$  – u dovodu 2,  $q_{v3}$  – u priključku 3

Gubici – u dovodu 2:  $\Delta p_2 = \zeta_2 \rho v^2/2$

– u priključku 3:  $\Delta p_3 = \zeta_3 \rho v^2/2$

$v$  – brzina u odvodu 1



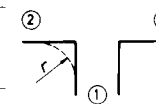
Sastavci jednakog kružnog presjeka ( $d_1 = d_2 = d_3$ )

$q_{v3}/q_{v1}$		0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$\delta = 90^\circ$	$\zeta_2$	0,06	0,18	0,30	0,40	0,50	0,60
	$\zeta_3$	-1,04	-0,40	0,10	0,47	0,73	0,92
$\delta = 45^\circ$	$\zeta_2$	0,05	0,17	0,18	0,05	-0,20	-0,57
	$\zeta_3$	-0,90	-0,37	0,00	0,22	0,37	0,38

O k o m i t i s a s t a v c i (T – komadi) kružnog ili kvadratnog presjeka  $A$

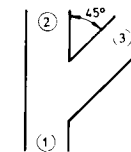
Protok	$\zeta$ za oštre rubove	
	$A_1 = A_2 = A_3$	$A_2 = A_3 = 0,5 A_1$
od 2 prema 3; 1 zatv.	0,50	0,50
od 1 prema 2 i 3*	1,00	1,90
od 1 prema 2; 3 zatv.*	1,40	3,70
smanjenje $\zeta$ pri zaobljenju ( $r$ ) za	$\approx 20\%$	$\approx 60\%$

\*  $\zeta$  vrijedi za brzinu  $v$  u dovodu 1.



K o s i c i j e v n i p r i k l j u č c i (45°) kružnog presjeka, površine  $A$  pri sastavljanju odnosno razdvajanju tokova (približne vrijednosti):

Protok	$\zeta$
	$A_1 = A_2 = A_3$
od 1 prema 2; 3 zatv.	0,15
od 2 prema 1; 3 zatv.	0,05
od 1 prema 3; 2 zatv.	0,50
od 3 prema 1; 2 zatv.	0,50
od 2 prema 3; 1 zatv.	3,0
od 3 prema 2; 1 zatv.	3,0



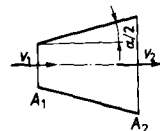
Promjene presjeka od površine  $A_1$  na površinu  $A_2$

Prijelaz okruglog presjeka u kvadratni (ili obrnuto) jednake površine  
 $\zeta = 0,1 \dots 0,2$ .

Postupno proširenje (difuzor) za kut proširenja  $\alpha = 8 \dots 14^\circ$

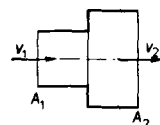
$$\zeta_1 = (0,2 \dots 0,4) [1 - (A_1/A_2)^2]$$

Gubitak se odnosi na brzinu  $v_1$ .



$A_2/A_1$	$\alpha = 10 \dots 15^\circ$	$20 \dots 30^\circ$
1,25 ... 1,75	$\zeta_1 = 0,05$	0,15
2,00 ... 2,50	0,10	0,30

Naglo proširenje  $\zeta_1 = (1 - A_1/A_2)^2$



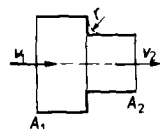
$A_1/A_2$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$\zeta_1$	1,00	0,64	0,36	0,16	0,04	0,00

Gubitak se odnosi na brzinu  $v_1$ .

Postupno suženje (konfuzor)

za kutove suženja  $\alpha$  do  $45^\circ$ :  $\zeta = 0$

Naglo suženje za oštre rubove



$A_2/A_1$	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$\zeta_1$	9,4	1,8	0,9	0,34	0,25	0,16	0,10

Gubitak se odnosi na brzinu  $v_1$ .

Za pravilna zaobljenja ( $r$ ) je:  $\zeta \approx 0,05$ .

Prigušnice i sapnice (vidi str. 155)

Gubici u prigušnici ili sapnici ovise o omjeru površine njezina otvora  $A_1$  i površine cijevi  $A_2$ , a odnose se na brzinu u cijevi  $v$

Prigušnice	$m = A_1/A_2$	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5
	$\zeta$	249	102	53	31	19	9	4

Sapnice	$m = A_1/A_2$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
	$\zeta$	81	16	5,4	2,25	1,0	0,44	0,18	0,06

Venturijske sapnice	$m = A_1/A_2$	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5
	$\zeta$	17	7	3	2	1	0,5	0,3

Armature

Normalni ventili	$\zeta$	3,9
Poboljšani ventili	$\zeta$	2,5 ... 3,4
Ventili s nesmetanim prolazom (eliptični presjek)	$\zeta$	0,6
Zaklopke (leptiraste) — otvorene	$\zeta$	0,2
Zasuni (pravilno izvedeni) — otvoreni	$\zeta$	0,05

## Otpori gibanja u fluidu

Otpor gibanja tijela u fluidu (aerodinamički otpor) iznosi

$$F_r = C_r A p_k$$

gdje znače:  $C_r$  — koeficijent otpora (bezdimenzijski broj),  $A$  — površinu projekcije tijela na ravninu okomitu na smjer gibanja,  $p_k$  — kinetički tlak.

Kinetički tlak pri gibanju tijela relativnom brzinom  $v$  u fluidu gustoće  $\rho$  iznosi

$$p_k = \rho v^2 / 2$$

Koeficijenti otpora  $C_r$

	Predmet*		$C_r$
kružna ploča		—	1,11
2 kružne ploče		$l/d = 1$ 1,5 2 3	0,93 0,78 1,04 1,52
kugla		$Re > (1,5 \dots 4) 10^5$ $Re < (1,5 \dots 4) 10^5$	0,09 ... 0,18 0,47
polukugla-konveksna		bez dna s dnóm	0,34 0,4
polukugla-konkavna		bez dna s dnóm	1,33 1,17
valjak		$Re < 9 \cdot 10^4$ ; $l/d = 1$ 2 5 10 40 $\infty$ $Re > 5 \cdot 10^5$ ; $l/d = \infty$	0,63 0,68 0,74 0,82 0,98 1,20 0,35
aerodinamički profil		$Re > 10^5$ $l/d = 2$ 3 5 10 20	0,2 0,1 0,06 0,083 0,094

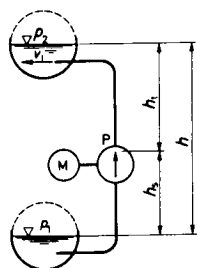
\* Strelica na skici pokazuje smjer djelovanja otpora — suprotno smjeru relativne brzine tijela u fluidu.

## HIDRAULIČKI STROJEVI

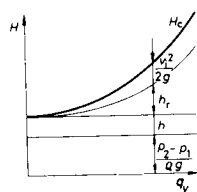
### SISALJKE (PUMPE, CRPKE)

Sisaljke služe za prenos kapljevina s nižega na viši položaj ili s nižega na viši tlak ili za oboje. Kadšto služe i tome da – posebnim uređajem (mlaznicom) – postignemo znatniju izlaznu brzinu iz cijevi (npr. štrcaljke).

#### Dobavna visina (napor)



P – sisaljka  
M – pogonski stroj



Povećanje specifične energije u sisaljci iznosi

$$e = gH = \frac{p_2 - p_1}{\rho} + g(h + h_r) + \frac{v_1^2}{2}$$

Ako su tlakovi  $p_1$  i  $p_2$  jednaki zračnome  $p_a$  ( $p_1 = p_2 = p_a$ ) – kao npr. pri štrcaljkama – vrijedi

$$e = g(h + h_r) + \frac{v_1^2}{2}$$

Kad je izlazna brzina malena, zanemarujemo zadnji član.

Sisaljke povećavaju specifičnu energiju  $e$  (J/kg) kapljevine gustoće  $\rho$ , od ulaza u sisaljku do izlaza iz nje. To povećanje energije redovno izražavamo visinom stupca crpljene kapljevine, a nazivamo je dobavnom visinom  $H$

$$H = \frac{e}{g}$$

( $g$  – zemljino ubrzanje)

Potrebnu dobavnu visinu  $H$  određujemo karakteristikom priključenoga cijevnoga sistema  $H_c$

$$H = H_c = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + h + h_r + \frac{v_1^2}{2g}$$

gdje su:  $p_1$  i  $p_2$  – tlakovi u usisnoj i tlačnoj posudi;  $h = h_s + h_t$  – ukupna geodetska (usisna i tlačna) visina,  $h_r$  – gubici u cijevnom sistemu;  $v_1$  – izlazna brzina. (Ulazna je brzina zanemarena, dok je izlazna brzina katkad znatna, npr. pri štrcaljkama.)

Karakteristika cijevnog sistema mijenja se s protokom.

**Dopuštena usisna visina** (geodetska)  $h_{s \text{ dop}}$  za kapljevine gustoće  $\rho$  ovisi o tlaku  $p_1$  (apsolutnom) u donjoj (usisnoj) posudi, tlaku  $p_T$  zasićene pare pri temperaturi tekućine  $T$ , gubicima u usisnoj cijevi  $h_{rs}$  i o posebnim gubicima  $h_p$  sisaljke (ovisnim o vrsti sisaljke)

$$h_{s \text{ dop}} \leq \frac{p_1 - p_T}{\rho g} - h_{rs} - h_p$$

Ako je donja posuda otvorena ( $p_1 = p_a$ ), dopuštena geodetska usisna visina ovisi o zračnom tlaku  $p_a$ , koji se mijenja s nadmorskom visinom.

Za vodu su tlačne visine zraka  $h_a (= p_a / \rho g)$  – u ovisnosti o nadmorskoj visini:

nadmorska visina	0	100	300	500	1000	2500 m
$h_a$	10,3	10,2	9,9	9,7	9,2	7,7 m

Tlak zasićene pare  $p_T$  ovisi o vrsti kapljevine i njoj temperaturi  $T$ .

Kod vode je tlačna visina zasićene pare  $h_T (= p_T / \rho g)$  – u ovisnosti o temperaturi  $T$ :

$T$	5	10	20	50	80	100 °C
$h_T$	0,09	0,12	0,24	1,26	4,83	10,33 m

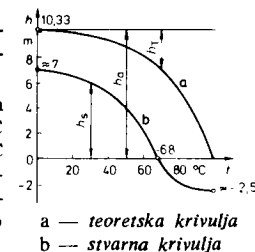
Gubitak tlaka u usisnoj cijevi računamo prema Darcyju (str. 141).

Posebni gubici u sisaljci su ovisni:

- pri stapnim sisaljkama od otvaranja usisnog ventila i utjecaja usisnog vjetrenika,
- pri turbopumpama od pojave kavitacije.

U dijagramu (desno) prikazana je usisna visina vode na površini mora u ovisnosti od temperature vode.

Zbog navedenih utjecaja ne može geodetska usisna visina  $h_s$  u vode s temperaturom od 15 °C biti veća od 7 m, dok pri temperaturi od 70 °C voda mora sisaljki pritjecati. Lako hlapive kapljevine moraju uvijek pritjecati sisaljki. (Kod benzina, npr. time sprječavamo nastajanje lako upaljivih para!)



**Snagu**, potrebnu za pogon sisaljke proračunavamo na temelju prirasta specifične energije  $e$  odn. dobavne visine  $H$ . Za kapljevину gustoće  $\rho$  pri masenom protoku  $q_m$  odnosno volumenskom protoku  $q_v$  iznosi:

$$\begin{aligned} \text{teoretska snaga} \quad P_0 &= q_m e = q_m g H = q_v \rho g H \\ \text{unutarnja snaga} \quad P_1 &= \frac{P_0}{\eta_i} \\ \text{efektivna snaga} \quad P &= \frac{P_1}{\eta_m} = \frac{P_0}{\eta_i \eta_m} \\ P &= \frac{P_0}{\eta} = \frac{q_m e}{\eta} = \frac{q_m g H}{\eta} = \frac{q_v \rho g H}{\eta}, \end{aligned}$$

gdje su:  $\eta_i$  – unutarnja korisnost,  $\eta_m$  – mehanička korisnost,  $\eta$  – efektivna korisnost, koja iznosi

$$\eta = \eta_i \cdot \eta_m$$

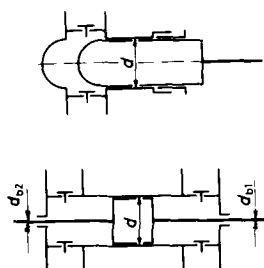
Korisnosti za različite vrste sisaljki i ventilatora iznose:

	$\eta_i$	$\eta_m$	$\eta$
stapne sisaljke	0,90 ... 0,95	0,88 ... 0,95	0,80 ... 0,90
turbopumpe	0,55 ... 0,90	0,95	0,60 ... 0,85
ventilatori	–	–	0,50 ... 0,90

Te korisnosti vrijede za najpovoljnije pogonske uvjete. Pri promjenljivim uvjetima djelovanja (promjenljiv protok, promjenljiva dobavna visina ili brzina vrtnje) korisnosti se mijenjaju, i to osobito znatno kod turbopumpi (vidi str. 152).

### Stapne sisaljke

Stapne su sisaljke izgubile svoj nekadašnji značaj (male brzine), ali se upotrebljavaju i nadalje za male dobave ili veoma visoke tlakove.



Volumenski protok iznosi teoretski:

– kod jednoradnih stapnih sisaljki promjera cilindra  $d$ , stapaja  $s$  i brzine vrtnje  $n$

$$q_{v0} = \frac{\pi d^2}{4} s n$$

– kod dvoradnih sisaljki s promjerima stapajice  $d_{b1}$  i  $d_{b2}$

$$q_{v0} = \frac{\pi}{4} (2d^2 - d_{b1}^2 - d_{b2}^2) s n$$

Dobava sisaljke, tj. stvarni volumenski protok  $q_v$ , iznosi zbog volumetrijskih gubitaka (kod stapa, ventila itd.) samo

$$q_v = \lambda q_{v0},$$

gdje je stupanj dobave  $\lambda = 0,93 \dots 0,98$ .

Dobava  $q_v$  je kod stapnih sisaljki nejednolika. Ona se mijenja već prema položaju (kutu  $\alpha$ ) osnaca stapnog mehanizma.

Dobava  $q_v$  odgovara, prema sl. a, jednoradnoj stapnoj sisaljci; prema sl. b dvoradnoj, odnosno jednoradnoj, ali sa 2 cilindra (s osnaci pod kutom od  $180^\circ$ ).

Nejednolikost stapnih sisaljki ublažava se vjetrenicima (zračnim komorama) ili većim brojem cilindara (npr. kod triju cilindara su osnaci međusobno razmaknuti za  $120^\circ$ , sl. c).

Vjetrenici na usisnoj strani povećavaju usisnu visinu, a na tlačnoj strani su zaštita protiv hidrauličkog udara.

Brzina vrtnje stapnih pumpi iznosi  $0,75 \dots 4,7$  okr./s ( $= 45 \dots 280$  okr./min).

Pri konstantnoj brzini vrtnje (i nepromijenjenom stapaju) bit će dobava konstantna.

Usisna visina  $h_s$  računa se pri stapnim pumpama do tlačnog ventila i iznosi:

– pri pumpama s usisnim vjetrenikom

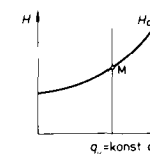
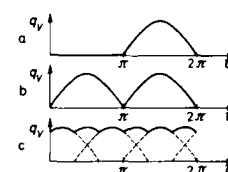
$$h_{s \text{ dop}} \leq \frac{p_1 - p_T}{\rho g} - h_{rs} - h_v$$

gdje su:  $h_{rs}$  – gubitak visine u usisnoj cijevi;  $h_v$  – gubitak visine pri otvaranju usisnog ventila ( $\approx 2$  m);

– pri pumpama bez usisnog vjetrenika

$$h_{s \text{ dop}} \leq \frac{p_1 - p_T}{\rho g} - \left( h_v + a n^2 r l_s \frac{A}{A_s} \right)$$

gdje su:  $a = 4,82 \text{ s}^2/\text{m}$ ,  $n$  – brzina vrtnje (okr./s),  $r$  – radij osnaca,  $l_s$  – duljina usisne cijevi,  $A$  – korisni presjek cilindra pumpe,  $A_s$  – presjek usisne cijevi.



M – radna točka



### Turbopumpe

Turbopumpe su skupno ime za radijalne i aksijalne (rotacijske) pumpe koje djeluju po Eulerovim zakonima za turbostrojeve.

U praksi se često sve turbopumpe (radijalne i aksijalne) nepravilno nazivaju »centrifugalnim« pumpama, iako su zapravo samo radijalne pumpe centrifugalne.

Brzohodnost (specifična brzina vrtnje)  $n_q$

$$n_q = \frac{n}{\sqrt{H}} \sqrt{\frac{q_v}{H}}$$

pokazuje koju bi brzinu vrtnje morala imati geometrijski slična pumpa, izvedena za dobavnu visinu  $H$  (m), protok (dobavu)  $q_v$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) i brzinu vrtnje  $n$ , da bi pri dobavnoj visini  $H_1 = 1$  m dobavljala  $q_{v1} = 1$   $\text{m}^3/\text{s}$ . (Prividna nekoherentnost veličina u toj jednadžbi otpada, ako pod simbolima  $H$  i  $q_v$  razumijevamo bezdimenzijske omjere  $H/H_1$  i  $q_v/q_{v1}$ .)

Sve geometrijski slične turbopumpe koje imaju slične protočne uvjete (geometrijski slične trokute brzina) imaju i jednaku brzohodnost. Ona iznosi za različite turbopumpe:

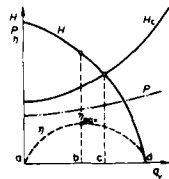
$$\begin{array}{ll} \text{radijalne} & n_q = 0,23 \dots 1,7 \text{ okr/s} = 14 \dots 100 \text{ okr/min} \\ \text{aksijalne (propelerne)} & n_q = 1,7 \dots 10 \text{ okr/s} = 100 \dots 600 \text{ okr/min} \end{array}$$

Manjoj brzohodnosti  $n_q$  odgovara manja brzina vrtnje, manji protok i veća dobavna visina.

Za visokotlačne sisaljke kojima je brzohodnost  $n_q < 0,23$  okr/s (odn.  $< 14$  okr/min), izabiremo sisaljke s više stupnjeva.

Karakteristike turbopumpi (i ventilatora)

Pri konstantnoj brzini vrtnje  $n$  dobavna visina  $H$ , korisnost  $\eta$  i snaga  $P$  potrebna za pogon sisaljke ovise o dobavi  $q_v$  (koju možemo mijenjati prigušivanjem).



U dijagramu radijalne sisaljke  $H = f(q_v)$  odgovaraju točke:

- a – radu pri potpuno zatvorenom izlaznom otvoru ( $q_v = 0$ ); sva se snaga pretvara u toplinu (porast temperature kapljevine!);
- b – radu pri optimalnim uvjetima ( $\eta_{\max}$ );
- c – stvarnom radu pri priključku pumpe na cjevovod ( $H = H_c$ );
- d – radu na prazno ( $H = 0$ ; samo teoretski!).

Pri promjeni brzine vrtnje od  $n_1$  na  $n_2$  mijenjaju se za jednu te istu sisaljku protok  $q_v$ , dobavna visina  $H$  i snaga  $P$  po zakonu afiniteta

$$\frac{q_{v1}}{q_{v2}} = \frac{n_1}{n_2} \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

Usisna visina  $h_s$  je vertikalna udaljenost osi pumpe (pri ulaznoj površini rotora) od površine kapljevine u usisnoj posudi (crpilištu).

Dopuštena usisna visina iznosi

$$h_{s \text{ dop}} \leq \frac{p_1 - p_2}{\rho g} - h_{rs} - \sigma H$$

gdje je kavitacijski koeficijent  $\sigma$  za pumpe (po Stepanovu) ovisan o brzohodnosti  $n_q$  (okr./s)

$$\sigma \approx 0,287 n_q^{4/3}$$

(Prividna nesuvislost u toj jednadžbi ne postoji, ako pod  $n_q$  razumijevamo bezdimenzijski omjer  $n_q/n_1$ , pri čemu je  $n_1 = 1$  okr./s)

Turbopumpne redovno ne mogu same usisati tekućinu, već se mora usisna cijev napuniti tekućinom. Da bi usisna cijev i za vrijeme pogonskog prekida ostala napunjena tekućinom, ugrađuje se na njezinu dnu odbojni (»nožni«) ventil ili zaklopka. – Ima, međutim, i tzv. samousisnih sisaljki u kojih je prigraden poseban uređaj da mogu usisati tekućinu i kad je usisna cijev napunjena zrakom.

### Ventilatori

Ventilatori služe za transport plinova i para pa su zapravo sisaljke za plinove i pare u području njihove nestlačivosti.

Kao turbostrojevi, oni se pokoravaju istim zakonima kojima i turbopumpe, samo što prirast specifične energije  $e$ , odnosno dobavnu visinu  $H$  izraženu u stupcu fluida, obično izražavamo prirastom (»skokom«) tlaka (»naporom«)  $\Delta p$

$$\Delta p = e \rho = H \rho g$$

gdje je  $\rho$  – gustoća dobavnog fluida.

Karakteristika cjevovoda  $\Delta p_c (= H_c \rho g)$  načelno je jednaka onoj za pumpe s razlikom što – zbog male gustoće plinova – ne uzimamo u obzir geodetsku visinu  $h$

$$\Delta p_c = p_2 - p_1 + \Delta p_r + \rho \frac{v_1^2}{2}$$

Ventilatore dijelimo također prema brzohodnosti na:

$$\begin{array}{ll} \text{radijalne} & n_q = 0,1 \dots 1,67 \text{ okr./s} = 6 \dots 100 \text{ okr./min} \\ \text{aksijalne (propelerne)} & n_q = 1,17 \dots 10 \text{ okr./s} = 70 \dots 600 \text{ okr./min} \end{array}$$

Karakteristike ventilatora u načelu su slične karakteristikama turbopumpi (vidi str. 152).

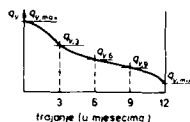
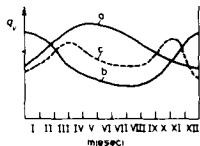
## VODNE TURBINE

**Vodna snaga**  $P_0$  dana je raspoloživim protokom vodne mase  $q_m$  ili volumenskim protokom  $q_V$  i korisnim padom  $H$

$$P_0 = q_m g H = q_V \rho g H$$

gdje je  $\rho$  gustoća vode.

Protok je ovisan o karakteristikama rijeke kojoj pripada određeno oborinsko područje. Visokogorske rijeke »a« — npr. Drava) imaju najveći protok u kasno proljeće i rano ljeto, kad se u visokim planinama tope ledenjaci. Primorske rijeke »b« — npr. Neretva) imaju najveći protok u doba zimskih kiša. Srednjogorske rijeke »c« — npr. Sava) imaju po dva maksimuma — u proljeće i u jesen.



Protok je, osim toga, ovisan o vlažnosti godine (sušne i vlažne godine). Pri ocjenjivanju protoka uzimamo u obzir njegov prosjek kroz duži niz godina (npr. 35 godina).

Radi prosuđivanja rentabilnosti postrojenja i izbora turbine ustanovljujemo osim najvećeg i najmanjeg protoka ( $q_{V,max}$  i  $q_{V,min}$ ) još i protoke koji godišnje traju (ukupno) 3 mjeseca ( $q_{V,3}$ ), 6 mjeseci ( $q_{V,6}$ ) ili 9 mjeseci ( $q_{V,9}$ ).

Nejednakost protoka izravnavamo akumulacijom vode u vrijeme većeg protoka odnosno manjeg potroška. Akumulacija može biti dnevna ili tjedna (brane) ili godišnja (dolinske brane). U posebnim slučajevima viškom energije u vrijeme malog opterećenja crpimo vodu u visoko smještene akumulacijske bazene, da je odatle u vrijeme vršnog opterećenja iskorištavamo.

**Korisni pad**  $H$  ovisi o geodetskom padu  $h$  (tj. o razlici vodenih razina na najvišem mjestu i na izlazu iz turbinskog postrojenja) te o gubicima  $h_r$  u dovodu (cjevovod, armature itd.)

$$H \approx h - h_r$$

Točno određivanje raspoloživog pada  $H$  je — za razne vrste turbinskih postrojenja — definirano u međunarodnim propisima za primopredaju vodenih turbina.

Geodetski pad  $h$  mijenja se s promjenom protoka. Povećani protok izaziva porast vodenih razina, a osobito razine na izlazu, zbog čega se smanjuje geodetski pad. Pri razmjerno malom padu njegovo je smanjenje vrlo osjetljivo i može unatoč povećanom protoku prouzročiti smanjenje vodne snage  $P_0$ .

## Suaga turbine

Teoretska snaga  $P_0$  turbine jednaka je raspoloživoj vodnoj snazi

$$P_0 = q_m e = q_m g H = q_V \rho g H$$

gdje  $q_m$ , odnosno  $q_V$  znači maseni odnosno volumenski protok kroz turbinu.

Unutarnja snaga  $P_i$  smanjena je za unutarnje gubitke koje uzimamo u obzir unutarnjom korisnošću  $\eta_i$

$$P_i = \eta_i P_0$$

Unutarnja korisnost turbina (umnožak hidrauličke korisnosti  $\eta_h$  i volumetrijske korisnosti  $\eta_v$ ;  $\eta_i = \eta_h \eta_v$ ) jako ovisi o njoj brzini vrtnje pa je dobra samo pri određenim brzinama vrtnje ( $n'$ ), za koje su izvedene turbinske lopatice.

Efektivna snaga  $P$  smanjena je još za mehaničke gubitke (uključivši gubitke za pogon pomoćnih uređaja, regulatora itd.), što uzimamo u obzir mehaničkom korisnošću  $\eta_m$  odnosno efektivnom korisnošću  $\eta = \eta_i \eta_m$

$$P = \eta_m P_i = \eta P_0 \quad P = \eta q_m e = \eta q_m g H = \eta q_V \rho g H$$

Efektivna korisnost turbina iznosi:

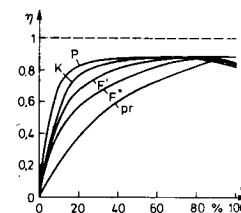
$$\begin{aligned} \text{za manje turbine} \quad \eta &= 0,75 \dots 0,85 \\ \text{za veće turbine} \quad \eta &= 0,85 \dots 0,95 \end{aligned}$$

Efektivna korisnost ovisi o promjeni opterećenja  $P$ , i to različito za različite turbine s raznovrsnim sistemima regulacije. Ovisnost  $\eta = f(P)$  pri konstantnoj brzini vrtnje  $n$  prikazana je dijagramom u kojem krivulje znače:

- P — peltonove turbine
- F' — sporohodne francisove turbine
- F'' — brzohodne francisove turbine
- pr — propelerne turbine
- K — kaplanove turbine

**Brzohodnost turbine** (specifična brzina vrtnje)  $n_q$

$$n_q = \frac{n}{\sqrt{H}} \sqrt{\frac{q_V}{\sqrt{H}}}$$



pokazuje kakvu bi brzinu vrtnje morala imati geometrijski slična turbina, građena za korisni pad  $H$  (m), protok  $q_V$  (m³/s) i brzinu vrtnje  $n$ , da bi pri korisnom padu  $H_1 = 1$  m gurala količinu vode  $q_{V1} = 1$  m³/s.

(Koherentnost veličina nije narušena ni ovdje ako pod simbolima  $H$  i  $q_V$  razumijevamo bezdimenzijske omjere  $H_1/H$  i  $q_{V1}/q_V$ .)

Ima li turbina više ( $i$ ) sapnica (kod peltonovih turbina) ili više rotora na istoj osovinu (kod peltonovih i francisovih turbina), bit će brzohodnost

$$n_{qi} = n_q \sqrt{i}$$

Geometrijski slične vodne turbine imaju, uz slične protočne uvjete (slične »trokute brzina«), istu brzohodnost  $n_q$ .

Vodne turbine za velike padove imaju manju brzohodnost, a one za manje padove veću brzohodnost.

Područja upotrebljivosti pojedinih vrsta vodnih turbina:

Vrste turbina	H m	okr./s $n_q$	okr./min
Peltonove – s jednom sap. } – s više sapnica }	2000 ... 100	0,02 ... 0,16 0,08 ... 0,37	1,2 ... 9,5 5 ... 22
Francisove – sporohodne	500 ... 105	0,33 ... 0,75	20 ... 45
– normalne	105 ... 55	0,75 ... 1,17	45 ... 70
– brzohodne	55 ... 35	1,17 ... 1,67	70 ... 100
Propelerne } Kaplanove }	35 ... 5	1,67 ... 5,80	100 ... 350

Izbor turbine ograničen je kavitacijom. Brzohodnost  $n_q$  određuje se (na temelju dijagrama ispitivanja) u ovisnosti o minimalnom dopuštenom koeficijentu kavitacije  $\sigma_{\min}$  (Thominog broja)

$$n_q = f(\sigma_{\min}) \quad \sigma_{\min} \approx (p_a / \rho g - h_d) / H$$

gdje su:  $p_a$  – zračni tlak,  $h_d$  – visina difuzora.

Brzina vrtnje vodnih turbina prilagođuje se traženoj brzini vrtnje gonjenih strojeva. Redovno su to električni generatori koji imaju određenu brzinu vrtnje (vidi str. 266). Turbinu odabiremo tako da ima pri traženoj brzini vrtnje najbolju korisnost  $\eta$ .

Najveća brzina vrtnje  $n_{\max}$ , koju turbina može postići u slučaju potpunog rasterećenja i potpuno otvorenih privodnih lopatica (»pobjegnuće«) mnogo je veća od normalne brzine vrtnje  $n$  i iznosi:

$$\begin{aligned} \text{kod peltonovih turbina} \quad n_{\max} &= (1,8 \dots 1,9)n \\ \text{kod francisovih turbina} \quad n_{\max} &= (1,8 \dots 2,1)n \\ \text{kod kaplanovih turbina} \quad n_{\max} &= (2,3 \dots 3,0)n \end{aligned}$$

Pri normalnom se radu brzina vrtnje turbine po pravilu ne smije povećati više od 10%. Regulator koji pravilno djeluje mora spriječiti da se pri normalnom radu vrtnje turbine poveća iznad dopuštene vrijednosti. Međutim, svi rotirajući dijelovi turbine i priključenih strojeva moraju – radi sigurnosti u slučaju greške na regulatoru – izdržati i najveću brzinu vrtnje  $n_{\max}$ .

## TOPLINA

### Specifični toplinski kapacitet

Toplina  $dQ$  mijenja tijelu mase  $m$  temperaturu za  $dT$

$$dQ = c m dT$$

$c$  je specifični toplinski kapacitet tijela (J/kg K). U idealnih je plinova – u najpriprostijem slučaju – konstantna, inače općenito ovisi o temperaturi i o tlaku.

Smatramo li  $c$  konstantnim, pišemo

$$Q = c m (T_2 - T_1)$$

Vrijednosti specifičnog toplinskog kapaciteta pojedinih tvari razabiru se iz tablica na str. 163 i 212 do 217.

Pri promjenljivom specifičnom kapacitetu računamo katkada s »prosječnim specifičnim kapacitetom« između temperatura  $T_1$  i  $T_2$

$$c_{\text{med}} = \int c dT / (T_2 - T_1)$$

S prosječnim specifičnim kapacitetom računamo kao da je konstantan.

Entalpija je određena izrazom  $H = U + pV$

U tom je izrazu  $U$  – unutarnja energija, a  $pV$  – vanjska energija (energija prostora,  $p$  – tlak,  $V$  – volumen).

»Specifična entalpija  $h$ « je entalpija jedinice mase s obzirom na – po volji odabrano – ishodište (npr. 0°C), gdje je  $h = 0$ . Mjerimo je u J/kg. Vrijednosti specifične entalpije za pare složene su u tablicama na str. 169 do 191, a za vlažni zrak na str. 194 do 197.

Temperaturna raztezljivost (dilatacija)

Linearno temperaturno rastezanje zbog povišenja temperature za  $dT$  iznosi

$$dl = \alpha l_0 dT$$

gdje su:  $\alpha$  – linearni koeficijent temperaturnog rastezanja ( $K^{-1}$ ),  $l_0$  – prvobitna duljina.

Smatramo li da je koeficijent  $\alpha$  konstantan, vrijedi

$$l = l_0 [1 + \alpha (T - T_0)]$$

Koeficijent raztezavanja  $\alpha$  pri višim temperaturama raste. Njegove su vrijednosti za čvrste tvari dane na str. 158 i 159.

Kubično temperaturno rastezanje zbog povećanja temperature za  $dT$  iznosi

$$dV = \beta V_0 dT$$

gdje su:  $\beta$  – kubični koeficijent temperaturnog rastezanja ( $K^{-1}$ ),  $V_0$  – prvobitni volumen.

Smatramo li koeficijent  $\beta$  konstantnim, bit će

$$V = V_0 [1 + \beta (T - T_0)]$$

I kubični koeficijent rastezanja  $\beta$  pri višim temperaturama raste. Njegove su vrijednosti za tekućine i plinove dane na str. 159.

Linearni koeficijenti temperaturnog rastezanja  $\alpha$  (K<sup>-1</sup>)

Temperaturno područje:	0 ... 100 °C	0 ... 500 °C	0 ... 1000 °C
<b>Kovine:</b>			
aluminij	0,000 023 8	0,000 027 4	—
bakar	0,000 016 5	0,000 018 1	—
cink	0,000 016 5	—	—
iridij	0,000 006 5	—	—
kadmij	0,000 036 0	—	—
kobalt	0,000 013 0	—	—
kositar	0,000 026 7	—	—
krom	0,000 008 4	—	—
magnezij	0,000 026 0	0,000 029 8	—
mangan	0,000 022 8	—	—
molibden	0,000 005 2	—	—
nikal	0,000 013 0	0,000 015 2	0,000 016 8
olovo	0,000 029 2	—	—
platina	0,000 009 0	0,000 009 5	0,000 010 2
srebro	0,000 019 7	0,000 020 9	—
volfam	0,000 004 5	0,000 004 5	0,000 004 6
zlat	0,000 014 2	0,000 015 2	—
željezo (čisto)	0,000 012 3	—	—
<b>Slitine:</b>			
bronca (kositrena)	0,000 018 0	—	—
crveni lijev	0,000 019 0	—	—
čelik — neleg. 0,1 % C	0,000 012 0	0,000 014 1	—
0,6 % C	0,000 011 7	0,000 013 8	—
— legir. CrNi	0,000 011 5	—	—
18 Cr 8 Ni	0,000 016 0	—	—
13 % Cr	0,000 010 5	—	—
— invar (36 % Ni)	0,000 001 5	0,000 003 4	—
duralumin	0,000 023 5	0,000 027 3	—
konstantan	0,000 015 2	0,000 016 8	—
manganin	0,000 017 5	0,000 019 4	—
mjed (mesing)	0,000 018 4	—	—
novo srebro	0,000 018 0	—	—
platina-iridij (10 % Ir)	0,000 009 0	0,000 009 5	0,000 010 2
silumin	0,000 022 0	—	—
sivi lijev	0,000 010 4	0,000 012 9	—
tvrdi metali	0,000 005 5	—	—

Linearni koeficijenti temperaturnog rastezanja  $\alpha$  (K<sup>-1</sup>)

Temperaturno područje:	0 ... 100 °C	0 ... 500 °C	0 ... 1000 °C
<b>Nekovine:</b>			
beton	0,000 012	—	—
celuloid	0,000 101	—	—
dijamant	0,000 001 3	—	—
grahit	0,000 002	—	—
granit	0,000 006	—	—
korund	0,000 006 4	0,000 007 2	0,000 008 2
magnezija (MgO)	0,000 012 3	0,000 012 6	0,000 013 9
opeka	0,000 008	—	—
poliamidi	0,000 110	—	—
polivinilklorid	0,000 080	—	—
porculan	0,000 003 0	0,000 003 6	0,000 004 3
staklo — jensko	0,000 003 5	0,000 004 0	—
— kremeno	0,000 008 1	0,000 009 3	—
— kremeneno	0,000 000 5	0,000 000 6	0,000 000 5
sumpor	0,000 090	—	—

Kubični koeficijenti temperaturnog rastezanja  $\beta$  (K<sup>-1</sup>)

Kapljevina	$\beta$	Kapljevina	$\beta$
voda 0 °C	—0,000 060	benzin	0,001 200
10 °C	0,000 200	benzen (benzol)	0,000 106
20 °C	0,000 380	etanol (alkohol)	0,001 150
60 °C	0,000 540	ulje za mazanje	0,000 740
100 °C	0,000 780	pentan	0,000 160
200 °C	0,000 550	propantriol (glicerol)	0,000 520
		terpentinsko ulje	0,000 097
		transformatorsko ulje	0,000 690
		živa	0,000 180

Plin	$\beta$	Plin	$\beta$
amonijak	0,003 802	ugljični dioksid	0,003 726
argon	0,003 676	ugljični monoksid	0,003 670
dušik	0,003 674	vodik	0,003 662
helij	0,003 660	sumporni dioksid	0,003 850
kisik	0,003 674	idealni plin	0,003 661 =
neon	0,003 661		= 1/273,15

## OSNOVNI ZAKONI TERMODINAMIKE

### Prvi glavni zakon termodinamike

»Toplina je ekvivalentna mehaničkom radu.« (Mayer, 1842; Joule, 1843.)

Dovođenje ili odvođenje topline  $Q$  uzrokuje promjenu unutarnje energije  $U$  i apsolutnog rada  $A$  (dobivenoga ili utrošenoga), odnosno promjenu entalpije  $H$  i tehničkog rada  $W$  (dobivenoga ili utrošenoga):

$$\begin{aligned} dQ &= dU + dA & +dQ &= \text{dovedena toplina} \\ dQ &= dH + dW & -dQ &= \text{odvedena toplina} \end{aligned}$$

Za slučaj mehaničke ravnoteže možemo rad izraziti tlakom  $p$  i volumenom  $V$

$$\begin{aligned} dA &= p dV & +dA, +dW &= \text{dobiveni rad} \\ dW &= -V dp & -dA, -dW &= \text{utrošeni rad} \end{aligned}$$

Entalpijski teorem:  $H_2 - H_1 = Q - W$

### Drugi glavni zakon termodinamike

»Toplina ne prelazi nikada sama od sebe s hladnijega na toplije tijelo.« (Clausius, 1850; Thomson, 1851.)

Po tome razlikujemo:

a) povratne procese, tj. one koji su mogući u jednom ili drugom smislu, a da pri povratku ne ostanu u prirodi nikakav trag (npr. isparivanje i kondenzacija, kompresija i ekspanzija itd.), i

b) nepovratne procese, koji su mogući samo u jednom smislu (npr. prijelaz topline, trenje, prigušivanje, miješanje itd).

Entropija je za sve povratne procese određena izrazom  $dS = dQ/T$ . U tom je izrazu  $dQ$  — promjena topline pri apsolutnoj temperaturi  $T$ .

»Specifična entropija  $s$ « je entropija jedinice mase računana s obzirom na — po volji odabrano — ishodište (npr. kod  $0^\circ\text{C}$ ), gdje je  $s = 0$ . Mjerimo je u  $\text{J/kg K}$ . Njene vrijednosti za pare dane su na str. 169 do 191.

Entropija se zatvorenog sustava pri svim nepovrativim procesima povećava ( $dS > 0$ ).

Eksergija \*  $E$  je maksimalni tehnički rad što ga s obzirom na stanje okoline (pri temperaturi  $T_0$  i tlaku  $p_0$ ) možemo dobiti iz unutarnje energije tvari kojoj je entalpija  $H$  i entropija  $S$ :  $E = H - H_0 - T_0(S - S_0)$ .  $H_0$  je entalpija, a  $S_0$  entropija tvari pri stanju okoline ( $T_0, p_0$ ).

Anergija \*  $T_0(S - S_0)$  je dio unutarnje energije iz kojega ne možemo dobiti tehnički rad.

»Specifična eksergija  $e$ « je eksergija jedinice mase:  $e = h - h_0 - T_0(s - s_0)$ , gdje su:  $h$  — specifična entalpija i  $s$  — specifična entropija tvari u promatranom stanju,  $h_0$  i  $s_0$  su specifična entalpija i entropija tvari pri tlaku i temperaturi okoline, »specifična anergija«  $b = T_0(s - s_0)$ .

\* Te je nazive uveo prof. Z. Rant, Ljubljana (SV 1955/1 i SV 1962/1–2).

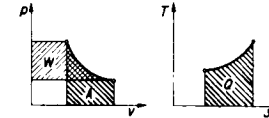
## Promjene stanja tvari

Pri promjeni stanja određujemo uglavnom: volumen  $V$ , tlak  $p$ , temperaturu  $T$ , apsolutni rad  $A$ , odn. tehnički rad  $W$  i toplinu  $Q$ .

U  $pV$ -dijagramu predloženi su: apsolutni rad  $A$  površinom ispod krivulje promjene stanja, a tehnički rad  $W$  površinom lijevo od te krivulje

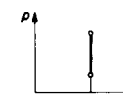
$$A = \int p dV \quad W = - \int V dp$$

U  $TS$ -dijagramu predložena je toplina  $Q$  površinom ispod krivulje povratice promjene stanja  $Q = \int T dS$

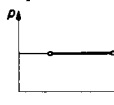


Najkarakterističnije promjene stanja:

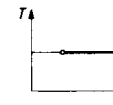
izohora  
 $V = \text{konst}$



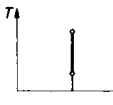
izobara  
 $p = \text{konst}$



izoterma  
 $T = \text{konst}$



izentropa  
 $S = \text{konst}$



»Adijabata« znači promjenu stanja pri kojoj toplinu niti (izvana) dovodimo niti je odvodimo, ali ona može biti proizvedena u samom sistemu zbog izentalpa:  $H = \text{konst}$ . U idealnom su slučaju (bez gubitaka) adijabata i izentropa identične.

### Kružni procesi

U idealnom (bez gubitaka i sl.) desnokretnom kružnom procesu (tj. u smislu kazaljke na satu, vidi sliku!), koji odgovara procesu pogonskih strojeva, površine omeđene zatvorenom krivuljom povratice promjene stanja predstavljaju: u  $pV$ -dijagramu dobiveni rad  $W_k$ , u  $TS$ -dijagramu razliku toplina  $Q_k$ :

$$W_k = Q_k = Q - Q_0$$

gdje je  $Q$  dovedena, a  $Q_0$  odvedena toplina ( $Q > Q_0$ ).

Energetska korisnost kružnog procesa je  $\eta_k = W_k/Q = 1 - Q_0/Q$



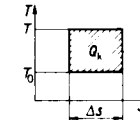
U lijevakretnom kružnom procesu (protivnom smislu u slici), koji odgovara procesu toplinskih pumpi, negativni su i rad  $-W_k$  (utrošeni) i razlika toplina  $-Q_k$  (dobivena) ( $Q < Q_0$ ).

Carnotov kružni proces teče između dviju izentropa i dviju izoterm. Za nj vrijedi

$$Q_k = (T - T_0) \Delta S$$

a energetska korisnost iznosi

$$\eta = 1 - T_0/T \quad (\text{Thomsonova jednačica})$$



## IDEALNI PLINOVİ

Pod »idealnim plinovima« razumijevamo tako visoko pregrijane pare da se pokoravaju zakonu Boyleovu i Mariotteovu ( $pV = \text{konst}$  pri  $T = \text{konst}$ ) te Gay-Lussacovu ( $V/T = \text{konst}$  pri  $p = \text{konst}$ ). U prirodi nema idealnih plinova, no mnogi se realni plinovi po svojim svojstvima tako približuju idealnim plinovima da za njih vrijede s dovoljnom točnošću navedeni zakoni.

Tehnički osobito važni realni plinovi jesu:

jednoatomni He, Ar  
dvoatomni H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO, zrak  
višeatomni CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>.

Pri malom tlaku i pogotovu još pri visokoj temperaturi možemo zakone idealnih plinova primijeniti i na H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> itd.

Jednadžba stanja plina povezuje tlak  $p$ , gustoću  $\rho$ , odnosno specifični volumen  $v$  ili volumen  $V$  te masu  $m$  i temperaturu  $T$ :

$$p/\rho = RT \quad pv = RT \quad pV = mRT$$

$R$  = plinska konstanta, koja ovisi samo o sastavu plina. Mjerimo je u J/kgK. Vrijednosti za  $R$  – vidi str. 163.

Opća plinska konstanta (umnožak molne mase  $m_m$  i plinske konstante  $R$ ) jednaka je za sve plinove i iznosi

$$R_m = m_m R = 8314,34 \text{ J/kmol K}$$

Avogadrov zakon

1 kmol kojeg (idealnog) plina zauzima pri jednakom stanju uvijek isti volumen  $V_m$ , koji pri 0°C i tlaku 1,01325 bar iznosi

$$V_m = R_m T/p = 22,4136 \text{ m}^3/\text{kmol}$$

Prema tome vrijedi za sve plinove (molne mase  $m_m$  i gustoće  $\rho$ )  $V_m = m_m/\rho$ , a za plinove među sobom  $m_{m1}/m_{m2} = \rho_1/\rho_2$ .

Specifični toplinski kapacitet plinova

izobarski – pri konstantnom tlaku  $c_p = dh/dT$   
izovolumetrički – pri konstantnom volumenu  $c_v = du/dT$

gdje su:  $dh$  – promjena specifične entalpije,  $du$  – promjena specifične unutarnje energije ( $u = U/m$ ),  $dT$  – promjena temperature.

Omjer specifičnih toplinskih kapaciteta  $\kappa = c_p/c_v$

Razlika specifičnih toplinskih kapaciteta  $c_p - c_v = R$   
 $c_p = \kappa R/(\kappa - 1)$   $c_v = R/(\kappa - 1)$

Entalpija plinova

specifična entalpija  $h = \int c_p dT + C$   
molna entalpija  $h_m = m_m \int c_p dT + C$

Podaci o molnoj entalpiji  $h_m$  najpoznatijih plinova nalaze se na str. 164. Iz molne se entalpije vrlo lako može izračunati specifična entalpija  $h = h_m/m_m$ .

## Toplinska svojstva plinova

### Vrelište i kritično stanje plinova

Plin	Kem. simbol	Vrelište (pri 1,01325 bar)		Veličine kritičnog stanja			
		$t_v$ °C	$T_v$ K	temperatura		$p_k$ bar	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>
				$t_k$ °C	$T_k$ K		
helij	He	-268,9	4,3	-267,9	5,3	2,28	69
argon	Ar	-185,9	87,3	-122,4	150,8	48,7	531
vodik	H <sub>2</sub>	-252,8	20,4	-239,3	33,3	13,0	31
dušik	N <sub>2</sub>	-195,8	77,4	-147,1	126,1	33,9	311
kisik	O <sub>2</sub>	-183,0	90,2	-118,8	154,4	50,4	430
zrak	–	-194,0	79,2	-140,7	132,5	37,7	310
uglj. monoks.	CO	-191,5	81,7	-140,2	133,0	34,9	301
uglj. dioksid	CO <sub>2</sub>	-78,5	194,7	+31,0	304,2	73,6	460
sump. dioksid	SO <sub>2</sub>	-10,0	263,2	+157,3	430,5	78,9	524
amonijak	NH <sub>3</sub>	-33,4	289,8	+132,4	405,6	113,0	235
etin (acetilen)	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	-83,6	189,6	+35,7	308,9	63,5	231
metan	CH <sub>4</sub>	-161,7	111,5	-83,0	190,7	46,3	162
monoklor- metan	CH <sub>3</sub> Cl	-24,0	249,2	+143,1	416,3	66,8	370
difluordiklor- metan	CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	-30,0	243,2	+111,5	384,7	40,1	555
eten (etilen)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	-103,5	169,7	+9,3	282,5	51,4	216
etan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	-88,6	184,6	+35,0	308,2	49,6	210

### Plinska konstanta, specifični toplinski kapacitet, gustoća

Plin	Broj atoma u molekuli	Molna masa $m_m$ kg/kmol	Plinska konstanta	Specifična topl. kap.	$\kappa = \frac{c_p}{c_v}$ *	Gustoća** $\rho_0$ kg/m <sup>3</sup>
			$R$ J/kg K	$c_p$ J/kg K		
He	1	4,003	2078	5237	1,66	0,1785
Ar	1	39,94	208,2	523	1,66	1,7834
H <sub>2</sub>	2	2,016	4122	14245	1,41	0,0899
N <sub>2</sub>	2	28,02	296,7	1038	1,40	1,2505
O <sub>2</sub>	2	32,00	259,8	913	1,40	1,4290
zrak	–	28,96	287,0	1005	1,40	1,2928
CO	2	28,01	296,9	1042	1,40	1,2500
CO <sub>2</sub>	3	44,01	188,8	820	1,30	1,9768
SO <sub>2</sub>	3	64,06	129,8	607	1,27	2,9265
NH <sub>3</sub>	4	17,03	488,2	2055	1,31	0,7713
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	4	26,04	319,6	1511	1,26	1,1709
CH <sub>4</sub>	5	16,04	518,7	2156	1,32	0,7168
CH <sub>3</sub> Cl	5	50,49	164,7	737	1,29	2,3084
CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	5	120,9	68,8	561	1,14	5,0830
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	6	28,05	296,7	1612	1,25	1,2604
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	8	30,07	276,7	1729	1,20	1,3560

\* Pri 0°C. – \*\* Pri 0 °C i 1,01325 bar.

Molna entalpija  $h_m$  plinova  
pri konstantnom tlaku  $p = 0$  (bez obzira na disocijaciju)

Temperatura		$h_m$ kJ/kmol			
$t$ °C	$T$ K	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Zrak
0	273	0	0	0	0
100	373	2 897	2 918	2 951	2 913
200	473	5 819	5 860	5 982	5 865
300	573	8 765	8 845	9 113	8 858
400	673	11 690	11 880	12 360	11 920
500	773	14 630	14 970	15 680	15 040
600	873	17 610	18 110	19 070	18 260
700	973	20 620	21 320	22 520	21 480
800	1073	23 630	24 610	26 030	24 830
900	1173	26 690	27 960	29 570	28 210
1000	1273	29 790	31 360	33 150	31 620
1100	1373	32 970	34 790	36 750	35 080
1200	1473	36 140	38 260	40 390	38 570
1300	1573	39 380	41 760	44 040	42 070
1400	1673	42 660	45 290	47 720	45 630
1500	1773	45 960	48 810	51 450	49 190
1750	2023	54 380	57 770	60 860	58 190
2000	2273	63 040	66 810	70 410	67 330
2500	2773	80 960	85 190	89 890	85 330
3000	3273	99 500	103 730	109 900	104 600

Temperatura		$h_m$ kJ/kmol			
$t$ °C	$T$ K	CO	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
0	273	0	0	0	0
100	373	2 918	3 839	4 077	3 361
200	473	5 860	8 079	8 498	6 798
300	573	8 866	12 630	13 210	10 320
400	673	11 920	17 410	18 150	13 960
500	773	15 050	22 500	23 250	17 730
600	873	18 260	27 700	28 510	21 600
700	973	21 520	33 060	33 840	25 610
800	1073	24 870	38 490	39 250	29 770
900	1173	28 250	44 080	44 750	34 060
1000	1273	31 690	49 690	50 270	38 340
1100	1373	35 170	55 460	55 840	42 900
1200	1473	38 690	61 240	61 450	47 470
1300	1573	42 240	67 060	67 100	52 130
1400	1673	45 750	72 920	72 710	56 970
1500	1773	49 310	78 860	78 360	61 790
1750	2023	58 310	93 720	94 810	74 340
2000	2273	67 440	100 400	106 900	87 150
2500	2773	85 940	139 100	139 000	113 800
3000	3273	104 500	169 700	164 500	141 000

# Povratne promjene stanja plinova

Oznake veličina – na str. 157 do 162

- a) **Izohora**  $V = \text{konst}$   $p/T = \text{konst} (= mR/V)$   $p_1/p_2 = T_1/T_2$   
**Apsolutni rad**  $A = 0$   
**Tehnički rad**  $W = V(p_1 - p_2)$   
**Toplina**  $Q = m c_v (T_2 - T_1) = m \frac{R}{\kappa - 1} (T_2 - T_1) = \frac{V}{\kappa - 1} (p_2 - p_1)$
- b) **Izobara**  $p = \text{konst}$   $V/T = \text{konst} (= mR/p)$  (Gay-Lussacov zakon)  
 $V_1/V_2 = \varrho_2/\varrho_1 = T_1/T_2$   
**Apsolutni rad**  $A = p(V_2 - V_1) = mR(T_2 - T_1)$   
**Tehnički rad**  $W = 0$   
**Toplina**  
 $Q = m c_p (T_2 - T_1) = m \frac{\kappa R}{\kappa - 1} (T_2 - T_1) = \frac{\kappa p}{\kappa - 1} (V_2 - V_1) = \frac{\kappa}{\kappa - 1} A$
- c) **Izoterma**  $T = \text{konst}$   
 $pV = \text{konst} (= mRT)$  (Boyleov i Mariotteov zakon)  
 $p_1 V_1 = p_2 V_2$   
**Apsolutni rad**  $A = p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = p_1 V_1 \ln \frac{p_1}{p_2}$   
 $= mRT \ln \frac{V_2}{V_1} = mRT \ln \frac{p_1}{p_2}$   
**Tehnički rad**  $W = A$   
**Toplina**  $Q = A = W = T(S_2 - S_1)$
- d) **Izentropa**  $S = \text{konst}$   
 $pV^\kappa = \text{konst}$   $TV^{\kappa-1} = \text{konst}$   $T \left( \frac{1}{p} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \text{konst}$   
**Apsolutni rad**  $A = \frac{p_1 V_1}{\kappa - 1} \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right] = \frac{p_1 V_1}{\kappa - 1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa-1} \right]$   
 $= \frac{p_1 V_1}{\kappa - 1} \left( 1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{1}{\kappa - 1} (p_1 V_1 - p_2 V_2)$   
 $= \frac{mR}{\kappa - 1} (T_1 - T_2) = m c_v (T_1 - T_2)$   
**Tehnički rad pri izentropskoj promjeni stanja** (= teoretski rad toplinskih strojeva)  
 $W = \kappa A = m c_p (T_1 - T_2) = H_1 - H_2 = m(h_1 - h_2)$   
**Toplina**  $Q = 0$

### e) Politropa

predstavlja općenitu promjenu stanja pri kojoj je promjena temperature upravo razmjerna dovedenoj ili odvedenoj toplini  $dQ = mc dT$

$$pV^n = \text{konst} \quad n = \frac{c - c_p}{c - c_v} \quad c = c_v \frac{n - \kappa}{n - 1}$$

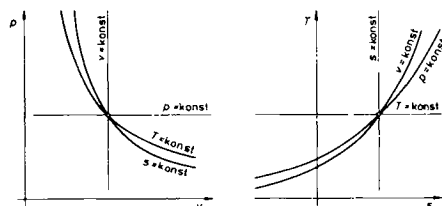
$$\begin{aligned} \text{Apsolutni rad} \quad A &= \frac{p_1 V_1}{n-1} \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] = \frac{p_1 V_1}{n-1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1} \right] \\ &= \frac{p_1 V_1}{n-1} \left( 1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{1}{n-1} (p_1 V_1 - p_2 V_2) \\ &= \frac{mR}{n-1} (T_1 - T_2) \end{aligned}$$

$$\text{Tehnički rad} \quad W = nA$$

$$\text{Toplina} \quad Q = \frac{\kappa - n}{\kappa - 1} A$$

\*

Promjena stanja po politropi — kao općenita — obuhvaća sve prije navedene povratne promjene stanja koje su samo njezini posebni slučajevi.



### Usporedba politropa

politropa	$n$	$c$
izohora	$V = \text{konst}$	$\pm \infty$
izobara	$p = \text{konst}$	$0$
izoterma	$T = \text{konst}$	$1$
izentropa	$S = \text{konst}$	$\kappa = c_p/c_v$

### Prigušivanje

je nepovratna promjena stanja za koju kod idealnih plinova vrijedi:

$$\text{izentalpa} \quad h = \text{konst} \quad T = \text{konst}$$

### Smjese idealnih plinova

(Indeksima 1, 2... n označujemo veličine koje pripadaju pojedinim sastavnima u smjesi)

$$\text{Masa smjese} \quad m = m_1 + m_2 + \dots$$

$$\text{Volumen smjese} \quad V = V_1 + V_2 + \dots$$

$$\text{Tlak smjese} \quad p = p_1 + p_2 + \dots$$

$p_1, p_2, \dots$  su parcijalni tlakovi pojedinih plinova u smjesi (Daltonov zakon)

$$p_1 = p V_1/V \quad p_2 = p V_2/V$$

Za smjesu plinova vrijedi ista jednačba stanja kao i za homogene plinove

$$pV = mRT$$

Plinska konstanta smjese  $R$  i prividna molna masa smjese  $m_m$

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{m} R_i \quad m_m = \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{V} m_{mi}$$

Gustoća smjese

$$\rho = \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{V} \rho_i$$

Specifični toplinski kapaciteti i specifična entalpija smjese:

$$c_p = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{m} c_{pi} \quad c_v = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{m} c_{vi} \quad h = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{m} h_i$$

Z r a k

Sastav potpuno suhog zraka

Sastavina	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Ar	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	He + Ne + Kr + Xe
volumni %	78,03	20,99	0,93	0,03	0,01	0,01
maseni %	75,47	23,20	1,28	0,046	0,001	0,003

### Miješanje plinova (nepovratni proces)

a) Miješanje pri  $V = \text{konst}$

$$\text{parcijalni tlak} \quad p' = (p_1 V_1/T_1) \cdot T/V$$

temperatura smjese

$$\text{tlak smjese} \quad p = p' + p'' + \dots$$

$$T = \sum_{i=1}^n m_i c_{vi} T_i / \sum_{i=1}^n m_i c_{vi}$$

b) Miješanje pri  $p = \text{konst}$

$$\text{parcijalni volumen} \quad V' = (p_1 V_1/T_1) \cdot T/p$$

temperatura smjese

$$\text{volumen smjese} \quad V = V' + V'' + \dots$$

$$T = \sum_{i=1}^n m_i c_{pi} T_i / \sum_{i=1}^n m_i c_{pi}$$



## PARE

### Zasićena para

je smjesa dviju faza: tekuće i plinovite. Para ima u zasićenom stanju za svaku temperaturu točno određenu vrijednost tlaka.

Omjer mase plinovite faze (suhe pare) i mase cjelokupne smjese (suhe pare i tekućine) nazivamo »suhoća pare  $x$ «. S obzirom na  $x$  je zasićena para:

- $x = 0$  – (vrela) tekućina (bez pare),
- $0 < x < 1$  – mokra para, koja u jedinici mase sadrži  $x$  dijelova suhe pare i  $(1 - x)$  dijelova tekućine,
- $x = 1$  – suha para (samo para, bez tekućine).

Različite veličine stanja pare, napose gustoću  $\rho$ , specifični volumen  $v$ , specifičnu entalpiju  $h$  i specifičnu entropiju  $s$  označujemo:

pri stanju  $x = 0$  oznakom                      pri stanju  $x = 1$  oznakom "

Temperatura i odgovarajući tlak te ostale veličine zasićene pare pri stanju  $x = 0$  i  $x = 1$  nalaze se za najvažnije pare u tablicama na str. 172 do 174 i 188 do 191.

Za mokru paru ( $0 < x < 1$ ) vrijedi:

$$\begin{aligned} \text{specifični volumen} \quad v_x &= v' + x(v'' - v') \\ \text{specifična entalpija} \quad h_x &= h' + x(h'' - h') \\ \text{specifična entropija} \quad s_x &= s' + x(s'' - s') \end{aligned}$$

Clapeyronova jednadžba prikazuje toplinu isparivanja  $r$  kao funkciju temperature zasićenja  $T_s$ , povećanja volumena pri isparivanju  $v'' - v'$  i diferencijalnog kvocijenta  $dp/dT$ :  $r = T_s (v'' - v') \cdot (dp/dT)$        $r = h'' - h'$

### Pregrijana para

je realni plin koji je pregrijan iznad temperature zasićenja i ne sadrži više nikakve tekućine.

Obično smatramo pregrijanom onu paru koja nije pregrijana mnogo iznad temperature zasićenja i nju moramo računati po posebnim zakonima za pregrijanu paru, dok se visoko pregrijane pare postupno približuju svojstvima idealnih plinova.

Veličine stanja pregrijane pare ( $p$ ,  $v$ ,  $h$ ,  $s$ ) funkcije su tlaka i temperature:

$$\begin{aligned} p v &= RT + f_1(p, T) & h &= h'' + \int c_p dT & s &= s'' + \int c_p (dT/T) \\ & & c_p &= f_2(p, T) \end{aligned}$$

Za pregrijanu paru sastavljene su razne tablice o parama, npr.:

- za zrak (ako uzimamo u obzir odstupanje od idealnih plinova) na str. 169.
- za pregrijanu vodenu paru na str. 175 do 187.

Pregled šireg područja (zasićene i pregrijane) vodene pare prikazuje posebno zorno Mollierov  $h$ ,  $s$ -dijagram (str. 170 i 171).

## Zrak

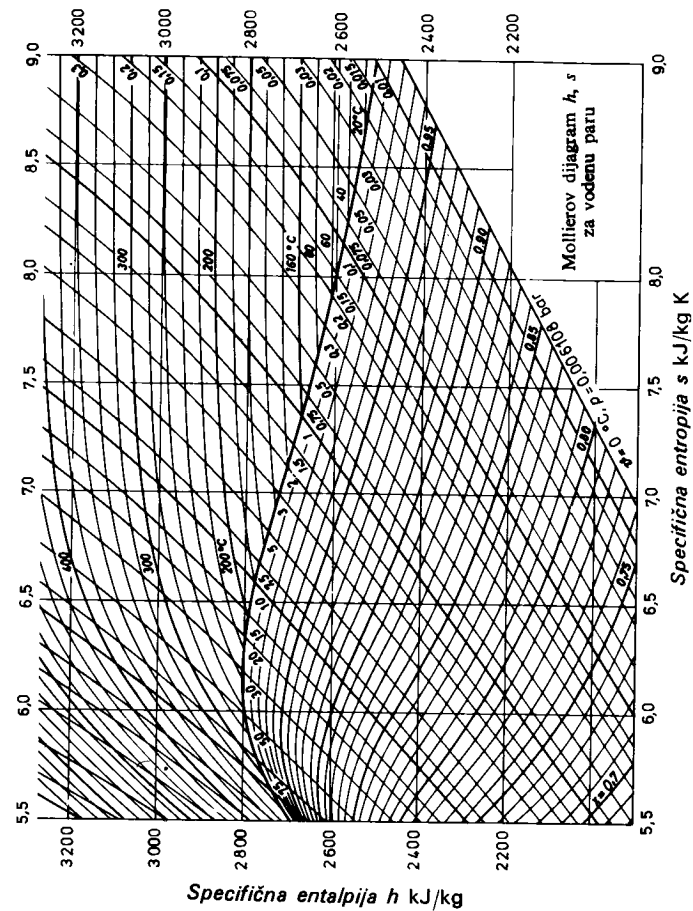
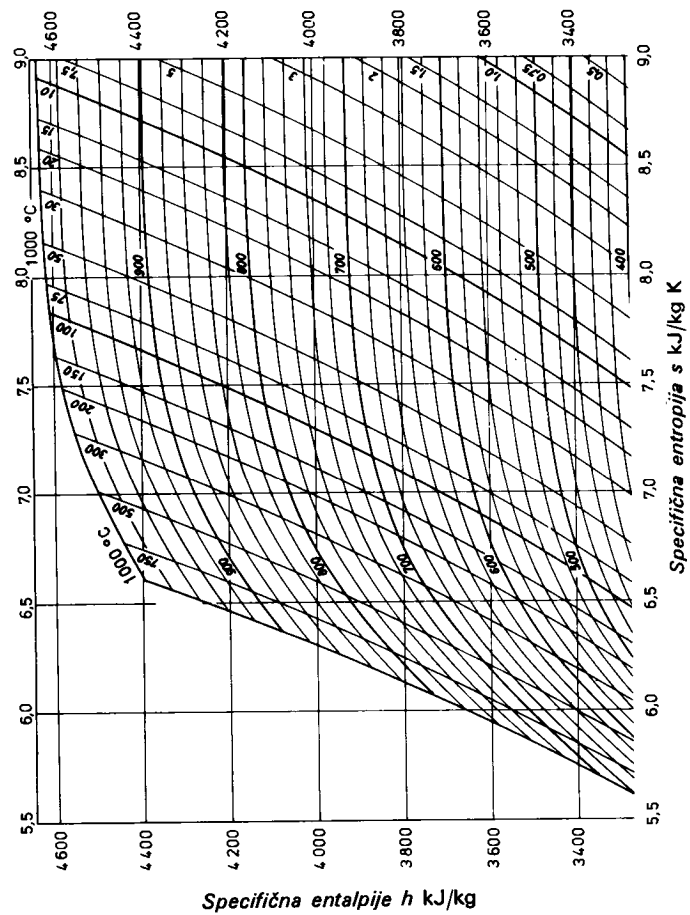
kao pregrijana para (koji pri točnijem računanju odstupa od zakona idealnih plinova)

### Toplinska svojstva pri tlaku $p$ i temperaturi $t$

specifični volumen  $v$ , specifična entalpija  $h^*$ , specifična entropija  $s^*$

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
$p =$ 1 bar						
–100	0,495 1	172,8	6,359	0,097 66	170,0	5,843
– 50	0,639 3	223,1	6,656	0,127 3	221,3	6,106
0	0,783 8	273,3	6,859	0,156 6	272,1	6,311
50	0,926 5	323,6	7,026	0,185 4	322,8	6,479
100	1,071	374,1	7,172	0,214 4	373,5	6,584
200	1,356	476,1	7,415	0,271 6	475,7	6,868
400	1,930	686,1	7,775	0,386 7	686,1	7,229
$p =$ 10 bar						
–100	0,047 98	166,7	5,632	0,023 14	159,7	5,403
– 50	0,063 29	219,3	5,899	0,031 29	215,3	5,687
0	0,078 17	270,9	6,121	0,038 97	268,0	5,900
50	0,092 71	321,9	6,277	0,046 39	319,9	6,072
100	0,107 3	372,8	6,424	0,053 80	371,5	6,221
200	0,136 1	475,2	6,668	0,068 33	474,4	6,467
400	0,193 8	686,1	7,030	0,097 31	686,1	6,830
$p =$ 40 bar						
–100	0,010 72	144,4	5,137	0,006 582	118,0	4,944
– 50	0,015 29	207,1	5,460	0,009 955	195,0	5,315
0	0,019 36	262,8	5,685	0,012 83	255,2	5,552
50	0,023 22	316,2	5,862	0,015 50	311,0	5,734
100	0,027 03	368,9	6,015	0,018 11	365,2	5,890
200	0,034 44	473,2	6,263	0,023 15	471,8	6,142
400	0,049 08	686,2	6,629	0,033 00	686,4	6,510
$p =$ 80 bar						
–100	0,004 512	109,2	4,938	0,003 270	94,6	4,652
– 50	0,007 288	191,2	5,204	0,005 688	183,7	5,114
0	0,009 564	252,8	5,454	0,007 604	248,1	5,420
50	0,011 64	309,3	5,641	0,009 328	306,1	5,567
100	0,013 65	364,0	5,800	0,010 97	361,9	5,729
200	0,017 50	471,2	6,056	0,014 11	470,2	5,987
400	0,024 96	686,6	6,425	0,020 14	686,8	6,359
$p =$ 100 bar						
–100	0,002 512	109,2	4,938	0,003 270	94,6	4,652
– 50	0,007 288	191,2	5,204	0,005 688	183,7	5,114
0	0,009 564	252,8	5,454	0,007 604	248,1	5,420
50	0,011 64	309,3	5,641	0,009 328	306,1	5,567
100	0,013 65	364,0	5,800	0,010 97	361,9	5,729
200	0,017 50	471,2	6,056	0,014 11	470,2	5,987
400	0,024 96	686,6	6,425	0,020 14	686,8	6,359

\* Ishodište za specifičnu entalpiju  $h$  i specifičnu entropiju  $s$  izabrano je pri (idealiziranoj) apsolutnoj nuli.



**Zasićena**

Toplinska svojstva pri

Temperatura  $t_s$ , tlak  $p$ , specifični volumen  $v'$ ,  $v''$ ;

$t_s$ °C	$p$ bar	$v'$ m <sup>3</sup> /kg	$v''$ m <sup>3</sup> /kg	$h'$ kJ/kg	$h''$ kJ/kg	$s'$ kJ/kg K	$s''$ kJ/kg K
0,04	0,006 112	0,001 000 2	206,2	0,00	2 502	0,000 0	9,158
5	0,008 718	0,001 000 0	147,2	21,01	2 511	0,076 2	9,027
10	0,012 27	0,001 000 3	106,4	41,99	2 520	0,151 0	8,902
15	0,017 04	0,001 001	77,98	62,94	2 529	0,224 3	8,783
20	0,023 37	0,001 002	57,84	83,86	2 538	0,296 3	8,668
25	0,031 66	0,001 003	43,40	104,8	2 547	0,367 0	8,559
30	0,042 41	0,001 004	32,93	125,7	2 556	0,436 5	8,455
35	0,056 22	0,001 006	25,24	146,6	2 565	0,504 9	8,354
40	0,073 75	0,001 008	19,55	167,5	2 574	0,572 1	8,258
45	0,095 82	0,001 010	15,28	188,4	2 583	0,638 3	8,166
50	0,123 4	0,001 012	12,05	209,3	2 592	0,703 5	8,078
55	0,157 4	0,001 015	9,579	230,2	2 601	0,767 7	7,993
60	0,199 2	0,001 017	7,679	251,1	2 610	0,831 0	7,911
65	0,250 1	0,001 020	6,202	272,0	2 618	0,893 3	7,832
70	0,311 6	0,001 023	5,046	293,0	2 627	0,954 8	7,757
75	0,385 5	0,001 026	4,134	313,9	2 635	1,015	7,684
80	0,473 6	0,001 029	3,409	334,9	2 644	1,075	7,613
85	0,578 0	0,001 033	2,829	355,9	2 652	1,134	7,545
90	0,701 1	0,001 036	2,361	376,9	2 660	1,193	7,480
95	0,845 3	0,001 040	1,982	398,0	2 668	1,250	7,417
100	1,013 3	0,001 044	1,673	419,1	2 676	1,307	7,355
105	1,208	0,001 048	1,419	440,2	2 684	1,363	7,296
110	1,433	0,001 052	1,210	461,3	2 691	1,419	7,239
115	1,691	0,001 056	1,036	482,5	2 699	1,473	7,183
120	1,985	0,001 061	0,891 5	503,7	2 706	1,528	7,129
125	2,321	0,001 065	0,770 2	525,0	2 713	1,581	7,077
130	2,701	0,001 070	0,668 1	546,3	2 720	1,634	7,026
135	3,131	0,001 075	0,581 8	567,7	2 727	1,687	6,977
140	3,614	0,001 080	0,508 5	589,1	2 733	1,739	6,928
145	4,155	0,001 085	0,446 0	610,6	2 739	1,791	6,882
150	4,760	0,001 091	0,392 4	632,2	2 745	1,842	6,836
155	5,433	0,001 096	0,346 4	653,8	2 751	1,892	6,791
160	6,181	0,001 102	0,306 8	675,5	2 757	1,943	6,748
165	7,008	0,001 108	0,272 4	697,3	2 762	1,992	6,705
170	7,920	0,001 115	0,242 6	719,1	2 767	2,042	6,663
175	8,924	0,001 121	0,216 5	741,1	2 772	2,091	6,622
180	10,03	0,001 128	0,193 8	763,1	2 776	2,139	6,582
185	11,23	0,001 134	0,173 9	785,3	2 780	2,188	6,542

**vodena para**

temperaturama od 0 do 374,15 °C

specifična entalpija  $h'$ ,  $h''$ ; specifična entropija  $s'$ ,  $s''$

$t_s$ °C	$p$ bar	$v'$ m <sup>3</sup> /kg	$v''$ m <sup>3</sup> /kg	$h'$ kJ/kg	$h''$ kJ/kg	$s'$ kJ/kg K	$s''$ kJ/kg K
190	12,55	0,001 142	0,156 3	807,5	2 784	2,236	6,504
195	13,99	0,001 149	0,140 8	829,9	2 788	2,283	6,465
200	15,55	0,001 157	0,127 2	852,4	2 791	2,331	6,428
205	17,24	0,001 164	0,115 0	875,0	2 794	2,378	6,391
210	19,08	0,001 173	0,104 2	897,7	2 796	2,425	6,354
215	21,06	0,001 181	0,094 63	920,6	2 798	2,471	6,318
220	23,20	0,001 190	0,086 04	943,7	2 800	2,518	6,282
225	25,50	0,001 199	0,078 35	966,9	2 801	2,564	6,246
230	27,98	0,001 209	0,071 45	990,3	2 802	2,610	6,211
235	30,63	0,001 219	0,065 25	1 014	2 802	2,656	6,176
240	33,48	0,001 229	0,059 65	1 038	2 802	2,702	6,141
245	36,52	0,001 240	0,054 61	1 062	2 802	2,748	6,106
250	39,78	0,001 251	0,050 04	1 086	2 800	2,794	6,071
255	43,25	0,001 263	0,045 90	1 110	2 799	2,839	6,036
260	46,94	0,001 276	0,042 13	1 135	2 796	2,885	6,001
265	50,88	0,001 289	0,038 71	1 160	2 794	2,931	5,966
270	55,06	0,001 303	0,035 59	1 185	2 790	2,976	5,930
275	59,50	0,001 317	0,032 74	1 211	2 786	3,022	5,895
280	64,20	0,001 332	0,030 13	1 237	2 780	3,068	5,859
285	69,19	0,001 349	0,027 73	1 263	2 774	3,115	5,822
290	74,46	0,001 366	0,025 54	1 290	2 768	3,161	5,785
295	80,04	0,001 384	0,023 51	1 317	2 760	3,208	5,747
300	85,93	0,001 404	0,021 65	1 345	2 751	3,255	5,708
305	92,14	0,001 425	0,019 93	1 373	2 741	3,303	5,669
310	98,70	0,001 448	0,018 33	1 402	2 730	3,351	5,628
315	105,6	0,001 473	0,016 86	1 432	2 718	3,400	5,586
320	112,9	0,001 500	0,015 48	1 463	2 704	3,450	5,542
325	120,6	0,001 529	0,014 19	1 494	2 688	3,501	5,497
330	128,6	0,001 562	0,012 99	1 527	2 670	3,553	5,449
335	137,1	0,001 598	0,011 85	1 560	2 650	3,606	5,398
340	146,1	0,001 639	0,010 78	1 596	2 626	3,662	5,343
345	155,5	0,001 686	0,009 763	1 633	2 599	3,719	5,283
350	165,4	0,001 741	0,008 799	1 672	2 568	3,780	5,218
355	175,8	0,001 809	0,007 859	1 717	2 530	3,849	5,144
360	186,8	0,001 896	0,006 940	1 764	2 485	3,921	5,060
365	198,3	0,002 016	0,006 012	1 818	2 428	4,002	4,958
370	210,5	0,002 214	0,004 973	1 890	2 343	4,111	4,814
374,15	221,20	0,003 17		2 107,4		4,442 9	

Zasićena vodena para (nastavak)

Toplinska svojstva pri tlaku od 0,01 do 200 bar

Tlak  $p$ , temper.  $t_s$ , spec. vol.  $v'$ ,  $v''$ ; spec. entalp.  $h'$ ,  $h''$ ; spec. entrop.  $s'$ ,  $s''$

$p$ bar	$t_s$ °C	$v'$ m³/kg	$v''$ m³/kg	$h'$ kJ/kg	$h''$ kJ/kg	$s'$ kJ/kg K	$s''$ kJ/kg K
0,01	6,983	0,001 000	129,2	29,34	2 514	0,106 0	8,977
0,02	17,51	0,001 001	67,01	73,46	2 534	0,260 7	8,725
0,04	28,98	0,001 004	34,80	121,4	2 555	0,422 5	8,476
0,06	36,18	0,001 006	23,74	151,5	2 568	0,520 9	8,331
0,08	41,53	0,001 008	18,10	173,9	2 577	0,592 5	8,230
0,1	45,83	0,001 010	14,67	191,8	2 585	0,649 3	8,151
0,12	49,45	0,001 012	12,36	206,9	2 591	0,696 3	8,087
0,16	55,34	0,001 015	9,433	231,6	2 602	0,772 1	7,987
0,2	60,09	0,001 017	7,650	251,5	2 610	0,832 1	7,909
0,25	64,99	0,001 020	6,204	272,0	2 618	0,893 2	7,832
0,3	69,12	0,001 022	5,229	289,3	2 625	0,944 1	7,770
0,4	75,89	0,001 027	3,993	317,7	2 637	1,026	7,671
0,5	81,35	0,001 030	3,240	340,6	2 646	1,091	7,595
0,6	85,95	0,001 033	2,732	359,9	2 654	1,145	7,533
0,8	93,51	0,001 039	2,087	391,7	2 666	1,233	7,435
1,0	99,63	0,001 043	1,694	417,5	2 675	1,303	7,360
1,2	104,8	0,001 048	1,428	439,4	2 683	1,361	7,298
1,6	113,3	0,001 055	1,091	475,4	2 696	1,455	7,202
2,0	120,2	0,001 061	0,885 4	504,7	2 706	1,530	7,127
2,5	127,4	0,001 068	0,718 4	535,3	2 716	1,607	7,052
3	133,5	0,001 074	0,605 6	561,4	2 725	1,672	6,991
4	143,6	0,001 084	0,462 2	604,7	2 738	1,776	6,894
5	151,8	0,001 093	0,374 7	640,1	2 748	1,860	6,819
6	158,8	0,001 101	0,315 5	670,4	2 756	1,931	6,758
8	170,4	0,001 115	0,240 3	720,9	2 768	2,046	6,660
10	179,9	0,001 127	0,194 3	762,6	2 776	2,138	6,583
12	188,0	0,001 139	0,163 2	798,4	2 783	2,216	6,519
16	201,4	0,001 159	0,123 7	858,6	2 792	2,344	6,418
20	212,4	0,001 177	0,099 54	908,6	2 797	2,447	6,337
25	223,9	0,001 197	0,079 91	962,0	2 801	2,554	6,254
30	233,8	0,001 216	0,066 63	1 008	2 802	2,646	6,184
40	250,3	0,001 252	0,049 75	1 087	2 800	2,797	6,069
50	263,9	0,001 286	0,039 43	1 155	2 794	2,921	5,974
60	275,6	0,001 319	0,032 44	1 214	2 785	3,027	5,891
80	295,0	0,001 384	0,023 53	1 317	2 760	3,208	5,747
100	311,0	0,001 453	0,018 04	1 408	2 728	3,361	5,620
120	324,7	0,001 527	0,014 28	1 492	2 689	3,497	5,500
160	347,3	0,001 710	0,009 308	1 651	2 585	3,747	5,253
200	365,7	0,002 037	0,005 877	1 827	2 418	4,015	4,941

Voda i pregrijana vodena para

Toplinska svojstva pri tlaku  $p$  i temperaturi  $t$

specifični volumen  $v$ , specifična entalpija  $h$ , specifična entropija  $s$

$t$ °C	$v$ m³/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m³/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
$p =$		0,01 bar		0,02 bar		
0	0,001 000 2	—0,0	—0,000 2	0,001 000 2	—0,0	—0,000 2
20	135,2	2 539	9,061	67,58	2 538	8,740
40	144,5	2 576	9,184	72,21	2 576	8,864
60	153,7	2 613	9,300	76,84	2 613	8,980
80	163,0	2 651	9,410	81,46	2 651	9,089
100	172,2	2 689	9,514	86,08	2 689	9,193
$p =$		0,04 bar		0,06 bar		
0	0,001 000 2	—0,0	—0,000 2	0,001 000 2	—0,0	—0,000 2
20	0,001 002	83,9	0,296 3	0,001 002	83,9	0,296 3
40	36,08	2 575	8,543	24,04	2 575	8,354
60	38,40	2 613	8,659	25,59	2 612	8,471
80	40,71	2 650	8,769	27,13	2 650	8,581
100	43,03	2 688	8,873	28,68	2 688	8,685
120	45,34	2 726	8,972	30,22	2 726	8,785
$p =$		0,08 bar		0,10 bar		
0	0,001 000 2	—0,0	—0,000 2	0,001 000 2	—0,0	—0,000 2
20	0,001 002	83,9	0,296 3	0,001 002	83,9	0,296 3
40	0,001 008	167,5	0,572 1	0,001 008	167,5	0,572 1
60	19,18	2 612	8,337	15,34	2 612	8,233
80	20,34	2 650	8,448	16,27	2 650	8,344
100	21,50	2 688	8,552	17,20	2 688	8,449
120	22,66	2 726	8,652	18,12	2 726	8,548
$p =$		0,12 bar		0,16 bar		
0	0,001 000 2	—0,0	—0,000 2	0,001 000 2	—0,0	—0,000 2
20	0,001 002	83,9	0,296 3	0,001 002	83,9	0,296 3
40	0,001 008	167,5	0,572 1	0,001 008	167,5	0,572 1
60	12,77	2 611	8,148	9,570	2 611	8,014
80	13,55	2 649	8,259	10,16	2 649	8,125
100	14,33	2 687	8,364	10,74	2 687	8,230
120	15,10	2 725	8,464	11,32	2 725	8,330
140	15,87	2 764	8,559	11,90	2 763	8,425

# Voda i pregrijana

Toplinska svojstva pri  
specifični volumen  $v$ , specifična

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
	$p = 0,2 \text{ bar}$			$0,25 \text{ bar}$		
0	0,001 000 2	—0,0	—0,000 2	0,001 000 2	—0,0	—0,000 2
20	0,001 002	83,9	0,296 3	0,001 002	83,9	0,296 3
40	0,001 008	167,5	0,572 1	0,001 008	167,5	0,572 1
60	0,001 017	251,1	0,831 0	0,001 017	251,1	0,831 0
80	8,117	2 648	8,021	6,488	2 647	7,916
100	8,585	2 686	8,126	6,864	2 686	8,022
120	9,051	2 725	8,226	7,237	2 724	8,123
140	9,516	2 763	8,322	7,611	2 763	8,219
160	9,980	2 802	8,413	7,982	2 801	8,310

	$p = 0,3 \text{ bar}$			$0,4 \text{ bar}$		
0	0,001 000 2	—0,0	—0,000 2	0,001 000 2	0,0	—0,000 2
20	0,001 002	83,9	0,296 3	0,001 002	83,9	0,296 3
40	0,001 008	167,5	0,572 1	0,001 008	167,5	0,572 1
60	0,001 017	251,1	0,831 0	0,001 017	251,1	0,831 0
80	5,401	2 647	7,830	4,042	2 645	7,694
100	5,714	2 685	7,936	4,279	2 684	7,801
120	6,027	2 724	8,037	4,515	2 723	7,902
140	6,338	2 762	8,133	4,749	2 761	7,999
160	6,648	2 801	8,224	4,983	2 800	8,090
180	6,958	2 840	8,312	5,215	2 839	8,178

	$p = 0,5 \text{ bar}$			$0,6 \text{ bar}$		
0	0,001 000 2	0,0	—0,000 2	0,001 000 2	0,0	—0,000 2
20	0,001 002	83,9	0,296 3	0,001 002	83,9	0,296 3
40	0,001 008	167,5	0,572 1	0,001 008	167,5	0,572 1
60	0,001 017	251,1	0,831 0	0,001 017	251,1	0,831 0
80	0,001 029	334,9	1,075	0,001 029	334,9	1,075
100	3,418	2 683	7,695	2,844	2 681	7,609
120	3,607	2 722	7,797	3,002	2 721	7,711
140	3,796	2 761	7,894	3,160	2 760	7,808
160	3,983	2 800	7,986	3,317	2 799	7,901
180	4,170	2 839	8,074	3,473	2 838	7,989
200	4,356	2 878	8,159	3,628	2 877	8,074

# vodena para (nastavak)

tlaku  $p$  i temperaturi  $t$   
entalpija  $h$ , specifična entropija  $s$

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
$p =$			0,8 bar	1,0 bar		
0	0,001 000 2	0,0	—0,000 1	0,001 000 2	0,1	—0,000 1
20	0,001 002	83,9	0,296 3	0,001 002	84,0	0,296 3
40	0,001 008	167,5	0,572 1	0,001 008	167,5	0,572 1
60	0,001 017	251,1	0,831 0	0,001 017	251,2	0,830 9
80	0,001 029	334,9	1,075	0,001 029	335,0	1,075
100	2,126	2 679	7,470	1,696	2 676	7,362
120	2,246	2 719	7,574	1,793	2 717	7,467
140	2,365	2 758	7,672	1,889	2 756	7,566
160	2,484	2 798	7,766	1,984	2 796	7,660
180	2,601	2 837	7,854	2,078	2 836	7,750
200	2,718	2 876	7,940	2,172	2 875	7,835
220	2,835	2 916	8,021	2,266	2 915	7,917
240	2,952	2 955	8,100	2,359	2 955	7,996
260	3,068	2 995	8,176	2,453	2 994	8,072
280	3,184	3 035	8,249	2,546	3 034	8,145
300	3,300	3 075	8,320	2,639	3 075	8,217

$p =$			1,2 bar	1,6 bar		
0	0,001 000 2	0,1	—0,000 1	0,001 000 1	0,1	—0,000 1
20	0,001 002	84,0	0,296 3	0,001 002	84,0	0,296 3
40	0,001 008	167,6	0,572 1	0,001 008	167,6	0,572 1
60	0,001 017	251,2	0,830 9	0,001 017	251,2	0,830 9
80	0,001 029	335,0	1,075	0,001 029	335,0	1,075
100	0,001 044	419,1	1,307	0,001 044	419,1	1,307
120	1,490	2 714	7,379	1,112	2 710	7,237
140	1,571	2 755	7,479	1,173	2 751	7,340
160	1,651	2 795	7,573	1,234	2 792	7,436
180	1,730	2 835	7,663	1,294	2 832	7,527
200	1,808	2 874	7,749	1,353	2 873	7,613
220	1,887	2 914	7,832	1,413	2 913	7,696
240	1,965	2 954	7,911	1,471	2 953	7,776
260	2,043	2 994	7,987	1,530	2 993	7,852
280	2,120	3 034	8,061	1,588	3 033	7,926
300	2,198	3 074	8,132	1,647	3 073	7,998

Voda i pregrijana

Toplinska svojstva pri  
specifični volumen  $v$ , specifična

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
$p = 2,0$ bar				$p = 2,5$ bar		
0	0,001 000 1	0,2	—0,000 1	0,001 000 1	0,2	—0,000 1
20	0,001 002	84,0	0,296 3	0,001 002	84,1	0,296 2
40	0,001 008	167,6	0,572 0	0,001 008	167,7	0,572 0
60	0,001 017	251,2	0,830 9	0,001 017	251,3	0,830 9
80	0,001 029	335,0	1,075	0,001 029	335,1	1,075
100	0,001 044	419,1	1,307	0,001 044	419,2	1,307
120	0,001 061	503,7	1,528	0,001 061	503,8	1,528
140	0,934 9	2 748	7,230	0,744 0	2 743	7,118
160	0,984 0	2 789	7,328	0,784 0	2 786	7,218
180	1,033	2 830	7,420	0,823 2	2 827	7,312
200	1,080	2 871	7,507	0,862 0	2 868	7,400
220	1,128	2 911	7,591	0,900 4	2 909	7,485
240	1,175	2 951	7,671	0,938 5	2 949	7,565
260	1,222	2 991	7,748	0,976 3	2 990	7,643
280	1,269	3 032	7,822	1,014	3 030	7,717
300	1,316	3 072	7,894	1,052	3 071	7,789
$p = 3$ bar				$p = 4$ bar		
0	0,001 000 1	0,3	—0,000 1	0,001 000	0,4	—0,000 1
20	0,001 002	84,1	0,296 2	0,001 002	84,2	0,296 2
40	0,001 008	167,7	0,572 0	0,001 008	167,8	0,572 0
60	0,001 017	251,3	0,830 8	0,001 017	251,4	0,830 8
80	0,001 029	335,1	1,075	0,001 029	335,2	1,075
100	0,001 044	419,2	1,307	0,001 044	419,3	1,307
120	0,001 061	503,8	1,528	0,001 061	503,9	1,527
140	0,616 7	2 739	7,025	0,001 080	589,1	1,739
160	0,650 6	2 782	7,127	0,483 7	2 774	6,981
180	0,683 7	2 824	7,222	0,509 3	2 818	7,079
200	0,716 4	2 866	7,312	0,534 3	2 860	7,171
220	0,748 6	2 907	7,397	0,558 9	2 902	7,258
240	0,780 5	2 948	7,478	0,583 1	2 944	7,340
260	0,812 3	2 988	7,556	0,607 2	2 985	7,419
280	0,843 8	3 029	7,631	0,631 1	3 026	7,495
300	0,875 3	3 070	7,703	0,654 9	3 067	7,568

vodena para (nastavak)

tlaku  $p$  i temperaturi  $t$   
entalpija  $h$ , specifična entropija  $s$

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
$p = 5$ bar				$p = 6$ bar		
0	0,001 000	0,5	—0,000 1	0,001 000	0,6	—0,000 1
20	0,001 002	84,3	0,296 2	0,001 002	84,4	0,296 2
40	0,001 008	167,9	0,571 9	0,001 008	168,0	0,571 9
60	0,001 017	251,5	0,830 7	0,001 017	251,6	0,830 7
80	0,001 029	335,3	1,075	0,001 029	335,4	1,075
100	0,001 044	419,4	1,307	0,001 043	419,4	1,307
120	0,001 061	503,9	1,527	0,001 060	504,0	1,527
140	0,001 080	589,2	1,739	0,001 080	589,3	1,739
160	0,383 5	2 766	6,863	0,316 5	2 758	6,764
180	0,404 5	2 811	6,965	0,334 6	2 805	6,869
200	0,425 0	2 855	7,059	0,352 0	2 850	6,966
220	0,445 0	2 898	7,148	0,369 0	2 894	7,057
240	0,464 7	2 940	7,232	0,385 7	2 936	7,142
260	0,484 1	2 982	7,312	0,402 1	2 979	7,223
280	0,503 4	3 023	7,388	0,418 3	3 021	7,300
300	0,522 6	3 065	7,461	0,434 4	3 062	7,374
320	0,541 6	3 106	7,532	0,450 4	3 104	7,445
340	0,560 6	3 147	7,601	0,466 3	3 145	7,514
360	0,579 5	3 189	7,667	0,482 1	3 187	7,581
380	0,598 4	3 230	7,732	0,497 9	3 229	7,646
400	0,617 2	3 272	7,795	0,513 6	3 271	7,709
420	0,635 9	3 314	7,856	0,529 3	3 313	7,771
440	0,654 7	3 356	7,916	0,545 0	3 355	7,831
460	0,673 4	3 398	7,975	0,560 6	3 397	7,889
480	0,692 1	3 441	8,032	0,576 2	3 440	7,947
500	0,710 8	3 484	8,088	0,591 8	3 483	8,003
520	0,729 4	3 527	8,143	0,607 4	3 526	8,058
540	0,748 1	3 570	8,197	0,623 0	3 569	8,112
560	0,766 7	3 614	8,250	0,638 6	3 613	8,165
580	0,785 3	3 657	8,302	0,654 1	3 657	8,217
600	0,803 9	3 702	8,353	0,669 6	3 701	8,268
620	0,822 5	3 746	8,403	0,685 1	3 745	8,318
640	0,841 1	3 790	8,452	0,700 7	3 790	8,367

Voda i pregrijana

Toplinska svojstva pri  
specifični volumen  $v$ , specifična

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
	$p = 8 \text{ bar}$			$p = 10 \text{ bar}$		
0	0,001 000	0,8	—0,000 1	0,001 000	1,0	—0,000 1
20	0,001 001	84,6	0,296 1	0,001 001	84,8	0,296 1
40	0,001 008	168,2	0,571 8	0,001 007	168,3	0,571 7
60	0,001 017	251,7	0,830 6	0,001 017	251,9	0,830 5
80	0,001 029	335,5	1,075	0,001 029	335,7	1,075
100	0,001 043	419,6	1,306	0,001 043	419,7	1,306
120	0,001 060	504,1	1,527	0,001 060	504,3	1,527
140	0,001 080	589,4	1,739	0,001 080	589,5	1,738
160	0,001 102	675,6	1,942	0,001 102	675,7	1,942
180	0,247 1	2 791	6,712	0,194 4	2 777	6,584
200	0,260 8	2 839	6,815	0,205 9	2 827	6,692
220	0,274 0	2 884	6,909	0,216 9	2 875	6,791
240	0,286 9	2 929	6,998	0,227 6	2 921	6,883
260	0,299 5	2 972	7,081	0,237 9	2 965	6,968
280	0,311 9	3 015	7,160	0,248 0	3 009	7,049
300	0,324 1	3 057	7,235	0,258 0	3 052	7,125
320	0,336 3	3 099	7,307	0,267 8	3 095	7,198
340	0,348 3	3 141	7,377	0,277 6	3 137	7,269
360	0,360 3	3 183	7,444	0,287 3	3 180	7,337
380	0,372 3	3 225	7,509	0,296 9	3 222	7,403
400	0,384 2	3 268	7,573	0,306 5	3 264	7,467
420	0,396 0	3 310	7,635	0,316 0	3 307	7,529
440	0,407 8	3 352	7,695	0,325 6	3 350	7,589
460	0,419 6	3 395	7,754	0,335 0	3 392	7,648
480	0,431 4	3 438	7,812	0,344 5	3 435	7,706
500	0,443 2	3 481	7,868	0,354 0	3 478	7,763
520	0,454 9	3 524	7,923	0,363 4	3 522	7,818
540	0,466 6	3 567	7,977	0,372 8	3 565	7,872
560	0,478 3	3 611	8,030	0,382 2	3 609	7,926
580	0,490 0	3 655	8,082	0,391 6	3 653	7,978
600	0,501 7	3 699	8,134	0,401 0	3 697	8,029
620	0,513 4	3 744	8,184	0,410 4	3 742	8,080
640	0,525 1	3 788	8,233	0,419 7	3 787	8,129

vodena para (nastavak)

tlaku  $p$  i temperaturi  $t$   
entalpija  $h$ , specifična entropija  $s$

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
	$p = 12 \text{ bar}$			$p = 16 \text{ bar}$		
0	0,001 000	1,2	—0,000 1	0,000 999 4	1,6	—0,000 0
20	0,001 001	85,0	0,296 1	0,001 001	85,4	0,296 0
40	0,001 007	168,5	0,571 7	0,001 007	168,9	0,571 5
60	0,001 017	252,1	0,830 4	0,001 016	252,4	0,830 1
80	0,001 029	335,8	1,075	0,001 028	336,1	1,074
100	0,001 043	419,9	1,306	0,001 043	420,2	1,306
120	0,001 060	504,4	1,527	0,001 060	504,7	1,526
140	0,001 080	589,6	1,738	0,001 079	589,9	1,738
160	0,001 102	675,8	1,942	0,001 102	676,0	1,941
180	0,001 127	763,2	2,139	0,001 127	763,4	2,139
200	0,169 2	2 814	6,587	0,001 156	852,4	2,331
220	0,178 8	2 865	6,691	0,131 0	2 843	6,524
240	0,187 9	2 912	6,786	0,138 3	2 895	6,626
260	0,196 8	2 958	6,874	0,145 3	2 944	6,720
280	0,205 4	3 003	6,956	0,152 1	2 991	6,806
300	0,213 9	3 047	7,034	0,158 7	3 036	6,887
320	0,222 2	3 090	7,109	0,165 1	3 081	6,964
340	0,230 4	3 133	7,180	0,171 4	3 125	7,037
360	0,238 6	3 176	7,248	0,177 7	3 169	7,107
380	0,246 7	3 219	7,315	0,183 8	3 212	7,174
400	0,254 7	3 261	7,379	0,190 0	3 255	7,239
420	0,262 7	3 304	7,442	0,196 1	3 298	7,303
440	0,270 7	3 347	7,502	0,202 1	3 341	7,364
460	0,278 7	3 390	7,562	0,208 2	3 385	7,424
480	0,286 6	3 433	7,620	0,214 2	3 428	7,482
500	0,294 5	3 476	7,677	0,220 2	3 472	7,540
520	0,302 4	3 520	7,732	0,226 1	3 515	7,595
540	0,310 3	3 563	7,786	0,232 1	3 559	7,650
560	0,318 1	3 607	7,840	0,238 0	3 604	7,704
580	0,326 0	3 651	7,892	0,244 0	3 648	7,756
600	0,333 8	3 696	7,944	0,249 9	3 693	7,808
620	0,341 7	3 740	7,994	0,255 8	3 737	7,859
640	0,349 5	3 785	8,044	0,261 7	3 782	7,909

Voda i pregrijana vodena para (nastavak)

Toplinska svojstva pri tlaku  $p$  i temperaturi  $t$   
specifični volumen  $v$ , specifična entalpija  $h$ , specifična entropija  $s$

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
$p = 20 \text{ bar}$				25 bar		
0	0,000 999 2	2,0	—0,000 0	0,000 999 0	2,5	0,000 0
20	0,001 001	85,7	0,295 9	0,001 001	86,2	0,295 8
40	0,001 007	169,2	0,571 3	0,001 007	169,7	0,571 1
60	0,001 016	252,7	0,829 9	0,001 016	253,2	0,829 7
80	0,001 028	336,5	1,074	0,001 028	336,9	1,074
100	0,001 043	420,5	1,305	0,001 043	420,9	1,305
120	0,001 060	505,0	1,526	0,001 059	505,3	1,526
140	0,001 079	590,2	1,737	0,001 079	590,5	1,737
160	0,001 101	676,3	1,941	0,001 101	676,6	1,940
180	0,001 127	763,6	2,138	0,001 126	763,9	2,137
200	0,001 156	852,6	2,330	0,001 156	852,8	2,329
220	0,102 1	2 820	6,383	0,001 190	943,7	2,518
240	0,108 4	2 876	6,494	0,084 36	2 851	6,352
260	0,114 4	2 928	6,594	0,089 51	2 907	6,461
280	0,120 0	2 978	6,685	0,094 33	2 960	6,558
300	0,125 5	3 025	6,770	0,098 93	3 010	6,647
320	0,130 8	3 071	6,849	0,103 4	3 059	6,730
340	0,136 0	3 116	6,924	0,107 6	3 105	6,807
360	0,141 1	3 161	6,995	0,111 8	3 151	6,880
380	0,146 1	3 205	7,064	0,116 0	3 196	6,951
400	0,151 1	3 249	7,130	0,120 0	3 241	7,018
420	0,156 1	3 292	7,194	0,124 1	3 285	7,083
440	0,161 0	3 336	7,256	0,128 1	3 329	7,146
460	0,165 9	3 380	7,316	0,132 0	3 373	7,207
480	0,170 7	3 423	7,375	0,136 0	3 418	7,266
500	0,175 6	3 467	7,432	0,139 9	3 462	7,324
520	0,180 4	3 511	7,489	0,143 8	3 506	7,381
540	0,185 2	3 556	7,544	0,147 7	3 551	7,436
560	0,190 0	3 600	7,597	0,151 5	3 595	7,490
580	0,194 7	3 644	7,650	0,155 4	3 640	7,543
600	0,199 5	3 689	7,702	0,159 2	3 685	7,596
620	0,204 3	3 734	7,753	0,163 0	3 730	7,647
640	0,209 0	3 779	7,803	0,166 9	3 776	7,697

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
$p = 30 \text{ bar}$			$p = 40 \text{ bar}$			
0	0,000 998 7	3,0	0,000 1	0,000 998 2	4,0	0,000 2
20	0,001 000	86,7	0,295 7	0,000 999 9	87,6	0,295 5
40	0,001 007	170,1	0,571 0	0,001 006	171,0	0,570 6
60	0,001 016	253,6	0,829 4	0,001 015	254,4	0,828 9
80	0,001 028	337,3	1,073	0,001 027	338,1	1,073
100	0,001 042	421,2	1,305	0,001 042	422,0	1,304
120	0,001 059	505,7	1,525	0,001 058	506,4	1,524
140	0,001 078	590,8	1,736	0,001 078	591,5	1,735
160	0,001 101	676,9	1,940	0,001 100	677,5	1,939
180	0,001 126	764,1	2,137	0,001 125	764,6	2,135
200	0,001 155	853,0	2,328	0,001 154	853,4	2,327
220	0,001 189	943,9	2,517	0,001 188	944,1	2,515
240	0,068 16	2 823	6,224	0,001 228	1 038	2,701
260	0,072 83	2 885	6,343	0,051 72	2 836	6,135
280	0,077 12	2 942	6,448	0,055 44	2 902	6,258
300	0,081 16	2 995	6,542	0,058 83	2 962	6,364
320	0,085 00	3 045	6,629	0,062 00	3 018	6,459
340	0,088 71	3 094	6,709	0,064 99	3 070	6,546
360	0,092 32	3 141	6,784	0,067 87	3 120	6,627
380	0,095 84	3 187	6,856	0,070 66	3 168	6,702
400	0,099 31	3 233	6,925	0,073 38	3 216	6,773
420	0,102 7	3 278	6,991	0,076 04	3 262	6,841
440	0,106 1	3 322	7,054	0,078 66	3 308	6,907
460	0,109 5	3 367	7,116	0,081 25	3 354	6,970
480	0,112 8	3 412	7,176	0,083 81	3 400	7,031
500	0,116 1	3 456	7,235	0,086 34	3 445	7,091
520	0,119 4	3 501	7,292	0,088 86	3 490	7,149
540	0,122 6	3 546	7,347	0,091 35	3 536	7,206
560	0,125 9	3 591	7,402	0,093 84	3 581	7,261
580	0,129 1	3 636	7,455	0,096 31	3 627	7,315
600	0,132 3	3 681	7,508	0,098 76	3 673	7,368
620	0,135 6	3 727	7,559	0,101 2	3 719	7,420
640	0,138 8	3 772	7,610	0,103 6	3 765	7,471



Voda i pregrijana

Toplinska svojstva pri  
specifični volumen  $v$ , specifična

$t$ °C	$v$ m³/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m³/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
	$p = 50$ bar			$p = 60$ bar		
0	0,000 997 7	5,1	0,000 2	0,000 997 2	6,1	0,000 3
20	0,000 999 5	88,6	0,295 2	0,000 999 0	89,5	0,295 0
40	0,001 006	171,9	0,570 2	0,001 005	172,7	0,569 8
60	0,001 015	255,3	0,828 3	0,001 014	256,1	0,827 8
80	0,001 027	338,8	1,072	0,001 026	339,6	1,071
100	0,001 041	422,7	1,303	0,001 041	423,5	1,302
120	0,001 058	507,1	1,523	0,001 057	507,8	1,522
140	0,001 077	592,1	1,734	0,001 076	592,8	1,733
160	0,001 099	678,1	1,937	0,001 098	678,6	1,936
180	0,001 124	765,2	2,134	0,001 123	765,7	2,133
200	0,001 153	853,8	2,325	0,001 152	854,2	2,324
220	0,001 187	944,4	2,513	0,001 185	944,7	2,511
240	0,001 226	1 038	2,698	0,001 225	1 038	2,696
260	0,001 275	1 135	2,884	0,001 273	1 135	2,881
280	0,042 22	2 857	6,089	0,033 17	2 805	5,927
300	0,045 30	2 926	6,211	0,036 14	2 885	6,069
320	0,048 10	2 987	6,316	0,038 74	2 954	6,188
340	0,050 70	3 044	6,411	0,041 11	3 017	6,291
360	0,053 16	3 098	6,497	0,043 30	3 074	6,384
380	0,055 51	3 149	6,576	0,045 39	3 128	6,468
400	0,057 79	3 198	6,651	0,047 38	3 180	6,546
420	0,060 01	3 247	6,722	0,049 31	3 230	6,620
440	0,062 18	3 294	6,789	0,051 18	3 279	6,689
460	0,064 31	3 341	6,854	0,053 02	3 327	6,756
480	0,066 42	3 387	6,916	0,054 82	3 375	6,820
500	0,068 49	3 434	6,977	0,056 59	3 422	6,882
520	0,070 55	3 480	7,036	0,058 34	3 469	6,942
540	0,072 59	3 526	7,093	0,060 08	3 516	7,000
560	0,074 61	3 572	7,149	0,061 79	3 563	7,057
580	0,076 62	3 618	7,204	0,063 49	3 609	7,112
600	0,078 62	3 665	7,258	0,065 18	3 656	7,166
620	0,080 60	3 711	7,310	0,066 86	3 703	7,220
640	0,082 58	3 757	7,362	0,068 53	3 750	7,272

vodena para (nastavak)

tlaku  $p$  i temperaturi  $t$   
entalpija  $h$ , specifična entropija  $s$

$t$ °C	$v$ m³/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m³/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
	$p = 80$ bar			$p = 100$ bar		
0	0,000 996 2	8,1	0,000 4	0,000 995 3	10,1	0,000 5
20	0,000 998 1	91,4	0,294 6	0,000 997 2	93,2	0,294 2
40	0,001 004	174,5	0,569 0	0,001 003	176,3	0,568 2
60	0,001 014	257,8	0,826 7	0,001 013	259,4	0,825 7
80	0,001 025	341,2	1,070	0,001 025	342,8	1,069
100	0,001 040	425,0	1,301	0,001 039	426,5	1,299
120	0,001 056	509,2	1,521	0,001 055	510,6	1,519
140	0,001 075	594,1	1,731	0,001 074	595,4	1,729
160	0,001 097	679,8	1,934	0,001 095	681,0	1,932
180	0,001 122	766,7	2,130	0,001 120	767,8	2,127
200	0,001 150	855,1	2,321	0,001 148	855,9	2,318
220	0,001 183	945,3	2,508	0,001 181	945,9	2,504
240	0,001 222	1 038	2,692	0,001 219	1 038	2,688
260	0,001 269	1 135	2,876	0,001 265	1 134	2,871
280	0,001 328	1 236	3,063	0,001 322	1 235	3,056
300	0,024 26	2 787	5,794	0,001 398	1 343	3,249
320	0,026 81	2 879	5,952	0,019 26	2 784	5,715
340	0,028 96	2 955	6,079	0,021 47	2 883	5,880
360	0,030 88	3 023	6,187	0,023 31	2 965	6,011
380	0,032 65	3 084	6,283	0,024 93	3 036	6,121
400	0,034 31	3 142	6,369	0,026 41	3 100	6,218
420	0,035 89	3 196	6,449	0,027 79	3 160	6,306
440	0,037 40	3 249	6,524	0,029 11	3 216	6,386
460	0,038 87	3 300	6,595	0,030 36	3 271	6,461
480	0,040 30	3 350	6,662	0,031 58	3 323	6,532
500	0,041 70	3 399	6,726	0,032 76	3 375	6,599
520	0,043 08	3 447	6,788	0,033 91	3 425	6,664
540	0,044 43	3 496	6,848	0,035 04	3 475	6,726
560	0,045 77	3 544	6,907	0,036 15	3 525	6,786
580	0,047 09	3 592	6,964	0,037 24	3 574	6,845
600	0,048 39	3 640	7,019	0,038 32	3 623	6,901
620	0,049 69	3 687	7,073	0,039 39	3 672	6,957
640	0,050 97	3 735	7,126	0,040 44	3 720	7,011

# Voda i pregrijana

Toplinska svojstva pri  
specifični volumen  $v$ , specifična

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
$p =$ 120 bar			160 bar			
0	0,000 994 3	12,1	0,000 6	0,000 992 3	16,1	0,000 8
20	0,000 996 3	95,1	0,293 7	0,000 994 6	98,8	0,292 8
40	0,001 003	178,0	0,567 4	0,001 001	181,6	0,565 9
60	0,001 012	261,1	0,824 6	0,001 010	264,5	0,822 5
80	0,001 024	344,4	1,067	0,001 022	347,6	1,065
100	0,001 038	428,0	1,298	0,001 036	431,0	1,295
120	0,001 054	512,1	1,517	0,001 052	514,9	1,514
140	0,001 073	596,7	1,727	0,001 070	599,4	1,723
160	0,001 094	682,2	1,929	0,001 091	684,6	1,925
180	0,001 118	768,8	2,125	0,001 115	771,0	2,120
200	0,001 146	856,8	2,315	0,001 142	858,6	2,309
220	0,001 178	946,6	2,500	0,001 174	947,9	2,494
240	0,001 216	1 039	2,684	0,001 210	1 039	2,676
260	0,001 261	1 134	2,866	0,001 254	1 134	2,856
280	0,001 317	1 234	3,050	0,001 307	1 233	3,038
300	0,001 390	1 341	3,240	0,001 374	1 337	3,224
320	0,001 494	1 461	3,445	0,001 467	1 452	3,421
340	0,016 19	2 795	5,675	0,001 618	1 588	3,646
360	0,018 11	2 898	5,841	0,011 04	2 717	5,463
380	0,019 69	2 982	5,971	0,012 87	2 851	5,673
400	0,021 08	3 055	6,081	0,014 27	2 951	5,824
420	0,022 36	3 121	6,178	0,015 46	3 034	5,946
440	0,023 55	3 182	6,265	0,016 53	3 108	6,050
460	0,024 67	3 240	6,345	0,017 51	3 175	6,143
480	0,025 75	3 296	6,420	0,018 42	3 237	6,227
500	0,026 79	3 350	6,491	0,019 29	3 297	6,305
520	0,027 79	3 402	6,558	0,020 13	3 355	6,379
540	0,028 77	3 454	6,622	0,020 93	3 410	6,448
560	0,029 73	3 505	6,684	0,021 71	3 465	6,514
580	0,030 68	3 556	6,744	0,022 46	3 518	6,578
600	0,031 60	3 606	6,802	0,023 20	3 571	6,639
620	0,032 52	3 656	6,859	0,023 93	3 623	6,698
640	0,033 42	3 705	6,914	0,024 64	3 675	6,755

# vodena para (nastavak)

tlaku  $p$  i temperaturi  $t$   
entalpija  $h$ , specifična entropija  $s$

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
$p =$ 200 bar			250 bar			
0	0,000 990 4	20,1	0,000 8	0,000 988 1	25,1	0,000 9
20	0,000 992 9	102,5	0,291 9	0,000 990 7	107,1	0,290 7
40	0,000 999 2	185,1	0,564 3	0,000 997 1	189,4	0,562 3
60	0,001 008	267,8	0,820 4	0,001 006	272,0	0,817 8
80	0,001 020	350,8	1,062	0,001 018	354,8	1,059
100	0,001 034	434,0	1,292	0,001 031	437,8	1,288
120	0,001 050	517,7	1,510	0,001 047	521,3	1,506
140	0,001 068	602,0	1,719	0,001 065	605,4	1,714
160	0,001 089	687,1	1,920	0,001 085	690,2	1,915
180	0,001 112	773,1	2,115	0,001 108	775,9	2,108
200	0,001 139	860,4	2,303	0,001 134	862,8	2,296
220	0,001 169	949,3	2,487	0,001 164	951,2	2,479
240	0,001 205	1 040	2,668	0,001 198	1 042	2,658
260	0,001 247	1 134	2,847	0,001 238	1 134	2,836
280	0,001 297	1 231	3,026	0,001 286	1 230	3,013
300	0,001 361	1 334	3,209	0,001 345	1 331	3,192
320	0,001 445	1 446	3,400	0,001 421	1 439	3,376
340	0,001 570	1 573	3,610	0,001 527	1 558	3,574
360	0,001 827	1 743	3,884	0,001 698	1 701	3,804
380	0,008 246	2 660	5,317	0,002 240	1 941	4,176
400	0,009 947	2 821	5,559	0,006 014	2 582	5,146
420	0,011 20	2 933	5,723	0,007 580	2 774	5,427
440	0,012 24	3 024	5,852	0,008 696	2 902	5,609
460	0,013 15	3 103	5,962	0,009 609	3 002	5,748
480	0,013 99	3 174	6,058	0,010 41	3 089	5,864
500	0,014 77	3 241	6,146	0,011 13	3 166	5,966
520	0,015 51	3 304	6,226	0,011 80	3 238	6,057
540	0,016 21	3 365	6,302	0,012 42	3 305	6,141
560	0,016 88	3 423	6,372	0,013 01	3 369	6,218
580	0,017 53	3 480	6,440	0,013 58	3 430	6,291
600	0,018 16	3 536	6,504	0,014 13	3 490	6,360
620	0,018 78	3 590	6,566	0,014 65	3 548	6,426
640	0,019 38	3 644	6,626	0,015 17	3 605	6,490

Zasićena para

Toplinska svojstva

tlak  $p$ ; specifični volumen  $v'$ ,  $v''$ ;

$t_s$ °C	$p$ bar	$v'$ m <sup>3</sup> /kg	$v''$ m <sup>3</sup> /kg	$h'$ kJ/kg	$h''$ kJ/kg	$s'$ kJ/kg K	$s''$ kJ/kg K
-------------	------------	----------------------------	-----------------------------	---------------	----------------	-----------------	------------------

Ugljični dioksid CO<sub>2</sub>

Krutina — para

-100	0,139	0,000 627	2,336	-373	212	-1,676	1,704
-80	0,896	0,000 639	0,398	-350	224	-1,549	1,422
-60	4,10	0,000 657	0,091 2	-319	231	-1,400	1,180
-56,6	5,18	0,000 661	0,072 2	-313	231	-1,371	1,140

Kapljevina — para

-56,6	5,18	0,000 849	0,072 2	-117	231	-0,467	1,140
-50	6,84	0,000 867	0,055 4	-105	233	-0,410	1,101
-40	10,05	0,000 897	0,038 2	-85,4	235	-0,327	1,048
-30	14,27	0,000 931	0,027 0	-66,1	237	-0,248	0,998
-25	16,81	0,000 950	0,022 9	-56,5	237	-0,209	0,975
-20	19,67	0,000 971	0,019 5	-46,5	237	-0,170	0,951
-15	22,89	0,000 994	0,016 6	-36,0	237	-0,130	0,928
-10	26,47	0,001 019	0,014 2	-24,7	237	-0,089 2	0,905
-5	30,45	0,001 048	0,012 1	-13,0	236	-0,046 0	0,883
0	34,85	0,001 081	0,010 4	0	235	0	0,860
5	39,72	0,001 120	0,008 85	13,0	232	0,043 1	0,831
10	45,06	0,001 166	0,007 52	27,2	229	0,091 3	0,802
15	50,93	0,001 223	0,006 32	42,3	223	0,142	0,768
20	57,33	0,001 298	0,005 26	58,6	214	0,196	0,726
25	64,32	0,001 417	0,004 17	78,7	198	0,263	0,663
30	71,92	0,001 677	0,002 99	108	172	0,357	0,566
31	73,51	0,002 156	0,002 16	140	140	0,460	0,460

Sumporni dioksid SO<sub>2</sub>

-50	0,119	0,000 642	2,429	-61,5	353	-0,252	1,607
-40	0,218	0,000 652	1,378	-50,2	359	-0,198	1,557
-30	0,380	0,000 663	0,819	-37,7	365	-0,146	1,509
-20	0,635	0,000 674	0,507	-25,5	370	-0,097 1	1,465
-10	1,014	0,000 686	0,328	-13,0	375	-0,049 8	1,423
0	1,554	0,000 697	0,220	0	379	0	1,388
10	2,296	0,000 710	0,154	13,4	383	0,050 7	1,357
20	3,284	0,000 723	0,108	27,2	387	0,101	1,328
30	4,566	0,000 738	0,079	41,0	391	0,150	1,302
40	6,186	0,000 754	0,059	55,7	393	0,197	1,277
50	8,189	0,000 772	0,045	69,9	396	0,245	1,254

rashladnih tvari

pri temperaturi  $t_s$

specifična entalpija  $h'$ ,  $h''$ ; specifična entropija  $s'$ ,  $s''$

$t_s$ °C	$p$ bar	$v'$ m <sup>3</sup> /kg	$v''$ m <sup>3</sup> /kg	$h'$ kJ/kg	$h''$ kJ/kg	$s'$ kJ/kg K	$s''$ kJ/kg K
-------------	------------	----------------------------	-----------------------------	---------------	----------------	-----------------	------------------

Amonijak NH<sub>3</sub>

-70	0,108	0,001 379	9,01	-310,2	1 154	-1,307	5,903
-60	0,219	0,001 401	4,70	-267,5	1 172	-1,103	5,653
-50	0,409	0,001 425	2,62	-225,2	1 189	-0,907 5	5,433
-40	0,718	0,001 449	1,55	-180,8	1 206	-0,713 7	5,237
-30	1,195	0,001 476	0,963	-136,5	1 222	-0,526 6	5,061
-25	1,516	0,001 490	0,772	-114,3	1 229	-0,435 3	4,980
-20	1,903	0,001 504	0,624	-91,3	1 237	-0,345 8	4,902
-15	2,363	0,001 519	0,509	-68,7	1 244	-0,257 4	4,827
-10	2,909	0,001 534	0,419	-46,0	1 250	-0,170 4	4,756
-5	3,549	0,001 550	0,347	-23,0	1 256	-0,084 6	4,688
0	4,294	0,001 566	0,290	0	1 262	0	4,622
5	5,157	0,001 583	0,244	23,0	1 268	0,083 7	4,558
10	6,150	0,001 601	0,206	46,5	1 272	0,166 2	4,496
15	7,283	0,001 619	0,175	69,9	1 277	0,247 8	4,436
20	8,572	0,001 639	0,149	93,8	1 280	0,328 6	4,378
25	10,03	0,001 659	0,128	117,6	1 284	0,408 6	4,322
30	11,67	0,001 680	0,111	141,5	1 287	0,487 7	4,266
40	15,54	0,001 726	0,083 3	190,5	1 291	0,643 8	4,158
50	20,33	0,001 777	0,063 5	240,3	1 292	0,797 0	4,052

Monoklormetan (metilklorid) CH<sub>3</sub>Cl

-30	0,772	0,000 986	0,528	-46,0	388	-0,178 3	1,610
-20	1,177	0,001 004	0,354	-31,0	394	-0,118 0	1,563
-10	1,750	0,001 022	0,241	-15,5	400	-0,057 8	1,523
0	2,521	0,001 042	0,168	0	406	0	1,486
10	3,552	0,001 063	0,120	15,9	411	0,056 5	1,453
20	4,889	0,001 085	0,087 3	31,8	416	0,111 8	1,423
30	6,586	0,001 109	0,065 1	47,7	420	0,165 8	1,395
40	8,702	0,001 134	0,051 1	64,0	424	0,218 5	1,371

Diklormetan (metilenklorid) CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>

-20	0,0559	—	4,14	-28,5	353	-0,112	1,399
-10	0,109	—	2,35	-14,2	358	-0,053 2	1,363
0	0,188	—	1,42	0	363	0	1,331
10	0,299	—	0,92	14,2	368	0,047 7	1,297
20	0,469	0,000 749	0,61	28,5	372	0,091 3	1,263
30	0,693	—	0,417	44,0	377	0,131	1,232

Zasičena para

Toplinska svojstva  
tlak  $p$ ; specifični volumen  $v'$ ,  $v''$ ;

$t_s$ °C	$p$ bar	$v'$ m³/kg	$v''$ m³/kg	$h'$ kJ/kg	$h''$ kJ/kg
-------------	------------	---------------	----------------	---------------	----------------

*R 11 — monofluortriklorometan CFCl<sub>3</sub>*

-40	0,051	0,000 616 7	2,760	- 33,20	170,3
-30	0,092	0,000 625 0	1,533	- 25,00	175,3
-20	0,157	0,000 633 5	0,963	- 16,71	180,3
-10	0,256	0,000 642 5	0,616	- 8,374	185,3
0	0,402 1	0,000 651 9	0,405	0,000	190,4
10	0,605 6	0,000 661 9	0,277	8,457	195,5
20	0,886 5	0,000 672 2	0,194	17,04	200,5
30	1,261	0,000 683 3	0,140	25,71	205,5
40	1,748	0,000 695 0	0,103	34,50	210,5
50	2,357	0,000 707 5	0,077	43,46	215,3

*R 12 — difluordiklorometan CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>*

-70	0,123 4	0,000 623 4	1,126	- 59,29	120,9
-0	0,227 0	0,000 634 9	0,639 4	- 51,58	125,6
-50	0,392 2	0,000 646 8	0,385 4	- 43,58	130,5
-40	0,642 4	0,000 659 2	0,244 1	- 35,38	135,5
-30	1,005	0,000 672 5	0,161 3	- 26,92	140,4
-20	1,510	0,000 686 8	0,110 7	- 18,21	145,3
-10	2,191	0,000 701 8	0,078 13	- 9,211	150,2
0	3,086	0,000 717 3	0,056 67	0,000	154,9
10	4,230	0,000 734 2	0,042 04	9,462	159,4
20	5,667	0,000 752 4	0,031 75	19,22	163,8
30	7,434	0,000 773 4	0,024 33	29,18	167,8
40	9,582	0,000 796 8	0,018 82	39,40	171,4

*R 13 — trifluoromonoklorometan CF<sub>3</sub>Cl*

-100	0,332 6	0,000 626	0,407 0	-100,5	57,99
-80	1,098	0,000 658	0,134 2	- 82,86	66,40
-60	2,817	0,000 695	0,055 42	- 64,18	74,44
-50	4,204	0,000 717	0,037 74	- 54,30	78,13
-40	6,051	0,000 741	0,026 42	- 44,00	81,56
-30	8,394	0,000 769	0,018 89	- 33,45	84,53
-20	11,43	0,000 802	0,013 73	- 22,57	86,96
-10	15,15	0,000 842	0,010 10	- 11,43	88,84
0	19,70	0,000 894	0,007 47	0,000	89,93
10	25,19	0,000 962	0,005 49	12,52	89,68
20	31,78	0,001 079	0,003 829	28,26	86,21

rashladnih tvari (nastavak)

pri temperaturi  $t_s$   
specifična entalpija  $h'$ ,  $h''$

$t_s$ °C	$p$ bar	$v'$ m³/kg	$v''$ m³/kg	$h'$ kJ/kg	$h''$ kJ/kg
-------------	------------	---------------	----------------	---------------	----------------

*R 13 B 1 — trifluoromonobrommetan CF<sub>3</sub>Br*

-100	0,077 18	0,000 462 0	1,246	- 66,57	61,96
-80	0,305 0	0,000 479 5	0,347 7	- 54,85	69,50
-60	0,908 1	0,000 499 6	0,126 2	- 42,71	76,20
-50	1,445	0,000 510 8	0,081 8	- 36,01	79,55
-40	2,200	0,000 523 1	0,055 11	- 29,31	82,90
-30	3,222	0,000 536 6	0,038 35	- 22,19	86,25
-20	4,568	0,000 551 5	0,027 42	- 15,07	88,76
-10	6,292	0,000 568 2	0,020 04	- 7,536	91,69
0	8,454	0,000 587 2	0,014 91	0,000	94,20
10	11,12	0,000 609 2	0,011 25	7,955	96,30
20	14,35	0,000 635 2	0,008 559	16,33	98,39
30	18,22	0,000 667 1	0,006 536	24,70	99,65
40	22,83	0,000 708 4	0,004 969	33,49	100,5

*R 21 — monofluordiklorometan CHFCl<sub>2</sub>*

-20	0,283 5	0,000 679 8	0,716 9	- 20,56	236,6
-10	0,457 6	0,000 690 3	0,458 7	- 10,30	241,7
0	0,708 6	0,000 701 4	0,305 3	0,000	246,7
10	1,059	0,000 713 1	0,210 3	10,47	252,2
20	1,532	0,000 725 5	0,149 1	20,89	257,2
30	2,156	0,000 738 6	0,108 4	31,48	262,4
40	2,959	0,000 752 5	0,080 4	42,20	267,4
50	3,970	0,000 767 2	0,060 7	53,00	271,2

*R 22 — difluoromonoklorometan CHF<sub>2</sub>Cl*

-100	-0,020 6	0,000 640 9	8,340	-108,4	158,8
-80	0,103 0	0,000 661 2	1,775	- 87,34	168,7
-60	0,374 6	0,000 682 4	0,535	- 66,36	178,9
-50	0,647 2	0,000 695 0	0,323	- 55,68	183,8
-40	1,055	0,000 708 6	0,205	- 44,92	188,9
-30	1,647	0,000 723 5	0,135	- 33,91	193,6
-20	2,461	0,000 740 5	0,092 9	- 22,69	198,2
-10	3,560	0,000 758 2	0,065 4	- 11,51	202,9
0	5,001	0,000 778 5	0,047 1	0,000	207,0
10	6,855	0,000 800 4	0,034 6	12,64	210,8
20	9,169	0,000 824 4	0,025 8	25,67	214,1
30	12,02	0,000 850 1	0,019 4	39,52	216,8
40	15,48	0,000 883 0	0,014 8	53,47	218,2

### Promjene stanja pare

računamo pomoću tablica odnosno dijagrama za vodenu paru (Oznake veličine – v. str. 157 do 160 i 168).

- a) **Izohora**  $V = \text{konst}$   $v = 1/\rho = V/m = \text{konst}$   
 Za određeni tlak  $p$  uz odgovarajuće vrijednosti  $v'$  i  $v''$  vrijedi:

$$\begin{aligned} v &< v' - \text{tekućina} \\ v' &< v < v'' - \text{mokra para} \\ v'' &< v - \text{pregrijana para} \end{aligned}$$

Odgovarajuće temperature i ostale veličine određujemo iz tablica ili dijagrama.

Apsolutni rad	$A = 0$
Toplina	$Q = m(h_2 - h_1) - V(p_2 - p_1)$

- b) **Izobara i izoterma**

U području mokre pare svakom tlaku  $p$  odgovara točno određena temperatura  $T_s$ . Izobara je, dakle, ovdje identična s izotermom, dok se izvan područja mokre pare od nje bitno razlikuje.

$p = \text{konst}$	Apsolutni rad	$A = p(V_2 - V_1)$
	Toplina	$Q = H_2 - H_1 = m(h_2 - h_1)$
$T = \text{konst}$	Apsolutni rad	$A = \int p dV$
	Toplina	$Q = T(S_2 - S_1) = mT(s_2 - s_1)$

- c) **Izentropa**

Kao kod plinova, upotrebljavamo i kod para za izentropu jednadžbu

$$pV^\kappa = \text{konst}$$

gdje je  $\kappa$  samo empirijski određena vrijednost i nije ni u kojoj vezi sa specifičnim toplinskim kapacitetima  $c_p$  i  $c_v$  (u zasićenom je području  $c_p = \infty$ ).

Vrijednost  $\kappa$  iznosi za vodenu paru:

u pregrijanom području ( $p < 25 \text{ bar}$ )	$\kappa = 1,30$
u zasićenom području	
– za suho zasićenu paru ( $x = 1$ )	$\kappa = 1,135$
– za mokru paru ( $x > 0,75$ )	$\kappa = 1,035 + 0,1x$

- d) **Prigušivanje pare**  $h = \text{konst}$

Za razliku od plinova, za koje pri prigušivanju vrijedi  $T = \text{konst}$ , temperatura se pare pri prigušivanju mijenja (»Joule-Thomsonov efekt«)

$$T \neq \text{konst}$$

Ispod određene temperature (»temperatura inverzije«) temperatura pare pri prigušivanju pada, a iznad nje raste. Temperatura inverzije iznosi šestorostruku do sedmerostruku vrijednost kritične temperature (K).

### SMJESE PLINOVA I PARA

Ukupni tlak smjese jednak je zbroju parcijalnih tlakova sastavina smjese (kao kod smjese plinova – vidi str. 167).

Po Daltonovu je zakonu smjesa pare i plina u ravnoteži s tekućinom koja ishlapljuje kada parcijalni tlak pare  $p'$  dosegne tlak zasićene pare  $p_s$  pri odgovarajućoj temperaturi. To je stanje zasićenosti smjese.

Stanje zasićenosti se narušava promjenom temperature. Pri povećanju temperature raste tlak zasićene pare ( $p_s > p'$ ), smjesa postaje nezasićenom (a para u njoj pregrijanom), te je sposobna primiti nove količine pare koje počinje ishlapljivati iz tekućine (sušenje). Pri padu temperature pada i tlak zasićene pare ( $p_s < p'$ ), smjesa više ne može zadržati sve količine pare pa se iz smjese počinje izlučivati suvišak tekućine (rošenje).

#### Smjesa zraka i vodene pare (vlažan zrak)

Vlažnost  $x$  (apsolutna vlaga) je omjer vodene pare  $m_v$  i mase suhog zraka  $m_z$  u vlažnom zraku

$$x = m_v/m_z = (R_z/R_v)p'/(p - p') = 0,622 p'/(p - p')$$

Plinske konstante za zrak i vodenu paru

$$R_z = 0,287 \text{ kJ/kg K} \quad R_v = R_m/m_m = 8,314/18 = 0,462 \text{ kJ/kg K}$$

$p'$  je parcijalni tlak vodene pare,  $p$  je ukupni tlak smjese,  $p - p' = p_z$  je parcijalni tlak suhog zraka.

Vlažnost pri zasićenju ( $p' = p_s$ ):	$x_s = 0,622 p_s/(p - p_s)$
Stupanj zasićenosti	$\psi = x/x_s$

Relativna vlažnost  $\varphi$  jest omjer parcijalnog tlaka vodene pare  $p'$  i tlaka zasićenja  $p_s$

$$\varphi = p'/p_s \quad (\approx \psi)$$

Specifična entalpija smjese (kJ/kg\*) u nezasićenom području s obzirom na izhodište pri leđištu vode, (gdje je  $h = 0$ ) bit će

$$h = c_{pz}t + x(c_{pv}t + r)$$

gdje znače:– specifični toplinski kapacitet zraka	$c_{pz} = 1,005 \text{ kJ/kg K}$
– specifični toplinski kapacitet vodne pare	$c_{pv} = 1,926 \text{ kJ/kg K}$
– toplina isparivanja vode (pri 0°C)	$r = 2500 \text{ kJ/kg}$

$t$  je temperatura u °C pa je

$$h = 1,005 t + x(1,926 t + 2500)$$

Pri potpunom zasićenju ( $p' = p_s$ ,  $x = x_s$ ) je  $h = h_s$ .

Toplinska svojstva suhoga i zasićenoga zraka pri raznim temperaturama su sabrana na str. 194, za vlažni zrak (nezasićen) na str. 195 do 197. Sve se promjene stanja vlažnog zraka najbolje mogu pratiti u Mollierovu  $h, x$  – dijagramu za vlažni zrak (str. 198).

\* Specifična vrijednost odnosi se na 1 kg suhog zraka u vlažnoj smjesi, odn. na  $(1 + x)$  kg vlažne smjese.

Suhi i zasićeni vlažni zrak						
Toplinska svojstva pri temperaturi $t$						
parcijalni tlak pare $p_s$ , vlažnost $x$ , spec. entalpija $h$ , spec. volumen $v$						
$t$ °C	Zasićeni vlažni zrak				Suhi zrak	
	$p_s$ mbar	$x$ kg/kg	$h$ kJ/kg	$v$ m³/kg	$h$ kJ/kg	$v$ m³/kg
-20	1,031	0,000 642	-18,53	0,727	-20,11	0,727
-18	1,248	0,000 777	-16,18	0,733	-18,10	0,733
-16	1,505	0,000 938	-13,77	0,739	-16,09	0,738
-14	1,810	0,001 128	-11,29	0,745	-14,08	0,744
-12	2,171	0,001 353	- 8,71	0,750	-12,07	0,750
-10	2,596	0,001 619	- 6,04	0,756	-10,06	0,756
- 8	3,097	0,001 932	- 3,24	0,762	- 8,04	0,761
- 6	3,684	0,002 300	- 0,31	0,768	- 6,03	0,767
- 4	4,371	0,002 731	+ 2,78	0,774	- 4,02	0,773
- 2	5,172	0,003 234	6,06	0,780	- 2,01	0,778
0	6,106	0,003 821	9,55	0,786	0	0,784
2	7,055	0,004 419	13,08	0,792	2,01	0,790
4	8,129	0,005 098	16,80	0,798	4,02	0,796
6	9,345	0,005 868	20,77	0,804	6,03	0,801
8	10,72	0,006 740	24,99	0,810	8,04	0,807
10	12,27	0,007 727	29,52	0,817	10,06	0,813
12	14,01	0,008 841	34,36	0,823	12,07	0,819
14	15,97	0,010 10	39,58	0,829	14,08	0,824
16	18,17	0,011 51	45,20	0,836	16,09	0,830
18	20,62	0,013 10	51,28	0,842	18,10	0,836
20	23,37	0,014 88	57,87	0,849	20,11	0,842
22	26,42	0,016 88	65,01	0,856	22,12	0,847
24	29,82	0,019 12	72,78	0,863	24,13	0,853
26	33,60	0,021 62	81,25	0,870	26,14	0,859
28	37,78	0,024 42	90,49	0,877	28,15	0,865
30	42,42	0,027 55	100,6	0,885	30,17	0,870
32	47,53	0,031 04	111,6	0,892	32,18	0,876
34	53,18	0,034 94	123,7	0,900	34,19	0,882
36	59,40	0,039 28	137,0	0,908	36,20	0,888
38	66,24	0,044 12	151,6	0,916	38,21	0,893
40	73,75	0,049 53	167,7	0,925	40,22	0,899
42	81,99	0,055 55	185,5	0,934	42,23	0,905
44	91,00	0,062 27	205,0	0,943	44,24	0,911
46	100,9	0,069 77	226,7	0,953	46,25	0,916
48	111,6	0,078 15	250,6	0,963	48,26	0,922
50	123,4	0,087 52	277,2	0,973	50,28	0,928
55	157,4	0,116 2	357,7	1,002	55,30	0,942
60	199,2	0,154 7	464,5	1,034	60,33	0,957
65	250,1	0,207 4	609,1	1,072	65,36	0,971
70	311,6	0,281 6	811,1	1,117	70,39	0,985
75	385,5	0,390 2	1 106	1,170	75,41	1,000
80	473,6	0,559 6	1 563	1,235	80,44	1,014
85	578,0	0,852 1	2 351	1,316	85,47	1,028
90	701,1	1,459	3 983	1,418	90,50	1,043
95	845,3	3,398	9 193	1,553	95,52	1,057

Vlažni zrak											
Toplinska svojstva pri temperaturi $t$											
Parcijalni tlak pare $p'$ (mbar), vlažnost $x$ (g/kg suhoga zraka), specifična entalpija vlažnoga zraka $h$ (kJ/(1 + $x$ ) kg vlažnoga zraka)											
$t$ °C	Relativna vlažnost $\varphi$										
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
0	$p'$	0,61	1,22	1,83	2,44	3,06	3,67	4,28	4,89	5,50	6,11
	$x$	0,38	0,76	1,14	1,52	1,91	2,29	2,67	3,06	3,44	3,82
	$h$	0,95	1,90	2,85	3,80	4,75	5,70	6,65	7,60	8,55	9,55
2	$p'$	0,71	1,41	2,12	2,82	3,53	4,23	4,94	5,64	6,35	7,05
	$x$	0,44	0,88	1,32	1,76	2,20	2,64	3,09	3,53	3,97	4,42
	$h$	3,10	4,20	5,30	6,40	7,50	8,60	9,73	10,8	11,9	13,1
4	$p'$	0,81	1,63	2,44	3,25	4,07	4,88	5,69	6,50	7,32	8,13
	$x$	0,50	1,02	1,52	2,03	2,54	3,05	3,56	4,07	4,59	5,10
	$h$	5,25	6,55	7,81	9,09	10,4	11,6	12,9	14,2	15,5	16,8
6	$p'$	0,93	1,87	2,81	3,74	4,68	5,61	6,55	7,48	8,42	9,35
	$x$	0,58	1,17	1,75	2,34	2,92	3,51	4,10	4,69	5,28	5,87
	$h$	7,45	8,93	10,4	11,9	13,3	14,8	16,3	17,8	19,3	20,7
8	$p'$	1,07	2,14	3,22	4,29	5,36	6,43	7,50	8,58	9,65	10,72
	$x$	0,67	1,33	2,01	2,68	3,35	4,03	4,70	5,38	6,06	6,74
	$h$	9,68	11,3	13,1	14,7	16,4	18,1	19,8	21,5	23,2	25,0
10	$p'$	1,23	2,45	3,68	4,91	6,14	7,36	8,59	9,82	11,04	12,27
	$x$	0,77	1,53	2,30	3,07	3,84	4,61	5,39	6,17	6,94	7,73
	$h$	11,9	13,9	15,8	17,7	19,7	21,6	23,6	25,5	27,5	29,5
12	$p'$	1,40	2,80	4,20	5,60	7,01	8,41	9,81	11,2	12,6	14,0
	$x$	0,87	1,75	2,62	3,50	4,39	5,28	6,16	7,05	7,94	8,84
	$h$	14,2	16,4	18,6	20,8	23,1	25,3	27,5	29,8	32,0	34,3
14	$p'$	1,60	3,20	4,80	6,40	8,00	9,60	11,2	12,8	14,4	16,0
	$x$	1,00	2,00	3,00	4,01	5,02	6,03	7,05	8,06	9,09	10,1
	$h$	16,5	19,1	21,6	24,1	26,7	29,2	31,8	34,4	37,0	39,5

# **Vlažni zrak**

## **Toplinska svojstva**

Parcijalni tlak pare  $p'$  (mbar), vlažnost  $x$  (g/kg suhoga zraka), specifična

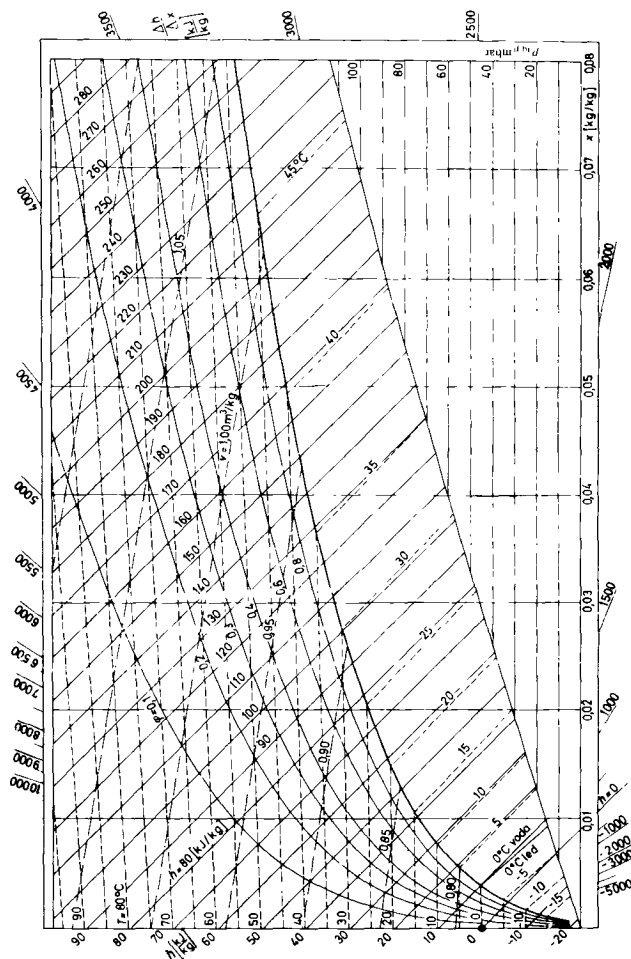
$t$ °C		Relativna vlažnost $\varphi$									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
16	$p'$	1,81	3,63	5,45	7,27	9,09	10,9	12,7	14,5	16,4	18,2
	$x$	1,13	2,27	3,41	4,56	5,71	6,85	8,00	9,15	10,3	11,5
	$h$	18,9	21,7	24,6	27,5	30,4	33,3	36,2	39,1	42,1	45,1
18	$p'$	2,06	4,12	6,19	8,25	10,3	12,4	14,4	16,5	18,6	20,6
	$x$	1,28	2,57	3,87	5,17	6,47	7,81	9,09	10,4	11,8	13,1
	$h$	21,2	24,5	27,8	31,1	34,4	37,8	41,0	44,3	47,9	51,2
20	$p'$	2,34	4,67	7,01	9,35	11,7	14,0	16,4	18,7	21,0	23,4
	$x$	1,46	2,92	4,39	5,87	7,36	8,83	10,4	11,9	13,3	14,9
	$h$	23,7	27,4	31,1	34,9	38,7	42,4	46,4	50,2	53,7	57,8
22	$p'$	2,64	5,28	7,93	10,6	13,2	15,9	18,5	21,1	23,8	26,4
	$x$	1,65	3,30	4,97	6,66	8,32	10,1	11,7	13,4	15,2	16,9
	$h$	26,2	30,4	34,6	38,9	43,1	47,7	51,7	56,0	60,6	64,9
24	$p'$	2,98	5,96	8,95	11,9	14,9	17,9	20,9	23,9	26,8	29,8
	$x$	1,86	3,73	5,62	7,49	9,41	11,3	13,3	15,2	17,1	19,1
	$h$	28,7	33,5	38,3	43,1	47,9	52,8	57,8	62,7	67,5	72,6
26	$p'$	3,36	6,72	10,1	13,4	16,8	20,2	23,5	26,9	30,2	33,6
	$x$	2,10	4,21	6,35	8,45	10,6	12,8	15,0	17,2	19,4	21,6
	$h$	31,3	36,7	42,2	47,5	53,0	58,6	64,2	69,8	75,4	81,1
28	$p'$	3,78	7,56	11,3	15,1	18,9	22,7	26,4	30,2	34,0	37,8
	$x$	2,36	4,74	7,11	9,54	12,0	14,5	16,9	19,4	21,9	24,4
	$h$	34,0	40,1	46,1	52,3	58,6	65,0	71,1	77,5	83,9	90,3
30	$p'$	4,24	8,48	12,7	17,0	21,2	25,4	29,7	33,9	38,2	42,4
	$x$	2,65	5,32	8,00	10,8	13,5	16,2	19,0	21,8	24,7	27,5
	$h$	36,8	43,6	50,4	57,6	64,5	71,4	78,6	85,7	93,1	100,3
32	$p'$	4,75	9,51	14,3	19,0	23,8	28,5	33,3	38,0	42,8	47,5
	$x$	2,97	5,97	9,02	12,1	15,2	18,3	21,4	24,6	27,8	31,1
	$h$	39,6	47,3	55,1	63,0	70,9	78,8	86,8	95,0	103,2	111,3

# **zrak (nastavak)**

pri temperaturi  $t$

entalpija  $h$  (kJ/(1 +  $x$ ) kg vlažnoga zraka)

$t$ °C		Relativna vlažnost $\varphi$									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
34	$p'$	5,32	10,6	16,0	21,3	26,6	31,9	37,2	42,5	47,9	53,2
	$x$	3,33	6,66	10,1	13,5	17,0	20,5	24,0	27,6	31,3	34,9
	$h$	42,5	51,1	59,9	68,6	77,6	86,5	95,5	104,7	114,2	123,7
36	$p'$	5,94	11,9	17,8	23,8	29,7	35,6	41,6	47,8	53,5	59,4
	$x$	3,72	7,49	11,3	15,2	19,0	23,0	27,0	31,2	35,2	39,3
	$h$	45,5	55,2	65,0	75,0	84,8	95,0	105,3	116,1	126,4	136,9
38	$p'$	6,62	13,2	19,9	26,5	33,1	39,7	46,4	53,0	59,6	66,2
	$x$	4,15	8,32	12,6	16,9	21,3	25,7	30,3	34,8	39,4	44,1
	$h$	48,7	59,4	70,4	81,4	92,8	104,1	115,9	127,5	139,3	151,4
40	$p'$	7,38	14,8	22,1	29,5	36,9	44,3	51,6	59,0	66,4	73,8
	$x$	4,62	9,34	14,1	18,9	23,8	28,8	33,8	39,0	44,2	49,5
	$h$	51,9	64,0	76,3	88,7	101,3	114,1	127,0	140,4	153,8	167,7
42	$p'$	8,20	16,4	24,6	32,8	41,0	49,2	57,4	65,6	73,8	82,0
	$x$	5,14	10,4	15,7	21,1	26,6	32,2	37,9	43,7	49,6	55,5
	$h$	55,3	68,8	82,5	96,4	110,6	125,0	139,7	154,7	169,9	185,3
44	$p'$	9,10	18,2	27,3	36,4	45,5	54,6	63,7	72,8	81,9	91,0
	$x$	5,71	11,5	17,5	23,5	29,7	35,9	42,3	48,8	55,5	62,3
	$h$	58,7	73,7	89,2	104,7	120,7	136,8	153,2	170,0	187,3	204,9
46	$p'$	10,1	20,2	30,3	40,3	50,4	60,5	70,6	80,7	90,8	100,8
	$x$	6,35	12,8	19,4	26,1	33,0	40,1	47,3	54,6	62,1	69,8
	$h$	62,4	79,1	96,2	113,5	131,3	149,7	168,3	187,2	206,6	226,2
48	$p'$	11,2	22,3	33,5	44,6	55,8	67,0	78,1	89,3	100,4	111,6
	$x$	7,05	14,2	21,6	29,0	36,8	44,7	52,7	61,0	69,4	78,1
	$h$	66,3	84,8	103,9	123,1	143,3	163,7	184,5	206,0	227,7	250,2
50	$p'$	12,3	24,7	37,0	49,3	61,7	74,0	86,3	98,7	111,0	123,3
	$x$	7,75	15,8	23,9	32,3	40,9	49,7	58,8	68,1	77,7	87,5
	$h$	70,1	91,0	112,0	133,8	156,1	178,9	202,5	226,6	251,5	276,9

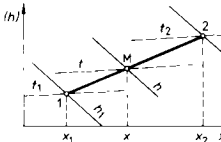


### Promjene stanja vlažnoga zraka

#### 1. Miješanje vlažnoga zraka s vlažnim zrakom drugačije vlažnosti

Miješa li se vlažni zrak, mase suhoga zraka  $m_1$ , temperature  $t_1$  i vlažnosti  $x_1$  (stanje u točki 1) s vlažnim zrakom, mase suhoga zraka  $m_2$ , temperature  $t_2$  i vlažnosti  $x_2$  (stanje u točki 2), to će se za smjesu proračunati:

$$\begin{aligned} - \text{vlažnost} & x = (m_1 x_1 + m_2 x_2) / (m_1 + m_2) \\ - \text{specifična entalpija} & h = (m_1 h_1 + m_2 h_2) / (m_1 + m_2) \\ - \text{temperatura u } ^\circ\text{C} & t = (h - x r) / (c_{pz} + x c_{pv}) = \\ & = (h - 2500 x) / (1,005 + 1,926 x) \end{aligned}$$



Sve se te veličine mogu direktno očitati iz dijagrama  $h, x$  za stanje smjese u točki M, koja je određena omjerom  $M2/M1 = m_1/m_2$ .

#### 2. Promjena stanja pri $x = \text{konst}$ (izohigra)

Pri zagrijavanju (od stanja 1 do 2) ugrije se vlažni zrak za temperaturnu razliku  $t_2 - t_1$  a specifična se entalpija povećava od  $h_1$  do  $h_2$ , pa je stoga potrebno dovesti toplinu

$$Q = m_z (h_2 - h_1)$$

$m_z$  je masa suhoga zraka.

Pri hlađenju među istim stanjima vlažnoga zraka (od 2 do 1) valja istu količinu topline  $Q$  odvesti.

#### 3. Hlađenje do temperature pod rosištem

Pri hlađenju rashladnom površinom, koja ima temperaturu  $t_0$  nižu od temperature rosišta (R), može se smatrati da je nastalo miješanje vlažnog zraka stanja 2 i graničnog sloja na rashladnoj površini stanja  $R_0$ , pri čemu se vlažni zrak ohladi do temperature  $t'$  ( $< t_1$ ), a time i osuši. Vlažnost se smanjila od  $x$  do  $x'$ , jer se izlučila masa vode  $m_z(x - x')$ . Odvesti treba toplinu

$$Q = m_z [h_2 - h' - (x - x') t]$$

$t$  je konačna temperatura u  $^\circ\text{C}$ .

#### 4. Vlaženje vodom ili vodenom parom

Dodavanjem mase  $m_v$  vode ili vodene pare, specifične entalpije  $h_v$  vlažnom zraku, mase suhoga zraka  $m_z$ , vlažnosti  $x_1$  i specifične entalpije  $h_1$ , dobivamo:

$$\begin{aligned} - \text{vlažnost smjese} & x_2 = x_1 + m_v/m_z \\ - \text{specifičnu entalpiju smjese} & h_2 = h_1 + h_v m_v/m_z \end{aligned}$$

Mollierov dijagram  $h, x$  za vlažni zrak



## STRUJANJE PLINOVA I PARA

Pri stacionarnom strujanju (pri kojem se na bilo kojem mjestu brzina ne mijenja s vremenom ni po veličini ni po smjeru) protok mase je  $q_m$  konstantan, dok su druge veličine promjenljive od mjesta do mjesta.

Jednadžba kontinuiteta stacionarnog strujanja povezuje presjek  $A$ , brzinu  $v$  i gustoću  $\rho$

$$q_m = A v \rho = \text{konst}$$

Pretvorba energije pri strujanju

Ako u prvom glavnom zakonu termodinamike (vidi str. 160) uzmemo u obzir i promjenu kinetičke energije  $W_k$ , vrijedi

$$dQ - dW = dH + dW_k$$

gdje je:  $Q$  – dovedena ili odvedena toplina,  $W$  – dobiveni ili utrošeni tehnički rad,  $H$  – entalpija.

Pri procesima strujanja, gdje ne dobivamo niti trošimo rad ( $dW = 0$ ), vrijedi  $dQ - dH = dW_k$ , a pri izentropskom procesu ( $dQ = 0$ ) još i  $-dH = dW_k$ , odnosno izraženo specifičnom entalpijom  $h$  i brzinama  $v$

$$-dh = v dv \quad h_1 - h_2 = (v_2^2 - v_1^2)/2$$

Bernoullijeva jednažba za plinove i pare vrijedi za male razlike tlakova  $\Delta p = p_1 - p_2$ , u kojoj možemo računati sa zanemarljivo malom promjenom gustoće, tj. s prosječnom gustoćom  $\rho_{med} \approx \text{konst}$  (sličnost s nestlačivim fluidom)

$$p_1 + \rho_{med}(v_1^2/2) = p_2 + \rho_{med}(v_2^2/2)$$

### Brzina istjecanja

Teoretska brzina istjecanja  $v_0$  (bez trenja) iznosi (za  $v_1 = 0$  i  $v_2 = v_0$ ):

$$\begin{aligned} \text{a) pri svim razlikama tlakova} \quad v_0 &= \sqrt{2(h_1 - h_2)} \\ \text{b) pri malim razlikama tlakova} (\rho \approx \text{konst}) \quad v_0 &= \sqrt{2(p_1 - p_2)/\rho} \end{aligned}$$

Stvarna brzina istjecanja  $v$  je zbog trenja o stijenke i čestica fluida među sobom nešto manja

$$v = \varphi v_0$$

gdje je  $\varphi$  – koeficijent brzine (= 0,95 . . . 0,98 u dobro zaobljenih sapnica).

Korisnost pri istjecanju s koeficijentom  $\varphi$  je  $\eta = \varphi^2$ .

Količina istjecanja

Količina istjecanja (protok) mase  $q_m = \alpha A_0 v_0 \rho$  iznosi:

$$\begin{aligned} \text{a) pri svim razlikama tlakova} \quad q_m &= \alpha A_0 \rho \sqrt{2(h_1 - h_2)} \\ \text{b) pri malim razlikama tlakova} (\rho \approx \text{konst}) \quad q_m &= \alpha A_0 \sqrt{2\rho(p_1 - p_2)} \end{aligned}$$

$A_0$  je čisti presjek otvora sapnice,  $\alpha$  je produkt koeficijenta smanjenja presjeka (kontrakcije) mlaza  $\mu$  i koeficijenta brzine  $\varphi$ .

## Istjecanje iz sapnica

Brzina istjecanja  $v_0$  se povećava ako se povećava razlika tlakova  $p_1 - p_2$  i postiže najveću vrijednost  $v_z$  (»Lavalova brzina«) pri kritičkom omjeru tlakova

$$p_z/p_1 = [2/(\kappa + 1)]^{\kappa/(\kappa-1)}$$

Taj kritični omjer tlakova ovisi samo o fluidu ( $\kappa$ ) i iznosi za različite fluide:

	$\kappa$	$p_z/p_1$
dvoatomni plinovi	1,40	0,530
pregrijana vodena para	1,30	0,546
zasićeni vodena para	1,135	0,577

Pri kritičnom omjeru tlakova  $p_z/p_1$  postignuta brzina  $v_z$  jednaka je brzini zvuka i najveća je brzina koja se može pojaviti u najužem presjeku sapnice

$$v_z = \sqrt{\kappa p_z / \rho_z}$$

S pomoću jednadžbe stanja plina možemo pisati još i

$$\begin{aligned} \rho_z / \rho_1 &= [2/(\kappa + 1)]^{1/(\kappa-1)} \quad T_z / T_1 = 2/(\kappa + 1) \\ v_z &= \sqrt{2[\kappa/(\kappa + 1)] \cdot (p_1 / \rho_1)} = \sqrt{2[\kappa/(\kappa + 1)] R T_1} \end{aligned}$$

gdje su temperatura, tlak i gustoća ispred sapnice  $T_1$ ,  $p_1$ ,  $\rho_1$ , a u najužem presjeku sapnice  $T_z$ ,  $p_z$ ,  $\rho_z$ .

Najveći protok mase  $q_{max}$  koji protječe najužim presjekom  $A_{min}$  pri kritičnom omjeru tlakova  $p_z/p_1$  iznosi

$$q_{max} = \alpha A_{min} \sqrt{p_1 \rho_1 \kappa [2/(\kappa + 1)]^{(\kappa+1)/(\kappa-1)}}$$

gdje je  $\alpha$  koeficijent istjecanja i iznosi:

$$\begin{aligned} \text{kod dobro izvedenih sapnica} \quad \alpha &= 0,95 \dots 0,98 \\ \text{pri ostrim rubovima} \quad \alpha &= 0,64 \dots 0,65 \end{aligned}$$

Proširena sapnica (De Laval)

Stanje u najužem presjeku je određeno kritičnim omjerom tlakova  $p_z/p_1$  i Lavalovom brzinom  $v_z = \sqrt{2(h_1 - h_z)}$ , a u konačnom presjeku tlakom  $p_2$  i brzinom  $v_2 = \sqrt{2(h_1 - h_2)}$ .

## Prigušivanje

Pri prigušivanju se suma energija ne mijenja

$$h_1 + v_1^2/2 = h_2 + v_2^2/2$$

Ako je brzina strujanja malena te je možemo zanemariti (pri običnom strujanju u cijevima, armaturama, stapnim strojevima itd.), možemo pisati  $h = \text{konst}$ . U (idealnim) plinovima je tada  $T = \text{konst}$ , a u para  $T \neq \text{konst}$  (str. 192).

## IZGARANJE

Izgaranje je ekzotermni proces oksidacije goriva pri kojem se razvija ogrjevnja toplina  $H_s$ .

Goriva su većinom organski spojevi sastavljeni uglavnom od ugljika C, vodika H, sumpora S, kisika O, dušika N te pepela (p) i vlage (v).

Sastav goriva određujemo s obzirom na jedinicu količine

— za kruta i tekuća goriva s obzirom na jedinicu mase

$$C' + H' + S' + O' + N' + p' + v' = 1 \text{ (kg/kg goriva)}$$

— za plinovita goriva obično s obzirom na jedinicu volumena

$$H_2' + CO' + CO_2' + O_2' + N_2' + CH_4' + C_2H_4' + H_2O' = 1 \text{ (m}^3/\text{m}^3 \text{ goriva)}$$

Procesi izgaranja osnovnih sastavina krutih i tekućih goriva

ugljika — potpuno izgaranje  $C + O_2 = CO_2$

— nepotpuno izgaranje  $2C + O_2 = 2CO$

vodika  $2H_2 + O_2 = 2H_2O$

sumpora  $S + O_2 = SO_2$

### Potreba kisika odnosno zraka

a) U krutih i tekućih goriva iznosi najmanja potrebna količina kisika

$$O_{\min} = C'/12 \cdot \sigma \text{ kmol/kg goriva}$$

$\sigma$  = »karakteristika goriva«:  $\sigma = 1 + 3[H' - (O' - S')/8]/C'$

U krutih je goriva  $0 < \sigma < 1,2$  (u čistog ugljika:  $\sigma = 1$ ; u ugljena:  $\sigma = 1,1 \dots 1,2$ ); u tekućih goriva je  $\sigma > 1,2$  (u teških:  $\sigma = 1,2 \dots 1,3$ ; u lakih:  $\sigma < 1,6$ ).

b) U plinovitim goriva iznosi najmanja potrebna količina kisika

$$O_{\min} = H_2'/2 + CO'/2 + 2CH_4' + 3C_2H_4' - O_2' \text{ kmol/kmol goriva}$$

Najmanja količina zraka  $Z_{\min} = O_{\min}/0,21$

Stvarna količina zraka  $Z = \lambda Z_{\min}$

gdje »faktor pretička zraka  $\lambda$ « iznosi:

za ručna ložišta  $\lambda = 1,6 \dots 2,0$

za mehanička ložišta  $\lambda = 1,3 \dots 1,6$

za ložišta na ulje i ugljenu prašinu  $\lambda = 1,2 \dots 1,4$

za plinska ložišta  $\lambda = 1,05 \dots 1,2$

### Količina dimnih plinova

a) U krutih i tekućih goriva nastaje dimnih plinova (kmol/kg goriva)

$$D = \lambda/0,21 \cdot C'/12 \cdot \sigma + (H'/4 + O'/32 + N'/28 + v'/18)$$

b) U plinovitim goriva nastaje dimnih plinova (kmol/kmol goriva)

$$D = \lambda/0,21 \cdot O_{\min} + (H_2'/2 + CO'/2 + CO_2' + N_2' + CH_4' + C_2H_4' + O_2')$$

## Ogrjevne moći

a) Gornja ogrjevnja moć  $H_s$  (gornja kalorična vrijednost) je sva toplina razvijena pri izgaranju.

b) Donja ogrjevnja moć  $H_i$  (donja kalorična vrijednost) je onaj dio gornje ogrjevne moći koji dobivamo kad dimne plinove ohladimo samo do temperature iznad rosišta vodene pare (i para sumporne kiseline, ukoliko gorivo sadrži sumpor). Razlikuje se od gornje ogrjevne moći time što dimni plinovi sadrže i vodu ( $H_2O''$  – v. str. 204).

Ogrjevnju moć (kaloričnu vrijednost) mjerimo s obzirom na jedinicu količine goriva:

$$\begin{array}{ll} \text{za kruta i tekuća goriva} & \text{kJ/kg} \\ \text{za plinovita goriva} & \text{kJ/m}^3 \text{ (0 } ^\circ\text{C; 1,01325 bar)} \end{array}$$

Donja je ogrjevnja moć manja od gornje za toplinu isparivanja  $r$  vodene pare (pri 0 °C):

$$r = 45\,000 \text{ kJ/kmol} = 2\,500 \text{ kJ/kg} = 2\,000 \text{ kJ/m}^3 \text{ (0 } ^\circ\text{C; 1,01325 bar)}$$

Donje ogrjevne moći sastavina goriva

Sastavina goriva	kJ/kmol	kJ/kg	kJ/m <sup>3</sup> 0 °C, 1,01325 bar
ugljik C potpuno izgaranje	406 900	33 910	–
nepotpuno izgaranje	124 000	10 330	–
sumpor S	296 600	9 260	–
vodik $\begin{cases} H_s \\ H_i \end{cases}$	$\begin{cases} 286\,700 \\ 241\,700 \end{cases}$	$\begin{cases} 142\,200 \\ 119\,900 \end{cases}$	$\begin{cases} 12\,800 \\ 10\,790 \end{cases}$
benzen C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (benzol) $\begin{cases} H_s \\ H_i \end{cases}$	$\begin{cases} 3\,273\,900 \\ 3\,138\,900 \end{cases}$	$\begin{cases} 41\,900 \\ 40\,200 \end{cases}$	$\begin{cases} – \\ – \end{cases}$
naftalen C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> (naftalin) $\begin{cases} H_s \\ H_i \end{cases}$	$\begin{cases} 5\,160\,500 \\ 4\,980\,500 \end{cases}$	$\begin{cases} 40\,300 \\ 38\,900 \end{cases}$	$\begin{cases} – \\ – \end{cases}$
etanol C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH (alkohol) $\begin{cases} H_s \\ H_i \end{cases}$	$\begin{cases} 1\,365\,100 \\ 1\,230\,100 \end{cases}$	$\begin{cases} 29\,600 \\ 26\,700 \end{cases}$	$\begin{cases} – \\ – \end{cases}$
ugljični monoksid CO	282 900	–	12 600
metan CH <sub>4</sub> $\begin{cases} H_s \\ H_i \end{cases}$	$\begin{cases} 889\,100 \\ 799\,100 \end{cases}$	$\begin{cases} – \\ – \end{cases}$	$\begin{cases} 39\,700 \\ 35\,700 \end{cases}$
eten C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (etilen) $\begin{cases} H_s \\ H_i \end{cases}$	$\begin{cases} 1\,449\,200 \\ 1\,359\,200 \end{cases}$	$\begin{cases} – \\ – \end{cases}$	$\begin{cases} 64\,700 \\ 60\,700 \end{cases}$
etin C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (acetilen) $\begin{cases} H_s \\ H_i \end{cases}$	$\begin{cases} 1\,302\,300 \\ 1\,257\,300 \end{cases}$	$\begin{cases} – \\ – \end{cases}$	$\begin{cases} 58\,100 \\ 56\,100 \end{cases}$

Donja ogrjevnja moć fizikalnih smjesa gorivih spojeva (plinovitih goriva) (u kJ/m<sup>3</sup>)

$$H_i = 12\,600 CO' + 10\,800 H_2' + 35\,700 CH_4' + 60\,700 C_2H_4' - 2\,000 H_2O'$$

Donja ogrjevnja moć složenih spojeva (npr. ugljena) može se točno odrediti samo pokusom. Za kruta i tekuća goriva služi približna formula (u kJ/kg)

$$H_i = 34\,000 C' + 101\,700 H' + 6\,300 N' + 19\,100 S' - 9\,800 O' - 2\,500 v'$$

### Sastav dimnih plinova

Sastav je dimnih plinova pri potpunom izgaranju s obzirom na jedinicu volumena

$$CO_2'' + H_2O'' + N_2'' + O_2'' = 1 \text{ (m}^3/\text{m}^3 \text{ dimnih plinova)}$$

Udjeli pojedinih sastavina (kmol/kmol dimnih plinova) iznose:

– kod čvrstih i tekućih goriva

$$\begin{aligned} CO_2'' &= C'/12 : D \\ H_2O'' &= (H'/2 + v'/18) : D \\ N_2'' &= (N'/28 + 79/21 \cdot \lambda \cdot O_{\min}) : D \\ O_2'' &= (\lambda - 1) O_{\min} : D \end{aligned}$$

– kod plinovitih goriva

$$\begin{aligned} CO_2'' &= (CO' + CO_2' + CH_4' + 2C_2H_4') : D \\ H_2O'' &= (H_2' + 2CH_4' + 2C_2H_4') : D \\ N_2'' &= (N_2' + 79/21 \cdot \lambda \cdot O_{\min}) : D \\ O_2'' &= (\lambda - 1) O_{\min} : D \end{aligned}$$

Pri nepotpunom izgaranju sadrže dimni plinovi još: CO, CH<sub>4</sub> itd. Njihov sastav određujemo kemijskom analizom (npr. Orsatovim aparatom).

### Entalpija dimnih plinova

Molna se entalpija dimnih plinova  $h_{mD}$  (kJ/kmol) pri raznim temperaturama može proračunati uz poznavanje sastava dimnih plinova i molne entalpije njihovih sastavina pri tim temperaturama (vidi str. 164):

$$h_{mD} = CO_2'' \cdot h_{mCO_2} + H_2O'' \cdot h_{mH_2O} + N_2'' \cdot h_{mN_2} + O_2'' \cdot h_{mO_2}$$

\*

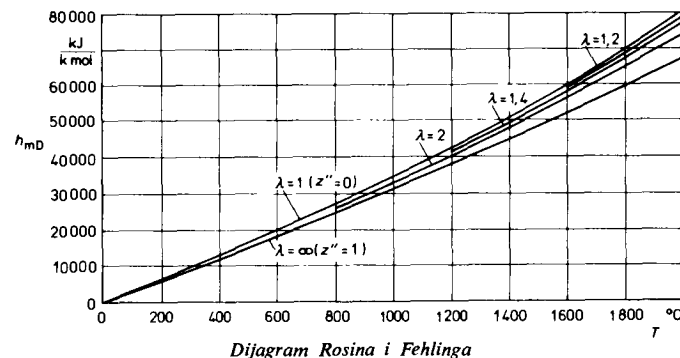
Molnu entalpiju dimnih plinova za tehnička goriva možemo odrediti također pomoću Rosinova i Fehlingova  $h_{mD}$ ,  $T$ -dijagrama (vidi str. 205), koji uzima u obzir i disocijaciju iznad 1500 °C. Iz tog dijagrama možemo za svaku izabranu temperaturu odrediti molnu entalpiju  $h_{mD1}$  za  $\lambda = 1$  i molnu entalpiju  $h_{mD\infty}$  pri  $\lambda = \infty$  (čisti zrak).

Iz minimalne potrebne količine zraka  $Z_{\min}$ , količine dimnih plinova  $D$  i poznatog faktora pretička zraka  $\lambda$  izračunavamo relativni udio zraka u dimnim plinovima  $Z''$

$$Z'' = (\lambda - 1) Z_{\min} : D$$

Otuda proizlazi molna entalpija dimnih plinova (kJ/kmol)

$$h_{mD} = h_{mD1} - Z'' (h_{mD1} - h_{mD\infty})$$



### Teoretska temperatura izgaranja

Molnu entalpiju dimnih plinova  $h_{mD}$  određujemo iz donje ogrjevne moći goriva  $H_f$ , specifične entalpije goriva  $h_g$  i molne entalpije zraka  $h_{mZ}$  prije izgaranja te količine zraka  $Z$  i dimnih plinova  $D$

$$h_{mD} = (H_f + h_g + Z h_{mZ}) / D$$

Veličine  $H_f$ ,  $h_g$ ,  $Z$  i  $D$  odnose se kod čvrstih i tekućih goriva na jedinicu mase 1 kg goriva, a kod plinovitih goriva na jedinicu tvari 1 kmol goriva.

Iz dobivene molne entalpije  $h_{mD}$  dimnih plinova određuje se za odgovarajući faktor pretička zraka  $\lambda$  teoretska temperatura izgaranja  $T$  pomoću Rosin-Fehlingova  $h_{mD}$ ,  $T$ -dijagrama. Stvarna temperatura izgaranja je niža zbog odvođenja topline.

### Kontrola izgaranja

1. Ni pepeo, ni dimni plinovi ne smiju sadržavati gorivih ostataka (neizgorjelog goriva, čađe, CO, CH<sub>4</sub> itd.).

2. Pretičak zraka  $\lambda$  ( $> 1$ ) mora biti što manji, ali ipak tolik da se osigura potpuno izgaranje. Pretičak zraka kontroliramo sadržajem  $CO_2''$  u dimnim plinovima. Što je veći faktor pretička zraka  $\lambda$ , to je manji udio  $CO_2''$ . Za čvrsta i tekuća goriva s karakteristikom  $\sigma$  pri potpunom izgaranju vrijedi

$$(CO_2'')_s = 1 / [1 + \sigma(\lambda/0,21 - 1)]$$

gdje je  $(CO_2'')_s$  sadržaj CO<sub>2</sub> u suhim dimnim plinovima (bez H<sub>2</sub>O).

## Goriva

*Prirodna goriva* jesu: kruta — drvo, treset i ugljen; tekuća — nafta (zemno ulje) i plinovita — zemni plin.

*Umjetna goriva* dobivaju se preradom iz prirodnih goriva ili drugih tvari. Generatorski plin dobiva se iz krutih goriva (drвета, ugljena ili koks) *rasplinjavanjem*, tj. nepotpunim izgaranjem u plinskim generatorima. (Dovođenjem zraka dobiva se »zračni plin«, a dodavanjem vodene pare »vodeni plin«. Smjesu obaju plinova nazivamo »miješanim plinom«.)

Retortni plin (rasvjetni i koksni plin) dobiva se iz prirodnih krutih goriva (ugljena, drвета) *suhom destilacijom*, tj. zagrijavanjem (pri 900...1100 °C) u retortama bez pristupa zraka.

Pri suhoj destilaciji dobiva se još i tekući proizvod — katran.

Koks i drveni ugljen su kruti ostaci pri suhoj destilaciji ugljena odn. drveta. Kao gorivo su praktički čisti ugljik, a sadrže još i sav pepeo goriva, iz kojega su proizvedeni.

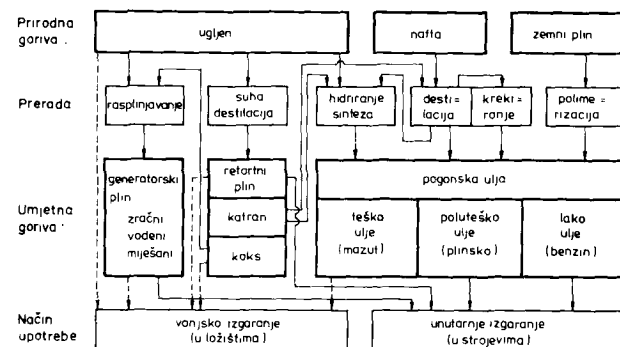
Pogonska ulja: laka (benzin, benzen), poluteška (plinsko ulje) i teška (loživo ulje, mazut) dobivaju se *frakcioniranom destilacijom* nafte i katrana. Udio lakih goriva povećava se *krekiranjem* (cijepanjem velikih molekula).

Laka pogonska ulja dobivaju se još i *hidriranjem* (spajanjem s vodikom) i *sintezom* (rasplinjavanjem i združivanjem molekula H<sub>2</sub>, CO itd.) iz ugljena, katrana ili ostataka nafte, odnosno *polimerizacijom* (spajanjem malih molekula u veće) iz zemnog plina (sintetski benzin).

Etanol C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH (etilalkohol, žesta, špirit) dobiva se alkoholnim vrenjem iz škroba.

Etin C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> (acetylen) razvija se djelovanjem vode na kalcijev karbid CaC<sub>2</sub>.

*Pregled glavnih metoda prerade prirodnih goriva u umjetna i načina njihove upotrebe*



## Pregled goriva

### Kruta goriva

Gorivo	Sastav % (u 1 kg)						Donja ogr. rjevn. moć H <sub>1</sub> kJ/kg
	čista tvar*					pepeo	
	C	H	S	O	N		
drvo, prosuš.	50	6	0	43,9	0,1	< 0,5	14 700 ... 16 700
smeđi ugljen	70	7	2,0	20	1,0	2 ... 10	8 400 ... 20 100
kameni ugljen	85	5	1,0	8	1,0	3 ... 12	27 200 ... 34 100
koks	97	0,5	0,8	0,7	1,0	8 ... 10	27 800 ... 30 300

\* Prosječne vrijednosti.

### Tekuća goriva

Gorivo	Sastav % (u 1 kg)		Gustoća kg/m <sup>3</sup>	Vrelište °C	Donja ogr. moć H <sub>1</sub> kJ/kg
	C	H			
benzin	85	15	720	< 120	42 700
plinsko ulje	86	11	875	< 350	41 900
loživo ulje	87	11	940	> 350	41 200
naftalen C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> * (naftalin)	93,7	6,3	977	218	38 850
benzen C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (benzol)	92,2	7,8	884	80,5	40 270
etanol C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH (alkohol)	52	13	794	78,3	26 750

\* Talište 80 °C.

### Plinovita goriva

Gorivo	Sastav % (u 1 m <sup>3</sup> )						Gustoća kg/m <sup>3</sup>	Donja ogr. moć H <sub>1</sub> kJ/m <sup>3</sup> 0 °C, 1,013 25 bar
	H <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>		
vodik			H <sub>2</sub>				0,089 87	10 790
uglj. monoksid			CO				1,250	12 620
metan			CH <sub>4</sub>				0,716 8	36 080
etan			C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>				1,356	63 500
propan			C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>				2,019	92 970
butan			C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>				2,668	121 800
eten (etilen)			C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>				1,260	60 570
etin (acetylen)			C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>				1,171	56 340
koksni plin	50	8	29	4	2	7	0,53	19 300
rasvjetni plin	51	8	32	4	2	3	0,50	20 500
vodeni plin	49	42	0,5	—	5	3	0,71	10 800
miješani plin	12	28	3	0,2	3	54	1,12	6 000
zračni plin	6	23	3	0,2	5	62	1,19	4 800
grotleni plin	4	28	—	—	8	60	1,25	4 000

*Domaći*

Rudnik	Vrsta	Veličina zrna mm	Sastav u %			Količina sum-pora %	Donja ogrjevn moć $H_i$ kJ/kg
			vlaga	pepeo	gori- va tvar		
Velenje	komad	> 120	43	8	49	0,6	11 300
	kocka	65...120	43	8	49	0,6	11 300
	orah	35...65	43	9	48	0,6	11 100
	grah	10...35	43	9	48	0,6	11 100
	sitni	0...1	43	12	45	0,6	10 300
	prah	65	43	5	52	0,6	12 000
Trbovlje	komad	> 60	20	12	68	1,9	18 000
	kocka	40...60	22	14	64	2,0	17 000
	orah	18...40	22	15	63	2,0	16 700
	grah	10...18	22	16	62	2,1	16 700
	sitni	3...10	24	17	59	2,1	15 700
	prah	0...3	34	19	47	1,8	12 500
Zagorje	komad	> 60	21	9	70	1,0	18 600
	kocka	35...60	22	10	68	1,0	18 000
	orah	16...35	22	12	66	1,0	17 500
	grah	10...16	24	13	63	1,0	16 700
	sitni	3...10	24	17	59	2,1	15 700
	prah	0...3	32	18	50	0,9	13 300
Laško	komad	> 60	19	7	74	0,3	19 800
	kocka	30...60	20	8	72	0,3	19 300
	orah	15...30	21	9	70	0,3	18 800
	grah	10...15	22	11	67	0,3	18 500
	sitni	5...10	26	13	61	0,3	16 400
	ksilit	0...5	36	25	39	0,3	10 500
Senovo	komad	> 60	19	13	68	2,3	18 000
	kocka	33...60	19	15	66	2,2	17 500
	orah	17...33	19	17	64	2,1	17 000
	grah	10...17	19	18	63	2,0	16 700
	sitni	3...10	20	21	59	2,4	15 700
	prah	0...3	20	21	59	2,4	15 700

*ugljeni*

Rudnik	Vrsta	Sastav u %			Količina sum-pora %	Donja ogrjevn moć $H_i$ kJ/kg
		vlaga	pepeo	gori- va tvar		
Raša	— komad	2	12	86	9	28 100
	— kocka	2	13	85	8	27 800
	— orah	2	11	87	8	28 400
	— grah	3	10	87	8	28 400
	— sitni	3	15	82	8	26 800
Banovići	— komad	17	16	67	1,1	18 700
	— kocka	17	20	63	1,3	17 600
	— orah	18	21	61	0,6	16 600
	— sitni	20	22	58	0,4	16 200
Kakanj	— komad	8	21	71	1,3	21 100
	— kocka	8	22	70	1,4	20 800
	— orah	9	23	68	1,5	20 200
	— sitni	9	27	64	1,2	19 000
	— prah	9	28	63	0,5	18 700
Zenica	— komad	14	16	70	2,4	19 000
	— kocka	14	17	69	2,3	18 800
	— orah	15	18	67	2,8	18 200
	— sitni	16	20	64	2,2	17 400
	— prah	18	25	57	2,1	15 500
Kreka	— komad	33	9	58	0,5	14 100
	— kocka	32	15	53	0,4	15 100
	— orah	30	20	50	0,2	12 100
	— sitni	30	25	45	0,2	10 900
Senjsko- Resavski	— komad	20	16	64	0,8	17 400
	— sitni	19	23	58	0,9	15 800
Kolubara	— komad	48	10	42	0,4	9 600
	— sitni	49	12	39	0,4	9 300
Kostolac	— komad	43	14,5	42,5	0,7	9 700
	— sitni	36	34	30	0,6	6 800
Kosovo	— komad	45	10	45	0,7	9 800
	— sitni	41	21	38	0,6	8 200

## PRIJENOS TOPLINE

### Toplinska vodljivost

Toplinski tok  $\Phi$  (tj. prolaz topline  $Q$  u vremenu  $t$ ) kroz tvar je po iskustvenim zakonima upravo razmjernan temperaturnoj razlici  $\Delta T = T_1 - T_2$  i površini  $A$ , a obrnuto razmjernan debljini ravne stijenke  $\delta$

$$\Phi = \frac{Q}{t} = \frac{\lambda}{\delta} (T_1 - T_2) A$$

$\lambda$  je koeficijent toplinske vodljivosti, a mjerimo ga jedinicom W/(m·K).

Toplinska se vodljivost mijenja s temperaturom, a kod plinova i para još i s tlakom. Brojčane vrijednosti  $\lambda$  za različite tvari sabrane su u tablicama na str. 212 do 217.

### Prijelaz topline

Toplinski tok  $\Phi$  koji prelazi s plinovite ili tekuće tvari na krutu stijenku, ili obratno, po iskustvu je upravo razmjernan temperaturnoj razlici  $\Delta T = T_1 - T_2$  i površini  $A$

$$\Phi = \frac{Q}{t} = \alpha (T_1 - T_2) A$$

$\alpha$  je koeficijent prijelaza izražen jedinicom W/m<sup>2</sup> K.

Prijelaz topline na složen način ovisi o vrsti, temperaturi, tlaku i brzini plina, pare ili tekućine, koji toplinu predaju krutoj stijenci ili je od nje primaju. Nadalje, prijelaz topline ovisi o obliku i kvaliteti površine stijenke. Unatoč veoma opsežnom istraživačkom radu, toplinski je prijelaz općenito još i danas sasvim iskustvena vrijednost koja se može izračunati samo u nekim posebno jednostavnim slučajevima. *Nusseltova teorija sličnosti* omogućila je određivanje prijelaza topline pomoću bezdimenzijskih značajki (brojeva):

Reynoldsova značajka	$Re = v d / \nu$
Prandtllova značajka	$Pr = \rho c \nu / \lambda$
Pécletova značajka	$Pe = v d \rho c / \lambda = Re \cdot Pr$
Grasshofova značajka	$Gr = d^3 g (T_1 - T_2) \beta / \nu^2$
Nusseltova značajka	$Nu = \alpha d / \lambda$

gdje su:  $d$  – promjer (m),  $v$  – brzina (m/s),  $g$  – ubrzanje sile teže ( $= 9,81 \text{ m/s}^2$ ),  $(T_1 - T_2)$  – temperaturna razlika (K),  $\beta$  – volumenski koeficijent temperaturnog rastezanja ( $\text{K}^{-1}$ ),  $\rho$  – gustoća ( $\text{kg/m}^3$ ),  $c$  – specifični toplinski kapacitet (u plinova je  $c = c_p$ ) [ $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ],  $\lambda$  – koeficijent toplinske vodljivosti [ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ],  $\alpha$  – koeficijent prijelaza topline ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ),  $\nu$  – kinematička viskoznost ( $\text{m}^2/\text{s}$ ).

Ako cijev nije okrugla, treba za  $d$  uvrstiti odgovarajući hidraulički promjer  $d' = 4 A/O$  ( $A$  = površina,  $O$  = opseg). Za pravokutni je presjek cijevi  $d' = 2 ab/(a + b)$ .

Vrijednosti za  $\beta$  navedene su na str. 159, a vrijednosti za  $\rho$ ,  $c$ ,  $\lambda$  i  $\nu$  tekućina i plinova na str. 212 do 214.

\*

Najjednostavniji primjeri proračuna prijelaza topline pomoću Nusseltove značajke  $Nu = \alpha d / \lambda$ :

#### a) Slobodno strujanje plinova i tekućina

Prijelaz topline s vodoravne cijevi promjera  $d$  na miran zrak ili viskoznu tekućinu vodljivosti  $\lambda$ :

- na zrak  $\alpha d / \lambda = 0,37 \cdot Gr^{0,25}$
- na tekućinu  $\alpha d / \lambda = 0,40 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,25}$

#### b) Prisilno strujanje plinova

Strujanje duž ravne ploče duljine  $l$

- pri  $v > 5 \text{ m/s}$  vrijedi  $\alpha l / \lambda = 0,075 \cdot Pe^{0,75}$

Strujanje okomito na os cijevi:

- za osamljenu cijev  $\alpha d / \lambda = 0,092 \cdot Pe^{0,75}$
- za snop cijevi  $\alpha d / \lambda = \xi \cdot 0,075 \cdot Pe^{0,75}$

gdje za cijevi u poretku šahovskog polja, koje su jedna iza druge, vrijedi:

broj redova cijevi	2	4	6	8	10
vrijednost za $\xi$	1,00	1,23	1,36	1,43	1,47

Brzinu  $v$  treba uzeti na najužem mjestu između dviju cijevi!

Strujanje kroz ravnu cijev  $\alpha d / \lambda = 0,040 \cdot Pe^{0,75}$

#### c) Prisilno strujanje tekućina

Laminarno strujanje (koje se javlja u tekućina u uskim cijevima ako je  $Re < 2300$ ) kroz duge ravne cijevi

$$\alpha d / \lambda \approx 3,65$$

Turbulentno strujanje

$$\alpha d / \lambda = 0,0396 Pr \cdot Re^{0,75} / [1 + 0,35 (Pr - 1)]$$

\*

Koeficijent prijelaza topline  $\alpha$  iznosi:

za plinove	14 ... 40 W/m <sup>2</sup> K
za tekućine	2000 ... 4000 W/m <sup>2</sup> K

Pri promjeni agregatnog stanja ima prijelaz topline općenito mnogo veće vrijednosti. Za vodu iznosi:

pri vrenju	3000 ... 16000 W/m <sup>2</sup> K
pri kondenzaciji	– filmskoj 6000 ... 12000 W/m <sup>2</sup> K
– kapljičastoj	30000 ... 46000 W/m <sup>2</sup> K

### Toplinska svojstva tvori

Toplinska svojstva plinova i para (pri tlaku 0,980 665 bar  $\approx$  1 bar)

Plin (para)	Tempera- tura $t$ °C	Gustoća $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Spec. topl. kapacitet $c_p$ kJ/kg K	Koef. toplin. vodljivosti $\lambda$ W/(m · K)	Kinemat. viskoznost $\nu$ mm <sup>2</sup> /s
zrak	- 50	1,534	1,004	0,020 5	9,65
	- 20	1,365	1,004	0,022 6	12,0
	0	1,252	1,009	0,023 7	13,9
	20	1,164	1,013	0,025 1	15,7
	40	1,092	1,013	0,026 5	17,6
	60	1,025	1,017	0,027 9	19,4
	80	0,968	1,021	0,029 3	21,5
	100	0,916	1,021	0,030 7	23,6
	120	0,870	1,026	0,032 0	25,9
	160	0,789	1,030	0,034 4	30,6
	200	0,723	1,034	0,037 0	35,5
	250	0,653	1,042	0,040 0	42,2
	300	0,596	1,047	0,042 9	49,2
	400	0,508	1,059	0,048 5	64,6
	600	0,391	1,088	0,058 1	98,8
	800	0,318	1,113	0,066 9	137
	1 000	0,268	1,139	0,076 1	181
	1 200	0,232	1,164	0,084 5	227
	1 400	0,204	1,189	0,093 0	278
	1 600	0,182	1,218	0,101 2	332
vodik H <sub>2</sub>	- 50	0,106 4	—	0,147	69,1
	0	0,086 9	14,232	0,176	97,1
	50	0,073 4	14,358	0,202	128
	100	0,063 6	14,442	0,229	162
	200	0,050 2	14,525	0,276	240
ugljični dioksid CO <sub>2</sub>	- 50	2,373	—	0,010 9	4,76
	0	1,912	0,828	0,014 3	7,23
	50	1,616	0,875	0,017 8	10,0
	100	1,400	0,925	0,021 3	13,2
sumporni dioksid SO <sub>2</sub>	0	2,83	0,624	0,008 4	4,09
	50	—	0,649	—	—
	100	—	0,674	—	—
	200	—	0,720	—	—
amonijak NH <sub>3</sub>	0	0,746	2,168	0,022 0	12,5
	50	0,626	2,198	—	17,7
	100	0,540	2,231	0,030 0	24,2
	200	0,425	2,394	—	39,0

### Toplinska svojstva vodene pare

Tlak $p$ bar	Tempera- tura $t$ °C	Gustoća $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Spec. topl. kapacitet $c_p$ kJ/kg K	Koef. toplin. vodljivosti $\lambda$ W/(m · K)	Kinemat. viskoznost $\nu$ mm <sup>2</sup> /s
1	100	0,598	2,032	0,023 7	21,4
	120	0,557	1,999	0,025 1	23,9
	140	0,529	1,981	0,026 5	26,5
	160	0,504	1,973	0,028 0	29,4
	180	0,481	1,964	0,029 4	32,2
	200	0,460	1,964	0,030 9	35,3
2	140	1,070	2,050	0,027 7	13,4
	160	1,016	2,024	0,029 0	14,8
	180	0,968	2,007	0,030 2	16,2
	200	0,926	1,999	0,031 6	17,8
	220	0,887	1,998	0,033 0	19,3
	240	0,851	1,998	0,034 5	21,3
4	160	2,067	2,149	0,030 9	7,43
	180	1,963	2,106	0,031 8	8,13
	200	1,872	2,075	0,033 1	8,93
	220	1,789	2,058	0,034 3	9,70
	240	1,715	2,045	0,035 6	10,7
	260	1,647	2,041	0,037 0	11,5
6	280	1,585	2,041	0,038 4	12,5
	160	3,160	2,315	0,033 0	4,98
	180	2,989	2,226	0,033 7	5,48
	200	2,841	2,162	0,034 5	6,02
	220	2,710	2,123	0,035 6	6,58
	240	2,593	2,101	0,036 7	7,15
8	260	2,487	2,088	0,038 0	7,72
	280	2,391	2,078	0,039 4	8,38
	180	4,047	2,364	0,036 2	4,14
	200	3,834	2,265	0,036 8	4,58
	220	3,650	2,199	0,037 5	5,01
	240	3,486	2,161	0,038 5	5,44
10	260	3,339	2,135	0,039 6	5,89
	280	3,206	2,118	0,040 8	6,35
	300	3,085	2,110	0,042 2	6,84
	320	2,974	2,105	0,043 7	7,33
	180	5,144	2,569	0,040 9	3,43
	200	4,857	2,371	0,040 2	3,78
	220	4,610	2,268	0,040 3	4,13
	240	4,394	2,216	0,041 0	4,48
	260	4,203	2,186	0,042 0	4,88
	280	4,032	2,164	0,043 1	5,26
	300	3,876	2,156	0,044 6	5,65
	320	3,734	2,147	0,046 0	6,03

Toplinska svojstva tekućina

Tekućina	Temperatura $t$ °C	Gustoća $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Spec. topl. kapacitet $c_p$ kJ/kg K	Koef. toplin. vodljivosti $\lambda$ W/(m · K)	Kinemat. viskoznosti $\nu$ mm <sup>2</sup> /s
voda	0	1 000	4,219	0,555	1,79
	20	998	4,182	0,598	1,01
	40	992	4,178	0,627	0,658
	60	983	4,190	0,651	0,478
	80	972	4,199	0,669	0,364
	100	958	4,215	0,681	0,295
	120	944	4,232	0,685	0,249
	140	926	4,257	0,684	0,217
	160	908	4,282	0,680	0,189
	180	887	4,395	0,673	0,172
	200	863	4,500	0,665	0,162
	250	794	4,855	0,644	0,137
	300	700	5,693	0,564	0,131
mazivo ulje	20	871	1,850	0,144	15,0
	40	858	1,934	0,143	7,93
	60	845	2,018	0,142	4,94
	80	832	2,101	0,141	3,40
	100	820	2,185	0,140	2,44
	120	807	2,269	0,138	1,91
transformatorsko ulje	20	866	1,892	0,124	36,5
	40	852	1,993	0,123	16,7
	60	842	2,093	0,122	8,69
	80	830	2,198	0,120	5,20
	100	818	2,294	0,119	3,79
ugljični dioksid CO <sub>2</sub>	20	771	3,642	0,087	0,062 4
	30	596	—	0,071	0,054 3
sumporni dioksid SO <sub>2</sub>	—20	1 485	—	0,223	0,321
	0	1 435	1,356	0,212	0,256
	20	1 383	1,390	0,199	0,220
amonijak NH <sub>3</sub>	—20	665	4,562	0,585	0,383
	0	639	4,646	0,540	0,376
	20	610	4,772	0,494	0,360
monoklorometan CH <sub>3</sub> Cl	—20	997	1,507	0,195	0,310
	0	960	1,570	0,179	0,304
	20	921	1,591	0,163	0,293
živa Hg	0	13 595	0,140	10,5	0,125
	20	13 546	0,139	9,3	0,115

214

Toplinska svojstva kovina i kovinskih slitina

Kovina	Temperatura $t$ °C	Gustoća $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Spec. topl. kapacitet $c$ kJ/kg K	Koef. toplin. vodljivosti $\lambda$ W/(m · K)
aluminij	20	2 700	0,896	229
bakar, čisti	20	8 930	0,383	395
trgovački	20	8 300	0,419	372
bronca, alumin.	20	7 800	0,419	—
kositrena	20	8 750	0,352	55
cink	20	7 130	0,385	113
crveni lijev	20	8 600	0,377	60
čelik, 0,1 % C	0	7 850	0,465	59
	400	—	0,628	44
	600	—	—	37
— 0,2 % C	20	7 850	0,460	50
— 0,6 % C	20	7 840	0,460	47
— 13 % Cr	20	7 750	0,460	29
— Cr-Ni	20	7 900	0,477	14
	500	—	0,607	21
— 18 Cr 8 Ni	20	7 880	0,502	20
— 36 % Ni	20	8 130	0,502	16
duralumin	20	2 700	0,912	165
	100	—	—	181
elektron	20	1 800	—	116
kositar (kalaj)	20	7 280	0,226	65
magnezij, čisti	20	1 740	1,017	143
mjed (mesing)	20	≈ 8 600	0,381	≈ 93
monel	20	8 580	0,500	26
nikal, čisti	20	8 800	0,446	58
novo srebro	20	—	0,393	24
olovo, čisto	0	11 340	0,128	35
	100	—	0,134	34
platina	20	21 400	0,133	70
silumin	20	2 600	0,900	159
sivi lijev	20	≈ 7 250	0,540	≈ 58
srebro	20	10 500	0,234	417
volfram	20	19 300	0,134	—
zlato	20	19 250	0,129	310
željezo, čisto	20	7 850	0,465	67

215



Toplinska svojstva anorganskih krutina

Materijal	Tempe- ratura $t$ °C	Gustoća $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Spec. topl. kapacitet $c$ kJ/kg K	Koef. topl. vodljivosti $\lambda$ W/(m · K)
azbestne ploče	20	2000	–	0,7
azbestna vuna	20	300	–	0,09
	20	600	–	0,20
beton, suhi	20	≈ 2100	0,880	≈ 1,10
granit	20	2900	0,750	2,9
kotlovac				
– karbonatni	300	1000 . . . 2500	–	0,15 . . . 2,30
– silikatni	300	300 . . . 1200	–	0,08 . . . 0,23
– sulfatni	300	2000 . . . 2700	0,840	0,7 . . . 2,30
kremen	50	≈ 400	0,840	≈ 0,08
kremeno staklo	20	2210	0,710	1,36
led (H <sub>2</sub> O)	0	917	1,930	2,2
	–50	924	–	2,8
mramor	20	≈ 2600	0,800	2,8
opeka, suha	20	≈ 1700	0,840	≈ 0,46
pijesak, suhi	20	1520	–	0,33
pješčenjak	20	≈ 2220	0,710	≈ 1,9
porculan	20	≈ 2360	0,800	≈ 1,2
silikatna opeka	100	≈ 1850	–	≈ 1,10
(silika)	1000	–	–	≈ 1,60
snijeg	0	200	–	0,15
staklena vuna	20	50	0,670	0,036
	20	300	–	0,043
staklo	20	2700	0,840	0,76
šamotna opeka	100	≈ 1850	0,840	≈ 0,8
	1000	–	1,130	≈ 1,0
tlo, ilovačasto	20	1450	0,880	1,28
vapnenac	20	2650	0,840	2,2
vuna od troske	20	200	0,750	0,04
	20	500	–	0,06
zid od opeke	20	–	–	≈ 0,75
žbuka, zidna	20	1690	0,840	0,80

Toplinska svojstva organskih krutina

Materijal	Tempe- ratura $t$ °C	Gustoća $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Spec. topl. kapacitet $c$ kJ/kg K	Koef. toplinske vodljivosti $\lambda$ W/(m · K)
asfalt	20	2120	0,920	0,74
bakelit	20	1270	1,590	0,23
pamuk				
– češljani	20	81	–	0,059
– pleteni	–	245	1,300	0,077
– tkani	–	330	–	0,070
celuloid	20	1400	–	0,215
ebonit	20	1190	1,420	0,16
guma	20	1200	1,420	≈ 0,16
gumena spužva	20	224	–	0,055
koks	20	1400	0,920	–
drvo (prosušeno)				
– bor ⊥	20	≈ 550	2,790	0,14
– =	–	–	–	0,28
– bukva =	20	≈ 700	–	0,35
– hrast ⊥	20	≈ 850	2,390	≈ 0,10
– =	–	–	–	0,37
drveni ugljen	20	200	0,840	0,06
papir	20	1000	1,340	0,14
pluto	20	200	1,380	0,05
ugljen	20	≈ 1200	1,300	≈ 0,21
ugljena prašina	30	730	1,300	0,12
šećer	0	1600	1,260	0,6
svila, tkana	0	147	–	0,045
	50	–	1,260	0,055
	100	–	–	0,060
koža	20	1000	1,510	≈ 0,16
vuna				
– češljana	20	9	–	0,036
– pletena	–	176	1,670	0,04
– tkana	–	380	–	0,050
piljevina (sitna)	20	190	–	0,06

### Toplinsko zračenje (isijavanje)

Zračenje topline jest odavanje energije elektromagnetskim valovima dužine  $0,8 \dots 300 \mu\text{m}$  (toplinske — infracrvene zrake).

Apsorpcijski koeficijent  $a$  jest omjer energije  $W_a$  koju tijelo apsorbira (upija) i sve energije  $W$  koja dospijeva na površinu tijela

$$a = W_a / W < 1$$

$$W_a = W \quad a = 1 \quad \text{— toplinski »crno« tijelo}$$

$$W_a = 0 \quad a = 0 \quad \text{— toplinski »bijelo« tijelo}$$

Stvarna tijela nisu ni toplinski »bijela« ni »crna«, već toplinski »siva«:

$$0 < W_a < W \quad 0 < a < 1$$

Emisijski koeficijent  $\varepsilon$  jest omjer energije  $W_s$  koju odaje površina »sivog« tijela i energije  $W_\varepsilon$  koju odaje površina »apsolutno crnog« tijela:

$$\varepsilon = W_s / W_\varepsilon < 1$$

Po Kirchhoffovu zakonu vrijedi (pri jednakoj temperaturi):  $\varepsilon = a$ .

Emisijski koeficijenti tehnički važnih tvari sabrani su na str. 219.

Stefan-Boltzmannov zakon

Toplinski tok  $\Phi$  koji pri zračenju odašilje apsolutno crno tijelo upravo je razmjernan površini  $A$  i 4. potenciji apsolutne temperature  $T$

$$\Phi = \sigma_0 T^4 A$$

gdje je  $\sigma_0 = 5,669 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

U tehnici se ta jednadžba upotrebljava u obliku

$$\Phi = \sigma (T/100)^4 A$$

gdje je  $\sigma$  »konstanta zračenja apsolutno crnog tijela«

$$\sigma = 5,67 \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$$

Za »siva« tijela vrijedi  $\Phi_s = \varepsilon \sigma (T/100)^4 A$

gdje je  $\varepsilon$  emisijski koeficijent sivog tijela.

Izmjena topline zračenjem između dvaju tijela apsolutnih temperatura  $T_1$  i  $T_2$  ( $T_1 > T_2$ ) i emisijskih koeficijenata  $\varepsilon_1$  i  $\varepsilon_2$

$$\Phi = \sigma' [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4] A$$

gdje je  $\sigma'$ :

a) u veoma velikih, blizu smještenih, paralelnih i ravnih ploha

$$(A = A_1 = A_2)$$

$$\sigma' = \sigma (1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1)$$

b) ako drugo tijelo (2) potpuno okružuje prvo tijelo (1)

$$\sigma' = \sigma [1/\varepsilon_1 + \omega (1/\varepsilon_2 - 1)]$$

Ako je ploha  $A_1$  znatno manja od plohe  $A_2$  ( $\omega \approx 0$ ), vrijedi:  $\sigma' = \varepsilon_1 \sigma$ .

c) za proizvoljno smještene plohe  $A_1$  i  $A_2$  je  $\sigma' = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \sigma$ .

### Emisijski koeficijent $\varepsilon$ površinskog zračenja

Površina		Temperatura $t$ °C	Emisijski koeficijent $\varepsilon$
materijal	stanje		
<b>kovine:</b>			
aluminij	oksidiran	25	0,07
	poliran	230	0,05
alum. za bronzir.	namaz	100	0,30
bakar	tamno oksidiran	20	0,78
	oksidiran	130	0,76
	poliran	20	0,030
cink	oksidiran	20	0,25
	poliran	230	0,045
čelik	tamno zardao	20	0,85
	lijevana površina	100	0,80
	valjana površina	20	0,77
	crveno zardao	20	0,61
	brušen	20	0,24
	sjajan, jetkan	150	0,128
kositar	sjajan	20	0,07
krom	poliran	150	0,058
mjed	oksidirana	338	0,22
	polirana	300	0,05
nikal	poliran	100	0,045
olovo	oksidirano	20	0,28
	polirano	130	0,06
sivi lijev	tokaren	20	0,43
srebro	polirano	20	0,025
zlato	polirano	20	0,025
<b>nekovine:</b>			
drvo	blanjano	20	0,90
krovna ljepenka		20	0,93
lak, emajl		20	0,90
lak za radijatore		100	0,925
led	gladak	0	0,966
mramor	poliran	20	0,93
opeka	gruba, crvena	20	0,93
papir		95	0,85
porculan		20	0,93
staklo		90	0,94
svilena tkanina		20	0,77
šamot		1200	0,60

### Prolaz topline

a) *Prolaz topline kroz stijenke pri dovođenju toplinskog toka dodirnom*  
 Toplinski tok koji prelazi s neke tvari (temperature  $T_1$  i koeficijenta prijelaza  $\alpha_1$ ) na stijenku, kroz tu stijenku (debljine  $\delta$  i koeficijenta toplinske vodljivosti  $\lambda$ ) te sa stijenke na drugu tvar (temperature  $T_2$  i koeficijenta prijelaza  $\alpha_2$ ) iznosi za površinu stijenke  $A$

$$\Phi = Q/t = k(T_1 - T_2)A$$

$k$  je koeficijent prolaza topline koji se dobiva iz jednadžbe

$$1/k = 1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2$$

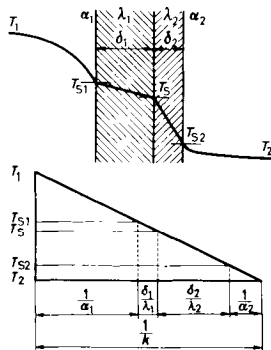
Koeficijent prolaza topline  $k$  mjerimo istim jedinicama kao i koeficijent prijelaza topline  $\alpha$ , tj. u  $W/m^2 K$ .

Za višeslojne stijenke (npr. za stijenke od dva sloja, od kojih jedan ima debljinu  $\delta_1$  i vodljivost  $\lambda_1$ , a drugi debljinu  $\delta_2$  i vodljivost  $\lambda_2$ ) koeficijent prolaza topline  $k$  računamo po jednadžbi

$$1/k = 1/\alpha_1 + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + 1/\alpha_2$$

Temperature na pojedinim mjestima stijenke možemo odrediti trokutnim dijagramom (lijevo) ili jednadžbama

$$\begin{aligned} T_{s1} &= T_1 - k(1/\alpha_1)(T_1 - T_2) \\ T_s &= T_1 - k(1/\alpha_1 + \delta_1/\lambda_1)(T_1 - T_2) \\ T_{s2} &= T_1 - k(1/\alpha_1 + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2) \cdot (T_1 - T_2) \end{aligned}$$



b) *Prolaz topline kroz stijenku pri dovođenju toplinskog toka zračenjem i dodirnom*

Toplinski tok koji prelazi *dodirnom* s neke tvari (temperature  $T_1$  i koeficijenta prijelaza  $\alpha_1$ ) i istodobno *zračenjem* s neke stijenke (temperature  $T$  i emisijskog koeficijenta  $\epsilon$ ) na drugu stijenku (emisijskog koeficijenta  $\epsilon_s$ ), te prolazi kroz tu stijenku (debljine  $\delta$  i vodljivosti  $\lambda$ ) i s nje prelazi na drugu tvar (temperature  $T_2$  i koeficijenta prijelaza  $\alpha_2$ ) iznosi

$$\Phi = k(T_1 - T_2)A$$

Koeficijent  $k$  računamo iz jednadžbe

$$1/k = 1/(\alpha + \alpha_1) + \delta/\lambda + 1/\alpha_2$$

gdje je

$$\alpha = \sigma'[(T/100)^4 - (T_{s1}/100)^4]/(T_1 - T_{s1})$$

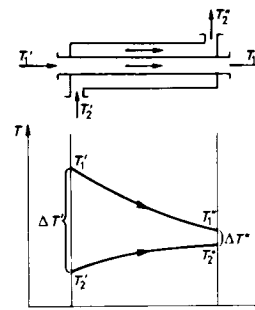
Vrijednost  $\sigma'$  izračunavamo iz poznatih koeficijenata  $\epsilon$  i  $\epsilon_s$  (vidi str. 219), a temperaturu  $T_{s1}$  iz jednadžbe  $T_{s1} = T_1 - k/\alpha + \alpha_1(T_1 - T_2)$ .

### Tehnički izmjenjivači topline

Toplinski tok  $\Phi$  prelazi s tvari početne temperature  $T_1'$  i konačne niže temperature  $T_1''$  na tvar početne temperature  $T_2'$  i konačne više temperature  $T_2''$ . Temperaturna razlika između obiju tvari na svakom je mjestu izmjenjivača drukčija.

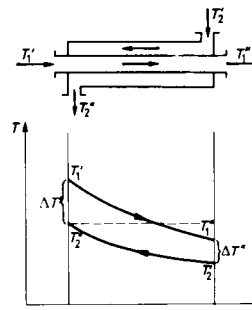
S obzirom na međusobni smjer strujanja obiju tvari u izmjenjivaču, razlikujemo istosmjerno, protusmjerno i unakrsno strujanje.

#### Istosmjerno strujanje



$$\begin{aligned} \Delta T' &= T_1' - T_2' \\ \Delta T'' &= T_1'' - T_2'' \end{aligned}$$

#### Protusmjerno strujanje



$$\begin{aligned} \Delta T' &= T_1' - T_2'' \\ \Delta T'' &= T_1'' - T_2' \end{aligned}$$

Toplinski tok u izmjenjivaču topline računamo pomoću prosječne temperaturne razlike  $\Delta T_{med}$   $\Phi = k \cdot \Delta T_{med} \cdot A$

gdje su:  $k$  – koeficijent prolaza topline (vidi str. 220),  $A$  – površina izmjenjivača.

Prosječna (»logaritamska«) temperaturna razlika iznosi

$$\Delta T_{med} = (\Delta T' - \Delta T'')/\ln(\Delta T'/\Delta T'')$$

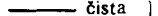










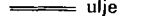



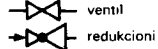
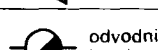


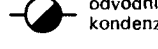


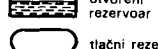
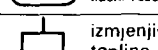


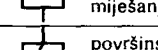


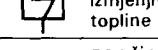


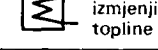





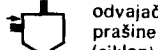


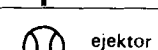


Prosječna (logaritamska) temperaturna razlika  $\Delta T_{med}$  pri protusmjernom strujanju veća je nego pri istosmjernom.

Pri protusmjernom strujanju može biti konačna temperatura tvari koji toplinu prima (grijući se) viša od konačne temperature tvari koji toplinu predaje (hladeći se). Pri istosmjernom je strujanju, međutim, konačna temperatura tvari koji toplinu prima uvijek niža od konačne temperature tvari koji toplinu predaje.

Zato u izmjenjivačima topline protusmjerno strujanje ima uvijek prednost pred istosmjernim. Unakrsno se strujanje po svom efektu približuje protusmjernome.

# TOPLINSKI UREĐAJI I STROJEVI

Simboli

 čista voda  sirova voda  nečista voda	 kemijska priprema vode	 turbina
 para  zrak  dimni plinovi	 parni kotao	 stapni pogonski stroj
 gorivi plin  ulje  ugljen	 parni kotao s pregrijačem	 elektromotor
 ventil  redukcijski ventil	 isparivač (transformator pare)	 gonjeni stroj (otpušteno)
 odvodnik kondenzata	 plinski generator	 turbopumpa
 otvoreni rezervoar  tlačni rezervoar	 gorionik (za ulje)	 stapna pumpa
 izmjenjivač topline miješanjem	 potrošač topline	 turbo-kompresor ventilator
 površinski izmjenjivač topline	 ispuh	 stapni kompresor
 površinski izmjenjivač topline	 kondenzator na miješanje	 transportni stroj
 odvajač pare	 površinski kondenzator	 električni generator
 odvajač prašine (ciklon)	 površinski kondenzator (s povratnim hlađenjem)	 mjerac
 ejektor	 rashladni toranj	 regulator

# PARNI KOTLOVI

Parni su kotlovi toplinski uređaji koji se sastoje od:

a) *uređaja za loženje*, tj. ložišta (prostora za izgaranje), u kojem se izgaranjem oslobađa kemijski vezana energija goriva da bi prešla na dimne plinove, i pomoćnih uređaja za loženje (roštilj, gorionik itd.),

b) *izmjenjivača topline* (parnog kotla u užem smislu), u kojem toplina prelazi s dimnih plinova na vodu odnosno paru.

Toplinski tok  $\Phi$  koji s gorivom dolazi u ložište izražavamo potroškom goriva  $B$  (kg/s) i njegovom donjom ogrjevnom moći  $H_i$

$$\Phi = B H_i$$

Dovodimo li u ložište zagrijan zrak za izgaranje, dolazi s njime još i toplinski tok

$$\Phi_Z = B Z h_{mZ}$$

gdje su:  $Z$  – količina zraka za izgaranje na jedinicu količine goriva (kmol/kg) (str. 202),  $h_{mZ}$  – molna entalpija zraka (kJ/kmol) (str. 164).

Ložišta su građena za:

- izgaranje u sloju, tj. roštilju (ravnom ručnom ili mehaničkom, stepeničastom i sl. za komadno gorivo),
- izgaranje u lebdenju, tj. u komori za izgaranje (za ugljenu prašinu, ulje ili plin).

Površinu roštilja  $R$  (m<sup>2</sup>) određujemo na temelju »površinskog toplinskog opterećenja ložišta«

$$\Phi/R = B H_i/R$$

koje iznosi za: ravni ručni roštilj	600 ... 1000 kW/m <sup>2</sup>
mehanički roštilj	900 ... 1600 kW/m <sup>2</sup>
stepenasti roštilj	700 ... 800 kW/m <sup>2</sup>

Volumen ložišnog prostora  $V$  (m<sup>3</sup>) ocjenjujemo na temelju »prostornog toplinskog opterećenja ložišta«

$$(\Phi + \Phi_Z)/V = B(H_i + Z h_{mZ})/V$$

koji iznosi: za mehanički roštilj	250 ... 400 kW/m <sup>3</sup>
pri loženju	
– ugljenom prašinom	170 ... 330 kW/m <sup>3</sup>
– uljem	900 ... 2500 kW/m <sup>3</sup>
– plinom	1600 ... 2500 kW/m <sup>3</sup>

Pri izgaranju pod tlakom (ulja ili plina) dostiže specifično opterećenje ložišta i do 8000 kW/m<sup>3</sup>.

Presjek ložišta  $S_k$  (m<sup>2</sup>) ocjenjujemo na osnovu »površinskog toplinskog opterećenja presjeka ložišta«

$$(\Phi + \Phi_Z)/S_k = B(H_i + Z h_{mZ})/S_k$$

koji iznosi za ložišta na ugljenu prašinu 2300 ... 2800 kW/m<sup>2</sup>.

**Izmjenjivač topline** s dimnih plinova na vodu odnosno paru izveden je kao sistem cijevi.

Vodu odn. paru zagrijavamo pri konstantnom tlaku  $p$  koji održavamo regulacijom loženja, pri čemu napojne pumpe napajaju kotao protokom vode  $q$  (kg/s).

S obzirom na različite uvjete prijenosa topline na vodu odn. paru, razlikujemo slijedeće dijelove izmjenjivača topline:

a) *Zagrijač vode* (ekonomajzer) u kojem se napojna voda temperature  $T_v$  i specifične entalpije  $h_v$  zagrijava do temperature  $T_a$ , pri čemu joj naraste specifična entalpija na  $h_a$ . Da se voda ne bi isparavala već u zagrijaču, mora temperatura  $T_a$  biti niža od temperature zasićenja  $T_s$  (koja odgovara tlaku  $p$  u parnom kotlu),  $T_a < T_s$ . Zato je također  $h_a < h'$ . (Specifična entalpija  $h'$  određena je tlakom  $p$ .)

U zagrijaču vode dovodimo vodi toplinski tok  $\Phi_a$

$$\Phi_a = q(h_a - h_v)$$

b) *Isparivač* je namijenjen daljnjem zagrijavanju vode do temperature zasićenja  $T_s$  i njenom isparivanju. U isparivaču dobivamo mokru paru suhoće  $x = 0,95 \dots 0,96$  i entalpije  $h_b = h' + x(h'' - h')$ . (Specifične entalpije  $h'$  i  $h''$  određene su tlakom  $p$ .)

U isparivaču dovodimo vodi-pari toplinski tok  $\Phi_b$

$$\Phi_b = q(h_b - h_a)$$

c) *Pregrijač pare* služi za sušenje pare do potpune suhoće  $x = 1$  (suho zasićena para) i njenom pregrijavanju do temperature pregrijavanja  $T$ , pri čemu se pari poveća specifična entalpija na vrijednost  $h$  (koja je određena tlakom  $p$  i temperaturom  $T$ ).

V pregrijaču dovodimo pari toplinski tok  $\Phi_c$

$$\Phi_c = q(h - h_b)$$

Suprotno načelu protustrujnog izmjenjivača topline dimni plinovi predaju toplinu najprije isparivaču (budući da voda koja se isparava dovoljno hladi cijevne stijenke pa ih možemo smjestiti u područje najviših temperatura), zatim pregrijaču (u kojemu pregrijana para — plin slabo hladi cijevne stijenke pa ih stoga ne možemo smjestiti u područje najviših temperatura) i konačno zagrijaču vode. U parnih kotlova koji upotrebljavaju zagrijan zrak za izgaranje (ložišta na ugljenu prašinu, ulje ili plin) smješten je na kraju puta dimnih plinova *zagrijač zraka* (koji vraća toplinski tok  $\Phi_z$  u ložište).

Zbog odvođenja toplinskih tokova iz dimnih plinova na isparivač i pregrijač pare te na zagrijač vode i zraka, dimni se plinovi postupno ohlađuju. Konačna temperatura dimnih plinova, osobito ako sadrže mnogo vlage, ne smije biti manja od  $140^\circ\text{C}$  (jer bi se kondenzacijom vlage na hladnim cijevnim stijenkama stvarale kiseline koje bi ih najedale).

Proračun veličine ogrjevnih površina pojedinih dijelova izmjenjivača topline — vidi str. 221.

**Kapacitet (snaga) parnog kotla** određen je toplinskim tokom koji u svim dijelovima izmjenjivača topline dovodimo vodi-pari

$$\Phi_k = \Phi_a + \Phi_b + \Phi_c = q(h - h_v)$$

Osim toplinskog toka  $\Phi_k$  upotrebljava se za oznaku kapaciteta parnih kotlova također:

a) proizvodnja pare  $q$  (što nije točno jer uz istu proizvodnju pare  $q$  toplinski tok  $\Phi_k$  ovisi još i o razlici entalpija  $h - h_v$ );

b) ogrjevna površina izmjenjivača  $A$  (što je netočno jer toplinski tok  $\Phi_k$  uz inače jednake ogrjevnice površine ovisi i o koeficijentu prolaza topline  $k$  i o prosječnoj temperaturnoj razlici  $\Delta T$ , vidi str. 221).

#### Korisnost parnoga kotla

Toplinski tok  $\Phi_k$ , koji prelazi na vodu-paru bit će manji od toplinskog toka  $\Phi$  koji dolazi u ložište s gorivom ( $\Phi_k < \Phi$ ), i to zbog gubitaka u parnom kotlu (ložištu i izmjenjivaču topline), tj. zbog

neizgorjelih ostataka goriva u pepelu	do 5%,
letećeg koksa i čađe	do 8%,
neizgorjelih plinova — CO, CH <sub>4</sub> itd.	do 1%,
topline dimnih plinova	8...11%,
zračenja i prijenosa topline na okolinu	do 12%.

Korisnost parnog kotla  $\eta_k$  je omjer toplinskih tokova  $\Phi_k$  i  $\Phi$

$$\eta_k = \Phi_k / \Phi = q(h - h_v) / B H_1$$

a iznosi za razne kotlove:

za manje (s ravnim roštiljem)	$\eta_k = 0,72 \dots 0,78$
za veće (s mehaničkim roštiljem)	$\eta_k = 0,77 \dots 0,84$
za najveće (pri loženju ugljenom prašinom, uljem ili plinom)	$\eta_k = 0,83 \dots 0,91$

Krivulja ovisnosti korisnosti o opterećenju teče u širokom pojasu opterećenja vrlo položito. (Ovdje nisu uračunati dodatni gubici zbog pogonskih prekida djelovanja kotla.)

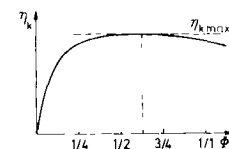
Najveću korisnost  $\eta_{k \max}$  postiže pri najvećem opterećenju, tj. pri  $2/3 \dots 3/4$  nazivnog kapaciteta kotla.

**Energija pare** s obzirom na temperaturu okoline  $T_0$  proistječe — osim iz toplinskog toka  $\Phi_k$  — još i iz toplinskog toka  $\Phi_0$  što ga je napojna voda primila prije ulaza u parni kotao iz drugih izvora koji su joj povećali specifičnu entalpiju od  $h_0$  pri temperaturi  $T_0$  na  $h_v$  pri temperaturi  $T_v$

$$\Phi_0 = q(h_v - h_0)$$

Ukupna energija pare na izlazu iz kotla izražena je dakle toplinskim tokom

$$\Phi_0 + \Phi_k = q(h - h_0)$$



### Napojne pumpe

Svaki parni kotao mora imati najmanje dva uređaja za napajanje koji dobivaju pogonsku energiju iz međusobno nezavisnih izvora (npr. elektromotor i parni stroj, benzinski ili dizelski motor i sl.).

Za napajanje služe ponajviše stapne pumpe i turbopumpe.

Kapacitet napojnih pumpi odabire se tako da bi pri kvaru na najvećoj pumpi sve preostale dobavljale protok  $q_p$  koji je veći od najvećeg protoka  $q$  vode-pare kroz parni kotao, i to:

$q_p = 1,6q$  – ako je parni kotao bez automatske regulacije, a protok je  $q \leq 30 \text{ t/h}$ ,

$q_p = 1,25q$  – ako parni kotao ima automatsku regulaciju, a protok je  $q > 30 \text{ t/h}$  ili je pogon neposredno s glavnog parnog stroja.

Potrebna snaga za pogon napojnih pumpi iznosi:

$$\begin{aligned} \text{– teoretska} \quad P_0 &= q_p \left[ \frac{(p - p_n) + \Delta p}{\rho} + gh_g \right] \\ \text{– efektivna} \quad P &= \frac{P_0}{\eta_p} \end{aligned}$$

gdje znači:  $p$  – tlak u kotlu,  $p_n$  – tlak u napojnom spremniku,  $\Delta p$  – protočne gubitke,  $\rho$  – gustoću vode pri temperaturi napajanja  $T_v$ ,  $h_g$  – geodetsku visinu razine vode u kotlu nad razinom u napojnom rezervoaru,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ,  $\eta_p$  – korisnost pumpe.

Protočne gubitke  $\Delta p$  ocjenjujemo s:

0,5 ... 1 bar – za zagrijač vode (ekonomajzer),

2,5 bar – za napojni regulator,

2 ... 3 bar – za otpore u cjevovodima

Korisnost napojnih pumpi  $\eta_p$  iznosi:

$\eta_p = 0,9 \dots 0,97$  – kod stapnih pumpi s neposrednim djelovanjem pogonskog stroja na stapjicu pumpe,

$\eta_p = 0,8 \dots 0,9$  – kod normalnih stapnih pumpi,

$\eta_p = 0,6 \dots 0,9$  – kod turbopumpi.

\*

Za visokotlačne parne kotlove, kod kojih moramo uzeti u obzir povećanje gustoće vode pri napajanju, računamo teoretsku snagu pumpe pomoću entalpijske razlike vode

$$P_0 = q_p (h_v - h_t)$$

gdje znače:  $h_t$  – specifičnu entalpiju vode pri atmosferskom tlaku  $p_a$  i temperaturi ispred napojne pumpe,  $h_v$  – specifičnu entalpiju vode nakon izentropske kompresije u pumpi.

### RADNA SPOSOBNOST PARE

Energija pare je upotrebljiva u cijelosti samo kao toplina koju možemo prenositi s jednog tijela na drugo (grijanje). Međutim, čitava energija pare nije na raspolaganju za pretvorbu u mehanički rad.

**Eksergija pare** je radna sposobnost pare (sposobnost za pretvorbu njezine unutarnje energije u mehanički rad) s obzirom na temperaturu okoline  $T_0$ .

Specifična eksergija pare na izlazu iz parnog kotla iznosi

$$e = (h - h_0) - b \quad b = T_0(s - s_0)$$

gdje su:  $b$  – specifična anergija pare;  $h$ ,  $s$  – specifična entalpija odn. specifična entropija pregrijane pare;  $h_0$ ,  $s_0$  – specifična entalpija odn. specifična entropija vode pri stanju okoline.

Specifična eksergija pare  $e$  pokazuje koji bi se dio energije pare mogao teoretski pretvoriti u mehanički rad s obzirom na temperaturu okoline  $T_0$ .

**Raspoloživi pad entalpije  $\Delta h_d$**

Eksergija pare međutim nije u cijelosti raspoloživa za pretvorbu u mehanički rad iz slijedećih razloga:

1. U cjevovodu od parnog kotla do parnog stroja para se ohlađuje s temperature  $T$  na  $T_1$  ( $T - T_1 = 5 \dots 10 \text{ K}$ ) i prigušuje s tlaka  $p$  na  $p_1$  (uz brzinu protjecanja  $30 \dots 50 \text{ m/s}$  iznosi  $p - p_1$ ; pri srednjim tlakovima  $2 \dots 3 \text{ bar}$ , pri najvišim tlakovima  $10 \dots 15 \text{ bar}$ ). Temperatura  $T_1$  i tlak  $p_1$  određuju specifičnu entalpiju  $h_1$  pare ispred parnog stroja;  $h_1 < h$ .

2. Na kraju izentropske ekspanzije pare ne postignemo temperaturu okoline  $T_0$ , nego temperaturu  $T_2$  koja je viša  $T_2 > T_0$ , i to:

a) kod kondenzacionih je naprava temperaturna razlika  $T_2 - T_0$  malena ( $t_2 \approx 28 \dots 42^\circ \text{C}$ ) i služi samo za prijenos topline s pare na rashladnu vodu (temperaturi  $T_2$  odgovara u kondenzatoru tlak  $p_2$  od  $0,04 \dots 0,08 \text{ bar}$ ),

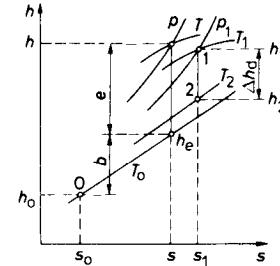
b) kod ispušnih je strojeva temperatura  $T_2$  znatno viša ( $t_2 = 102 \dots 104^\circ \text{C}$ ) i odgovara konačnom tlaku  $p_2$  koji je viši od atmosferskoga za otpore trenja u ispušnim vodovima ( $p_2 = 1,1 \dots 1,2 \text{ bar}$ ),

c) kod protutlačnih je strojeva temperatura  $T_2$  još viša ( $t_2 = 120 \dots 180^\circ \text{C}$ ) te joj odgovaraju i viši konačni tlakovi ( $p_2 = 2 \dots 10 \text{ bar}$ ).

Konačna je specifična entalpija pare  $h_2$  stoga viša.

Raspoloživi pad entalpije  $\Delta h_d$  dan je razlikom specifične entalpije  $h_1$ , koja je određena početnim stanjem ( $p_1, T_1$ ), i konačne specifične entalpije  $h_2$ , koja je određena izentropom i temperaturom  $T_2$  (tlakom  $p_2$ ):

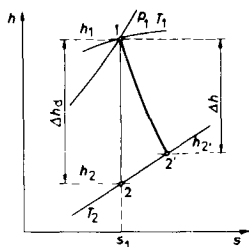
$$\Delta h_d = h_1 - h_2 < e$$



## PARNI STROJEVI

Parni strojevi su pogonski strojevi koji upotrebljavaju vodenu paru kao neposredno pogonsko sredstvo; to su stapni strojevi i parne turbine. (Iznimno su parni strojevi građeni i za pogon drugim parama, npr. živinim.)

**Snaga parnih strojeva** proizlazi iz protoka pare  $q$  i raspoloživog entalpijskog pada  $\Delta h_d$  (vidi str. 227).



Teoretska snaga  $P_0$  iznosi

$$P_0 = q \Delta h_d = q(h_1 - h_2)$$

Stvarni entalpijski pad  $\Delta h$  manji je od raspoloživoga zbog unutarnjih gubitaka u stroju (prigušivanje pare, toplinska razmjena između pare i stijenki stroja, nepotpuna ekspanzija itd.)

$$\Delta h = h_1 - h_{2'} < \Delta h_d$$

gdje je  $h_{2'}$  stvarna specifična entalpija pare na izlazu iz stroja.

Unutarnja korisnost stroja

$$\eta_i = \Delta h / \Delta h_d$$

pokazuje koji dio raspoloživoga entalpijskog pada parni stroj stvarno iskorištava i time označuje stupanj valjanosti stroja.

Unutarnja snaga stroja  $P_i$  iznosi

$$P_i = q \Delta h = \eta_i q \Delta h_d = \eta_i P_0$$

**Efektivna snaga** stroja  $P$  (na pogonskoj osovini) manja je zbog vanjskih gubitaka stroja (mehaničkih gubitaka zbog trenja u ležajima i zglobovima stroja, pogona regulatora itd.) i iznosi

$$P = \eta_m P_i = \eta P_0 = \eta q \Delta h_d$$

gdje su:  $\eta_m$  — mehanička korisnost stroja  $\eta$  — cjelokupna korisnost stroja

$$\eta = \eta_i \eta_m$$

\*

Valjanost se stroja još gdje kada u praksi izražava — umjesto pravilno korisnošću — »jediničnim potroškom pare«, i to s obzirom na unutarnju snagu

$$q/P_i = 1/(\eta_i \cdot \Delta h_d)$$

ili s obzirom na efektivnu snagu

$$q/P = 1/(\eta \cdot \Delta h_d)$$

što međutim ne pokazuje stvarne valjanosti stroja. Jedinični potrošak pare nije naime ovisan samo o korisnosti  $\eta_i$  odnosno  $\eta$ , već i o raspoloživom entalpijskom padu  $\Delta h_d$ , a on ne ovisi o stroju.

## Stapni parni strojevi

Stapni parni strojevi bili su prvi i stoga posebno značajni pogonski toplinski strojevi. Danas su stabilne parne strojeve potisnule parne turbine, dok su brodske i lokomotivske parne strojeve zamijenili naročito dizelovi motori, a na željeznici još i električna vuča. Iznimka su neke novije izvedbe brzih »parnih motora«.

Indicirana snaga  $P_{ind}$  stroja iznosi

$$P_{ind} = (d^2 - d_b^2) \frac{\pi}{4} p_{med} s 2 i n$$

gdje znače:  $d$  — promjer parnog cilindra,  $d_b$  — promjer stapajice (u radnom prostoru cilindra),  $p_{med}$  — prosječni indicirani tlak u cilindru,  $s$  — stapaj,  $i$  — broj cilindara (dvoradnih),  $n$  — brzinu vrtnje.

Zanemarimo li gubitak topline cilindra na okolinu i gubitke pare zbog propustnosti stapa i razvodnika, indicirana snaga  $P_{ind}$  približno je jednaka unutarnjoj snazi  $P_i$

$$P_{ind} \approx P_i$$

**Prosječni indicirani tlak** u cilindru  $p_{med}$  određujemo iz indikatorskog dijagrama koji dobivamo indiciranjem. On ovisi u prvom redu o ulaznom tlaku pare  $p_1$ , punjenju  $\varepsilon$  (dijelu stapaja za vrijeme kojega ulazi para u cilindar) i brzini vrtnje  $n$ .

Prosječni tlak u cilindru izražavamo kao dio ulaznog tlaka

$$p_{med} = \alpha p_1 \quad \alpha < 1$$

Koeficijent  $\alpha$  ovisi o punjenju  $\varepsilon$  i brzini vrtnje  $n$  te raste s većim punjenjem ( $\varepsilon = 0,1 \dots 0,8$ ) i manjom brzinom vrtnje  $n$ , a iznosi:

$$\alpha \approx 0,25 \dots 0,75$$

Trošenje stapnih prstenova smanjujemo ograničavanjem »prosječne stapne brzine  $v_{med} = 2 s n$ .

Brzina vrtnje  $n$  ograničena je inercijom masa mehanizama u translatornom gibanju, tj. stapa, stapajice, križne glave i dijela ojnice (oko 2/5).

### Korisnosti

Indicirana korisnost  $\eta_{ind} = P_{ind}/P_0$  ovisi u prvom redu o punjenju  $\varepsilon$  i brzini  $n$ , a približno je jednaka unutarnjoj korisnosti:  $\eta_{ind} \approx \eta_i$ .

Mehanička korisnost  $\eta_m$  također ovisi o brzini vrtnje  $n$ . Najbolje vrijednosti ukupne korisnosti  $\eta = \eta_i \eta_m$  ispušnih stapnih strojeva na pregrijanu paru iznose

$$\eta = 0,55 \dots 0,75$$

Manje se vrijednosti odnose na male, a veće na velike strojeve.

### Parne turbine

Parne su turbine brzi rotacijski strojevi koji rade povoljno pri konstantnoj brzini vrtnje. Stoga su idealni strojevi za pogon električnih generatora.

U usporedbi sa stapnim parnim strojevima parne turbine imaju stanovite prednosti, u prvom redu jednoličniji pogon i veću mogućnost izvedbe od najmanjih do najvećih jedinica (0,5 ... 200 000 kW i više). Izpušna je para u njih praktički bez ulja. Kod manjih izvedbi, npr. kao pomoćni strojevi, parne turbine imaju doduše manju korisnost nego stapni strojevi, ali su zato jednostavnije i lakše te i u tom slučaju dolaze u obzir. Parne turbine nisu prikladne za rad pri veoma promjenljivim brzinama vrtnje. Osim toga turbina se može okretati samo u jednom smislu.

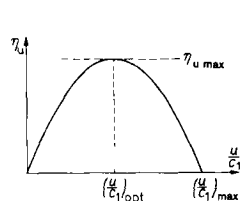
U parnim se turbinama toplinska energija pare (raspoloživi entalpijski pad  $\Delta h_d$ ) pretvara u kinetičku energiju parnog mlaza koji se – djelovanjem na pokretne lopatice rotora – pretvara u mehanički rad.

Apsolutne brzine mlaza –  $c_1$  na ulazu u rotorske lopatice i  $c_2$  na izlazu iz njih – ovisne su od raspoloživog entalpijskog pada u staroru samom (stalnotlačno djelovanje – akcijsko) ili u statoru i rotoru (pretlačno djelovanje – reakcijsko).

Snaga turbine na obodu lopatičnog kola  $P_u$  je

$$P_u = q u (c_1 \cos \alpha_1 + c_2 \cos \alpha_2)$$

gdje znače:  $q$  – protok parne mase,  $u$  – obodnu brzinu kola (lopatice),  $\alpha_1$  – kut između apsolutne ulazne brzine i obodne brzine,  $\alpha_2$  – kut između apsolutne izlazne brzine i obodne brzine.



Obodna brzina  $u$  određena je promjerom lopatičnog kola  $d$  i brzinom vrtnje  $n$

$$u = d \pi n$$

Korisnost na obodu lopatičnog kola  $\eta_u$  jest omjer snage na obodu  $P_u$  i teoretske snage  $P_0$  (vidi str. 228); ona ovisi o omjeru obodne brzine i apsolutne ulazne brzine  $u/c_1$

$$\eta_u = P_u/P_0 = f(u/c_1)$$

Najveću korisnost  $\eta_{u \max}$  dobivamo pri optimalnom omjeru  $(u/c_1)_{\text{opt}}$  koji iznosi:

kod akcijskih stupnjeva	0,4 ... 0,5
kod reakcijskih stupnjeva	0,6 ... 0,7

Turbina radi dakle s dobrom korisnošću samo u uskom području obodnih brzina  $u$  odnosno brzina vrtnje  $n$ . Pri naglom rasterećenju mogla bi da pobjegne do brzine koja odgovara omjeru  $(u/c_1)_{\text{max}} \approx 2(u/c_1)_{\text{opt}}$  (što regulator mora spriječiti).

S obzirom na čvrstoću turbinskog rotora brzine vrtnje  $n$  ograničene su maksimalnim obodnim brzinama  $u$  koje iznose 120 ... 400 m/s, no veće se vrijednosti mogu postići samo najboljim izvedbama (oblik kola, materijal!).

Obodnu brzinu smanjujemo stupnjevanjem brzine u više rotorskih vijenaca lopatica (Curtisovo kolo) ili izvedbom s više akcijskih ili reakcijskih stupnjeva. Izvedene turbine većinom su kombinacije osnovnih tipova.

Unutarnja snaga turbine  $P_i$  iznosi

$$P_i = q \Delta h$$

gdje je  $\Delta h$  – stvarni entalpijski pad (vidi str. 228).

Unutarnja snaga  $P_i$  manja je od obodne  $P_u$  za unutarnje gubitke trenja i ventilacije:  $P_i < P_u$ . Budući da su ti gubici neznatni, uzimamo da je unutarnja snaga  $P_i$  približno jednaka obodnoj snazi  $P_u$ :  $P_i \approx P_u$ .

Unutarnja korisnost  $\eta_i$  iznosi

$$\eta_i = P_i/P_0 \approx \eta_u$$

Najveće vrijednosti unutarnje korisnosti  $\eta_i$ , mehaničke korisnosti  $\eta_m$  i cjelokupne korisnosti  $\eta = \eta_i \eta_m$  parnih turbina iznose:

Vrsta turbine	$\eta_i$	$\eta_m$	$\eta$
velike, mnogo stupnjeva	0,80 ... 0,86	0,985	0,79 ... 0,85
srednje	0,72 ... 0,78	0,98	0,70 ... 0,76
male, nekoliko stupnjeva	0,60 ... 0,70	0,97	0,58 ... 0,68
osobito male	–	–	< 0,50

Najuobičajenije vrijednosti tlaka  $p$  i temperature  $T$  pare ispred turbine:

snaga	mala	srednja	velika
$p$ (bar)	15 ... 30	40 ... 70	100 ... 200
$T$ (°C)	320 ... 450	450 ... 500	500 ... 600

Vrste turbina:

**Kondenzacijske** parne turbine iskorištavaju sav entalpijski pad (od tlaka svježe pare do kondenzacijskog tlaka). Imaju velik broj stupnjeva (visokotlačnih, srednjetačnih i niskotlačnih) koji mogu biti raspoređeni u nekoliko kućišta pa i na više osovine. Upotrebljavaju se u parnim termoelektranama.

Pri regenerativnom zagrijavanju napojne vode (str. 236) upotrebljavaju se kondenzacijske parne turbine s odvojcima za paru.

**Industrijske** parne turbine su turbine prilagođene posebnim potrebama, npr.:

– protutlačne turbine koje iskorištavaju samo gornji dio entalpijskog pada, imaju manji broj stupnjeva (visokotlačnih i srednjetačnih) pa su razmjerno manje. (Upotrebljavaju se također za toplane.);

– turbine na otpadnu paru (iz drugih izvora) imaju samo niskotlačne stupnjeve.



## KONDENZACIJA

Iz parnog stroja otječe protok  $q$  većinom već mokre pare ( $x > 0,9$ ) tlaka  $p_2$  i odgovarajuće temperature  $T_2$  te specifične entalpije  $h_2$ . U kondenzatoru predaje para pri konstantnom tlaku  $p_2$  toplinski tok  $\Phi$ , zbog čega se potpuno pretvara u kapljevinu (kondenzira) i obično još nešto pothladi do temperature kondenzata  $T_k$  ( $< T_2$ ) i entalpije  $h_k$ . ( $T_2 - T_k = 0 \dots 5$  K).

Zanemarimo li neznatan neposredni prijelaz topline s kondenzatora na okolinu, prelazi toplinski tok  $\Phi$  na rashladnu vodu, koja se pri protoku  $q_v$  ugrijava od temperature  $T_{v1}$  na  $T_{v2}$ . Ako je  $c$  specifični toplinski kapacitet vode, onda je

$$\Phi = q(h_2' - h_k) = q_v c (T_{v2} - T_{v1})$$

U površinskih kondenzatora toplina mora prolaziti kroz stijenke, zbog čega rashladna voda mora uvijek biti hladnija od pare:  $T_{v2} < T_k$ ; u kondenzatora na miješanje para i rashladna voda su u neposrednom dodiru pa se konačne temperature izjednačuju:  $T_{v2} = T_k$ .

Ulazna temperatura rashladne vode  $T_{v1}$  iznosi:

- pri dovođenju vode neposredno iz okoline  
 $T_{v1}$   
 – iz rijeke, jezera ili mora  $0 \dots 25$  °C  
 – iz bunara  $5 \dots 15$  °C
- pri dovođenju vode iz rashladnog tornja  $20 \dots 35$  °C

Da bismo postigli što veći podtlak u kondenzatoru, dopuštamo samo neznatno zagrijavanje rashladne vode u kondenzatoru:

$$\Delta T = T_{v2} - T_{v1} = 5 \dots 10 \text{ K}$$

Zbog toga je potrebna vrlo velika količina rashladne vode, a njezin protok  $q_v$  zavisi od protoka pare  $q$  i iznosi

- u površinskih kondenzatora  $q_v = (50 \dots 60)q$
- u kondenzatora na miješanje  $q_v = (25 \dots 30)q$

Ovisno o temperaturi rashladne vode postićemo u kondenzatoru tlak

- s vodom iz okoline  $0,04 \dots 0,05$  bar
- s vodom iz rashladnog tornja  $0,07 \dots 0,08$  bar

U površinskom kondenzatoru, iako je rashladna voda obične prirodne čistoće, dobivamo potpuno čist kondenzat (destilacija!) koji je vrlo prikladan za napajanje parnih kotlova. U kondenzatoru na miješanje kondenzat se miješa s rashladnom vodom pa čistoća takve mješavine zavisi od čistoće rashladne vode. Upotrebljavamo li tu mješavinu za napajanje parnih kotlova, mora rashladna voda biti u odgovarajućoj mjeri očišćena (kemijski omekšana).

Zrak u pari (koji se u kondenzatoru ne kondenzira) isisavamo iz kondenzatora posebnim zračnim pumpama ili ejektorima (vodenim ili parnim mlazom).

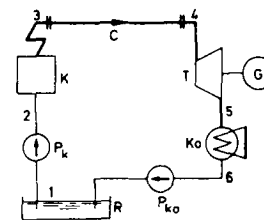
Proračun prolazne površine kondenzatora vidi na str. 221. Pri brzini rashladne vode u cijevima  $v = 1,5 \dots 2,5$  m/s iznosi koeficijent prolaza topline  $k = 2900 \dots 4100$  W/m<sup>2</sup> K. (Prosječno možemo za protok pare  $q = 1$  kg/s računati s površinom od  $75 \dots 100$  m<sup>2</sup>.)

## PARNA POSTROJENJA

**Kondenzacijska parna postrojenja** namijenjena su isključivo za proizvodnju mehaničke energije, većinom za pogon električnih generatora u parnim termoelektranama.

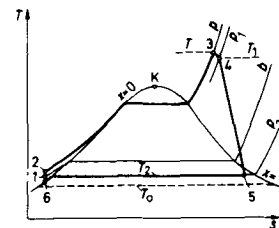
Jednostavno kondenzacijsko parno postrojenje s kružnim protokom vode-pare  $q$  prikazano je u sljedećoj shemi:

- R — spremnik napojne vode
- P<sub>k</sub> — napojna pumpa
- K — parni kotao
- C — parni cjevovod
- T — parni stroj (turbina)
- G — električni generator
- Ko — kondenzator
- P<sub>ko</sub> — kondenzatna pumpa



Voda-para na kružnom putu mijenja svoje toplinsko stanje. Karakteristična stanja različitih toplinskih stanja označena su u shemi brojevima od 1 do 6, a tako i u Ts-dijagramu:

Stanje na mjestu	Temperatura	Tlak	Specifična entalpija
1	$T_r$	$p_a$	$h_r$
2	$T_v$	$p$	$h_v$
3	$T$	$p$	$h$
4	$T_1$	$p_1$	$h_1$
5	$T_2$	$p_2$	$h_2'$
6	$T_k$	$p_2$	$h_k$



Promjene specifične entalpije vode-pare zbog promjene stanja:

- 1—2 u napojnoj pumpi za  $+(h_v - h_r)$
- 2—3 u parnom kotlu za  $+(h - h_v)$
- 3—4 u parnom vodu za  $-(h - h_1)$
- 4—5 u parnom stroju (turbini) za  $-(h_1 - h_2')$
- 5—6 u kondenzatoru za  $-(h_2' - h_k)$
- 6—1 u kondenzatnoj pumpi za  $+(h_r - h_k)$

Za jednostavno kondenzacijsko parno postrojenje možemo obično uzeti da je

$$T_k \approx T_r \approx T_v \quad \text{i} \quad h_k \approx h_r \approx h_v$$

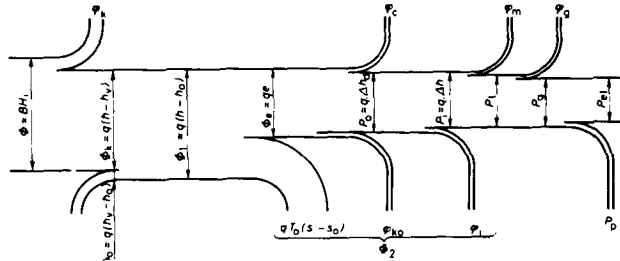
pa su u tom slučaju točke 6, 1 i 2 u Ts-dijagramu gotovo identične.

Kod kratkih parnih vodova između parnog kotla i parnog stroja (turbine) također je

$$T \approx T_1 \quad \text{i} \quad p \approx p_1 \quad \text{i} \quad \text{zato} \quad h \approx h_1$$

pa su točke 3 i 4 također gotovo identične.

Shema energetskog toka kroz parno postrojenje u termoelektrani



S ugljenom dovodimo u parni kotao toplinski tok  $\Phi$ . Zbog gubitaka u kotlu  $\varphi_k$  na napojnu vodu prelazi samo toplinski tok  $\Phi_k$ . Tome se pridružuje toplinski tok  $\Phi_0$  što ga dovodimo s toplom napojnom vodom, jer je njezina temperatura  $T_v$  obično viša od temperature okoline  $T_0$  ( $T_v > T_0$ ), i to stoga što je temperatura kondenzata koji pritječe u spremnik napojne vode viša od temperature okoline (pogotovu pri hlađenju kondenzatora vodom iz rashladnog tornja). Osim toga često se iskorištava još i otpadna toplota ispušne pare iz pomoćnih parnih strojeva itd. za zagrijavanje napojne vode.

Para donosi iz parnog kotla toplinski tok

$$\Phi_1 = \Phi_k + \Phi_0 = q(h - h_0)$$

Od toga toplinskog toka za pretvorbu u rad sposoban je samo eksergijski tok

$$\Phi_e = qe = q(h - h_e) = \Phi_1 - qT_0(s - s_0)$$

Za pretvorbu u rad ostaje neiskorišten još i eksergijski gubitak zbog gubitaka u parnom vodu

$$\varphi_c = q(h - h_1)$$

i gubitak zbog kondenzacije pare pri temperaturi  $T_2$ , koja je viša od temperature okoline  $T_0$  ( $T_2 > T_0$ )

$$\varphi_{k0} = q(h_2 - h_e)$$

Preostalom raspoloživom padu entalpije  $\Delta h_d = h_1 - h_2$  odgovarajući toplinski tok određuje teoretsku snagu stroja

$$\Phi_d = \Phi_e - (\varphi_c + \varphi_{k0}) = q\Delta h_d = P_0$$

Unutarnji gubici u stroju

$$\varphi_i = q(h_2 - h_1)$$

smanjuju toplinski tok na  $\Phi_i$  i određuje unutarnju snagu stroja  $P_i$

$$\Phi_i = \Phi_d - \varphi_i = \Phi_e - (\varphi_c + \varphi_{k0} + \varphi_i) = q\Delta h = P_i$$

Zbog dodatnih mehaničkih gubitaka u parnom stroju  $\varphi_m$  smanjuje se unutarnja snaga parnog stroja  $P_i$  na efektivnu (stvarnu) snagu na osovini stroja (turbine)  $P_t$ , a zbog gubitaka u električnom generatoru  $\varphi_g$  snaga generatora  $P_g$  još je manja ( $P_g < P_t$ ).

Vlastiti potrošak električne energije u centrali  $P_p$  služi za pogon elektromotora za dizalice i transportne naprave (transport ugljena i pepela), za ventilatore, pumpe itd., dalje za rasvjetu i grijanje te napajanje različitih električnih uređaja u centrali. Za taj potrošak, koji iznosi prosječno približno 8...10% snage generatora  $P_g$ , smanjuje se snaga  $P_{el}$  što je centrala predaje mreži.

#### Korisnost

$$\text{parnog kotla} \quad \eta_k = \Phi_k / \Phi = q(h - h_v) / BH_i$$

#### termička

$$\begin{aligned} \text{— eksergije} \quad & \eta_e = e / (h - h_0) \\ \text{— raspoloživog pada} \\ & \text{entalpije} \quad \eta_d = \Delta h_d / e \\ \text{— ukupna} \quad & \eta_{th} = \eta_e \eta_d = \Delta h_d / (h - h_0) \end{aligned}$$

#### parnog stroja

$$\begin{aligned} \text{— unutarnja} \quad & \eta_i = P_i / P_0 = \Delta h / \Delta h_d \\ \text{— mehanička} \quad & \eta_m = P_t / P_i \\ \text{— ukupna (turbine)} \quad & \eta_t = \eta_i \eta_m = P_t / q \Delta h_d \end{aligned}$$

$$\text{električnoga generatora} \quad \eta_g = P_g / P_t$$

#### Cjelokupna korisnost parne centrale

$$\eta_{tot} = \left( \eta_k + \frac{\Phi_0}{\Phi} \right) \eta_{th} \cdot \eta_t \cdot \eta_g \cdot \frac{P_{el}}{P_g} = \frac{P_{el}}{BH_i}$$

Kad je temperatura napojne vode  $T_v$  približno jednaka temperaturi okoline  $T_0$ , tako da njihovu razliku možemo zanemariti ( $T_v \approx T_0$ ), onda vrijedi

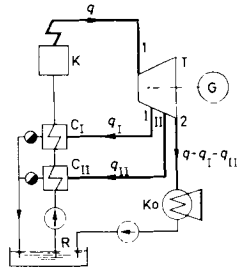
$$h_v \approx h_0 \quad \text{i} \quad \Phi_0 = 0$$

pa je

$$\eta_{tot} = \eta_k \cdot \eta_{th} \cdot \eta_t \cdot \eta_g \cdot \frac{P_{el}}{P_g} = \frac{P_{el}}{BH_i}$$

Najlošija je korisnost eksergije  $\eta_e$ . Da bi je popravili, težimo što većoj eksergiji pare, koju postizemo što višom temperaturom pare i odgovarajućim visokim tlakom. Temperature su vrlo ograničene (otpornošću stijeni pregrijača) i iznose 360...560 (...650) °C, dok su tlakovi gotovo neograničeni i iznose 12...160 (...300 i više) bara.

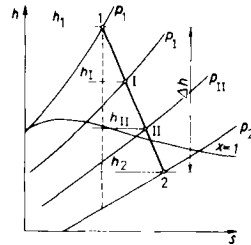
### Regenerativno grijanje napojne vode



Unutarnja snaga turbine smanjila se zbog oduzimanja ogrjevne pare protoka  $q_1$  i  $q_{11}$  te iznosi

$$P_i = q\Delta h - [q_1(h_1 - h_2) + q_{11}(h_{11} - h_2)]$$

gdje su specifične entalpije pare:  $h_1$  – na odvojku I,  $h_{11}$  – na odvojku II,  $h_2$  – na izlazu iz turbine u kondenzator.



U zagrijačima  $C_1$  i  $C_{11}$  (te s kondenzatom što ga uvodimo u rezervoar napojne vode) prenosi ogrjevna para na napojnu vodu toplinski tok

$$\Phi_g = q_1(h_1 - h_r) + q_{11}(h_{11} - h_r)$$

gdje je  $h_r$  – specifična entalpija napojne vode u spremniku R.

Toplinskom toku  $\Phi_0$ , što ga s već zagrijanom napojnom vodom dovodimo u parni kotao (vidi shemu energijskog toga na str. 234), prućdružuje se još toplinski tok  $\Phi_g$ .

Budući da je  $h_r \ll h_2$ , bit će smanjenje unutarnje snage turbine znatno manje od povećanja topline koju regenerativno dovodimo napojnoj vodi. Zato se cjelokupna korisnost povećava i to prosječno za 6 do 12%.

Pri regenerativnom zagrijavanju napojne vode, voda se u jednom stupnju zagrijava za približno 40 K, za što se potroši oko 5...10% pare, koja prilazi

turbini. (Pri peterostepenom regenerativnom zagrijavanju dolazi do kondenzatora samo još 75...50% pare koja prilazi turbini.) Za jednaku snagu turbine je stoga potreban osjetno veći dotok svježje pare ( $q$ ) nego pri turbini bez regenerativnog zagrijavanja.

### Međupregijavanje

Pri velikoj ekspanziji s visokoga početnog tlaka i temperature do vrlo niskog tlaka u kondenzatoru prešla bi para pri kraju ekspanzije u veoma vlažno područje ( $x < 0,9$ ), što bi u niskotlačnim stupnjevima parnih turbina izazvalo nedopuštenu eroziju lopatica. Da to spriječimo, pregrijavamo paru u međupregijaču (dimnim plinovima parnog kotla ili svježom vrućom parom), tako da u svakom slučaju ostane njezina suhoća  $x \geq 0,9$ .

Za međupregijavanje treba nam dodatni toplinski tok

$$\Phi_{2,3} = q(h_3 - h_2)$$

pri čemu je  $q$  – protok pare pri ulazu u međupregijač.

U obim turbina  $T_1$  i  $T_2$  dobivamo pri jednakom protoku pare  $q$  (tj. bez odcijepa) unutarnju snagu

$$P_i = q[(h_1 - h_2) + (h_3 - h_4)]$$

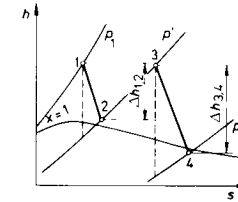
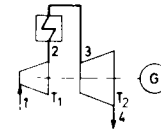
Međupregijavanje pare je uvijek združeno i s regenerativnim zagrijavanjem napojne vode. U tom je slučaju prvi odvod pare u točki stanja 2, a slijedeći se odvodi smještaju na drugu turbinu ( $T_2$ ).

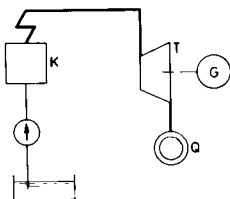
### Proizvodnja električne i toplinske energije (toplane)

U kondenzacijskom parnom postrojenju odvodimo s rashladnom vodom znatan toplinski tok

$$\Phi_2 = q(h_2 - h_0)$$

koji se sastoji od dijela toplinskog toka  $qT_0(s - s_0)$  koji se ne da pretvoriti u rad, od eksergijskih gubitaka  $q(e - \Delta h_d)$  i od unutarnjih gubitaka parnog stroja  $q(\Delta h_d - \Delta h)$ ; vidi str. 234. Taj se toplinski tok  $\Phi_2$  odvodi pri temperaturi  $T_2$ , koja je u kondenzacijskom parnom postrojenju samo nešto viša od temperature okoline  $T_0$ , pa zato, općenito, nije upotrebljiva za grijanje (osim za grijanje kupališnih bazena itd., gdje je dovoljna i mala temperaturna razlika  $T_2 - T_0$ ).





Povišenjem protutlaka  $p_2$  povisujemo i temperaturu  $T_2$  pare iza parnog stroja, zbog čega para postaje prikladnom za grijanje. Zato takvu paru vodimo iz parnog stroja — umjesto u kondenzator — k potrošačima topline  $Q$ .

Ukoliko se sav čisti kondenzat ne vraća od potrošača topline u spremnik napojne vode, moramo manjak nadomjestiti očišćenom (umekšanom) vodom iz okoline.

Pri različitim protutlakovima  $p_2$  postiže-mo slijedeće temperature  $T_2$  koje su prikla-

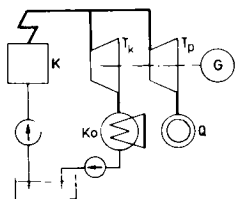
dne za grijanje zgrada ili industrijskih naprava (osobito u papirnoj, tekstilnoj, kemijskoj i srodnoj industriji itd.):

$p_2$ (bar)	1	2	4	6	8	10	12	16
$T_2$ (°C)	100	120	144	159	170	180	188	201

Povišenjem protutlaka  $p_2$  smanjuje se doduše entalpijski pad  $\Delta h$ , a time i unutarnja snaga stroja  $P_i = q \Delta h$ , ali zato ostaje za grijanje upotrebljiv sav toplinski tok  $\Phi_2 = q(h_2 - h_0)$ . Stoga se znatno povećava ekonomičnost pri skupnoj proizvodnji mehaničkog rada za pogon generatora i topline za grijanje.

Zbog povišenja protutlaka  $p_2$  postaje suvišan niskotlačni dio parnog stroja (turbine). Budući da se, osim toga, para iz stroja odvodi neposredno potrošačima topline, nije više potreban ni kondenzator sa svim uređajima za rashladnu vodu. Cjelokupno se postrojenje veoma pojednostavnjuje.

Tamo gdje se ne može vremenski potpuno uskladiti potrošak električne energije i topline za grijanje, prikladna je kombinacija dviju turbina — kondenzacijske  $T_k$  i protutlačne  $T_p$ . Protutlačna turbina daje toliko mehaničke energije koliko to odgovara potrošku topline, dok kondenzacijska turbina dobavlja ostatak potrebne mehaničke energije. Dovod svježeg pare objema turbinama izveden je automatskim regulatorima tako da protutlačnom turbinom upravlja tlačni regulator, a kondenzacijskom regulator brzine vrtnje.



## MOTORI S NUTARNJIM IZGARANJEM

Motori s nutarnjim izgaranjem su klipni strojevi kojima dovodimo prikladna goriva (koja ne ostavljaju pepela, smolastih ostataka itd.) zajedno sa zrakom za izgaranje neposredno u unutrašnjost cilindra, gdje izgaraju i oslobađajući toplinu povisuju tlak koji djeluje na klip i obavlja mehanički rad.

### Sistemi Otto i Diesel

— Sistem Otto. Smjesu goriva i zraka za izgaranje, pripremljenu izvan cilindra, uvodimo u cilindar u kojem je klip komprimira (do 7...11 bar). Pri svršetku kompresije smjesa se pali električnom iskrom, našto u cilindru poraste tlak (25...40 bar) koji pri slijedećem — radnom — stapaju služi za vršenje rada.

U motorima sistema Otto upotrebljavamo:

a) plinovita goriva (rasvjetni, koksni, generatorski, grotleni ili sličan plin), koja se miješaju sa zrakom u ventilu za miješanje prije usisavanja ili u posebno konstruiranom usisnom ventilu;

b) kapljevita goriva (benzin, benzen, alkohol itd.), koja se u rasplinjaču (karburatoru) raspršuju (ne rasplinjuju!) u zraku za izgaranje kao fina maglica, a zatim se gorivo tek u cilindru pretvara u paru (plin) zbog kompresije i dovođenja topline sa stijenki.

Izgaranje u sistemu Otto zbiva se priližno po izohori ( $V_k$  — vidi na str. 240).

— Sistem Diesel. Čisti zrak za izgaranje uvodimo u unutrašnjost cilindra u kojem ga klip tako snažno komprimira (do 25...40 bar) da se pri kraju kompresije postiže temperatura paljenja goriva (550...700 °C), koje u tom trenutku ubrizgavamo u cilindar. Povećani tlak (60...100 bar), prouzročen izgaranjem, služi pri slijedećem — radnom — stapaju za vršenje rada.

U dizelskim motorima upotrebljavamo jeftinija, poluteška i teška ulja (plinska i dizelska ulja). Posebnom visokotlačnom pumpom (350...500 bar) štrcemo gorivo kroz fine sapnice za raspršivanje u cilindar, tako da nastane uljna maglica koja u vrućem komprimiranom zraku odmah plane. Izgaranje se zbiva najprije približno po izohori ( $V_k$ ), a zatim po izobari ( $p_{max}$  — slika na str. 240).

Za motore s u ž a r e n o m g l a v o m (»semidizelske motore«) upotrebljavamo isto gorivo kao i za dizelske motore. Gorivo se za vrijeme kompresije zraka (koja nije tako velika kao u dizelskih motora) ubrizgava u posebnu komoru za izgaranje, koja se — radi lakšeg paljenja — ne hladi pa je zato užarena.

### 4-taktni i 2-taktni motori

4-taktni motori imaju na svakom cilindru po dva ventila — usisni i ispušni.

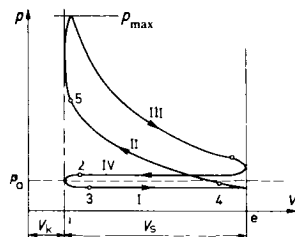
U prvom taktu (I) klip se giba od unutarnjeg (i — vidi sliku indikatorskog dijagrama na str. 240 lijevo) prema vanjskom mrtvom položaju (e) pri otvorenom usisnom i zatvorenom ispušnom ventilu. U cilindru se stvara podtlak, zbog čega u cilindar ulazi smjesa goriva i zraka (Otto), odnosno čisti zrak (Diesel). U drugom se taktu (II) — uz oba zatvorena ventila — smjesa odnosno čisti zrak

komprimira (od e do i). Slijedi paljenje smjese iskrom (Otto), odnosno paljenje goriva ubrizganoga u vrući zrak (Diesel), a zatim izgorjeli plinovi – uz još uvijek zatvorene ventile – potiskuju klip (od i do e) i vrše rad (treći takt – III). Konačno se otvara ispušni ventil, a pri ponovnom stapaju (od e do i) istiskuje klip izgorjele plinove iz cilindra (četvrti takt – IV).

2-taktni motori su većinom bez ventila. U njih se smjesa goriva sa zrakom (Otto) odnosno čist zrak (Diesel) tlači (pod malim pritiskom) u cilindar kroz raspore (za ispiranje), a izgorjeli plinovi se istiskuju kroz ispušne raspore. Svi se raspori otvaraju u odgovarajućem položaju klipa. 2-taktni motori imaju samo kompresijski i radni takt; ulazjenje smjese odnosno zraka i ispiranje cilindra te istiskivanje plinova zbiva se za kratko vrijeme dok su raspori između oba takta otvoreni.

U usporedbi sa 4-taktnim motorima imaju 2-taktni sljedeće prednosti: veću snagu uz iste dimenzije, ventile nadomještene rasporima i jednoličniji zakretni moment; nedostaci su pak: veće toplinsko opterećenje uz iste dimenzije, potrebna je posebna pumpa za ispiranje (u malih su motora pumpe nadomještene pumpnim djelovanjem kartera), a u sistemu Otto još su i gubici zbog ispiranja izgorjelih plinova gorivom smjesom. Stoga su laki motori sistema Otto većinom 4-taktni, a teški motori sistema Diesel obično 2-taktni.

#### Indikatorski dijagram



#### 4-taktni motori sistema Otto

- 1 – otvaranje ispušnog ventila
- 2 – zatvaranje ispušnog ventila
- 3 – otvaranje usisnog ventila
- 4 – zatvaranje usisnog ventila
- 5 – paljenje električnom iskrom

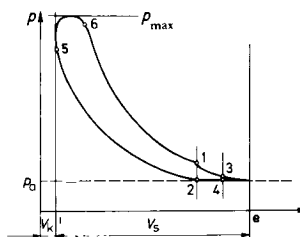
Barometarski tlak

Kompresijski omjer

Volumen kompresijskog prostora

Stapajni volumen

gdje znače:  $A$  – površinu klipa,  $d$  – promjer klipa,  $s$  – stapaj.



#### 2-taktni motori sistema Diesel

- 1 – otvaranje ispušnog raspora
- 2 – zatvaranje ispušnog raspora
- 3 – otvaranje raspora za ispiranje
- 4 – zatvaranje raspora za ispiranje
- 5 – početak ubrizgavanja goriva
- 6 – svršetak ubrizgavanja goriva

$p_a$

$\epsilon = V_e/V_i = (V_k + V_s)/V_k$

$V_k$

$V_s = A s = \pi d^2/4 \cdot s$

gdje znače:  $A$  – površinu klipa,  $d$  – promjer klipa,  $s$  – stapaj.

#### Ekonomičnost motora s unutarnjim izgaranjem

S gorivom dovodimo u motor toplinski tok  $\Phi_1 = B H_1$ ,

gdje su:  $B$  – potrošak goriva u jedinici vremena (kg/s),  $H_1$  – donja ogrjevnja moć goriva.

Zbog gubitaka pri izgaranju (nepotpuno izgaranje) samo dio te topline prelazi na izgorjele plinove.

Budući da se u unutrašnjosti cilindra stvaraju veoma visoke temperature (maksimalno do 2000 °C, a prosječno znatno niže), moramo motor hladiti, pa se zbog toga temperatura stijenki cilindra ustali na 250...350 °C. Hlađenje je u manjih motora obično zračno, a u većih vođeno. Upotreba zračnog hlađenja ograničena je zbog malog koeficijenta prijelaza topline  $\alpha$  sa stijenki motora na zrak. Pri brzini rashladnog zraka  $v$  možemo računati s koeficijentom prijelaza  $\alpha$ :

$v$ (m/s)	1...	2	5...	10	20...	30	40...	50	60...	100	100...	200
$\alpha$ (W/m <sup>2</sup> K)	6...	12	30...	70	80...	150	160...	210	230...	350	350...	640

Pri hlađenju vodom najdjelotvornija je svježa rashladna voda okoline, koja se može ugrijati za 40...70 K do konačne temperature 70...80 °C. Pri hlađenju morskom vodom računamo s ugrijavanjem za 20...40 K i konačnom temperaturom do 50 °C (iznimno i do 60 °C). Pri cirkulacijskom (optočnom) hlađenju vodom (vozila!) ugrijavanje je 7...10 K, do konačne temperature 80...90 °C.

Mnogo topline odlazi iz stroja još uvijek s vrlo vrućim ispušnim plinovima. Daljnji gubici nastaju zbog prigušivanja i propusnosti klipova i ventila.

Zbog nepotpunog izgaranja, hlađenja stroja, topline ispušnih plinova i ostalih gubitaka odvodimo iz stroja toplinski tok  $\Phi_2$ . On se sastoji od eksergijskog dijela (neiskorištene topline koja bi se teoretski još mogla pretvoriti u mehanički rad) i dijela koji nije iskoristiv za pretvorbu u rad.

Unutarnja snaga motora  $P_i$  proizlazi iz razlike među dovedenim i odvedenim toplinskim tokom  $P_i = \Phi_1 - \Phi_2$ .

Unutarnju snagu  $P_i$  određujemo neposredno pomoću prosječnog indiciranog tlaka  $p_{med}$  u cilindru

$$P_i = p_{med} d^2 \pi / 4 \cdot 2 s n / z \cdot i = p_{med} V_i \cdot 2 n / z$$

gdje su:  $d$  – promjer klipa,  $s$  – stapaj,  $n$  – brzina vrtnje,  $z$  – broj taktova (4 ili 2),  $i$  – broj cilindara (dvoradni cilindar vrijedi za dva),  $V_i$  – stapajni volumen svih cilindara.

Prosječni indicirani tlak  $p_{med}$  brzih motora ne možemo odrediti jednostavnim sredstvima. No možemo ga izračunati iz efektivne snage motora  $P$

$$p_{med} = P / (V_i \cdot 2 n / z \cdot \eta_m)$$

pri čemu efektivnu snagu motora  $P$  odredimo kočenjem, a mehaničku korisnost  $\eta_m$  pogonom motora iz stranog izvora. Prosječni indicirani tlak  $p_{med}$  kreće se između 5...9 bar.

Brzine vrtnje plinskih i dizelskih motora iznose 2...40 okr./s (120...2400 okr./min), lakih motora za vozila 50...100 okr./s (3000...6000 okr./min).

Prosječna brzina klipa  $v = 2 \text{ s n}$  stabilnih motora ne premašuje vrijednost od 6 m/s, a motora za vozila doseže do 12 m/s (iznimno i do 18 m/s).

Unutarnja korisnost  $\eta_i$  je omjer između unutarnje snage  $P_i$  i dovedenog toplinskog toka  $\Phi_i = B H_i$ ; ovisi u prvom redu o kompresijskom omjeru  $\varepsilon$  (vidi str. 240):

$$\eta_i = P_i / B H_i = f(1 - k/\varepsilon^{x-1})$$

gdje znače:  $k$  – faktor, ovisan o načinu izgaranja (Otto:  $k \approx 1$ , Diesel:  $k > 1$ ),  $x$  – omjer specifičnih toplinskih kapaciteta ( $= c_p/c_v$ ).

Unutarnja korisnost je dakle to veća što je veći kompresijski omjer  $\varepsilon$ . On je u motora sistema Otto vrlo ograničen zbog opasnosti od detonacije (kompresija gorive smjese!), dok u dizelskih motora taj omjer može biti znatno veći (kompresija zraka!):

motori sistema Otto — benzinski	$\varepsilon \approx 5 \dots 8 (\dots 9)$
— plinski	$\varepsilon = 6 \dots 10$
motori s užarenom glavom	$\varepsilon = 8 \dots 12$
dizelski motori	$\varepsilon = 12 \dots 25 (\dots 35)$

Efektivna snaga motora  $P$  iznosi

$$P = P_i \eta_m = B H_i \eta$$

gdje znače:  $\eta_m$  — mehaničku korisnost,  $\eta$  — cjelokupnu korisnost.

Mehanička korisnost  $\eta_m$  uzima u obzir gubitke zbog trenja u mehanizmu motora i pogon pomoćnih uređaja — električnog generatora za sistem paljenja (Otto) ili pumpe za ulje (Diesel), ventilatora za zračno hlađenje ili ventilatora i pumpe za vodu pri hlađenju vodom itd.

Cjelokupna korisnost  $\eta$   $\eta = \eta_i \eta_m \approx P / B H_i$

uzima u obzir sve gubitke u motoru koji su, u prosjeku, raspodijeljeni približno ovako:

gubici hlađenjem	28%	gubici zbog trenja itd.	10%
toplina ispušnih plinova	30%	(efektivna snaga stroja)	30%
ostali unutarnji gubici	2%		

Cjelokupna korisnost zavisi od opterećenja motora  $P$  i brzine vrtnje  $n$ , a iznosi u najpovoljnijem području rada:

kod lakih benzinskih motora	$\eta = 0,22 \dots 0,25$
kod plinskih motora	$\eta = 0,27 \dots 0,35$
kod motora s užarenom glavom	$\eta = 0,22 \dots 0,26$
kod malih dizelskih motora	$\eta = 0,31 \dots 0,34$
kod velikih dizelskih motora	$\eta = 0,35 \dots 0,41$

## KOMPRESORI

Kompresori su strojevi koji komprimiraju plinove ili pare na određeni tlak. Pomoću njih dobivamo komprimirani zrak koji služi za pogon pneumatskog alata (6...7 bar) ili metalurških peći itd. Daljnja upotreba kompresora su: daljinski transport plinova (36 bar), rashladni uređaji (12 bar), ukapljivanje zraka (200 bar), kemijski procesi (do 1000 bar i više).

Promjene stanja plina pri kompresiji

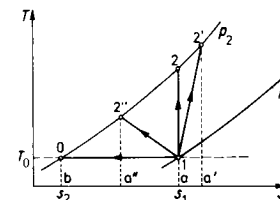
1. *Izotermna kompresija* (1—0)

Potrebiti rad (a 1 0 b a)

$$W_{1,0} = m R T_0 \ln \frac{p_1}{p_2} = m T_0 (s_2 - s_1)$$

Konačna je temperatura  $T_0 = T_1 = \text{konst.}$   
Za vrijeme kompresije treba odvoditi toplinu (a 1 0 b a)

$$Q_0 = m T_0 (s_2 - s_1)$$



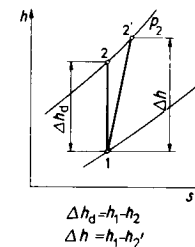
2. *Izotropska kompresija* (1—2) pri  $s = \text{konst.}$  (tj. bez izmjene topline s okolišem i bez unutarnjeg trenja).

Potrebiti rad (a 2 0 b a)

$$W_{1,2} = m \Delta h_d = m c_p (T_1 - T_2) = \frac{\kappa}{\kappa - 1} p_1 V_1 \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{(\kappa-1)/\kappa} \right]$$

Konačna temperatura

$$T_2 = T_1 - \frac{\Delta h_d}{c_p} = T_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{(\kappa-1)/\kappa}$$



3. *Adijabatska kompresija* (1—2') — politropska kompresija s eksponentom politrope  $n > \kappa$  (postiže se približno kod brzohodnih kompresora bez hlađenja).

Potrebiti rad (a' 2' 0 b a')

$$W_{1,2'} = m \Delta h = m c_p (T_1 - T_{2'}) = \frac{n}{n-1} p_1 V_1 \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{(n-1)/n} \right]$$

Konačna temperatura

$$T_{2'} = T_1 - \frac{\Delta h}{c_p} = T_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{(n-1)/n}$$

4. *Politropska kompresija* s eksponentom politrope  $n < \kappa$  ( $1 - 2''$ ) (postije se približno kod hlađenih stapnih kompresora).

Potrebni rad (a  $12''0$  ba)

$$W_{1,2''} = n/n - 1 \cdot p_1 V_1 [1 - (p_2/p_1)^{(n-1)/n}]$$

Odvedena toplina (a  $12''$  a'' a)

Konačna temperatura

$$Q = (\kappa - n)/(\kappa - 1) \cdot W_{1,2''}/n$$

$$T_{2''} = T_1 (p_2/p_1)^{(n-1)/n}$$

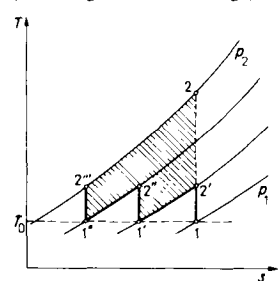
Uspoređivanjem različitih promjena stanja dobivamo:

$$W_{1,2''} > W_{1,2} > W_{1,2'} > W_{1,0} \quad T_2 > T_2 > T_{2''} > T_0$$

Najmanji je rad potreban za izotermnu kompresiju ( $W_{1,0}$ ), a najbliže smo joj pri obilnom hlađenju ( $W_{1,2''}$ ). Najveći je rad potreban kod nehladenih strojeva ( $W_{1,2}$ ).

#### Višestepena kompresija

Višestepena kompresija omogućuje da se, bez obzira na vrstu kompresora (hladenoga ili nehladenoga) vrlo približno izotermnoj kompresiji.



Iza svakog stupnja kompresije hladimo ugrijani komprimirani plin po mogućnosti do početne temperature  $T_0$ . Time štedimo rad koji je predložen u  $Ts$  dijagramu (desno) šrafirom površinom  $2'1'2''1''2'''22'$ .

Višestepena kompresija s međuhlađenjem poskupljuje uređaj to više što je veći broj stupnjeva. Stoga se obično ograničujemo na 2 do 4 stupnja. Tlačni omjer svakog stupnja pri ukupno  $i$  stupnjeva je

$$x = \sqrt[i]{p_2/p_1}$$

#### Kompresija do visokih tlakova

Pri kompresiji na manje tlakove (do 30 bar) računamo s realnim plinovima kao da su idealni. Pri višim tlakovima moramo jednadžbu stanja korigirati faktorom  $k$

$$p v = k R T$$

Vrijednosti faktora  $k$  iznose:

$p$	bar	0	100	300	600	1000
$H_2$	0°C	1,0	1,07	1,20	1,42	1,71
	100°C	1,0	1,05	1,16	1,33	1,56
zrak*	0°C	1,0	0,97	1,09	1,46	1,98
	100°C	1,0	1,03	1,15	1,39	1,80

\* Za računanje sa zrakom kao pregrijanom parom vidi str. 169.

#### Stapni kompresori

Jednostepenim stapnim kompresorima postizemo tlak do 5 (... 7) bar, a višestepenim postizemo u svakom stupnju tlačni omjer 3 ... 4.

#### Indikatorski dijagram

Stapajni volumen iznosi

$$V_s = A s = d^2 \pi / 4 \cdot s$$

gdje znače:  $A$  — presjek cilindra,  $d$  — promjer cilindra,  $s$  — stapaj.

Štetni prostor

$$V_0 = 0,04 \dots 0,08 \dots 0,15) V_s$$

Dobavni volumen (pri tlaku  $p_1$ ):  $V'$

Dobava kompresora s obzirom na volumen plina pri početnom tlaku  $p_1$  (ispred kompresora) iznosi kod jednoradnih kompresora

$$q_v = \lambda V_{s1} n_1 i_1$$

gdje znače:  $\lambda$  — stupanj dobave,  $V_{s1}$  — stapajni volumen u prvom stupnju (niskotlačnom),  $n_1$  — brzinu vrtnje u prvom stupnju,  $i_1$  — broj paralelno djelujućih cilindara u prvom stupnju (dvoradni cilindri računaju se dvostruko).

Stupanj dobave

$$\lambda = \lambda_0 \eta_v$$

određen je »volumetrijskom korisnošću«  $\eta_v = V'/V_s$  (koja se znatno smanjuje povećavanjem štetnog prostora) i faktorom  $\lambda_0 (< 1)$  koji uzima u obzir ugrijavanje plina pri usisavanju te propusnost stapa i ventila.

Stupanj dobave iznosi:

kod malih kompresora	$\lambda > 0,70$
kod puhalo (npr. za visoke peći)	$\lambda = 0,82 \dots 0,90$
kod kompresora za tlak do 7 bar	$\lambda = 0,86 \dots 0,92$

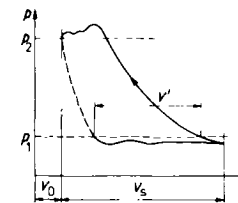
#### Pogonska snaga za kompresor

Unutarnja snaga  $P_i$  stapnih kompresora s hlađenim cilindrima približno je određena radom  $W_{1,2''}$ , potrebnim za politropsku kompresiju (vidi str. 244 pod 4), i to pri brzini vrtnje  $n$

$$P_i = W_{1,2''} \cdot n$$

Pri tom zanemarujemo neznatni rad ekspanzije zaostalog plina iz štetnog prostora. (Rad  $W_{1,2''}$  računamo s eksponentom politrope  $n = 1,32 \dots 1,38$ .)

Zapravo se kompresija ne zbiva po politropi s konstantnim eksponentom  $n$ , već najprije približno po izentropi ( $n \approx \kappa$ ), a zatim uz znatno odvođenje toplote ( $1 < n < \kappa$ ).



Unutarnju snagu za svaki cilindar određujemo također pomoću prosječnog indiciranog tlaka  $p_{med}$  u cilindru presjeka  $A$  i stapaja  $s$  pri brzini vrtnje  $n$

$$P_i' = p_{med} A s n$$

Prosječni indicirani tlak  $p_{med}$  možemo izračunati iz rada  $W_{1,2}''$  (ako uzmemo u obzir da je  $V_1 = V_0 + V_s$ )

$$p_{med} = W_{1,2}'' / V_s$$

Ukupna unutarnja snaga za više cilindara iznosi

$$P_i = \sum P_i'$$

Stvarno potrebna snaga za pogon kompresora iznosi

$$P = P_i / \eta_m$$

gdje je mehanička korisnost stapnih kompresora  $\eta_m = 0,78 \dots 0,95$ .

### Turbokompresori

Turbokompresori su *radijalni* (po konstrukciji su slični turbopumpama) ili *aksijalni* (slični parnim turbinama).

U jednom se stupnju postižu samo manji kompresijski omjeri do 1,7 (... 4). Za više su tlakove potrebni višestepeni kompresori.

Kompresija se u turbokompresorima zbiva po adijabati (slučaj 3 na str. 243). Pri kompresijskim omjerima preko 2,5 porast je temperature tolik da je potrebno međuhlađenje.

Snaga za pogon turbokompresora

Teoretsku snagu određuju izentropski rad  $W_{1,2}$  i brzina vrtnje  $n$

$$P_0 = W_{1,2} \cdot n = q \Delta h_d$$

Unutarnja snaga je veća zbog unutarnjih gubitaka

$$P_i = W_{1,2}' \cdot n = q \Delta h = P_0 / \eta_i$$

gdje je unutarnja korisnost

$$\eta_i = P_0 / P_i = \Delta h_d / \Delta h$$

Stvarna snaga još je veća zbog vanjskih mehaničkih gubitaka (trenja)

$$P = P_i / \eta_m = P_0 / \eta = q \Delta h_d / \eta$$

pri čemu je mehanička korisnost turbokompresora  $\eta_m = 0,95 \dots 0,98$ , a cjelokupna korisnost  $\eta = \eta_i \eta_m$ .

Dobavna količina (protok mase) turbokompresora dobiva se iz stvarne snage  $P$ , cjelokupne korisnosti  $\eta$  i izentropske razlike entalpija  $\Delta h_d$

$$q = \eta P / \Delta h_d$$

Dobavnu količinu možemo također izraziti početnim volumenskim protokom  $q_v$  i početnom gustoćom plina  $\rho$

$$q = q_v \rho$$

### PLINSKE TURBINE

Plinske turbine u širem smislu su pogonska postrojenja koja se sastoje – pri otvorenom procesu – od kompresora, komore za izgaranje i turbine.

Kompresor K tlačí zrak iz atmosfere u komoru za izgaranje C, u kojoj izgara gorivo ubrizgano neposredno u komprimirani zrak (pri konstantnom tlaku). Izgorjeli (dimni) plinovi struje nato kroz turbinu T koja dijelom svoje snage goni kompresor, a preostalom snagom generator G.

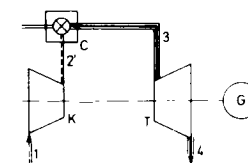
Kao gorivo možemo upotrijebiti jeftinija tekuća goriva, obično petrolej ili slično. Omjer potroška goriva  $B$  i protoka zraka  $q$  iznosi

$$B/q = 0,008 \dots 0,012 \text{ (kg/kg)}$$

U komorama za izgaranje postižu se konačne temperature:

u stacionarnim strojevima  $650 \dots 700 \text{ }^\circ\text{C}$

u mlaznim strojevima  $700 \dots 850 \text{ }^\circ\text{C}$



Pri otvorenom procesu je  $q$  protok zraka kroz kompresor do komore za izgaranje, dok protok dimnih plinova koji nastaju u komori za izgaranje i struje kroz turbinu iznosi

$$q' = q + B \approx q$$

a ujedno se neznatno mijenja specifični toplinski kapacitet  $c_p'$  dimnih plinova, pomoću kojeg računamo toplinski tok u komori za izgaranje i snagu turbine.

Kružni proces plinske turbine možemo prikazati pojednostavljeno (bez veće greške) pomoću kružnog procesa zraka (vidi dijagram  $T, s$ ).

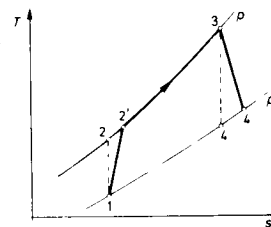
Promjene stanja zraka

1–2': adijabatska kompresija od tlaka  $p_a$  na tlak  $p$ ,

2'–3: dovođenje topline u komori za izgaranje pri tlaku  $p$ ,

3–4': adijabatska ekspanzija (s trenjem) u turbini od tlaka  $p$  na tlak  $p_a$ ,

4'–1: odvođenje topline u okoliš pri tlaku  $p_a$ .



Za adijabatsku kompresiju treba kompresoru snaga

$$P_{ik} = q c_p (T_2 - T_1) / \eta_{ik} = q c_p (T_2 - T_1)$$

gdje su:  $q$  – protok zraka,  $c_p$  – specifični toplinski kapacitet zraka,  $\eta_{ik}$  – unutarnja korisnost kompresora,  $T_1$  – početna temperatura zraka,  $T_2$  – konačna temperatura pri izentropskoj kompresiji,  $T_2'$  – stvarno postignuta konačna temperatura zraka (vidi str. 243).



Unutarnja korisnost kompresora iznosi

$$\eta_{ik} = (T_1 - T_2)/(T_1 - T_2) = 0,80 \dots 0,87$$

Komori za izgaranje dovodimo toplinski tok

$$\Phi = B H_1 \approx q c_p (T_3 - T_2)/\eta_c$$

gdje znače:  $B$  – potrošak goriva u jedinici vremena (kg/s),  $H_1$  – donju ogrjevnju moć goriva,  $T_3$  – najvišu temperaturu u procesu (pri završetku dovođenja topline),  $\eta_c$  – korisnost gorionika.

Pri adijabatskoj ekspanziji dobivamo u turbini unutarnju snagu

$$P_{it} = q' c_p' (T_3 - T_4)/\eta_{it} = q' c_p' (T_3 - T_4)$$

gdje znače:  $q'$  – protok dimnih plinova ( $\approx q$ ),  $c_p'$  – specifični toplinski kapacitet dimnih plinova ( $\approx c_p$ ),  $T_4$  – konačnu temperaturu pri izentropskoj ekspanziji,  $T_4$  – temperatura zraka kod izlaza iz turbine,  $\eta_{it}$  – unutarnju korisnost turbine.

Unutarnja korisnost turbine iznosi

$$\eta_{it} = (T_3 - T_4)/(T_3 - T_4) = 0,85 \dots 0,88 (\dots 0,90)$$

Unutarnja korisna snaga cjelokupnog postrojenja plinske turbine iznosi

$$P_i = P_{it} + P_{ik}$$

(pri čemu upotrijebljena snaga u kompresoru  $P_{ik}$  ima negativnu vrijednost).

Stvarna korisna snaga cjelokupnog postrojenja plinske turbine je zbog vanjskih gubitaka (trenja u ležajima, pogon regulatora itd.) manja

$$P = P_i \eta_m$$

gdje je  $\eta_m$  mehanička korisnost postrojenja.

Cjelokupna korisnost postrojenja iznosi

$$\eta = P/BH_1 = (P_{it} + P_{ik})/BH_1 \cdot \eta_m$$

Cjelokupna korisnost  $\eta$  ovisi u prvom redu o omjeru obiju krajnjih temperatura  $T_3/T_1$  (i to tako da raste s porastom tog omjera) i o tlačnom omjeru  $p/p_a$ . Svakom omjeru temperatura pripada određeni optimalni tlačni omjer pri kojem je  $\eta$  maksimalan, npr.

$T_3/T_1$	2,5	3	3,5
$(p/p_a)_{opt}$	3,6	5,8	8,3
$\eta_{max}$	0,18	0,22	0,24

Da bi se postigao što veći omjer temperatura, mora biti:

- temperatura  $T_3$  što viša, a ona je ograničena otpornošću materijala komore za izgaranje i turbine;
- temperatura  $T_1$  što niža, a ona ovisi o temperaturi okoline (stoga je korisnost veća zimi, u sjevernim zemljama ili na velikim visinama).

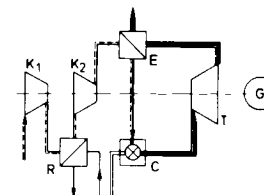
### Poboljšanje cjelokupne korisnosti

Cjelokupnu korisnost poboljšavaju:

- višestupna kompresija s međuhlađenjem, čime smanjujemo potrebnu ukupnu snagu za pogon kompresora  $P_{ik}$ ;
- višestupna ekspanzija s međuzagrijavanjem, što povećava ukupnu snagu turbine  $P_{it}$ ;
- regeneracija topline, tj. upotreba vrućih izlaznih plinova iz posljednje turbine, za zagrijavanje zraka iza kompresora, što smanjuje toplinski tok  $\Phi$  koji moramo dovesti.

Da bi postrojenje plinske turbine (s otvorenim procesom) postalo što jednostavnije (a uređaji što manji i jeftiniji) zadovoljavamo se često samo s dva stupnja kompresije i jednim stupnjem ekspanzije.

Na slici su:  $K_1$ ,  $K_2$  – kompresori,  $R$  – hladnjak,  $E$  – izmjenjivač topline,  $C$  – komora za izgaranje,  $T$  – turbina.



**Mlazni (reaktivni) motori** koji služe za pogon aviona imaju postrojenje s plinskom turbinom otvorenog procesa, a njen učin ne upotrebljava se samo za obavljanje vanjskoga mehaničkog rada na osovini turbine, već plinovi izgaranja stvaraju potisnu (reaktivnu) silu svojim mlazom na izlazu iz stroja kroz naročitu sapnicu.

Turbina mlaznog motora goni samo kompresor i troši

$$P_{it} = P_{ik}/\eta_m$$

gdje je  $\eta_m$  mehanička korisnost stroja u cjelini, a snage turbine i kompresora su:

$$P_{ik} = q c_p (T_1 - T_2)$$

$$P_{it} = q' c_p' (T_3 - T_4)$$

Zbog toga iz turbine istječu plinovi koji imaju još znatan pretlak spram okoline,  $\Delta p = p_0 - p_a$  i zato imaju za ekspanziju do okolnog tlaka još uvijek na raspolaganju toplinski (izentropski) pad

$$\Delta h_d = h_4 - h_5 = c_p (T_4 - T_5)$$

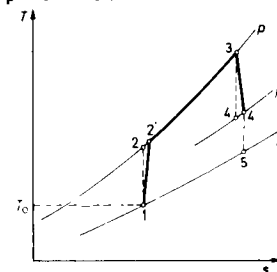
zbog kojega plinovi istječu kroz izlaznu sapnicu velikom brzinom  $v$

$$v = \varphi \sqrt{2 \Delta h_d}$$

( $\varphi$  = koeficijent brzine, vidi str. 200), što daje potisnu silu

$$F = q' v = q' \varphi \sqrt{2 \Delta h_d}$$

Za vrijeme leta ulazi u mlazni motor zrak pod velikim dinamičkim pritiskom što smanjuje potrebnu snagu kompresora i povećava potisnu silu mlaza.

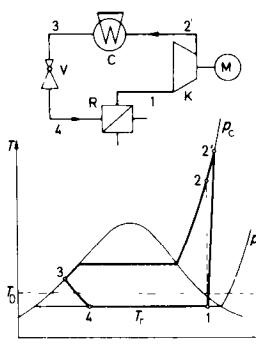


## TOPLINSKE PUMPE

Toplinske su pumpe uređaji kojima crpimo – uz dodavanje energije – toplinu s niže temperature na višu.

**Kompresijske toplinske pumpe** su strojevi za hlađenje i grijanje. Kružni proces u kompresijskim toplinskim pumpama obavljaju posebno odabrane pare, osobito razni freoni (npr. R 12 = difluordiklormetan  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ , R 22 = difluoromonoklormetan  $\text{CHF}_2\text{Cl}$  itd.), nadalje monoklormetan (metilklorid)  $\text{CH}_3\text{Cl}$ , diklormetan (metilenklorid)  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ , sumporni dioksid  $\text{SO}_2$ , ugljični dioksid  $\text{CO}_2$ , amonijak  $\text{NH}_3$  i sl.

Jednostavna kompresijska toplinska pumpa:



K – kompresor, C – kondenzator (za okolinu: zagrijač), V – regulacijski (prigušni) ventil, R – isparivač, refrigerator (za okolinu: hladnjak), M – pogonski motor (električni ili drugi).

Promjene stanja pare:

- 1–2': adijabatska kompresija (s trenjem) od tlaka  $p_r$  na tlak  $p_c$
- 2'–3: kondenzacija pri  $p_c = \text{konst}$  (odvođenje topline pri višoj temperaturi u okolinu)
- 3–4: prigušivanje u regulacijskom ventilu od tlaka  $p_c$  na tlak  $p_r$  ( $h_3 = h_4$ )
- 4–1: isparivanje pri  $p_r = \text{konst}$  (dovođenje topline pri niskoj temperaturi iz okoline).

Snaga za pogon kompresora (stvarna)

$$P = q(h_2 - h_1)/\eta = q(h_{2'} - h_1)/\eta_m$$

gdje znače:  $q$  – protok pare,  $h_1$  – specifičnu entalpiju prije kompresije,  $h_2$  – specifičnu entalpiju na kraju izentropske kompresije,  $h_{2'}$  – stvarnu specifičnu entalpiju iza kompresora,  $\eta_m$  – mehaničku korisnost,  $\eta$  – cjelokupnu korisnost.

Odvedeni toplinski tok  $\Phi_c = q(h_{2'} - h_3)$

Taj toplinski tok može poslužiti za grijanje okoline (»ogrjevni stroj«).

Faktor grijanja

$$\epsilon_c = \Phi_c/P$$

pokazuje koliko »ogrjevnog toka«  $\Phi_c$  dobivamo upotrebljavajući snagu  $P$  za pogon kompresora. Pri malim tlačnim (i temperaturnim) razlikama taj je faktor znatno veći od 1, npr.  $\epsilon_c = 5 \dots 15$  (i više).

Dovedeni toplinski tok  $\Phi_r = q(h_1 - h_4)$

Taj toplinski tok služi za hlađenje okoline (»rashladni stroj«).

Rashladni faktor

$$\epsilon_r = \Phi_r/P$$

pokazuje koliko »rashladnog toka«  $\Phi_r$  dobivamo upotrebljavajući snagu  $P$  za pogon kompresora. Pri malim tlačnim (i temperaturnim) razlikama i taj je faktor znatno veći od 1, npr.  $\epsilon_r = 3$  (i manje) do 12 (i više).

\*

**Apsorpcijske toplinske pumpe** služe za apsorpcijske rashladne uređaje. U tu se svrhu iskoristava promjenljiva topivost nekoga rashladnog sredstva u određenom apsorpcijskom sredstvu. Najčešće se upotrebljava amonijak ( $\text{NH}_3$ ) kao rashladno sredstvo, a voda ( $\text{H}_2\text{O}$ ) kao apsorpcijsko sredstvo.

Jakost otopine izražavamo omjerom količine amonijaka i cjelokupne otopine

$$\xi = \text{NH}_3/(\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O})$$

Najveću topivost (zasićenje) prikazuje maksimalni omjer  $\xi_{\text{max}}$ , koji ovisi o tlaku i temperaturi, a iznosi:

$\xi_{\text{max}}$	pri temperaturi (°C)								
pri tlaku bar	-20	-10	0	+10	+20	+40	+60	+80	+100
0,2	0,364	0,306	0,253	0,202	0,155	0,068	—	—	—
0,5	0,475	0,406	0,347	0,294	0,244	0,152	0,071	—	—
1,0	0,615	0,512	0,438	0,378	0,325	0,228	0,140	0,062	—
2,0	—	0,701	0,566	0,483	0,418	0,314	0,225	0,141	0,067

Za otapanje je potrebna toplota otapanja  $r_a$ , koja je gotovo neovisna o tlaku i temperaturi, ali je ovisna o omjeru  $\xi$ :

$\xi$	0,00	0,25	0,50	0,75
$r_a$ kJ/kg	837	641	209	42

Toplota isparivanja  $\text{NH}_3$  (pri +20 °C) iznosi  $r = 1189$  kJ/kg.

Za otapanje (apsorpciju) amonijaka u vodi odnosno u blagoj (nezasićenoj) otopini (malo  $\xi$ ) potrebna je znatna toplota  $r + r_a$  koju otopina oduzima okolini (te je »hladi«). Apsorpcijom nastaje jaka otopina (veliko  $\xi$ ) iz koje opet izlučujemo amonijak grijanjem (višoj temperaturi odgovara manje  $\xi_{\text{max}}$ ). Prije ponovnog otapanja moramo amonijak i preostalu blagu otopinu – svaku posebno – ohladiti najprije na temperaturu okoline, da bi nakon apsorpcije postigli temperaturu nižu od okoline.

Za grijanje u apsorpcijskom rashladnom uređaju trošimo znatno više energije nego – pri istom rashladnom učinku – za pogon kompresora u kompresijskoj toplinskoj pumpi.

# Rashladne smjese

Sastavine			Temperatura	
			početna °C	konačna °C
voda	H <sub>2</sub> O	16	+ 10	— 12
amonijev klorid (salmijak)	NH <sub>4</sub> Cl	5		
kalijev nitrat (saliura)	KNO <sub>3</sub>	5		
voda	H <sub>2</sub> O	1	+ 10	— 15
amonijev nitrat	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1		
dušična kiselina (razr.)	HNO <sub>3</sub>	2		
natrijev nitrat (čilska sal.)	NaNO <sub>3</sub>	3	+ 10	— 20
sumporna kiselina	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4		
natrijev sulfat	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5		
voda	H <sub>2</sub> O	1	+ 10	— 22
natrijev karbonat (soda)	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1		
amonijev nitrat	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1		
dušična kiselina (razr.)	HNO <sub>3</sub>	4	+ 10	— 40
amonijev nitrat	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	5		
natrijev sulfat	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	6		
snijeg	H <sub>2</sub> O	2	0	— 20
natrijev klorid (kuh. sol)	NaCl	1		
snijeg	H <sub>2</sub> O	5		
kuhinjska sol	NaCl	2	0	— 25
salmijak	NH <sub>4</sub> Cl	1		
snijeg	H <sub>2</sub> O	3		
sumporna kiselina (razr.)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2	0	— 30
snijeg	H <sub>2</sub> O	8		
solna kiselina (razr.)	HCl	5		
snijeg	H <sub>2</sub> O	7	0	— 35
dušična kiselina (razr.)	HNO <sub>3</sub>	4		
snijeg	H <sub>2</sub> O	4		
kalcijev klorid	CaCl <sub>2</sub>	5	0	— 40

## Najniža leđišta vodenih otopina (eutektičnih)

5,9% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	— 2,1 °C	36,9% NaNO <sub>3</sub>	— 18,5 °C
10,9% KNO <sub>3</sub>	— 2,9 °C	22,4% NaCl*	— 21,2 °C
19,7% KCl	— 11,1 °C	20,6% MgCl <sub>2</sub>	— 33,6 °C
18,7% NH <sub>4</sub> Cl	— 15,8 °C	35,5% K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	— 37,1 °C
41,2% NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	— 17,4 °C	29,9% CaCl <sub>2</sub>	— 55,0 °C

\* Eutektična vodena otopina NaCl ima (pri 15 °C) gustoću  $\rho = 1170 \text{ kg/m}^3$  i specifični toplinski kapacitet  $c_p$  (pri temperaturi  $t$ ):

$t$	°C	— 20	0	+ 20
$c_p$	J/kg K	3320	3341	3362

# KLIMATIZACIJA I SUŠENJE

## Klimatizacija

Svrha klimatizacije je održavanje temperature i vlage zraka u zatvorenoj prostoriji u granicama željenih vrijednosti.

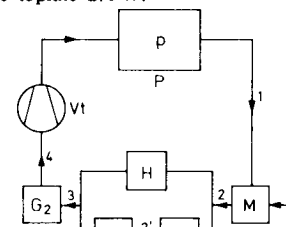
Covjek odaje toplinu i izlučuje vlagu koje (po VDI 2078 — 1977) iznose

— pri mirovanju i bez fizičkog rada:

Temperatura zraka °C	Odavanje topline W	Izlučivanje vlage g/h
18	125	35
20	120	35
22	120	40
24	115	60
26	115	65

— pri poluteškom radu iznosi odavanje topline 270 W.

Klimatizacija obuhvaća niz postupaka pri kojima se iz klimatizirane prostorije P izlazeći vlažni zrak (stanja 1) miješa u mješalu M sa svježim zrakom iz atmosfere A (stanja a) u smjesu stanja 2 (koja je ovisna o omjeru miješanja 3:1...6:1); nakon čega četa smjesa u hladnjaku H (ljetni rad) ili u zagrijaču G<sub>1</sub> i ovlaživaču V (zimski rad) promijeniti svoje stanje do stanja 3, da bi se u dogrijaču G<sub>2</sub> zagrijala do stanja 4, a tada je ventilator Vt tlači u prostoriju P.



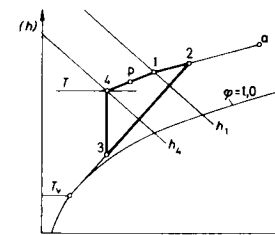
Stanje zraka u prostoriji P uzimamo kao točku miješanja p, dobivenu iz stanja ulaznog (4) i stanja izlaznog (1) zraka.

## a) Ljetni pogon

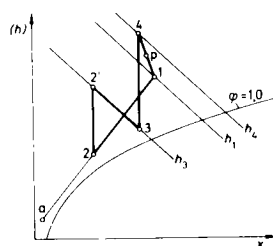
Vanjski zrak treba hladiti i sušiti. Stoga je uključen hladnjak H, dok su zagrijač G<sub>1</sub> i ovlaživač V isključeni.

U hladnjaku H prelazi toplota sa smjese (stanja 2) na rashladnu vodu (temperature pod rosištem smjese), pri čemu se smjesa hladi i suši (od stanja 2 do stanja 3), a rashladna se voda zagrijava. Konačno stanje smjese na izlazu iz hladnjaka (stanje 3) ovisno je o njegovoj korisnosti. U dogrijaču G<sub>2</sub> osušena se smjesa zagrije do odgovarajuće temperature T (stanje 4), našto je ventilator Vt tlači u prostoriju P.

Pri prijelazu  $m$  (kg) smjese iz stanja 4 u stanje 1 smjesa preuzima iz prostorije toplinu  $Q = m \cdot \Delta h = m(h_1 - h_4)$  vlagu  $m_v = m \cdot \Delta x = m(x_1 - x_4)$



### b) Zimski pogon



Vanjski zrak valja zagrijavati i vlažiti. Stoga su uključeni zagrijač  $G_1$  i ovlaživač  $V$ , dok je hladnjak  $H$  isključen.

U zagrijaču  $G_1$  zagrijava se smjesa stanja 2 do stanja 2', u ovlaživaču  $V$  se vlaži i hladi do stanja 3. Nakon toga se smjesa dogrijava u dogrijaču  $G_2$  do stanja 4, a tada je ventilator  $Vt$  tlači u prostoriju  $P$ .

Pri prijelazu  $m$  (kg) smjese sa stanja 4 u stanje 1 smjesa predaje prostoriji toplinu

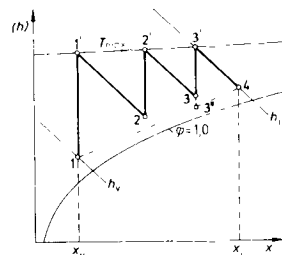
$$Q = m \cdot \Delta h = m(h_4 - h_1)$$

a preuzima od nje vlagu

$$m_v = m \cdot \Delta x = m(x_1 - x_4)$$

### Sušenje vlažne tvari zagrijanim zrakom

Vlažnoj tvari, koja sadrži stanovitu količinu vode, treba smanjiti tu količinu vode do željene vrijednosti.



Zrak za sušenje (vanjski) neka ima ulaznu vlažnost  $x_v$  i ulaznu specifičnu entalpiju  $h_v$  (stanje 1). Zagrijavajući ga po izohigri ( $x = \text{konst}$ ) do najviše dopuštene temperature  $T_{\max}$  on prelazi u stanje 1'. Tako zagrijan zrak nato u sušionoj komori prima vlagu koja ishlapljuje iz vlažne tvari te se hladi po izentalpi ( $h = \text{konst}$ ) do stanja 2.

Taj se postupak više puta ponavlja (2 - 2' i 2' - 3 i 3' - 4) do izlazne specifične entalpije  $h_i$  i izlazne vlažnosti  $x_i$  koja treba biti što većom.

Za zagrijavanje  $m_z$  (kg) zraka potrebna je toplina

$$Q = m_z(h_i - h_v)$$

a iz vlažne tvari je zrak preuzeo vlagu

$$m_v = m_z(x_i - x_v)$$

Pri optočnoj postupku miješamo izlazni zrak (stanje 4) s ulaznim zrakom (stanje 1) u omjeru koji daje smjesu stanja npr. 3'. Ta se smjesa zagrijava do stanja 3' i može u sušari preuzeti vlagu do stanja 4. Optok treba ponavljati do zatražene suhoće tvari.

## ELEKTROTEHNIKA

### Simboli

istosmjerna struja	vodič	tri paralelna vodiča
izmjenična struja	križanje vodiča	trokutni spoj
istosmjerna i izmjenična struja	čvrsti spoj vodiča	zvjezdasti spoj
trofazni sistem	rastavljivi spoj vodiča	ispravljač, elekt. ventil
voltmetar	sklopka	galvaniski izvor struje
ampermetar	otpor	istosmjerni generator
vatmetar	promjenljivi otpor	izmjenični generator
ommetar	osigurač	istosmjerni motor
mjerac frekvencije	namot	izmjenični motor
$\cos \varphi$ - mjerac	namot s odvojcima	trošilo struje, rasvjetno tijelo
registrirajući vatmetar	kondenzator	uzemljenje
brojilo	polarizirani kondenzator	spoj s masom

## ISTOSMJERNA STRUJA

### Ohmov zakon

definira otpor  $R$  kao omjer napona  $U$  i struje  $I$

$$R = U/I \quad U = I R \quad I = U/R$$

Djelatni (ohmski) otpor  $R$  upravo je razmjern s duljinom  $l$  i obrnuto razmjern s presjekom  $A$  vodiča

$$R = \rho l/A \quad \rho = R/l \cdot A$$

$\rho$  = specifični otpor koji je karakterističan za svaki materijal.

Specifični otpor  $\rho$  i presjek vodiča  $A$  mjerimo koherentnim jedinicama međunarodnog sustava jedinica (SI):  $\Omega \cdot m$  ( $= \Omega/m \cdot m^2$ ) ili izvedenom jedinicom  $\Omega \cdot mm^2/m$  ( $A$  u  $mm^2$ ).

Specifični otpor  $\rho$  ovisi o temperaturi  $T$ . Specifični otpor  $\rho_1$  pri temperaturi  $T_1$  povećava se pri temperaturi  $T_2$  na  $\rho_2$  po formuli

$$\rho_2 = \rho_1[1 + \alpha(T_2 - T_1)]$$

$\alpha$  = je temperaturni koeficijent električnog otpora mjereno u  $K^{-1}$ .

Koeficijent  $\alpha$  također se mijenja s temperaturom, no te su promjene pri praktički važnim temperaturama tako neznatne da ga često možemo smatrati konstantnim. Specifični otpori  $\rho_1$  i temperaturni koeficijenti  $\alpha$  određuju se obično pri temperaturi  $T_1 = 20^\circ C = 293 K$ , a sabrani su za najvažnije materijale na str. 257.

Djelatna (omska) vodljivost  $G$  je recipročna veličina omskom otporu  $R$

$$G = 1/R = A/\rho l$$

Specifična vodljivost je  $\gamma = 1/\rho$ .

### Kirchhoffovi zakoni

I Zbroj struja koje dolaze u neku točku električne mreže jednak je zbroju struja koje iz te točke odlaze, tj. zbroj svih struja jednak je nuli

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

II U svakom je zatvorenom krugu zbroj narinutih napona jednak zbroju umnožaka struja i pripadnih otpora (tj. zbroju padova napona)

$$\sum_{i=1}^n U_i = \sum_{i=1}^n (I R)_i$$

### Snaga i rad istosmjerne struje

Snaga  $P$  istosmjerne struje jednaka je umnošku napona  $U$  i struje  $I$

$$P = U I = I^2 R = U^2/R$$

Rad  $W$  istosmjerne struje jednak je umnošku snage  $P$  i vremena  $t$

$$W = P t = U I t = I^2 R t$$

Specifični otpori  $\rho$ , specifične vodljivosti  $\gamma$  i temperaturni koeficijenti električnog otpora  $\alpha$  različitih materijala (pri  $20^\circ C$ )

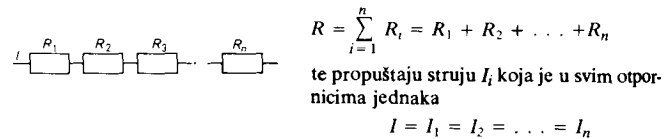
Materijal	Specifični otpor $\rho$ $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$	Specifična vodljivost $\gamma$ $\frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$	Temperaturni koeficijent otpora $\alpha$ $K^{-1}$
aluminij – lijevani	0,040	25	0,0036
– meki	0,028	36	0,0040
– tvrdo vučeni	0,029	34,5	0,0041
bakar – meki	0,0175	57	0,00393
– tvrdo vučeni	0,0178	56	0,00392
bronca – aluminijaska	0,13...0,29	7,7...3,4	0,0006...0,001
– kositrena	0,0278	36	0,0040
cekas	1,12	0,894	0,00014
cekas I	0,97	1,03	0,00052
cekas II	1,08	0,925	0,00008
cink	0,060	16,8	0,0041
čelik	0,1...0,25	10...4	0,0045...0,0055
– lijevani	0,142	7	–
– lim	0,13	7,7	0,0045
– »dinamo« lim	0,27...0,67	3,7...1,5	–
– žica	0,17	5,9	0,0052
kantal	1,45	0,69	0,00006
konstantan	0,5	2,0	–0,00005
kositar	0,12	8,3	0,0045
magnezij	0,043	23	0,0041
manganin	0,43	2,32	0,00001
mjed – lijevana	0,071	14	–
– vučena	0,07...0,08	14...12,5	0,0013...0,0019
nikal	0,42	2,38	0,0002
nikelin	0,09	11	0,0055
ново srebro	0,38	2,63	0,00007
olovo	0,21	4,8	0,0041
platina	0,10	10	0,00392
silumin – lijevani	0,059	17	0,004
sivi lijev	0,6...1,6	1,7...6,3	–
srebro	0,0165	61	0,0040
volfram	0,055	18,1	0,0048
zlat	0,023	43,5	0,0040
željezo (čisto)	0,10	10	0,006
živa	0,958	1,04	0,00099

Za destiliranu vodu iznosi  $\rho \approx 10^{10} \Omega \cdot mm^2/m$ ,

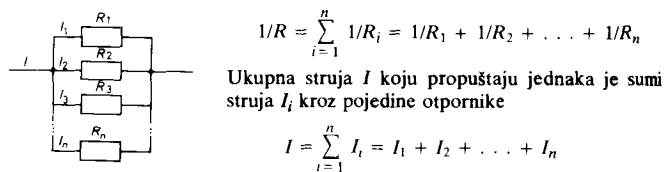
a za morsku je vodu  $\rho = 3 \cdot 10^5 \Omega \cdot mm^2/m$ .

### Spajanje djelatnih (omskih) otpora

- a) Serijski spojeni otpornici pojedinačnih otpora  $R_i$  imaju ukupan otpor  $R$  jednak sumi pojedinačnih otpora (koji je veći od najvećeg otpora)

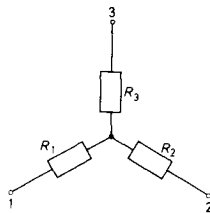


- b) Paralelno spojeni otpornici pojedinačnih otpora  $R_i$  imaju ukupan otpor  $R$  koji je recipročna vrijednost zbroja recipročnih vrijednosti svih otpora (te je manji od najmanjega otpora), a dobiva se iz jednačbe



- c) Električni spoj triju otpora

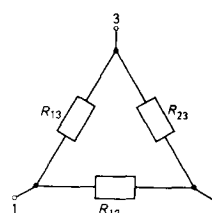
*Spoj u zvijezdi (T-spoj)*



Otpor među stezaljkama 1 i 2

$$R = R_1 + R_2$$

*Spoj u trokutu (Π-spoj)*

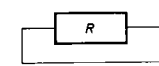


Otpor među stezaljkama 1 i 2

$$R = \frac{R_{12}(R_{23} + R_{31})}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

### Mjerenje temperature otporom

Termometri na otpor iskorišćuju ovisnost djelatnog otpora  $\varrho_T$  o temperaturi  $T$  (vidi str. 256)



$$\varrho_T = \varrho_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

gdje su:  $\varrho_0$  – specifični otpor pri temperaturi  $T_0 = 273 \text{ K}$ ,  $t_0 = 0 \text{ °C}$ ,  $(T - T_0)$  je dakle temperatura  $t$  u  $\text{°C}$ .

Naročito je pogodna za termometre na otpor platina, čiji je temperaturni koeficijent električnog otpora  $\alpha$  linearno ovisan o temperaturi.

$$\alpha = (3907,841 - 0,578 t) 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$t$ °C	$\alpha$ $10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$t$ °C	$\alpha$ $10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$t$ °C	$\alpha$ $10^{-6} \text{ K}^{-1}$
-220	4035,091	150	3821,080	550	3589,716
-200	4023,523	200	3792,159	600	3560,796
-150	3994,602	250	3763,239	650	3531,876
-100	3965,682	300	3734,318	700	3502,955
- 50	3936,761	350	3705,398	750	3474,035
0	3907,841	400	3676,478	800	3445,114
50	3878,921	450	3647,557	850	3416,194
100	3850,000	500	3618,637		

### Termonaponi



Termički se naponi pojavljuju na lemljenim mjestima dviju kovina ili slitina. Oni rastu s porastom temperature, što se iskorištava za mjerenje temperature.

*Termoelektrični naponski niz* (s obzirom na platinu) za temperaturnu razliku među lemljenim mjestima 100 K (100 °C i 0 °C) iznosi:

Kovina (zlitina)	Termonapon mV	Kovina (slitina)	Termonapon mV
Bi	-7,7	Ir	+0,67
konstantan	-3,47 ... -3,04	Ag	+0,67 ... +0,79
Ni	-1,94 ... -1,20	Cu	+0,72 ... +0,77
Pt	0	Au	+0,56 ... +0,80
platinrodij (10% Rh)	+0,65	Fe	+1,88
W	+0,65 ... +0,90	kromnikal	+2,20

**Termoelektrični naponi pri temperaturi  $T$**

za različite kovinske parove s obzirom na baždarne temperature 0 i 20°C

Temperatura $t$ °C	Željezo — konstantan		Kromnikal — nikal		Platinrodij — platina	
	0°C	20°C	0°C	20°C	0°C	20°C
—200	—8,15	—9,20				
—150	—6,60	—7,65				
—100	—4,75	—5,80				
—50	—2,51	—3,56				
0	0,00	—1,05	0,00	—0,80	0,000	—0,113
50	2,65	1,60	2,02	1,22	0,299	0,186
100	5,37	4,32	4,10	3,30	0,643	0,530
150	8,15	7,10	6,13	5,33	1,025	0,912
200	10,95	9,90	8,13	7,33	1,436	1,323
250	13,75	12,70	10,16	9,36	1,868	1,755
300	16,56	15,51	12,21	11,41	2,316	2,203
350	19,36	18,31	14,29	13,49	2,778	2,665
400	22,16	21,11	16,40	15,60	3,251	3,138
450	25,00	23,95	18,51	17,71	3,732	3,619
500	27,85	26,80	20,65	19,85	4,221	4,108
550	30,75	29,70	22,78	21,98	4,718	4,605
600	33,67	32,62	24,91	24,11	5,224	5,111
650	36,64	35,59	27,03	26,23	5,738	5,625
700	39,72	38,67	29,14	28,34	6,260	6,147
750	42,92	41,87	31,23	30,43	6,790	6,677
800	46,22	45,17	33,30	32,50	7,329	7,216
850	49,63	48,58	35,34	34,54	7,876	7,763
900	53,14	52,09	37,36	36,56	8,432	8,319
950			39,35	38,55	8,997	8,884
1000			41,31	40,51	9,570	9,457
1050			43,25	42,45	10,152	10,039
1100			45,16	44,36	10,741	10,628
1150			47,04	46,24	11,336	11,223
1200			48,89	48,09	11,935	11,822
1250			50,69	49,89	12,536	12,423
1300			52,46	51,66	13,138	13,025
1350					13,738	13,625
1400					14,337	14,224
1450					14,935	14,822
1500					15,054	14,941

**Faradayevi zakoni**

Faradayeva konstanta  $F$  je umnožak —

— Avogadrove konstante  $N_A = 6,022\,05 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  i

— elementarnoga naboja  $e = 0,160 \cdot 10^{-18} \text{ A s}$

$$F = N_A e = 96\,353 \text{ A s/mol}$$

Elektrokemijski ekvivalent  $a$  određen je molskom masom  $m_m$  i valencijom  $v$  elementa te Faradayevom konstantom  $F$

$$a = m_m / F v \quad \text{kg/A s}$$

Vrijednosti elektrokemijskog ekvivalenta  $a$  (u  $\text{mg/A s} = 10^{-6} \text{ kg/A s}$ ) nekih materijala

Materijal*	$a$ mg/A s	Materijal*	$a$ mg/A s
aluminij	0,093 2	olovo	1,073 5
bakar — jednovalentni	0,658 8	platina	0,505 7
— dvovalentni	0,329 4	srebro	1,118 0
cink	0,338 7	zlato	0,681 2
kalij	0,405 2	željezo — dvovalentno	0,289 3
kositar — dvovalentni	0,615 1	— trovalentno	0,192 9
— četverovalentni	0,307 5	živa — jednovalentna	2,078 9
magnezij	0,126 0	— dvovalentna	1,039 5
natrij	0,238 4	*	
nikal — dvovalentni	0,304 1	kisik (anion)	0,082 9
— trovalentni	0,202 7	vodik (kation)	0,010 44

\* Valencija se odnosi na vezu kovine u kemijskom spoju.

**Prvi Faradayev zakon**

Struja  $I$  koja protječe elektrolitom izlučit će na elektrodi u vremenu  $t$  masu  $m$

$$m = a I t$$

gdje je  $a$  — elektrokemijski ekvivalent.

**Drugi Faradayev zakon**

Mase  $m_1$  i  $m_2$  različitih tvari, izlučene istom strujom u istom vremenu, odnose se međusobno kao kvocijenti relativnih atomskih masa  $A$  i kemijskih valencija  $v$  tih tvari

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_1}{a_2} = \frac{A_1/v_1}{A_2/v_2}$$

## MAGNETSKO I ELEKTRIČNO POLJE

**Magnetsko polje** nastaje oko polova permanentnih magneta ili oko vodiča električne struje.

**Jakost magnetskog polja**  $H$  (A/m), koju najlakše određujemo mjerenjem električne struje  $I$ , iznosi

- na okomitoj udaljenosti  $r$  od beskonačno dugog vodiča  $H = I/2\pi r$
- u sredini kružnog vodiča (= 1 zavoja) promjera  $d$   $H = I/d$
- u sredini svitka sa  $w$  zavoja na cilindru promjera  $d$   $H = Iw/d$
- u sredini svitka sa  $w$  zavoja na zatvorenom (npr. kružnom) prstenu (obodne) duljine  $l$   $H = Iw/l$



Smjer magnetskog polja određuje se »pravilom desnog vijka«: podudara li se smjer aksijalnog pomicanja vijka sa smjerom struje u vodiču, magnetsko će polje imati smjer okretanja vijka. (Znak  $\otimes$  znači da promatrač gleda u smjeru struje, a znak  $\odot$  znači da gleda suprotno smjeru struje. Na slici struja ulazi okomito u ravninu crteža.)

**Gustoća magnetskog toka** (magnetska indukcija)  $B$  (T = Vs/m<sup>2</sup>) je magnetski tok  $\Phi$  (Vs) na jedinicu površine, što ga u različitim materijalima izaziva magnetsko polje jakosti  $H$

$$B = \Phi/A = \mu H = \mu_0 \mu_r H$$

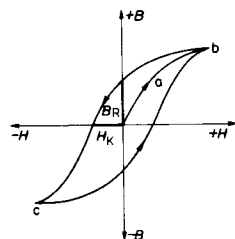
gdje su:  $A$  — presjek,  $\mu$  — permeabilnost,  $\mu_0$  — permeabilnost praznog prostora (vakuum),  $\mu_r$  — relativna permeabilnost.

**Permeabilnost praznog prostora**  $\mu_0$  je konstanta

$$\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/A m.}$$

**Relativna permeabilnost**  $\mu_r$  (bezdimenzijski broj) ovisi o materijalu i jakosti magnetskog polja  $H$ .

U vakuumu (a to vrijedi praktički i za zrak) relativna je permeabilnost  $\mu_r = 1$ . Za feromagnetske materijale prikazujemo ovisnost gustoće magnetskog toka o jakosti magnetskog polja »krivuljom magnetiziranja«  $B = f(H)$ .



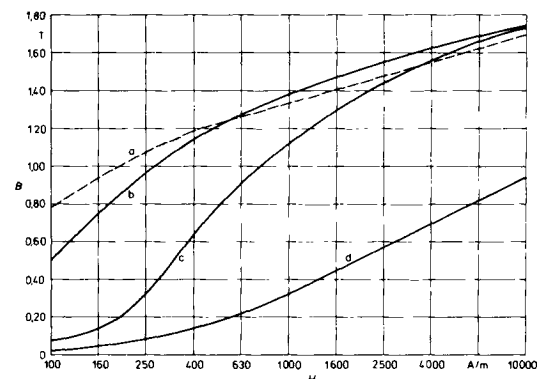
Prvo magnetiziranje čelika prikazuje početna (»djevičanska«) krivulja (a). Smanjimo li zatim jakost magnetskog polja do nule, ostat će u čeliku remanentni magnetizam  $B_R$ , koji možemo poništiti samo suprotnim magnetskim poljem jakosti  $H_K$  (»koercitivna sila«).

Magnetiziranjem čelika do zasićenja u jednom (b) i drugom smjeru (c) krivulja magnetiziranja opisuje petlju (»histereza«).

Čelici za permanentne magnete (magnetski tvrdi čelici) imaju vrlo široku histereznu petlju. Čelici pogodni za izmjenične magnete (magnetski meki čelici) imaju vrlo (praktički zanemarivo) usku histereznu petlju.

**Krivulja magnetiziranja**  $B = f(H)$  za meki čelik i sivi lijev

**Krivulja magnetiziranja**  $B = f(H)$  za meki čelik (I) i sivi lijev (II)



a — transformatorski lim  
b — dinamo-lim

c — čelični lijev  
d — sivi lijev

### Nosivost magneta

Na nosivim polovima magneta magnetske indukcije  $B$  i površine  $A$  iznosi nosivost magneta  $F$

$$F = B^2 A / 2 \mu_0$$

### Induktivitet

Induktivitet  $L$  nekog svitka sa  $w$  zavoja može se prikazati kvocijentom promjene magnetskog toka  $\Phi$  i struje  $I$  koja ga stvara

$$L = w d\Phi/dI$$

Svitak sa  $w$  zavoja kojemu je presjek  $A$  i duljina  $l$  ima induktivitet  $L$

$$L = \mu_0 \mu_r w^2 A / l$$

Induktivitet svitka bez željezne jezgre (za zrak:  $\mu_r = 1$ ) je dakle konstantan. Induktivitet svitka sa željeznom jezgrom zavisi od nagiba krivulje magnetiziranja ( $\mu_0 \mu_r = B/H$ ).

**Energija svitka** iznosi

$$W_L = LI^2/2$$



**Električno polje** nastaje između međusobno izoliranih vodiča pod naponom (i općenito: oko svakog statičkog naboja).

**Jakost električnog polja**  $E$  (V/m) između dviju paralelnih ploča među kojima je napon  $U$ , a njihova udaljenost  $a$ , iznosi

$$E = \frac{U}{a}$$

Na ploči koja ima naboj  $Q$  (C) na površini  $A$  (m<sup>2</sup>), iznosi **gustoća naboja**  $D$  (C/m<sup>2</sup>)

$$D = \frac{Q}{A} = \varepsilon E = \varepsilon_0 \varepsilon_r E$$

gdje su:  $\varepsilon$  – dielektričnost,  $\varepsilon_0$  – dielektrična konstanta (dielektričnost vakuma),  $\varepsilon_r$  – relativna dielektričnost izolatora.

**Dielektrična konstanta** praznog prostora  $\varepsilon_0$  iznosi

$$\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ A s/V m}$$

**Dielektričnost izolatora**  $\varepsilon_r$  zavisi od materijala (između ploča) i iznosi za vakuum  $\varepsilon_r = 1$ , za zrak  $\varepsilon_r = 1,006$ . Vrijednosti za različite izolatore sabrane su u slijedećoj tablici.

**Specifični električni otpori, relativna dielektričnost i probojna čvrstoća električnih izolatora**

Materijal	Specifični otpor $\Omega \text{ m}$	Relativna dielektričnost $\varepsilon_r$	Probojna čvrstoća kV/mm	Dopuštena maksimalna temperatura °C
asfalt	—	2,7	1,8 ... 15,8	100
bakelit	$10^{10}$	2,8	20	55 ... 100
guma — meka	—	2,7 ... 7	10 ... 30	—30 ... +60
— tvrda	$10^{16}$	3 ... 3,5	10 ... 30	—40 ... +80
kremen	$5 \cdot 10^{16}$	4 ... 4,8	35 ... 40	1050
mikanit	—	4,5 ... 5,5	20 ... 30	—
mramor	—	7 ... 9	1,4 ... 2,8	650
paraфин	$10^{14} \dots 10^{16}$	2 ... 2,3	8 ... 20	—
polivinilklorid	—	—	—	—
— elastični	$10^{11}$	3 ... 4	50	65
— tvrdi	$10^{14}$	3 ... 4	50	60 ... 70
porculan	$10^9 \dots 10^{12}$	5 ... 6,3	30 ... 38	—
staklo	$5 \cdot 10^7$	4 ... 17	12 ... 20	—
šlak	$10^{14}$	2,9 ... 3,7	—	75
škrljevac	$10^6 \dots 10^{12}$	6 ... 10	0,2 ... 0,4	—
tinjac	$10^{13} \dots 10^{15}$	6 ... 8	20 ... 60	—
tvrda ljepanka	$10^8 \dots 10^{10}$	5 ... 6	10 ... 30	130
ulje (transformatorsko)	$10^{10}$	2 ... 2,5	8 ... 12	85

## Kapacitet

**Kapacitetom**  $C$  definiramo omjer električnog naboja  $Q$  sabranog na dvjema elektrodama kondenzatora i napona  $U$  među njima

$$C = Q/U$$

Kondenzator kojemu je površina paralelnih ploča  $A$ , a razmak među njima  $a$  ima kapacitet  $C$

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r A/a$$

Kapacitet kondenzatora ovisi dakle o relativnoj dielektričnosti  $\varepsilon_r$  materijala među pločama (izolatora).

**Spoj više kondenzatora**

a) u paralelnom spoju (povećava se površina ploča); daje ukupni kapacitet  $C$

$$C = \sum_{i=1}^n C_i = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

b) u serijskom spoju (povećava se razmak ploča) daje ukupni kapacitet  $C$  prema jednadžbi

$$1/C = \sum_{i=1}^n 1/C_i = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n$$

**Energija kondenzatora**

$$W_C = CU^2/2$$

**Vodič električne struje u magnetskom polju**

1. Sila  $F$  (N) koja djeluje na vodič električne struje jakosti  $I$  (A), u magnetskom polju gustoće  $B$  (T), na duljini  $l$  (m), iznosi

$$F = BIl$$

Sila  $F$  je usmjerena prema manjoj gustoći magnetskog polja koje rezultira iz magnetskog polja gustoće  $B$  i magnetskog polja što nastaje oko vodiča struje jakosti  $I$ .

Ta se sila  $F$  iskorištava u elektromotorima.

2. U vodiču duljine  $l$  (m) koji se giba brzinom  $v$  (m/s) kroz magnetsko polje gustoće  $B$  (T) inducira se napon  $U_i$  (V)

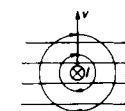
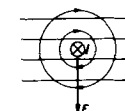
$$U_i = Bvl$$

Inducirani napon  $U_i$  uzrokuje struju takvoga smjera da se vodič giba brzinom  $v$  prema većoj gustoći magnetskog polja koje rezultira iz magnetskog polja gustoće  $B$  i magnetskog polja nastalog oko vodiča struje jakosti  $I$ .

Ako se magnetski tok  $\Phi$  mijenja u vremenu  $t$ , u svitku sa  $w$  zavoja koji miruje induciraće se napon

$$U_i = -w(d\Phi/dt)$$

Na tome se induciranom naponu  $U_i$  osniva djelovanje električnih generatora.



## IZMJENIČNA STRUJA

Izmjenični napon što nastaje u vodičima električnih generatora izaziva u zatvorenom strujnom krugu izmjeničnu struju određene frekvencije.

Frekvencija  $f$  izmjenične struje ovisi o broju pari polova  $p$  i brzini vrtnje  $n$  generatora

$$f = pn$$

Normalna frekvencija izmjenične struje u Evropi je  $f = 50$  Hz. Njoj odgovaraju slijedeći brojevi pari polova  $p$  i brzine vrtnje  $n$  koje se najviše upotrebljavaju:

Broj pari polova $p$	Broj polova $2p$	Brzina vrtnje $n$		Broj pari polova $p$	Broj polova $2p$	Brzina vrtnje $n$	
		okr./s	okr./min			okr./s	okr./min
1	2	50	3000	8	16	6,25	375
2	4	25	1500	10	20	5	300
3	6	16⅔	1000	12	24	4⅓	250
4	8	12,5	750	16	32	3,125	187,5
5	10	10	600	20	40	2,5	150
6	12	8⅓	500	24	48	2⅓	125

Kružna frekvencija (pulzacija):  $\omega = 2\pi f$

### Otpor za izmjeničnu struju

Cjelokupni (prividni) otpor  $Z$  (impedancija) iznosi:  $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ , gdje su:  $R$  – djelatni (omski) otpor,  $X$  – jalovi otpor (reaktancija).

Djelatni otpor za izmjeničnu struju – zbog potiskivanja (skin-efekta) – nije jednak djelatnom otporu za istosmjernu struju (vidi str. 256). Pri niskim frekvencijama, međutim, ta je razlika neznatna.

Jalovi je otpor  $X = \omega L - 1/\omega C = X_L - X_C$

gdje su: induktivni otpor (induktancija)  $X_L = \omega L$   
kapacitivni otpor (kapacitancija)  $X_C = 1/\omega C$

Spoj više jalovih otpora:

a) u serijskom spoju  $X = \sum_{i=1}^n X_i$

$$X_L = X_{L1} + X_{L2} + \dots + X_{Ln} \quad X_C = X_{C1} + X_{C2} + \dots + X_{Cn}$$

b) u paralelnom spoju  $1/X = \sum_{i=1}^n 1/X_i$

$$1/X_L = 1/X_{L1} + 1/X_{L2} + \dots + 1/X_{Ln} \quad 1/X_C = 1/X_{C1} + 1/X_{C2} + \dots + 1/X_{Cn}$$

Kut faznog pomaka  $\varphi$  između struje i napona

$$\tan \varphi = X/R = (X_L - X_C)/R$$

Ako je  $X_L > X_C$ , struja vremenski zaostaje za naponom, ako je  $X_L < X_C$ , struja prethodi naponu za kut  $\varphi$ .

## Jednofazni sistem

Struja  $I$

Snaga  $P$  — prividna snaga  
djelatna snaga  
jalova snaga  
faktor snage

$$I = U/Z = U/\sqrt{R^2 + X^2}$$

$$P_z = UI$$

$$P = UI \cos \varphi$$

$$P_x = UI \sin \varphi$$

$$\cos \varphi = P/P_z = P/UI$$

$$W = Pt = UI t \cos \varphi$$

Rad  $W$

## Trofazni sistem

Trofazni sistem izmjenične struje ima 3 napona kojima su faze međusobno pomaknute za kut  $2\pi/3$  ( $= 120^\circ$ ).

Linijski napon  $U$

Linijaska struja  $I$

Spoj u zvijezdi

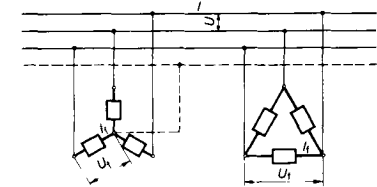
fazni napon  $U_f = U/\sqrt{3}$

fazna struja  $I_f = I$

Spoj u trokutu

fazni napon  $U_f = U$

fazna struja  $I_f = I/\sqrt{3}$



Spoj u zvijezdi

Spoj u trokutu

Snaga  $P$  — prividna snaga  $P_z = 3 U_f I_f = \sqrt{3} \cdot UI$

djelatna snaga  $P = \sqrt{3} \cdot UI \cos \varphi$

jalova snaga  $P_x = \sqrt{3} \cdot UI \sin \varphi$

Rad  $W$

$$W = Pt = \sqrt{3} \cdot UI t \cos \varphi$$

Pri računanju snage  $P$  i rada  $W$  faktor snage  $\cos \varphi$  odnosi se na fazne vrijednosti  $U_f$  i  $I_f$ .

## Transformacija izmjenične struje

Inducirani naponi  $U_i$  u primarnom i sekundarnom namotu transformatora odnose se kao njihovi brojevi zavoja  $w$

$$U_1/U_2 = w_1/w_2$$

Napon  $U_2$  na stezaljkama sekundarnog namota je zbog gubitaka manji

$$U_2 < U_1 (w_2/w_1)$$

Korisnost transformatora  $\eta$ , tj. omjer snage  $P_2 = U_2 I_2$  (VA) sekundarne strane i snage  $P_1 = U_1 I_1$  (VA) primarne strane, razmjerno je dobra (transformatori nemaju gibljivih dijelova):

za male snage (npr. 1 kVA)  $\eta = 0,92$

za velike snage (npr. 1000 kVA)  $\eta = 0,985$

## ELEKTRIČNO GRIJANJE

**Jouleova toplota**  $Q$  (J) je toplota koja se razvija u vodiču otpora  $R$  ( $\Omega$ ) kojim teče struja  $I$  (A) u vremenu  $t$  (s)

$$Q = I^2 R t$$

Za električno se grijanje upotrebljavaju ponajviše slijedeći materijali:

- a) za radne temperature 800...1100 °C  
slitine željeza, nikla i kroma (cekas, nikrom itd.)  
— za kuhala, peći, industrijske peći;
- b) za radne temperature do 1350 °C  
slitine željeza, kroma, aluminija i kobalta (cekas ekstra, kantal itd.)  
— za peći za žarenje, taljenje i temperovanje te peći u atmosferi sumpornih i drugih plinova;
- c) za radne temperature do 1450 °C  
karborundni štapovi (silit, silikarbon do 1400 °C, kvarcilit do 1450 °C drugi)  
— za peći keramičke industrije, peći za taljenje, laboratorijske peći itd.;
- d) za radne temperature do 1700 °C  
rodij, molibden, volfram (Mo i W u redukcijskoj atmosferi!)  
— za laboratorijske peći;
- e) za radne temperature do 2300 °C  
elektrografit  
— za elektrode električnih peći itd.

*Osnovni podaci češće upotrebljivanih otporničkih materijala za grijanje*

Materijal	Specifični otpor $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$	Temperaturni koeficijent otpora $\text{K}^{-1}$	Maksimalna radna temperatura $^{\circ}\text{C}$	Talište $^{\circ}\text{C}$
cekas	1,08	0,000 25	930	1370
cekas I	0,97	0,000 52	—	—
cekas II	1,06	—	1100	1400
cekas ekstra	1,40	0,000 05	1300	1500
nikrom	1,12	0,000 17	930	1350
nikrom V	1,08	0,000 09	1100	1400
kantal A	1,35	0,000 08	1300	1530
kantal A <sub>1</sub>	1,45	0,000 06	1350	1530
omaks	1,66	0,000 035	—	1500

**Toplota**  $q$  (J/s mm<sup>2</sup>) što je otpornička žica za grijanje predaje u jedinici vremena s jedinice površine pri različitim temperaturama žice iznosi približno:

Temperatura žice $^{\circ}\text{C}$	Toplota $q$ J/s mm <sup>2</sup>	Temperatura žice $^{\circ}\text{C}$	Toplota $q$ J/s mm <sup>2</sup>
700...800 900	0,02 0,01	1000 1100	0,006...0,008 0,004...0,006

Dopuštena opterećenja okrugle žice cekas II na šamotnoj podlozi pri temperaturi žice oko 800 °C:

Struja $I^{\circ}$ A	Promjer žice mm	Otpor $R_1^{\circ}$ $\Omega/\text{m}$	Dulj. masa g/m	Struja $I^{\circ}$ A	Promjer žice mm	Otpor $R_1^{\circ}$ $\Omega/\text{m}$	Dulj. masa g/m
1,58	0,25	23,60	0,4	8,46	0,90	1,82	5,3
1,95	0,30	16,50	0,6	10,09	1,00	1,48	6,5
2,35	0,35	12,00	0,8	12,10	1,10	1,22	7,8
2,80	0,40	9,25	1,0	13,81	1,20	1,02	9,3
3,44	0,45	7,30	1,3	15,51	1,30	0,87	11,0
3,99	0,50	5,90	1,6	17,21	1,40	0,76	12,8
4,52	0,55	4,88	2,0	18,90	1,50	0,65	14,7
5,06	0,60	4,10	2,3	21,08	1,60	0,58	16,7
5,60	0,65	3,50	2,7	25,08	1,80	0,45	21,0
6,16	0,70	3,10	3,2	29,21	2,00	0,37	26,1
6,76	0,75	2,62	3,7				
7,29	0,80	2,31	4,2				

\* Pri 800 °C.

### Proračun peći

Za traženu snagu električnih grijalica  $P$  uz napon  $U$  određuje se struja

$$I = \frac{P}{U}$$

Za struju  $I$  odabere se iz tablice odgovarajući promjer žice i njezin otpor  $R_1$  za duljinu žice 1 m ( $\Omega/\text{m}$ ).

Iz ukupno potrebnog otpora  $R$  ( $\Omega$ )

$$R = \frac{U^2}{P}$$

proračuna se potrebna duljina odabrane žice  $l$  (m)

$$l = \frac{R}{R_1}$$

## ELEKTRIČNA RASVJETA

**Svjetlosni tok  $\Phi$  (lm)** je ukupna količina svjetlosti koju rasvjetno tijelo emitira u svim pravcima.

**Svjetlosna jakost  $I$  (cd)** je svjetlosni tok  $\Phi$  na jedinicu prostornog kuta  $\omega$

$$I = \Phi / \omega$$

Prostorni kut  $\omega$  je dio prostora koji obuhvaća plašt isječka kugle polumjera  $r$  ako je  $A$  osnovica isječka

$$\omega = A / r^2$$

**Rasvjetljenost (osvjetljenost)  $E$  (lx)** je gustoća svjetlosnog toka  $\Phi$  kojom izvor svjetlosti osvjetljuje površinu  $A$

$$E = \Phi / A = I / r^2$$

Rasvjetljenost opada dakle s kvadratom udaljenosti od izvora svjetlosti.

**Luminancija (sjajnost)  $B$  (cd/m<sup>2</sup>)** je svjetlosna jakost koju izvor svjetlosti zrači s jedinice svoje površine.

\*

**Potrebna rasvjetljenost  $E$  (lx) prostorija**

Vrsta rada	Opća rasvjeta		Lokalna i opća rasvjeta		
	osrednja	na najnepovoljnijem mjestu	radnog mjesta	opća osrednja	na najnepovoljnijem mjestu
grubi	20... 40	10	50... 100	20	10
osrednji	40... 80	20	100... 300	30	15
fini	75... 150	50	300... 1000	40	20
vrlo fini	150... 300	100	1000... 5000	50	30

Pod pojedinim se vrstama rada razumijevaju:

grubi rad lijevanje, kovanje, zemljani radovi i sl.  
osrednji rad normalni rad na alatnim strojevima, zidanje i sl.  
fini rad precizni rad na strojevima, montaža, čitanje, pisanje i sl.  
vrlo fini rad fina mehanika, graviranje, crtanje i sl.

Potreban svjetlosni tok  $\Phi$  za osvjetljenje površine  $A$  rasvjetljenošću  $E$

$$\Phi = EA / \eta$$

gdje korisnost rasvjete  $\eta$  ovisi o naravi i načinu postavljanja rasvjetnog tijela te o obliku i boji zidova i stropa (veća je pri svjetlijim zidovima):

direktna rasvjeta  $\eta = 0,40 \dots 0,55$

indirektna rasvjeta  $\eta = 0,15 \dots 0,35$

Svjetlosni tok  $\Phi$  žarulje s kovinskom niti snage  $P$  (kod 220 V)

$P(W)$	15	25	40	60	100	200	300	500	1000	1500	2000
$\Phi(lm)$	112	194	322	555	1070	2500	4070	7550	17100	27500	42000
$\Phi/P(lm/W)$	7,5	7,8	8,1	9,3	10,7	12,5	13,6	15,1	17,1	18,3	21,0

## ELEKTROMOTORI

**Motori istosmjerne struje**

1. **Serijski motori** (imaju uzbudni namot vezan u seriji s rotorskim namotom).

Serijski motori imaju »meku karakteristiku«. Pri porastu opterećenja raste moment  $M$  na osovini, a brzina vrtnje  $n$  pada. Obrnuto: rasterećeni motor teži da »pobjegne«.

Pokretni je moment  $M_a$  znatno veći od nazivnoga (300% i više).

Upotreba: električna vuča (električne željeznice, tramvaj, trolejbus), dizala itd.

2. **Paralelni (poredni) motori** (imaju uzbudni namot vezan paralelno s rotorskim namotom).

Paralelni motori imaju »tvrdu karakteristiku«. Pri opterećenju — tj. pri povećanju momenta  $M$  — brzina se vrtnje  $n$  mijenja samo neznatno.

Pokretni je moment  $M_a$  također veći od nazivnoga.

3. **Kompaundni motori** su kombinacija serijskog i paralelnog motora.

Upotreba: za veće snage (npr. za pogon u valjaonicama).

\*

Promjenu smjera vrtnje motora istosmjerne struje postizemo zamjenom stezaljki uzbudnog ili rotorskog namota.

Brzinu vrtnje istosmjernih motora reguliramo mijenjanjem uzbuđe (ekonomično) ili otpornikom u seriji s rotorskim namotom (neekonomično) ili mijenjanjem priključenog napona.

**Motori izmjenične struje**

1. **Trofazni asinhroni motori** djeluju na principu okretnog magnetskog polja. Statorski i rotorski namoti međusobno su odvojeni: statorski je vezan na trofaznu mrežu, a rotorski je zatvoren u svom krugu, i to:

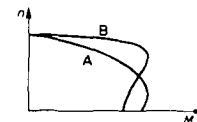
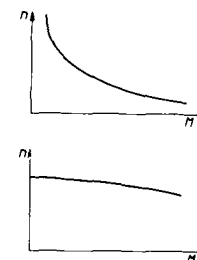
a) **kolutni** asinhroni motor ima rotorski namot spojen — preko kliznih koluta — na otpore pokretača;

b) **kavezni** asinhroni motor ima rotorski namot — u obliku kaveza — kratko spojen. To je najjednostavniji motor i zato u velikoj upotrebi.

Trofazni asinhroni motor ima tvrdi karakteristiku.

Krivulja A vrijedi za uključene otpore pokretača, B za kratko spojeni rotor (otpori isključeni).

Pokretni je moment znatan (120...250% nazivnoga).

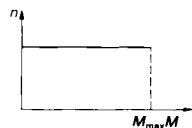


Struja pokretanja trofaznih asinhronih motora je vrlo velika. Kod kratko spojenih rotora (kavezni motori) može postići osmerostruku vrijednost nazivne struje. Zato se za iole veće jedinice upotrebljava kolutni motor, koji pokrećemo uz uključene otpore (manja struja pokretanja!), a zatim otpore postupno isključujemo. Kod kaveznih motora veće snage struju pokretanja smanjujemo posebnom preklapkom »zvijezda-trokut«.

Brzinu vrtnje možemo regulirati otporima u rotorskom krugu (samo kod kolutnih motora, redovno neekonomično). Gruba regulacija brzine vrtnje moguća je, međutim, mijenjanjem broja statorskih polova preklapanjem (kod kolutnih i kaveznih motora).

Smjer vrtnje možemo promijeniti međusobnom zamjenom bilo kojih dviju faza na stezaljkama statora.

2. *Trofazni sinhroni motor* ima stator s trofaznim namotom, priključenim na mrežu, i rotor s nizom polova – permanentnih magneta (za manje snage) ili elektromagneta napajanih preko kliznih koluta istosmjernom strujom iz posebnog izvora (za veće snage).



Brzina vrtnje  $n$  je konstantna – sinhrona, ovisna samo o frekvenciji mreže, a neovisna o opterećenju (momentu  $M$ ).

Pri opterećenjima većim od graničnoga ( $M_{\max}$ ) sinhroni motor ispada iz koraka te se zaustavlja.

Sinhroni motor ne može sam krenuti (osim u specijalnoj izvedbi). Treba ga dovesti na sinhronu brzinu (npr. posebnim motorom).

Upotreba: tamo gdje je potrebna potpuno konstantna brzina vrtnje, pri znatnijim opterećenjima i za korekciju faznog pomaka.

3. *Jednofazni asinhroni motor* stvara okretno magnetno polje radnim i posebnim pomoćnim namotom statora. Jednofazni motor ima također tvrdi karakteristiku, a pokretni moment iznosi 30 ... 200% nazivnoga.

Upotreba: kao mali motori u industriji i kućanstvu.

4. *Kolektorski motor* ima kolektor (komutator) (poput istosmjernih motora) koji omogućuju regulaciju brzine vrtnje u širokim granicama (ali je skuplji od asinhronih motora). Brzina se vrtnje regulira:

- regulacijskim transformatorom priključeni između motora i mreže,
- odvojcima na statorskim namotima,
- pomicanjem četkica.

Karakteristike kolektorskih motora slične su karakteristikama motora istosmjerne struje: serijski kolektorski motor ima meku karakteristiku, paralelni kolektorski motor ima tvrdi karakteristiku.

Upotreba: gdje god je potrebna regulacija brzine vrtnje kod motora izmjenične struje (papirna i tekstilna industrija, dizala, električne željeznice itd.).

## Snaga elektromotora

Snaga elektromotora koji iz mreže troši struju jakosti  $I$  pri naponu  $U$  (linijske vrijednosti, v. str. 267), iznosi:

$$\begin{aligned} \text{za istosmjernu struju} & P = \eta_{\text{mot}} UI \\ \text{za jednofazni sistem} & P = \eta_{\text{mot}} UI \cos \varphi \\ \text{za trofazni sistem} & P = \eta_{\text{mot}} \sqrt{3} \cdot UI \cos \varphi \end{aligned}$$

Korisnosti elektromotora  $\eta_{\text{mot}}$  iznose:

Vrsta struje	Za snagu motora $P$ kW			
	do 1	2 ... 10	10 ... 50	50 ... 100
istosmjerna	0,65 ... 0,78	0,78 ... 0,86	0,86 ... 0,90	0,90 ... 0,93
jednofaz. sist.				
trofaz. sistem	0,80	0,85 ... 0,88	0,88 ... 0,91	0,91 ... 0,92

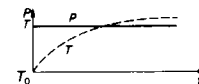
## Izbor elektromotora

Pri izboru snage motora za određeni pogon odlučno je zagrijavanje motora. Zbog toga možemo motor kratkotrajno opteretiti znatno više nego je njegova nazivna snaga u trajnom pogonu.

Razlikujemo razne vrste pogona motora, od kojih su najkarakterističnije sljedeće (prikazane dijagramima u kojima su:  $P$  – snaga,  $T_0$  – temperatura okoline,  $T$  – temperatura,  $t$  – vrijeme):

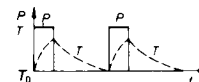
### 1. Trajni pogon

Motor radi bez prekida i postiže konačnu stacionarnu temperaturu koja ne smije premašiti dopuštenu maksimalnu temperaturu.



### 2. Kratkotrajni pogon

Motor radi kratkotrajno (npr. 10, 30 ili 60 min), tako da za vrijeme rada smije postići dopuštenu maksimalnu temperaturu, a za vrijeme mirovanja potpuno se ohladi na temperaturu okoline.



### 3. Prekidni pogon

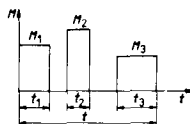
Motor radi u kraćim periodima rada i mirovanja, tako da smije za vrijeme rada postići dopuštenu maksimalnu temperaturu, ali se za vrijeme prekida ne ohladi na temperaturu okoline.



S obzirom na klasu izolacije motora može temperatura dostići vrijednosti: 90, 105, 120, 130, 155, 180 °C (ili i više).

Pri izboru snage motora za neki pogon vrijedi približno

$$M = \sqrt{\sum (M_n^2 t_n)} / t$$



gdje su:  $M$  — za izbor motora odlučan jednoliki moment vrtnje u vremenu  $t$ ,  $M_n$  — pojedini momenti vrtnje u pojedinim vremenima  $t_n$ .

Uz približno iste brzine vrtnje vrijedi to i za snagu  $P$

$$P = \sqrt{\sum (P_n^2 t_n)} / t$$

#### ELEKTRIČNI VODOVI NISKOG NAPONA

Pad napona  $u$  u vodu je razlika između napona  $U_0$  na izvoru električne struje i napona  $U$  kod potrošača

$$u = U_0 - U$$

Uzmemo li presjek žice  $A$  ( $\text{mm}^2$ ), duljinu voda (ne žice!)  $l$  (m), specifični otpor materijala  $\rho$  ( $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ) te jakost struje  $I$  (A), odn. snagu el. struje  $P$  (W), napon  $U$  (V) i fazni pomak  $\varphi$  na mjestu potrošnje (za trofazni je sistem  $U$  linijski napon, vidi str. 267!), iznositi će pad napona  $u$  (V) u vodu niskog napona položenom u cijevi ili kابلu:

$$\text{za istosmjernu struju} \quad u = (2l/A) \rho I = (2l/A) \rho P/U$$

$$\text{za jednofazni sistem} \quad u = (2l/A) \rho I \cos \varphi = (2l/A) \rho P/U$$

$$\text{za trofazni sistem} \quad u = (l/A) \rho \sqrt{3} \cdot I \cos \varphi = (l/A) \rho P/U$$

Iz tih jednadžbi možemo izračunati presjek žice  $A$  za određeni dopušteni pad napona  $u$ .

Kod niskonaponskih je zračnih vodova za izmjeničnu struju pad napona  $u$  nešto veći zbog dodatnog induktivnog otpora. U tom slučaju valja proračunate vrijednosti za pad napona  $u$  pomnožiti faktorom iz tablice:

$\cos \varphi$	Presjek žice $\text{mm}^2$						
	10	16	25	35	50	70	95
0,9	1,1	1,15	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8
0,8	1,15	1,24	1,36	1,5	1,7	1,9	2,2
0,7	1,2	1,32	1,5	1,7	1,9	2,2	2,6

Dopušteni pad napona izražen u postocima nazivnog napona mreže iznosi:

- za skupni dovod od uvoda do električnog brojila < 1%
- za rasvjetne instalacije od brojila do koje god svjetiljke < 2%
- za motorne instalacije od brojila do motora < 5%

#### Zaštita vodova

Vodovi moraju biti zaštićeni od preopterećenja osiguračima (ili rasklop-kama) da se ne bi prekomjerno ugrijali.

Najveća dopuštena trajna struja u vodičima (= nazivna struja osigurača)

Presjek vodiča $\text{mm}^2$		Nazivna struja rastalnih osigurača A			Presjek vodiča $\text{mm}^2$		Nazivna struja rastalnih osigurača A		
Cu	Al	I	II	III	Cu	Al	I	II	III
0,75	—	—	10	16	25	35	80	100	125
1	—	10	16	20	35	50	100	125	160
1,5	2,5	16	20	25	50	70	125	160	200
2,5	4	20	25	35	70	95	—	200	225
4	6	25	35	50	95	120	—	225	260
6	10	35	50	63	120	150	—	260	300
10	16	50	63	80	150	185	—	300	350
16	25	63	80	100	185	240	—	350	430
					240	—	—	430	500

I: izolirani vodiči istoga strujnog kruga, položeni u izolacione cijevi;

II: cijevni (oklopljeni) vodiči, kabelski ili višezilni vodiči koji nisu položeni u cijevima, višezilni savitljivi priključni vodovi;

III: jednožilni izolirani vodiči, slobodno položeni u zraku, jednožilni spojni vodovi u rasklopnim postrojenjima, goli vodovi presjeka do  $50 \text{ mm}^2$  Cu ili  $70 \text{ mm}^2$  Al.

Sve vrijednosti navedene u tablici vrijede za temperaturu okoliša do  $25^\circ\text{C}$ . Pri višim temperaturama valja ove vrijednosti pri vodovima, izoliranim gumom ili termoplastom, odgovarajuće sniziti (pri  $40^\circ\text{C}$  za 25 odn. 18%, pri  $55^\circ\text{C}$  za 62 odn. 42%).

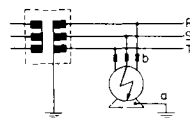
#### Zaštitne mjere u niskonaponskim postrojenjima

Oštećenjem električnih strojeva i naprava mogu vanjski dijelovi postrojenja doći pod napon i time u slučaju dodira dovesti u opasnost osoblje koje njima rukuje. Po propisima JUS o postrojenjima s naponom do 65 V prema zemlji nisu zaštitne mjere potrebne, izuzev kod ručnih svjetiljki i drugih električnih naprava u kotlovima i sličnim tijesnim prostorima. U postrojenjima s naponom od 65 do 250 V prema zemlji zaštitne su mjere potrebne tamo gdje je prelazni otpor čovjeka prema zemlji smanjen zbog vlage, topline i kemijskih utjecaja, u prostorijama s kamenim ili betonskim podom, kod metalnih konstrukcija itd. Za napone preko 250 V potrebne su zaštitne mjere u svakom slučaju.

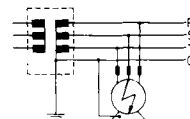
U niskonaponskim postrojenjima (do 1 kV) primjenjujemo sljedeće zaštitne mjere:

1. **Zaštitno izoliranje.** Da bi se u slučaju kvara na električnim postrojenjima izbjegla opasnost od dodira onih metalnih dijelova koji bi tom prilikom mogli doći pod napon (kućišta sklopki, ručice polužnih prekidača itd.), prevlačimo ih izolacijskim materijalom ili polažemo po tlu prostirače od gume ili plastičnih masa. Treba onemogućiti istovremeni dodir eventualno bliske vodovodne instalacije.

2. **Primjena malog napona.** U vlažnim prostorijama, kotlovnica, garažama i sl., a osobito za prenosiva trošila (ručne svjetiljke, male motore i dr.) upotrebljavamo napon najviše do 42 V, tzv. »mali napon«. Običajno ga dobivamo transformatorom (s odijeljenim namotima!), a kod istosmjernje struje akumulatorom. Važno je da strana malog napona bude galvanski potpuno odvojena od primarne strane i da ne bude uzemljena.



3. **Uzemljenje.** Uzemljenje (a) ima zadatak da se u slučaju kvara na trošilu, kad vanjski dijelovi dođu pod napon, strujni krug zatvori kroz zemlju i da ta struja izbacivanjem osigurača (b) sama prekine napajanje defektnog trošila. Da bi se to osiguralo, otpori uzemljenja moraju biti dovoljno maleni. Zato se uzemljenje većih trošila iz ekonomskih razloga izbjegava.



4. **Nulovanje.** Nulovanje je spajanje dijelova postrojenja koje želimo zaštititi na uzemljeni neutralni vodič. Time se postiže da svaki spoj sa zaštićenim dijelom ostane kratki spoj i da struja kratkog spoja izazove isklapanje defektnog trošila. Valja paziti da vodovi budu dimenzionirani tako da pri kratkom spoju između faznog vodiča i nulvoda uistinu teče

struja koja će sigurno isključiti.

5. **Primjena sistema zaštitnih vodova.** U prostorno ograničenim mrežama (tvornice, rudnici) s vlastitim generatorima ili transformatorima (s odijeljenim namotima) gdje je važno održavati pogon i u slučaju dozemnog spoja jedne faze, vežu se trošila na »sistem zaštitnih vodova« (metalne konstrukcije zgrada, vodovod, tračnice i sl.) koji je uzemljen.

6. **Zaštitne sklopke.** Kod strujne zaštitne sklopke, pri kojoj je trošilo uzemljeno, struja defekta kroz uzemljivač prouzrokuje aktiviranje sklopke. Kod naponske sklopke, pri kojoj je trošilo uzemljeno kroz samu sklopku, dolazi do isklapa kad se na kućištu trošila zbog defekta pojavi određeni napon.

## ELEKTRIČNA OPREMA MOTORNH VOZILA

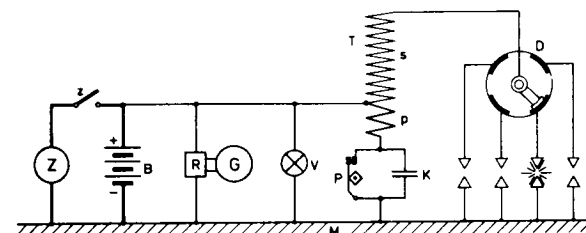
Motorna vozila gone gotovo isključivo motori s unutarnjim izgaranjem sistema Otto ili Diesel (str. 255). Za njihovo djelovanje i za dodatne svrhe vozilu je potrebna električna oprema koja se sastoji u prvom redu iz:

- akumulatorske baterije (B)
- pokretača (Z)
- generatora (G) s regulatorom (R)
- potrošača u vozilu (V),

a pri motorima sistema Otto još i iz

- uređaja za paljenje: indukcionog svitka (T), prekidača (P) s kondenzatorom (K), razvodnika (D) i svjećica (S).

Nazivni napon instalacije je 6, 12, 24 V.



### Pokretač

Motori s unutarnjim izgaranjem ne mogu krenuti sami od sebe. Valja ih pokrenuti posebnim pokretačem, tj. elektromotorom ili pomoću komprimiranog zraka i sl.

Pri motornim vozilima je pokretač redovno istosmjerni serijski elektromotor kojega napaja akumulator. Uklapanje pokretačke sklopke (tzv. »brave«) (z) redovno je na elektromagnetski način.

Potrebna pokretna struja je veoma velika (nekoliko stotina A, iznimno i 1000 A). Posebno je zimi opterećenje najveće kako za akumulatorsku bateriju (u kojoj niske temperature smanjuju brzinu reakcije elektrokemijskoga procesa), tako i za motor (u kojem niske temperature povećavaju trenje u ležajima zbog viskozijeg maziva i kože rasplinjavanje i paljenje goriva). Zbog velike pokretne struje smije pokretač biti u pogonu samo kratko vrijeme.

Pokretač je u spoju s motorom vozila samo za vrijeme pokretanja. Kad motor samostalno krene, pokretač se od njega odvoji, o čem se brine posebni rasklopni uređaj.

### Generator i regulator

Generator motornog vozila služi za punjenje akumulatorske baterije u kojoj se skuplja za pokretanje potrebna električna energija, a njom se napajaju i ostali potrošači u vozilu (signalne svjetiljke, zvučni signali, farovi itd.). Pri Otto-motorima generator dobavlja i struju za uređaj za paljenje.

Generator je vezan neposredno s motorom vozila. Stoga je njegova brzina vrtnje isto tako promjenljiva kao i brzina motora, što znači, da generator proizvodi vrlo promjenljivi napon. Da bi se dobio potreban jednoliki napon, generatoru je priključen *generatorski regulator* koji upravlja njegovim pravilnim djelovanjem.

Generator može biti istosmjerni (dinamo) ili izmjenični (alternator). Izmjenični generator mora imati još i ispravljač.

### Uređaj za paljenje

Motori s unutarnjim izgaranjem sistema Otto trebaju još i uređaj za paljenje kojim se stvaraju iskre na svjećicama motora. U tu je svrhu potrebna struja visokog napona koju proizvodi indukcioni svitak.

*Indukcioni svitak* je u stvari transformator s primarnim (p) i sekundarnim (s) namotajem. Kroz primarni namotaj teče istosmjerna struja (nazivnog napona instalacije), koja sama ne može inducirati napon u sekundarnom krugu. Za to je potreban *prekidač* struje tako vezan s motorom, da prekine primarnu struju u trenutku potrebne iskre na svjećici. Trenutak nastanka iskre (pretpaljenje!) udešava se relativnim pomakom prekidnog batiča s obzirom na njegov pogon s osovine. Za vrijeme pogona motora nastajanje iskre prilagođava se brzini vrtnje motora centrifugalnom regulacijom, a u ovisnosti od podtlaka u usisnoj cijevi motora. Prekidač je obično izrađen od platina (na »platinama«, koje su od volframa ili slične kovinske slitine) smanjuje *kondenzator* koji uz to inducira viši napon.

Prekinućem primarne struje smanjuje se u svitku za paljenje magnetsko polje, što izazove u sekundarnom krugu inducirani napon koji je — zbog velikog broja sekundarnih zavoja — veoma visok (do 30 kV). Struja visokog napona vodi se nato u razvodnik koji je prenosi na svjećice. Elektrode na svjećicama su razmaknute za 0,5...0,7 mm, što je prilagođeno mogućnosti preskoka jake iskre. Razvodnik je vezan s motorom tako da iskre na svjećicama odgovara potrebnom rasporedu djelovanja pojedinih cilindara motora.

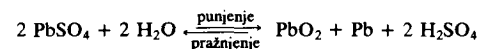
Pri savremenijim motorima s unutarnjim izgaranjem izveden je uređaj za paljenje na principu elektronike.

### Akumulatori

Električni akumulatori su sabirači električne energije u kemijskom obliku. Osim posebnih izvedbi akumulatora (kao npr. alkalnih sa čeličnom odn. kadmijevom i nikalnom elektrodom i dr.) najrašireniji je olovni akumulator.

Olovni akumulator ima — u svakoj akumulatorskoj ćeliji — po dvije elektrode od olova u razrijeđenoj sumpornoj kiselini kao elektrolitu. Obje se elektrode u elektrolitu oblože olovnim sulfatom  $PbSO_4$ .

Pri punjenju akumulatora (dovođenjem istosmjerne struje) nastaju na pozitivnoj elektrodi (kao anodi) olovni dioksid  $PbO_2$  (smeđi), na negativnoj elektrodi (kao katodi) čisto olovo  $Pb$  (sivo), dok se u elektrolitu povećava koncentracija sumporne kiseline  $H_2SO_4$ . Pri pražnjenju (kad pozitivna elektroda djeluje kao katoda, a negativna elektroda kao anoda) proces je suprotan.



Za vrijeme punjenja i pražnjenja mijenja se gustoća  $\rho$  elektrolita:

stanje akumulatora	prazan	normalan	pun
gustoća $\rho$ $kg/dm^3$	1,12... 1,14	1,20... 1,24	1,26... 1,285
$^{90}_{44}Be$	15,5 ... 17,7	24,1 ... 27,9	29,8 ... 32,0

Priključni napon akumulatorske ćelije je 2,4 V. Pri kraju punjenja dostiže napon do 2,4 V, ali pri početku pražnjenja mjesta padne na  $\approx 2,15$  V, da bi se potom ustalio za 2,0 V. Napon padne do 1,8 V, valja pražnjenje prekinuti.

Kapacitet akumulatora je određen količinom elektriciteta (A h) koju akumulator može dati pri pražnjenju. On je ovisan o veličini i kakvoći aktivnih površina olovnih ploča i njihovom broju u svakoj akumulatorskoj ćeliji.

Kapacitet akumulatora se smanjuje s porastom struje tokom pražnjenja. Nazivni je kapacitet određen strujom pri kojoj se napunjeni akumulator prazni 20 sati.

Nikal-kadmijski akumulator djeluje po elektrokemijskom sistemu Ni-hidroksid-Cd te može biti hermetiski zatvoren. Nazivni je napon 1,2 V, a pražnjenje valja prekinuti pri napon 1 V. Kao elektrolit služi kalijeva lužina (KOH).



## ELEKTRONIKA

### Električni ventili

Električni ventili posjeduju svojstvo da provode struju u jednom smjeru (pri malom otporu), dok je u suprotnom smjeru sprečavaju (pri velikom otporu). Prema izradi možemo ih podijeliti na glavne skupine: elektronke, živine ventile i poluvodičke ventile.

**Elektronke** su zrakoprazne (evakuirane) cijevi u kojima su ugrađene anoda A i katoda K, a pri upravljanju elektronkama još i mrežica za upravljanje M.

Iz užarene katode giblju se u praznom prostoru elektroni prema anodi, što znači da elektronka propušta struju u smjeru od anode (+) prema katodi (-), dok je u suprotnom smjeru ne propušta.

Napon na mrežici za upravljanje vrlo jako utječe na tok elektrona. Već i mala promjena napona  $U_M$  na mrežici izaziva veliku promjenu struje  $I$  kroz elektronku.

S obzirom na razne izvedbe elektronki može teći među anodom i katodom struja  $I = 10^{-2} \dots 10^2$  A pri znatnom naponu  $U = 10 \dots 0,5 \cdot 10^6$  V.

**Živini ventili** su zrakoprazne cijevi u kojima je katoda živa, dok su u prostoru cijevi ioni živinih para. »Paljenje« (električni spoj među katodom i anodom) treba izvesti posebnom napravom.

I u živinim ventilima teče struja samo u smjeru od anode ka katodi.

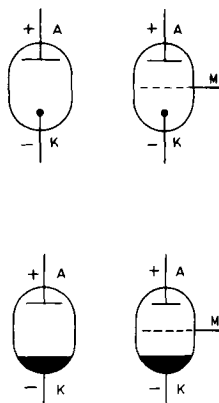
Struja u živinim ventilima znatno je veća nego u elektronkama:  $I = 10 \dots 10^5$  A, i to pri naponu  $U$  do  $10^6$  V.

#### Poluvodički ventili

Poluvodiči su tvari koje se po vodljivosti nalaze među vodičima (kovinama) i izolatorima.

Primjeri specifičnog otpora  $\rho$  u  $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ :

Vodiči	srebro Ag	$\approx 10^{-2}$	Poluvodiči	silicij Si	$10^2 \dots 10^{10}$
	željezo Fe	$\approx 10^{-1}$		germanij Ge	$10^2 \dots 10^6$
Izolatori	porculan	$\approx 10^{18}$	Pod različitim utjecajima imaju poluvodički svojstva vodiča ili su bliže izolatorima.		
	tinjac	$\approx 10^{20}$			



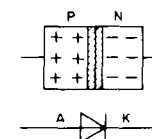
Poluprovodički ventili (dioda, tranzistori, tiristori) su zbog svojih dobrih fizikalnih svojstava i razmjerno niske cijene nadomjestili druge vrste ventila na praktično svim područjima.

### Dioda

Dioda su neupravljeni ventili, sastavljeni od dvaju slojeva poluvodiča – zone P i zone N:

– zona P nastaje, ako je u monokristalu 4-valentnoga poluvodiča (npr. Ge) prisutan 3-valentni elemenat (npr. In). Time nastaju u kristalnoj rešetki elektronske praznine, koje daju kristalu pozitivan naboj;

– zona N nastaje, ako je u monokristalu 4-valentnoga poluvodiča prisutan 5-valentni elemenat (npr. Sb). Tada uzrokuju slobodni elektroni u kristalnoj rešetki negativan naboj.



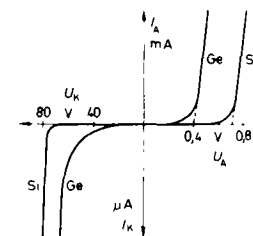
Pri neposrednom dodiru zona P i N u jednostrukom kristalu nastaje na granici obiju zona »zaporni sloj«.

Na strani zone P ima dioda anodu A, a na strani zone N katodu K.

#### Smjer provodnosti

Priključi li se na anodu prema katodi pozitivni napon  $U_A$ , smanjit će se zaporni sloj.

Pri difuzijskom naponu (pri Ge diodi: 0,2 ... 0,4 V, pri Si diodi: 0,6 ... 0,8 V) pojavit će se struja  $I_A$ , koja s daljnjim povišenjem napona  $U_A$  raste vrlo brzo. (Plosnata izvedba dioda omogućuje struju: pri Ge diodi do 100 A, pri Si diodi do 500 A i više.)



#### Zaporni smjer

Priključi li se na anodu prema katodi negativni napon  $U_K$ , zaporni sloj će se raširiti i propustiti samo malenu struju (pri Ge u  $\mu\text{A}$ , pri Si u nA). Pri visokom (»probojnom«) naponu poraste struja  $I_K$  skokomice (te može uništiti diodu).

Porast temperature zapornog sloja smanjuje napon  $U_A$  i povećava struju  $I_K$ .

Zbog karakterističnog svojstva dioda, da izrazito provode struju samo u jednom smjeru, upotrebljavaju se u prvom redu za ispravljače.

## Ispravljači

Izmjeničnu struju ispravljamo u istosmjernu pomoću motor-generatora, kontaktnih ili elektroničkih ispravljača.

Kontaktni ispravljači su elektroničke sklopke, koje su sklopljene samo za vrijeme jedne polovine perioda izmjenične struje. Sklopka upravlja bregasta osovina koja se vrti sinhrono s frekvencijom ulaznog napona. Brzo istrošenje dijelova smanjuje ekonomičnost tih ispravljača koja ograničuje njihovu upotrebu jedino na područje jačih struja ( $I = 10^3 \dots 10^5$  A pri naponu od  $U = 50 \dots 10^3$  V).

Za elektronske ispravljače se upotrebljavaju pretežno poluvodički ventili, napose diode (za struje do 2000 A pri naponu do 4000 V).

### Spojevi ispravljača

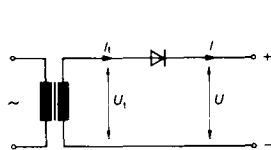
Ispred ispravljača gotovo redovno je najprije transformator koji transformira struju i napon na vrijednost, prikladnu za ispravljač i ujedno izolira izlaz ispravljača od mreže.

Nepoželjne vremenske oscilacije ispravljene struje smanjuju se ispravljačkim filtrima koji se sastoje iz otpora, kondenzatora i prigušnice (induktiviteta). Još veća stabilnost struje postiže se pomoću dodatnih elektroničkih stabilizatora napona ili struje.

U slijedećim shemama znače:

- $U_t$  — izlazni napon transformatora (V)
- $I_t$  — izlaznu struju transformatora (A)
- $P_t$  — snagu transformatora (VA)
- $U$  — istosmjerni napon (V)
- $I$  — istosmjernu struju (A)
- $R, L$  — otporno i induktivno opterećenje
- $U_c$  — opterećenje suprotnim naponom (kondenzatorima, akumulatorima i istosmjernim motorima).

#### 1. Jednosmjerni spoj



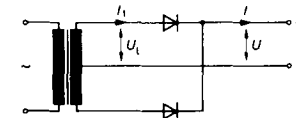
$R, L$	$U_c$
$U_t \approx 2,22 U$	$0,85 U$
$I_t \approx 1,57 I$	$2,1 I$
$P_t > 3,1 U I$	$1,73 U I$

(Poluvalno ispravljanje)

#### 2. Središnji spoj

$R, L$	$U_c$
$U_t \approx 1,11 U$	$0,8 U$
$I_t \approx 0,78 I$	$1,11 I$
$P_t > 1,48 U I$	$1,48 U I$

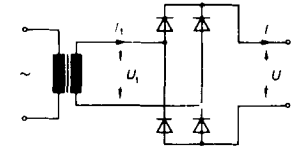
(Punovalno ispravljanje)



#### 3. Mosni spoj

$R, L$	$U_c$
$U_t \approx 1,11 U$	$0,8 U$
$I_t \approx 1,11 I$	$1,57 I$
$P_t > 1,24 U I$	$1,24 U I$

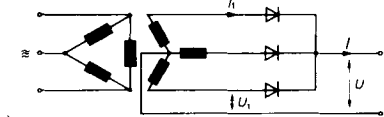
(Punovalno ispravljanje)



#### 4. Središnji zvjezdasti spoj

$R, L$	$U_c$
$U_t \approx 0,86 U$	$0,77 U$
$I_t \approx 0,58 I$	$0,75 I$
$P_t > 1,35 U I$	$1,57 U I$

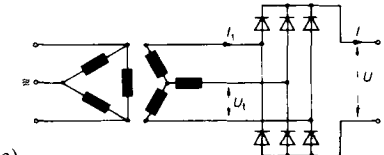
(Trofazno poluvalno ispravljanje)



#### 5. Mosni zvjezdasti spoj

$R, L$	$U_c$
$U_t \approx 0,74 U$	$0,74 U$
$I_t \approx 0,82 I$	$0,82 I$
$P_t > 1,05 U I$	$1,05 U I$

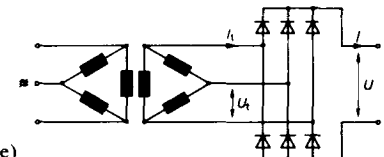
(Trofazno punovalno ispravljanje)



#### 6. Mosni trokutni spoj

$R, L$	$U_c$
$U_t \approx 0,74 U$	$0,74 U$
$I_t \approx 0,82 I$	$0,82 I$
$P_t > 1,05 U I$	$1,05 U I$

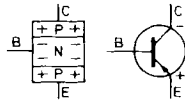
(Trofazno punovalno ispravljanje)



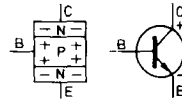
### Tranzistori

**Bipolarni tranzistor** (ukratko: tranzistor) je monokristalni germani ili silicijev poluprovodni element s tri zone, različitog tipa vodljivosti, k slijede jedna drugu. Razlikujemo dva tipa tranzistora:

Tip PNP



Tip NPN



Poluprovodne elektrode

- središnja zona: baza (B)
- vanjske zone: emiter (E)  
kolektor (C)

Baza je elektroda koja služi za upravljanje. Njenom strujom  $I_B$  upravlja kolektorska struja  $I_C$ . (Pri tom može struja  $I_B$  biti 100 ili više puta manje od struje  $I_C$ .)

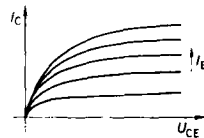
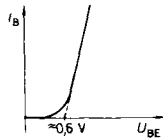
Emitorska je struja  $I_E$  zbroj bazne i kolektorske struje

$$I_E = I_B + I_C$$

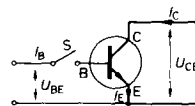
Bazna struja  $I_B$  ovisna je od napona između baze i emitera  $U_{BE}$ , kolektorska struja  $I_C$  je ovisna od bazne struje  $I_B$  i napona između kolektora i emitera  $U_{CE}$

$$I_B = f_1(U_{BE})$$

$$I_C = f_2(I_B, U_{CE})$$



Tranzistori se upotrebljavaju za pojačala i kao sklopke.



Tranzistor kao pojačalo (sklopka S uključena):  $I_C = f(I_B)$ .

Tranzistor kao sklopka (sklopka S isključena):  $I_C = 0$ ,  $I_E = 0$ .

(Lijeva shema je pojednostavljena i samo načelna.)

Niskofrekventni tranzistori pojačavaju niskofrekventne (kao i istosmjerne) struje ( $U < 100$  V,  $I < 500$  mA) uz faktore pojačanja  $\beta (= \Delta I_C / \Delta I_B) = 30 \dots 300$ .

Tranzistori snage pojačavaju (ili preklapaju) struje do 100 A pri naponu od više stotina V.

### Osnovni tranzistorski spoji

$U_1$  – ulazni izmjenični signal

$U_2$  – izlazni izmjenični signal

$R_E$  – otpor emitera

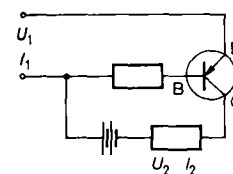
$R_C$  – otpor kolektora

$U_B$  – istosmjerni napojni napon

	Emitorski spoj	Kolektorski spoj	Bazni spoj
<b>Pojačanje</b>			
– napona	100 ... 10 000	$< 1$	100 ... 10 000
– struje	10 ... 500	10 ... 500	$< 1$
– snage	1000 ... 100 000	10 ... 500	100 ... 10 000
<b>Otpor</b>			
– ulazni	10 $\Omega$ ... 5 k $\Omega$	500 $\Omega$ ... 5 M $\Omega$	$< 1 \Omega$ ... 1 k $\Omega$
– izlazni	10 $\Omega$ ... 500 k $\Omega$	10 $\Omega$ ... 1 k $\Omega$	100 k $\Omega$ ... 10 M $\Omega$
<b>Fazni pomak</b>	180°	0°	0°

#### Jednostavni stupanj pojačanja

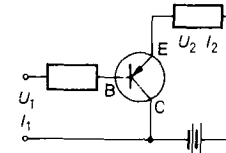
##### Pojačanje napona



$$U_2 > U_1$$

$$I_2 \approx I_1$$

##### Pojačanje struje



$$U_2 \approx U_1$$

$$I_2 > I_1$$

### Tiristori

Tiristori (upravljane diode) su četveroslojni poluprovodni elementi, opremljeni elektrodom za upravljanje, a po djelovanju slični sklopkama (sa stanjem »isključeno« i »uključeno«). Upotrebljavaju se za regulaciju pri upravljanim ispravljačima i za isklapanje velikih snaga (svaka jedinica po više desetina kW).

## MJERENJE ELEKTRIČNIH VELIČINA

S obzirom na vremenski promjenljive pojave pri mjerenju električnih veličina valja razlikovati pojmove:

**Trenutna vrijednost**  $u_t$  je vrijednost izmjenične veličine u bilo kojem promatranom trenutku.

**Prosječna vrijednost**  $u_{sr}$  je aritmetička prosječna vrijednost apsolutnih iznosa trenutnih vrijednosti.

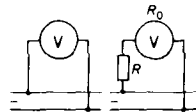
**Efektivna vrijednost**  $u$  je kvadratni korijen iz sume kvadrata trenutnih vrijednosti

$$u_t = f(t) \quad u_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T |f(t)| dt \quad u = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt}$$

### Električna mjerila

1. **Mjerilo s okretnim svitkom** mjeri linearnu prosječnu vrijednost istosmjernje struje. Kod njega je otklon kazaljke  $\alpha$  upravo razmjernan s istosmjernom strujom  $I$  kroz mjerilo:  $\alpha = cI$  ( $c = \text{konst}$ ). Upotrebljava se kao mjerilo napona i struje.

Mjerilo istosmjernog napona (voltmetar)

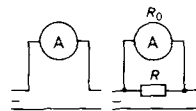


Mjerno područje mjerila napona (45 mV ... 1500 V) može se povećati  $n$ -puta dodavanjem predotpora  $R$

$$R = R_0(n - 1)$$

$R_0$  – unutarnji otpor mjerila.

Mjerilo istosmjernje struje (ampermetar)

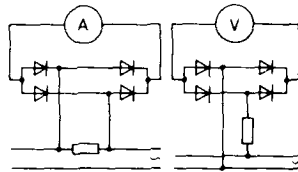


Mjerno se područje mjerila struje (1 mA ... 1000 A) može povećati  $n$ -puta uključivanjem porednog otpora (shunt)  $R$

$$R = R_0/(n - 1)$$

$R_0$  – unutarnji otpor mjerila.

Mjerilo izmjeničnog napona ili struje mora biti opremljeno ispravljačem.



Mjerilo pokazuje prosječnu vrijednost koja je jednaka efektivnoj samo u slučaju čistih sinusnih veličina.

Pri mjerenju izmjenične struje upotrebljavaju se pri velikim strujama ili visokim naponima strujni odn. naponski reduktori (transformatori).

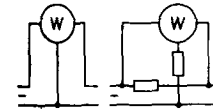
Točnost mjerila

Mjerna greška %	±0,1	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5	±5,0
Klasa točnosti	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5	5,0

2. **Mjerilo s okretnim željezom** mjeri kvadratnu prosječnu vrijednost odnosno efektivnu vrijednost mjerene veličine. Otklon kazaljke  $\alpha$  upravo je razmjernan s kvadratom struje  $I$  kroz mjerilo:  $\alpha = cI^2$  ( $c = \text{konst}$ ). Skala za efektivnu vrijednost je kvadratna.

Mjerilo s okretnim željezom upotrebljivo je za istosmjernu i izmjeničnu struju. Pri mjerenju napona (voltmetar) može se mjerno područje povećati predotporima, dok se pri mjerenju struje (ampermetar) ne upotrebljavaju poredni otpori već se umjesto toga podijeli magnetski namotaj na više odsjeka za više mjernih područja).

### 3. Elektrodinamička mjerila

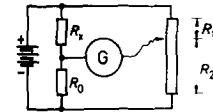


a) Elektrodinamičko mjerilo mjeri umnožak dviju veličina. Otklon kazaljke  $\alpha = cI_1 I_2$  ( $c = \text{konst}$ ). Upotrebljava se za mjerenje snage (vatmetar).

b) Ferrarisovo mjerilo koristi se vrtložnim strujama za mjerenje energije izmjenične struje (električna brojila).

### 4. Mjerenje električnog otpora

Električni otpor  $R$  određuje se mjerenjem struje  $I$  i pada napona  $\Delta U$  kroz otpor:  $R = \Delta U/I$ .



Električni otpor  $R$  može se mjeriti pomoću Wheatstoneovog mosta

$$R_x = R_0 \frac{R_1}{R_2}$$

$R_0$  – poznati otpor,  $R_1/R_2$  se izmjeri,  $G$  – galvanometar (mora pokazivati 0).

### 5. Elektronska mjerila

Najpoznatija elektronska mjerila su:

a) **Oscilograf** je brzo pisalo linija za registriranje trenutnih vrijednosti veličina pri frekvencijama do nekoliko kHz.

b) **Osciloskop** (katodni osciloskop) je katodna cijev u kojoj se otklanjanjem elektronske zrake dobiva na zaslonu s fluorescentnim slojem dvodimenzionalni prikaz trenutnih vrijednosti mjerenih veličina. Kod prikazivanja periodičkih pojava uz vremenski pomak, usklađen s frekvencijom pojava, dobiva se njegova mirujuća slika.

c) **Brojila impulsa** su uređaji pomoću kojih se može prebrojiti broj periodičkih pojava (ako ih je moguće prikazati električnim impulsima). Upotrebljavaju se u prvom redu za mjerenje frekvencije. Točnost brojenja iznosi  $10^{-7} \dots 10^{-8}$ .

## OPTIKA I AKUSTIKA

### Svjetlost

Vidljiva svjetlost je dio *elektromagnetskih valova* koji se – prema valnim dužinama  $\lambda$  – dijeli na:

kozmičke zrake	$\lambda = 0,1 \dots 10$ fm
gama zrake	$\lambda = 10 \dots 1000$ fm
rendgenske zrake	$\lambda = 1 \dots 1000$ pm
ultravioletno zračenje	$\lambda = 1 \dots 390$ nm
vidnu svjetlost	$\lambda = 390 \dots 770$ nm
infracrveno zračenje	$\lambda = 0,77 \dots 1000$ $\mu$ m
mikrovalove (televizija)	$\lambda = 1 \dots 1000$ mm
radiovalove	$\lambda = 1 \dots 10000$ m

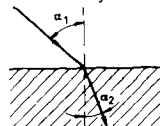
Osjetljivost na svjetlo oka (najveća = 1 pri  $\lambda = 555$  nm) i raspoznavanje boja (koje se prelijevaju jedna u drugu):

$\lambda$ nm	Boja	Relativna osjetljivost na svjetlost	$\lambda$ nm	Boja	Relativna osjetljivost na svjetlost
400	violetna	0,0004	560	žuta	0,995
450	modra	0,035	580	narandžasta	0,870
480		0,139	600		0,631
500	modro-zelena	0,323	620	narandžasto-crvena	0,381
520		0,710	640	crvena	0,175
540	zelena	0,954	660		0,061
550	zeleno-žuta	0,995	700	tamno crvena	0,0041
555		1,000	750		0,00012

Brzina svjetlosti:

- u praznom prostoru (vakuumu)  $c_0 = 299\,792\,458$  m/s
- u vodi  $c = 224 \cdot 10^6$  m/s
- u staklu  $c \approx (176 \dots 195) \cdot 10^6$  m/s
- u dijamantu  $c = 122 \cdot 10^6$  m/s

Lom svjetlosti



Indeks loma  $n$  je omjer sinusa upadnog kuta  $\alpha_1$  i kuta loma  $\alpha_2$  te je jednak omjeru brzina svjetlosti

$$n = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{c_1}{c_2}$$

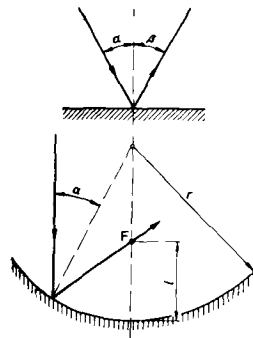
S obzirom na zrak iznosi indeks loma:

- za vodu  $n = 1,333$
- za staklo  $n \approx 1,520 \dots 1,740$
- za dijamant  $n = 2,417$

Brzina valovnog gibanja  $c$  je umnožak frekvencije  $f$  i dužine vala  $\lambda$

$$c = f\lambda$$

Refleksija



Pri refleksiji valova od ravne plohe je kut refleksije  $\beta$  jednak upadnom kutu  $\alpha$

$$\beta = \alpha$$

Na konkavnoj kugloj plohi s polumjerom  $r$  upadni se valovi reflektiraju kroz žarište (fokus)  $F$ , koje je udaljeno od tjemena plohe za razmak  $l$

$$l = \frac{r}{2} \left( 2 - \frac{1}{\cos \alpha} \right)$$

Pri malim upadnim kutovima  $\alpha$  je

$$\cos \alpha \approx 1 \quad l \approx r/2$$

Zvuk

Zvučni valovi dijele se po frekvenciji  $f$  na:

- infrazvuk  $f < 16$  Hz
- čujni (fiziološki) zvuk  $f \approx 16$  Hz  $\dots$  20 kHz
- ultrazvuk  $f > 20$  kHz

Brzina zvuka

Brzina zvuka u plinovima iznosi  $c = \sqrt{\kappa RT}$  (vidi str. 201).

Brzina zvuka u zraku iznosi 332 m/s pri 0 °C; 341 m/s pri 15 °C.

Brzina zvuka u kapljevinama i krutinama (pri 20 °C):

Tvar	$c$ m/s	Tvar	$c$ m/s
voda	1485	Al	5100
led (–4 °C)	3200	Cu	3800
drvo – meko	4500	Fe	5200
– tvrdo	3400	Hg	1430
pluto	500	Ni	4900
guma	50	Pb	1300
opeka	3600	Sn	2600
staklo	5000	Zn	3700

Osnovna frekvencija  $f$  titrajuće strune od materijala gustoće  $\rho$ , prereza  $A$ , dužine  $l$ , a napete silom  $F$ , iznosi

$$f = 1/2l \cdot \sqrt{F/A\rho}$$

### Zvučni tlak

Efektivna vrijednost zvučnog tlaka (pri  $f = 1$  kHz):

granica čujnosti 0,00002 Pa			
šapat	0,0002 Pa	klavir	0,2 Pa
razgovor	0,002 Pa	orgulje	2 Pa
glasen razgovor	0,02 Pa	sirena	> 20 Pa

Jakost zvuka  $L$  određena je izrazom

$$L = 20 \lg \frac{p}{p_0}$$

gdje je  $p$  zvučni tlak, a  $p_0$  zvučni tlak na granici čujnosti ( $2 \cdot 10^{-5}$  Pa). Je za jakost zvuka je 1 decibel (dB).

Jakost zvuka  $L$  u raznim okolnostima:

Šum, buka	$L$ dB	Dozvoljena granica buke u prostorijama	$L$ dB
šapat	10 ... 30	koncertna dvorana	30
razgovor	40 ... 50	bolesnička soba	30 ... 35
glasen govor	70	čitaonica	35
vika	80	učionica	40
automobilska sirena	90	studijska soba	40
pneumatski bat	100	soba za sjednice	50 ... 60
zakivanje kotlova	110	kongresna dvorana	55
reaktivni avion	120	ured (sa strojevima)	70 ... 75
granica bola	130		

### Tonska skala

O k t a v a je područje tonova od početne frekvencije  $f$  do konačne frekvencije  $2f$ . Stupnjevanje frekvencije tonova u oktavi po 12-stupanjskoj skali (stupnjem  $2^{1/12} = 1,059463$ ):

Ton	c	cis	d	dis	e	f	fis	g	gis	a	ais	b	c
Stupanj	1,00	1,06	1,12	1,19	1,26	1,33	1,41	1,50	1,59	1,68	1,78	1,89	2,00

Ishodište tonske skale je oktava na granici čujnoga zvuka frekvencije ton c:  $f_c = 16,35$  Hz. Frekvencije  $f_a$  tonova a u  $n$ -toj oktavi su  $2^n f$ :

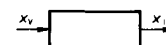
$n$	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$f_a$	27,5	55	110	220	440	880	1760	3520	7040

## UPRAVLJANJE – REGULACIJA – AUTOMATIZACIJA

Regulacijska tehnika obrađuje odnose među uzrokom i posljedicom u tehničkim sistemima. Njen je zadatak utjecanje na ulazne veličine na taj način, da se dobiju željene izlazne veličine.

### REGULACIJSKI ČLANOVI

Regulacijski članovi su prelazni članovi regulacijskog sistema u kojima se dobivaju iz danih ulaznih veličina  $x_v$  određene izlazne veličine  $x_i$ .

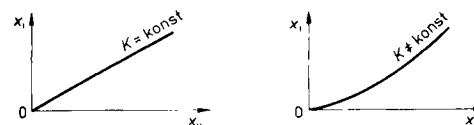


Statička karakteristika regulacijskog člana

U svakom su regulacijskom članu ulazna i izlazna veličina međusobno ovisne:

$$x_i = f(x_v) \quad x_i = K x_v$$

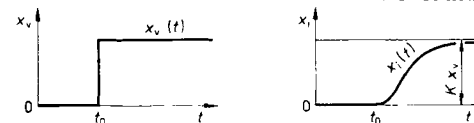
Koeficijent (statičkog) pojačanja  $K = x_i/x_v$  je odnos izlazne i ulazne veličine u stacionarnom stanju, a može biti linearan ( $K = \text{konst}$ ) ili nelinearan ( $K \neq \text{konst}$ ):



U regulacijskoj tehnici obrađuju se linearni odnosi. Nelinearni odnosi traže posebne postupke, a u užim se područjima često uzimaju približno linearnima.

Dinamička karakteristika regulacijskog člana

Promjene ulaznih i izlaznih veličina vazda su ovisne o vremenu  $t$ .



Ovisnost izlazne veličine od ulazne nazivamo vremenski odziv

$$x_i(t) = f[x_v(t)]$$

Vremenski je odziv za pojedinu vrstu regulacijskog člana karakterističan. U većini slučajeva izražen je diferencijalnom jednačinom koju jednostavnije rješavamo u obliku prenosne funkcije  $P$ .

Prenosna funkcija  $P$  je odnos među vremenski promjenljivom izlaznom i ulaznom veličinom. Proračunava se pomoću Laplaceove transformacije

$$P(s) = \frac{X_i(s)}{X_v(s)} = \int_0^\infty e^{-st} x_i(t) dt \int_0^\infty e^{-st} x_v(t) dt$$

gdje je  $s$  Laplaceova varijabla. Laplaceovom transformacijom prikazane veličine označuju se velikim slovima.

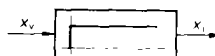
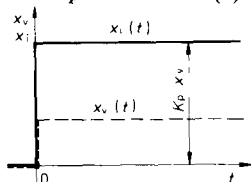
Prenosna se funkcija  $P$  postupno približava koeficijentu pojačanja  $K$ .

### Vremenski odzivi

Vremenski odzivi prikazuju vremenski tok izlazne veličine u ovisnosti o nekom vremenskom toku ulazne veličine.

Vremenske odzive kod kojih je vremenski tok ulazne veličine udama funkcija »step«-funkcija (kao funkcija  $x_v(t)$  na str. 201) nazivamo *prelaznim funkcijama*. Njihovi su najznačajniji primjeri:

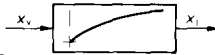
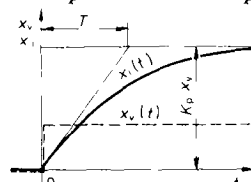
#### 1. Proporcionalni član (P)



$$x_i = K_p x_v$$

Primjeri: poluga, tlak i protok kapljevine u cijevima

#### 2. Proporcionalni član s usporenjem – 1. stupnja (PT<sub>1</sub>)

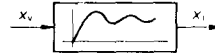
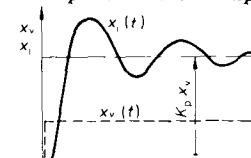


$$T \frac{dx_i}{dt} + x_i = K_p x_v$$

$$x_i = K_p x_v (1 - e^{-t/T})$$

Primjeri: temperaturno rastezanje, tlak i protok plina u plinskim cijevnim sistemima

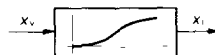
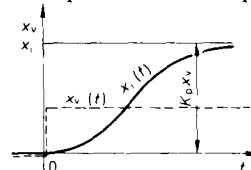
#### 3. Proporcionalni član s usporenjem – 2. stupnja (PT<sub>2</sub>)



$$T_p^2 \frac{d^2 x_i}{dt^2} + 2 d T_p \frac{dx_i}{dt} + x_i = K_p x_v$$

$T_p$  – neprigušeno titrajno vrijeme  
 $d$  – faktor prigušivanja (npr.  $d_{opt} \approx 0,7$ )  
Primjer: pneumatski bat s povratnom oprugom

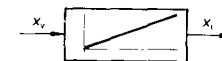
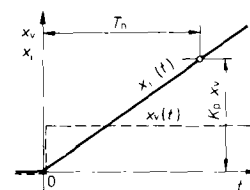
#### 4. Proporcionalni član s usporenjem – višeg stupnja (PT<sub>n</sub>)



$$T_n^n x_i^{(n)} + \dots + T_1 \dot{x}_i + x_i = K_p x_v$$

Primjer: regulacija temperature

#### 5. Integralni član (I)

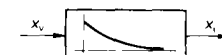
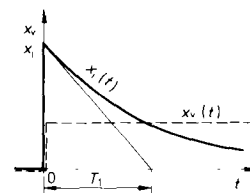


$$x_i = K_I \int x_v dt$$

$$K_I = K_p / T_n$$

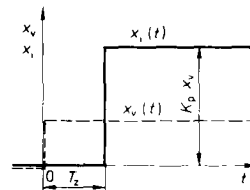
Primjer: razina kapljevine u posudi

#### 6. Derivabilni član s usporenjem (DT<sub>1</sub>)



$$T_1 \frac{dx_i}{dt} + x_i = K_p T_D \frac{dx_v}{dt}$$

#### 7. Član s mrtvim vremenom bez usporenja



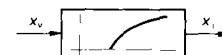
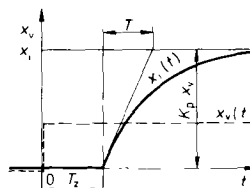
$$t < T_z \quad x_i = 0$$

$$t > T_z \quad x_i = K_p x_v$$

$$T_z - \text{mrtvo vrijeme}$$

Primjer: transportna traka

#### 8. Član s mrtvim vremenom i usporenjem

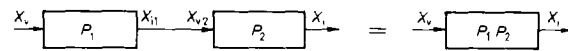


Primjer: miješanje u posudi, zagrijavanje

### Spajanje regulacijskih članova

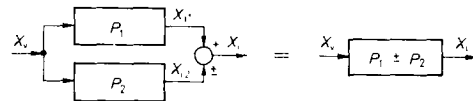
Spoj članova u regulacijskim sistemima najlakše se prikazuju prenosnim funkcijama regulacijskih članova ( $P$ ), koje su omjer, po Laplaceu transformiranih, izlaznih signala  $x_i(s)$  i ulaznih signala  $x_v(s)$ .

#### 1. Serijski spoj



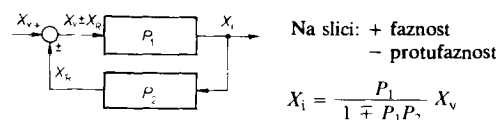
$$\begin{aligned} X_{v1} &= X_{v2} \\ X_{v1} &= P_1 X_v & X_i &= P_2 X_{v2} \\ X_i &= P_1 P_2 X_v & P &= P_1 P_2 \end{aligned}$$

#### 2. Paralelni spoj



$$\begin{aligned} X_i &= X_{v1} \pm X_{v2} \\ X_{v1} &= P_1 X_v & X_{v2} &= P_2 X_v \\ X_i &= (P_1 \pm P_2) X_v & P &= P_1 \pm P_2 \end{aligned}$$

#### 3. Povratna veza – osnovni spoj regulacijskih petlji

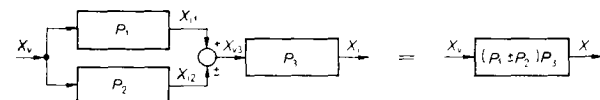


$$\begin{aligned} X_i &= P_1 (X_v \pm X_R) \\ X_R &= P_2 X_i \end{aligned}$$

U jednačbi: – faznost  
+ protufaznost

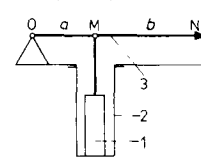
$$X_i = \frac{P_1}{1 \mp P_1 P_2} X_v$$

#### 4. Sastavljeni paralelno-serijski spoj



$$\begin{aligned} X_{v3} &= X_{v1} \pm X_{v2} \\ X_{v1} &= P_1 X_v & X_{v2} &= P_2 X_v \\ X_{v3} &= (P_1 \pm P_2) X_v & X_i &= P_3 X_{v3} \\ X_i &= (P_1 \pm P_2) P_3 X_v \end{aligned}$$

Primjer: mjerni davač temperature



- 1 – rastezni štap  
duljina  $l_1$   
temperaturna rastezljivost  $\alpha_1$
- 2 – plašt  
duljina  $l_2$   
temperaturna rastezljivost  $\alpha_2$
- 3 – poluga  
krakovi  $a, b$

Promjena temperature

Temperaturno rastezanje – rasteznog štapa  $\Delta T = X_v$

– plašta (2)  $\Delta l_1 = X_{v1}$

$\Delta l_2 = X_{v2}$

Pomak poluge (3) – u točki M  $\Delta l_1 - \Delta l_2 = X_{v1} - X_{v2} = X_{v3}$

– u točki N  $\Delta s = X_i$

Prenosne funkcije

$$P_1 = X_{v1}/X_v = \Delta l_1/\Delta T = l_1 \alpha_1$$

$$P_2 = X_{v2}/X_v = \Delta l_2/\Delta T = l_2 \alpha_2$$

$$P_3 = X_i/X_{v3} = \Delta s/(\Delta l_1 - \Delta l_2) = (a + b)/a$$

Pomak poluge u točki N – prikaz promjene temperature

$$\Delta s = X_i = (P_1 - P_2) P_3 X_v = (l_1 \alpha_1 - l_2 \alpha_2) \frac{a + b}{a} \cdot \Delta T$$

### Zamjećivanje veličina

Veličine i njihove vrijednosti zamjećujemo *osjetnicima* (senzorima) koji djeluju neposredno, a to su:

- *ticala* (za duljine i neke druge veličine)
- *mjerni davači* (za većinu veličina).

Regulacione veličine su većinom samo posredno mjerljive (npr. temperatura iz temperaturnog rastezanja; brzina vrtnje iz centrifugalne sile itd.). Odgovarajući mjerni davači djeluju na raznim principima: mehaničkom, toplinskom, kontaktnom, kapacitivnom, induktivnom itd.

Podaci se dobivaju posredno preračunavanjem iz odgovarajućih izmjerenih veličina (npr. duljinu puta određujemo iz izmjerenog vremena i brzine; učin iz izmjerenog izvršenog rada i utrošenog vremena; specifični toplinski kapacitet iz izmjerene topline i temperaturne razlike itd.).

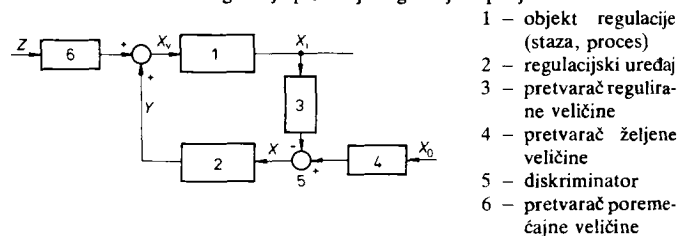
Za daljnju obradu su naročito podesni signali slijedećih veličina: puta, vremena, sile, tlaka, protoka, električnog napona, električne struje, frekvencije i sl.

Mjerenje mora biti veoma točno, jer regulatori obrađuju vrlo mala odstupanja veličina, tj. razlike između stvarne i željene (poredbene, referentne) veličine.



### Regulacijska petlja

Povratnu vezu kod regulacije prikazuje regulacijska petlja.



Regulirana veličina je izlazna veličina objekta regulacije  $X_i$ .

Željena veličina je  $X_0$ .

Regulirana i željena veličina sistema mogu biti fizikalno i dimenzijski različite. Da bi se omogućila međusobna komparacija, moraju se signali osjetnika promijeniti u jedinstveni – obično električni – oblik, a to se postiže pretvaračima.

U diskriminatoru se mora signal regulirane veličine  $X_i$  komparirati promijenjenom željenom veličinom  $X_0$ . Njihova je razlika *regulacijsko odstupanje*

$$X = P_4 X_0 - P_3 X_i$$

Regulacijsko odstupanje  $X$  je ulazna veličina regulatora; on ga pretvara u izlaznu veličinu  $Y$ , a to je *izvršna naredba*

$$Y = P_R X$$

pri čemu je  $P_R$  prelazna funkcija regulacijskog uređaja.

Na sve članove regulacijske petlje mogu uticati vanjski uplivi, a uzimaju se u obzir kao *smetnja (poremećajne veličina) Z*.

Izvršna naredba  $Y$  i smetnje  $Z$  daju ulaznu veličinu objekta regulacije  $X_v$

$$X_v = Y + P_6 Z$$

U objektu regulacije se ulazna veličina  $X_v$  pretvara u izlaznu veličinu  $X_i$

$$X_i = P_0 X_v$$

gdje je  $P_0$  prelazna funkcija objekta regulacije. Karakteristične veličine objekta regulacije mogu se u većini slučajeva odrediti jedino ispitivanjem.

Regulirana veličina  $X_i$  mora postići ili održavati određenu vrijednost željene veličine  $X_0$ , a ta može biti:

- konstantna,
- da se nakon određenog vremena promijeni,
- da slijedi određenu promjenu. (npr. puta ili kuta i sl.)

Pri upravljanju i regulaciji, koje su (općenito) postupak kojim utičemo na ulaznu veličinu  $X_v$  na taj način, da imaju izlazne veličine  $X_i$  željene vrijednosti, razlikujemo – s obzirom na povratnu vezu:

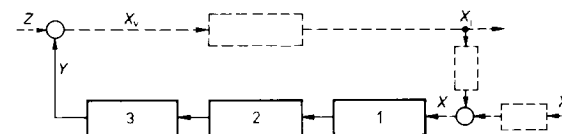
1. upravljanje nema povratne veze (npr. upravljanje stroja za pranje koje je programom unapred obrađeno);
2. regulaciju koja ima povratnu vezu, pri čemu izlazna veličina može biti:
  - vremenski nepromjenljiva (npr. alatni stroj koji radi po modelu – šabloni),
  - vremenski ustaljena (npr. regulacija stalne brzine vrtnje turbine).

Automatizacija je združivanje niza regulacijskih postupaka s automatskim djelovanjem, tako da pri određenoj ulaznoj veličini dobivamo željenu izlaznu veličinu nekog postupka, koja je opet ulazna veličina slijedećeg postupka.

### Regulacijski uređaj

Osim zamjećivanja i mjerenja stvarne vrijednosti regulirane veličine (tj. izlazne veličine iz regulacijskog objekta)  $X_i$ , određivanja vrijednosti željene veličine  $X_0$ , pretvaranje regulirane i željene veličine u fizikalno i dimenzijski jednaku veličinu, određivanje regulacijskog odstupanja  $X$  s komparacijom regulirane i željene veličine, regulacijski uređaj mora obavljati, u najmanju ruku, još i slijedeće funkcije:

1. popravak regulacijskog odstupanja  $X$  odgovarajućim *regulatorom*,
2. pojačanje signala – posebno pri regulaciji koja traži velike sile i brzine – *pojačalom*, pri čemu je pomoćna energija električna, hidraulička ili pneumatska,
3. namještanje vrijednosti izvršne naredbe  $Y$  *postavnim članom*.



1 – regulator, 2 – pojačalo, 3 – postavni član

*Granične regulacijske naprave* sprečavaju – kao sigurnosni uređaj – premašivanje donje i gornje granične vrijednosti regulirane veličine.

Oznake za način djelovanja regulacijske naprave su (po DIN 2481):

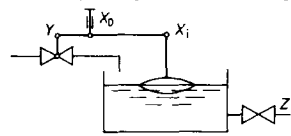
- ⊕ – otvaranje pri porastu regulirane veličine
- ⊖ – otvaranje pri padu regulirane veličine
- ⊕ – otvaranje pri doseg gornje granične vrijednosti
- ⊖ – otvaranje pri doseg donje granične vrijednosti
- ⊕ – zatvaranje pri doseg gornje granične vrijednosti
- ⊖ – zatvaranje pri doseg donje granične vrijednosti

## Regulatori

Regulatori su dijelovi regulacijskih naprava koji prerađuju signale regulacijskih odstupanja  $X$  kao svoje ulazne veličine.

Regulatori bez pomoćne energije su jeftine naprave, prikladne pri malim izvršnim silama i brzinama. Kod njih utječe regulacijsko odstupanje neposredno na izvršnu naredbu.

Primjer: regulacija razine kapljevine



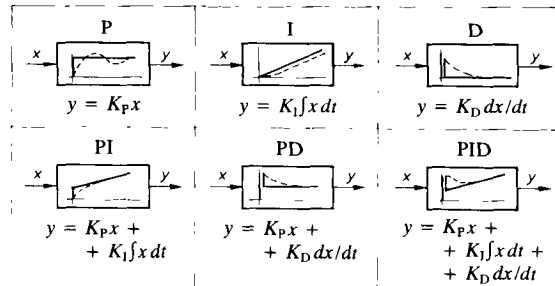
$X_0$  – udešavanje razine (željena veličina)  
 $X$  – pad razine (regulacijsko odstupanje)  
 $Y$  – zaporni ventil (izvršna naredba)  
 $Z$  – otjecanje (poremećajna veličina)

Regulatori s pomoćnom energijom (električnom, hidrauličkom, pneumatskom) djeluju kontinuirano ili diskontinuirano.

Regulatori s kontinuiranim djelovanjem

Kod njih je izlazna veličina  $Y$  ovisna o ulaznoj veličini  $X$ . Za takve regulatore vrijede zakonitosti regulacijskih članova.

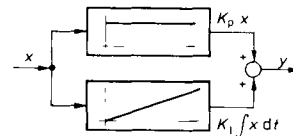
Vrste kontinuirano djelujućih regulatora:



Prelazna funkcija: idealnih regulatora —  
 realnih regulatora - - -

Navedene diferencijalne jednačbe vrijede za idealne regulatore.

Primjer spoja – regulator PI:

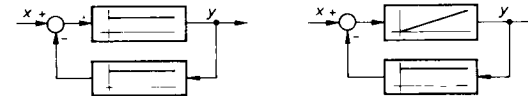


## Povratne vezi regulatora

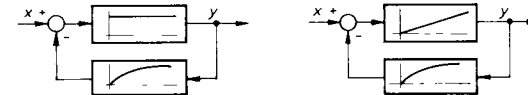
Proizvoljno vremensko ponašanje gotovo svih vrsta regulatora postizava se prikladnom povratnom vezom. Na rad regulatora utječe vrsta regulacijskog člana u povratnoj vezi, a to su:

- čvrsta povratna veza: s regulacijskim članom P,
- povratna veza s pojačanjem: s regulacijskim članom  $PT_1$ ,
- povratna veza sa slabljenjem (derivaciona): s regulacijskim članom D,
- povratna veza s pojačanjem i slabljenjem: s regulacijskim članovima  $PT_1$  i D u serijskom spoju.

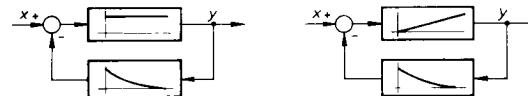
Čvrsta povratna veza



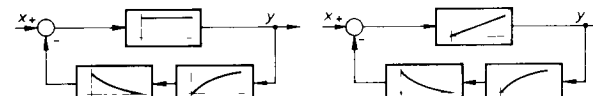
Povratna veza s pojačanjem



Povratna veza sa slabljenjem



Povratna veza s pojačanjem i slabljenjem



Na sličan se način mogu stvarati najrazličitije kombinacije regulacijskih članova u regulatorima.

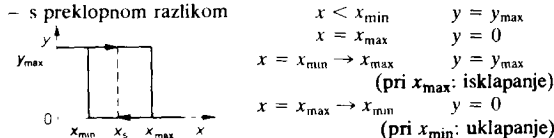
**Diskontinuirano djelujući regulatori**  
Kod tih regulatora nema kontinuirane ovisnosti među izlaznom i ulaznom veličinom, već je moguć samo ograničen broj izlaznih veličina koje odgovaraju ulaznim veličinama.

Primjer: relejni regulator (npr. bimetalni)

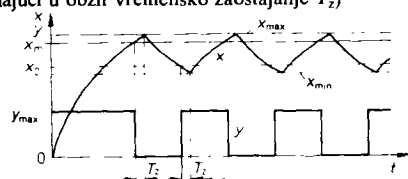
– bez preklopne razlike



– s preklopnom razlikom



Vremensko ponašanje diskontinuirano djelujućih regulatora s preklopnom razlikom (uzimajući u obzir vremensko zaostajanje  $T_z$ )



Izvršna naredba  $y$  izaziva pri vrijednosti  $y_{\max}$  porast regulirane veličine  $x$ . Čim ona dosegne vrijednost  $x_m$ , izvršna se naredba isključuje do vrijednosti 0; regulirana veličina  $x$  raste – uz vremensko zaostajanje  $T_z$  – dalje do vrijednosti  $x_{\max}$ , a tek tada počinje opadati. Pri vrijednosti  $x_0$  izvršna se naredba ponovno uklapa do vrijednosti  $y_{\max}$ , regulirana veličina  $x$  i dalje opada te počinje rasti tek nakon vremenskog zaostajanja  $T_z$ .

Područja primjene nekih regulacijskih naprava

Veličina	Vrsta regulatora			
	P	I	PI	PID
temperatura	+	–	+	+
tlak	–	+		
protok	–		+	
razina kapljevine	–	–	+	
brzina vrtnje	+	+	++	++
električni napon	+			

\* Znakom »+« označeno je prikladno, a znakom »–« neprikladno područje primjene.

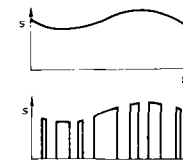
## ELEKTRONIČKA OBRADA PODATAKA

**Informacija** je vijest o zbivanjima u okolišu promatranog sustava i u sustavu samom. Vijesti primamo u obliku *podataka* o mjerenjima pojedinih veličina, **vezanih** na zbivanja, dakle o mjerenjima njihovih vrijednosti i promjena, a u obliku prikladnom za obradu. Stoga podaci sadrže u prvom redu brojčane vrijednosti zbivanja, procesa i tokova. U tu su svrhu označeni znakovima (brojkama, slovima ili posebnim znakovima) ili funkcijama kao matematičkim propisima o vrijednostima.

**Informatika** je grana znanosti i tehnike koja obuhvaća metode i postupke obrade podataka (dobivenih u prvom redu automatski).

Prenos podataka označujemo kao *signal*, koji je nosilac informacija. Signali su kontinuirani ili diskretni:

- *kontinuirani signali* teku vremenski neprekidno
- u skladu s vremenskim tokom veličine o kojoj donose podatke;
- *diskretni signali* nižu se vremenski prekidno (pojedinačno) i množinom impulsa daju podatke o opažanoj veličini.



Za signale se većinom upotrebljava električna struja i napon (ali i put, tlak, toplina, svjetlost itd.).

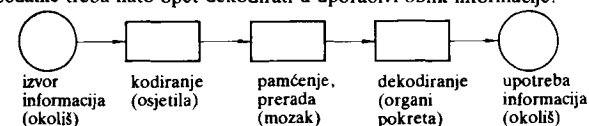
Podaci se prikazuju u ovisnosti o njihovim vremenskim promjenama  $I(t)$  i  $U(t)$ .

Prerada podataka je proces pri kojem se iz ulaznih podataka po određenom preradbenom propisu dobivaju izlazni podaci.

Prosti oblik signala je harmonijsko titranje (opisano kružnom frekvencijom i amplitudom).

Podatke obrađujemo elektroničkim računarima koji mogu biti analogni, digitalni ili hibridni. Potonji se sastoje od analognih i digitalnih sastavnih dijelova.

Elektronički računari mogu preradivati samo one signale podataka koji su izraženi u prikladnom obliku, tj. u prikladnom *kodu*. Stoga valja signale najprije kodirati. Kodirane podatke možemo spremiti (u memorijama). Obradene podatke treba nato opet dekodirati u uporabi oblik informacije.



Tehnika automatizacije bavi se oblikovanjem automatski reguliranih procesa u fizikalno-tehničkim sistemima. To postiže u prvom redu računarskom tehnikom. U velikom opsegu upotrebljava također opće priznate metode i način opažnja, karakterističan za kibernetiku (koju je – po općem priznanju – započeo i utemeljio N. Wiener, 1894–1964).

### Princip analogne tehnike

Analognim računarima, nazvanim po analognom načelu djelovanja, prikazuju se kontinuirano dva različita fizikalna sustava veličina jednakim matematskim odnosima. Takva je npr. sličnost među mehaničkim i električnim titrajnim sistemom:

$$\begin{aligned} \text{mehaničko titranje} & m\ddot{y} + D\dot{y} + ky = F(t) \\ \text{električno titranje} & L\ddot{q} + R\dot{q} + 1/C \cdot q = U(t) \end{aligned}$$

Primjeri analognih veličina:

Količine		Protoci	
put	$s$	brzina	$v = ds/dt$
kut (analit.)	$\hat{\alpha}$	kutna brzina	$\omega = d\hat{\alpha}/dt$
volumen	$V$	volumenski protok	$q_v = dV/dt$
masa	$m$	maseni protok	$q_m = dm/dt$
toplina	$Q$	toplinski tok	$\Phi = dQ/dt$
el. naboj	$Q_{el}$	el. struja	$I = dQ_{el}/dt$
Potencijalne razlike		Otpori	
sila	$F$	konstanta prigušivanja	$d = F/v$
okret. moment	$T, M$		$d_r = M/\omega$
tlačna razlika	$\Delta p$	protočni otpor	$\eta_v = \Delta p/q_v$
temper. razlika	$\Delta T$	toplinski otpor	$1/K = \Delta T/\Phi$
el. napon	$U$	el. otpor	$R = U/I$
Kapaciteti		Tromosti	
konstanta opruge	$c = F/s$	masa	$m = \frac{F}{dv/dt}$
	$c_r = M/\hat{\alpha}$	moment tromosti	$J = \frac{M}{d\omega/dt}$
el. kapacitet	$1/C = U/Q_{el}$	el. induktivitet	$L = \frac{U}{dI/dt}$

Analogni računari služe u prvom redu za simulaciju tehničkih problema.

Bit programiranja analognog računara sastoji se u postavljanju analognog fizikalnog modela kojega treba preoblikovati u matematički model te ga pretvoriti u radni sistem računara.

Za rješavanje posebnih i zapletenih zadataka moraju biti pojedini sastavni dijelovi analognog računara međusobno vezani odgovarajućim redom – analognog fizikalnom procesu.

Analogni računari djeluju kontinuirano (pa se i računane veličine mogu kontinuirano mijenjati). Njihovo je djelovanje brzo pa se stoga mnogo upotrebljavaju u tehnici regulacije.

\*

Najjednostavniji analogni računar je opće poznati logaritamski računar pri kojem brojeve množimo i dijelimo zbrajanjem i odbijanjem njihovih logaritama (predočenih dužinama).

### Princip digitalne tehnike

U digitalnom su računar informacije prikazane konačnim nizom brojki (*digitus*) kojima zapisujemo brojeve.

U broju ima svaka brojka svoju vlastitu i svoju mjesnu vrijednost s obzirom na izabrani brojčani sustav. Općenito vrijedi za svaki broj  $X$ :

$$X = \sum_{i=m}^n N_i B^i$$

gdje je  $B$  – osnova brojčanog sustava,  $N$  – brojka u sustavu.

Primjeri:

– *Decimalni sustav*

$$B = 10, \quad N = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$$

$$X = 1987_{10} = 1 \cdot 10^3 + 9 \cdot 10^2 + 8 \cdot 10^1 + 7 \cdot 10^0$$

– *Binarni (dualni) sustav*

$$B = 2, \quad N = 0, 1$$

$$X = 10110_{12} = 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^{-1} = 22,5_{10}$$

– *Oktalni sustav*

$$B = 8, \quad N = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$$

$$X = 120,4_8 = 1 \cdot 8^2 + 2 \cdot 8^1 + 0 \cdot 8^0 + 4 \cdot 8^{-1} = 80,5_{10}$$

– *Heksadecimalni sustav*

$$B = 16, \quad N = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A (10), B (11), C (12), D (13), E (14), F (15)$$

$$X = 20C4_{16} = 2 \cdot 16^3 + 0 \cdot 16^2 + C \cdot 16^1 + 4 \cdot 16^0 = 8388_{10}$$

U općoj je upotrebi decimalni sustav. Kod digitalnih računara je naročito prikladan binarni sustav, jer tehnički potpuno odgovara dvjema stanjima s oznakama:

0 – »prolaz otvoren«

1 – »prolaz zatvoren«.

Svako od tih dvaju stanja znači 1 *bit* (*binary digit*).

Oktalni i heksadecimalni sustav su namijenjeni lakšoj predodžbi brojeva.

4-bitni binarni zapis (kod) decimalnih brojki 0...9:

Brojka	Zapis	Brojka	Zapis	Brojka	Zapis
0	0000	4	0100	8	1000
1	0001	5	0101	9	1001
2	0010	6	0110		
3	0011	7	0111		

Primjer zapisa broja 1988: 0001 1001 1000 2000

Matematske operacije tako zapisanih brojeva uređuje program računara.

Sadnji digitalni računari mogu obaviti više od  $10^7$  operacija u sekundi.

Prerađu prvenstveno brojčanih podataka upotrebljavamo pri regulaciji računarom (*NC – numeric control*).

### Kodiranje digitalnih podataka

Digitalni računari prerađuju digitalne podatke, tj. takve podatke koje možemo označiti samim znakovima. Znakovi proizlaze iz dogovorne skupine znakova, a raspoređeni su u znakovnim nizovima, npr.:

niz decimalnih brojeva (cifara) 0, 1, 2, ...  
niz velikih latiničnih slova A, B, C, ...  
niz malih latiničnih slova a, b, c, ...  
niz posebnih znakova !, ", #, ...

Tako razlikujemo:

- brojčane (numeričke) podatke koji se sastoje iz brojeva;
- slovno-brojčane (alfanumeričke) podatke koji se sastoje iz slova, brojeva i posebnih znakova.

Osim ovih znakova postoje i regulacijski znakovi (NUL, ... DEL).

Znakovi za (ISO-) 7-bitne kode (JUS I.B1.002 – 1982) sastavljeni su iz bitova  $b_7 \dots b_1$ :

$b_7$	$b_6$	$b_5$	$b_4$	$b_3$	$b_2$	$b_1$	redak	stupac	X
0	0	0	0	1	1	1	1	0	1
0	0	1	1	0	0	1	1	0	1
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	1	1	1	1	0	1
0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	0	0	0	0	0	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	0	0	0	1	1
1	0	1	0	0	0	0	0	1	1
1	0	1	1	0	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
1	1	0	1	0	0	0	0	1	1
1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

U 7-bitnom binarnom zapisu je znak »K« određen nizom bitova: 100 1011, podatak »Srijeda 19.30« zapisom: 101 0011 111 0010 110 0101 110 0100 110 0001 010 0000 011 0001 011 1001 010 1110 011 0011 011 0000

Znakovi upravljanja u 7-bitnom kodu znače:

ACK	– ACKNOWLEDGE	– potvrda ispravnog primitka
BEL	– BELL	– znak alarma
BS	– BACKSPACE	– pomakni natrag
CAN	– CANCEL	– poništiti
CR	– CARRIAGE RETURN	– pomak nosača natrag
DC	– DEVICE CONTROL	– znaci za kontrolu uređaja
DEL	– DELETE	– izostaviti
DLE	– DATA LINK ESCAPE	– slijedi znak posebnog značenja
EM	– END OF MEDIUM	– kraj medija
ENQ	– ENQUIRY	– upit
EOT	– END OF TRANSMISSION	– svršetak prenosa
ESC	– ESCAPE	– prelaz
ETB	– END OF TRANSMISSION BLOCK	– svršetak prenosa bloka
ETX	– END OF TEXT	– svršetak teksta
FF	– FORMAT FEED	– određivanje pozicije
FS	– FILE SEPARATOR	– znak za odvajanje datoteka
GS	– GROUP SEPARATOR	– znak za odvajanje blokova
HT	– HORIZONTAL TABULATION	– horizontalno tabuliranje
LF	– LINE FEED	– određivanje pozicije na slijedeću liniju
NAK	– NEGATIVE ACKNOWLEDGE	– potvrda neispravnog primitka
NUL	– NULL	– prazan znak
RS	– RECORD SEPARATOR	– znak za odvajanje slogova
SI	– SHIFT-IN	– povratak na standardno značenje
SO	– SHIFT-OUT	– nailazak znakova s promijenjenim značenjem
SOH	– START OF HEADING	– početak zaglavlja
SP	– SPACE	– razmak
STX	– START OF TEXT	– početak teksta
SUB	– SUBSTITUTE CHARACTER	– zamijeniti
SYN	– SYNCHRONOUS IDLE	– znak za sinkronizaciju
US	– UNIT SEPARATOR	– znak za odvajanje polja
VT	– VERTICAL TABULATION	– vertikalno tabeliranje

### Logičko zaključivanje

Booleova logička algebra služi se skupom od dva elementa: 0 (krivo) i 1 (pravilno).

#### Elementarne funkcije Booleove algebre

Funkcija	Simbol	Funkcija	Simbol	Funkcija	Simbol
NE (NO)	–			implikacija	$\supset$
ILI (OR)	$\vee$	NE-ILI (NOR)	$\nabla$	ekvivalencija	$\equiv$
I (AND)	$\wedge$	NE-I (NAND)	$\bar{\wedge}$	antivalencija	$\neq$

Pomoću elementarnih funkcija Booleove algebre možemo u načelu prikazati svaku logičku kombinaciju.

#### Booleove funkcije

a	b	$\bar{a}$	$\bar{b}$	$a \vee b$	$a \wedge b$	$a \nabla b$	$a \bar{\wedge} b$	$a \supset b$	$a \equiv b$	$a \neq b$
0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0
0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1
1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1
1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0

### Pohranjivanje podataka

Kodirane podatke možemo pohraniti u memorijama i to za stalno (za što su prikladne bušene kartice i trake) ili s mogućnošću mijenjenja (što omogućuju magnetske memorije).

**Bušene kartice i trake** upotrebljavaju se za jednokratnu snimku podataka. Na nje bušenjem zapisujemo dva stanja: 0 – nebušeno i 1 – bušeno.

Bušena kartica (od kartona bez električki vodljivih dijelova, veličine 187,32 × 82,55 mm) obično je podijeljena: po visini na 10 normalnih redaka (0 ... 9) i na dva dodatna retka; po duljini pa npr. na 45, 80 ili 90 stupaca. Svaki stupac pripada jednom kodiranom znaku, a svaki redak u stupcu jednom bitu (0 ili 1).

Bušene trake su na veliku duljinu razvučene kartice sa stupcima u razmaku po 2,5 mm i recima, razvučenima u nizove, a njihov broj mora odgovarati upotrebljenom kodu. Na presjecištima stupaca i redaka su mjesta za rupice. Između redaka je niz manjih rupica za transport trake.

**Magnetske memorije** iskorišćuju magnetska svojstva vrlo tankih ( $\approx 11 \mu\text{m}$ ) feromagnetskih slojeva (NiFe, NiCo itd.), nanesenih na nosivu podlogu. Te slojeve možemo lokalno (točkasto) magnetizirati i to u dva suprotna magnetska stanja, što odgovara – nalik na bušenje – stanjima 0 i 1.

Magnetske memorije razlikujemo po nosivoj podlozi:

- Magnetske kartice su od plastične umjetne tvari, veličine npr. 80 × 350 mm.
- Magnetske trake su također od plastičnih umjetnih tvari (debljine  $\approx 50 \mu\text{m}$ ), mnogo su uže od kartica (npr. 3 ... 12 mm), ali znatno dulje (npr. 750 m). Brzina odvijanja je npr. 1,7 m/s.
- Magnetski bubnjevi su od slitina lakih kovina (promjera 500 ... 1000 mm), sadrže i do  $10^7$  znakova. Njihova prenosna brzina iznosi  $10^6$  bit/s.
- Magnetski koluti (diskovi) (promjera 500 ... 1500 mm) iskorištavaju za smještaj znakova obje strane i stoga zauzimaju – uz isti kapacitet – znatno manji prostor od bubnjeva. Obično je 6 ... 12 koluta skupljeno u izmjenjivi kolutni slog. Mali magnetski koluti (diskete) (promjera 80 ... 250 mm) imaju kapacitet do  $1,6 \cdot 10^6$  bit/s.

Druge izvedbe magnetskih memorija su:

- Keramičke ploče s magnetskim slojem (NiFe) koji je u vakuumu parom nanesen u debljini od samo  $(2 \dots 20) \cdot 10^{-2} \mu\text{m}$ .
- Magnetske obručne jezgre, prešane od feromagnetskog materijala (u obruče pravokutnog presjeka). Strujnim udarom preklapaju se iz jednog u drugi magnetski smjer.

U magnetskim memorijama spremeni podaci mogu se – po potrebi – brisati odnosno zamjenjivati.

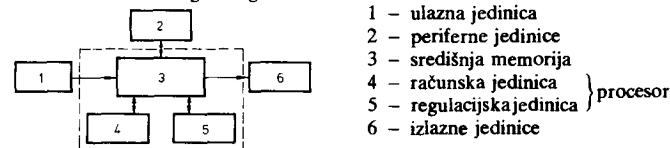
### Aparaturna oprema

Aparaturnu opremu čine električni (elektronički) i mehanički sklopovi. Pri obradi podataka u njima se redaju određene operacije serijski.

Podatke i naredbe predstavljaju u digitalnim računarima binarni znakovi koji su obično združeni u riječima stalne duljine (4, 6, 8 = 1 bajt (byte), 12, 16, 32, 48, 60, 64 i više bitova). Podaci i naredbe prerađuju se u pojedinim jedinicama računara u elektroničkim spojevima koji su sastavljeni od logičkih (poluprovodničkih) elemenata, funkcionalno vezanih (u velikoj gustoći) na malim pločicama – *čipovima* (chip). Broj u čipu združenih elemenata označuje se »integracijskim brojem«.

Broj elemenata	Vezivanje	
10 ... 100	SSI ( <i>Small Scale Integration</i> )	rijetka
50 ... 500	MSI ( <i>Medium Scale Integration</i> )	osrednja
> 1000	LSI ( <i>Large Scale Integration</i> )	velika
> 10000	VLSI ( <i>Very Large Scale Integration</i> )	vrlo velika

Osnovni sastav digitalnog računara



**Ulazna jedinica** prima podatke i naredbe korisnika (čitač, tastatura ...).

**Periferna jedinica** obuhvataju procesne jedinice (procesnu periferiju, perifernu memorijske jedinice: memorijske kartice, trake, kolute, bubnjeve).

**Središnja memorija** sprema informacije-podatke i naredbe. Karakterističan je za nju kapacitet za spremanje informacija (jedinica kapaciteta središnje memorije je 1 kilobajt =  $2^{10}$  = 1024 riječi) te brzina za njihovo unošenje i crpljenje.

**Računska jedinica** obavlja sve zahtijevane operacije:

- aritmetičke operacije (zbrajanje, odbijanje, množenje, dijeljenje),
- logične operacije – uspoređivanje ( $>$ ,  $\geq$ ,  $=$ ,  $\leq$ ,  $<$ ,  $\neq$ ) i odlučivanje,
- organizacijske operacije (prenos podataka i naredbi među funkcijskim jedinicama računara).

**Regulacijska jedinica** dirigira izvođenje naredbi po programu. Računska i regulacijska jedinica zajedno sačinjavaju *procesor*.

**Izlazne jedinice** (štampač, »plotter«, ekran ...) predavaju korisniku rezultate računara.

Digitalni računari upotrebljavaju se za rješavanje svih zadataka koji se mogu oblikovati u programima.

### Programska oprema

Digitalni računar je automat u kojem teku informacijski procesi po točno određenim uputama.

*Program* je potpuni niz uputa za rješavanje danog zadatka. Te upute sadrže računске naredbe za aritmetičke operacije, usporedbene naredbe za logičke operacije itd.

Programi za korijene i eksponente, trigonometrijske i druge funkcije koje se javljaju u praksi veoma često, mogu se – posebno izrađeni – spremati i po potrebi uključiti u drugi program kao potprogram.

Izrada programa ovisna je o strukturi i izvedbi elektroničke naprave za preradu podataka (računala).

*Algoritam* je temelj programa te je takav popis svih uputa kojima se omogućuje rješenje određenog zadatka po koracima. U njemu su pojedini koraci određeni tako, da ih računar može »razumjeti« i izvesti, tj.:

- svaki algoritam sastoji se iz više pojedinih koraka, a svaki korak iz računskih propisa koji predstavljaju neku funkciju; svaki korak sadrži usto upute za slijedeći korak;
- svaki je korak algoritma izvedljiv jednoznačno, a isto tako jednoznačan je i nastavak;
- funkcija svakoga koraka mora biti izvodljiva, čime je osigurano, da je s konačnim brojem elementarnih operacija ostvarljiva svaka funkcija.

*Programski jezik* oblikuje skup svih uputa za opis algoritama.

Programski su jezici:

- strojno orijentirani, tj. sastoje se iz uputa koje imaju jednaki ili slični sastav kao i naredbe određenog računala;
- problemsko orijentirani, tj. po svom su sastavu prirojeni problemima koje treba rješavati, a nisu ovisni o uređaju računara;

Nalik na materijalne proizvode, nastaje i programski izradak u više faza od kojih su najznačajnije:

- specifikacija, tj. određivanje uporabnih funkcija ulaznih i izlaznih podataka;
- planiranje: program se dijeli na programske module (pojedine komponente većih programa);
- izvedba: moduli se dalje detaljiraju i kodiraju (zapisuju u određenom programskom jeziku).

S porastom kompliciranosti zadataka rastu i troškovi za programsku opremu.










Naprave za elektroničku obradu podataka mogu obaviti samo osnovne računске operacije i određene usporedbe po kojima moraju biti izgrađeni algoritmi.

Jednostavni zadaci rješavaju se jednostavnom jednačicom. Za zadatke iz prirodoslovlja i tehnike često su potrebni sistemi diferencijalnih jednačica. Za

























algoritme je karakteristično stoga, da se komplicirani zadaci rješavaju korakom, putem jednostavnih operacija.

*Dijagram toka programa* je računská shema kojom je dan cjelokupan tok algoritma (programskog niza). Pojedine korake upisujemo u odgovarajuće okvire (blokove), međusobno ih povežemo i ucrtamo smjer toka. Dijagram toka račva se samo pri odluci da – ne

Simboli za dijagrame odvijanja operacija programa (JUS A.F0.004 – 1971)

 Operacija općenito	 Modifikacija programa	 Linija odvijanja programa
 Odluka	 Ručna operacija	 Priključna točka
 Potprogram	 Ulaz/izlaz	 Granično mjesto

Simboli za dijagrame protoka podataka i dokumenata

 Obrada općenito	 Ulaz/izlaz	 Magnetni disk
 Pomoćna funkcija	 Memorija ovisna od postrojenja	 Matrična memorija
 Ručna operacija	 Memorija odvojena od sistema	 Ilustrirani izlaz
 Ručno unošenje	 Dokument	 Linija protoka podataka
 Združivanje	 Bušena kartica	 Transport nosača podataka
 Razlučivanje	 Bušena traka	 Telekomunikacijska veza
 Združivanje/razlučivanje	 Magnetna traka	 Povezivanje
 Sortiranje	 Magnetni bubanj	 Napomena

$$\text{Analitičko rješenje: } x_{1,2} = -\frac{b}{2a} \pm \frac{1}{2a} \sqrt{b^2 - 4ac}$$

Korak 1	$[a = 0?]$	da: prelaz na korak 2 ne: prelaz na korak 5
Korak 2	$[b = 0?]$	da: prelaz na korak 3 ne: prelaz na korak 4
Korak 3	$[c = 0?]$	da: jednadžbu zadovoljava svaki $x$ ne: jednadžba je protuslovna
Korak 4:		Izračunati $x = -c/b$ ; svršetak računa.
Korak 5		Izračunati $d = b^2 - 4ac$ ; prelaz na korak 6
Korak 6	$[d = 0?]$	da: prelaz na korak 7 ne: prelaz na korak 8
Korak 7		Izračunati $x = -b/2a$ ; svršetak računa
Korak 8		Izračunati $e = \sqrt{ d }$ ; prelaz na korak 9
Korak 9	$[d > 0?]$	da: prelaz na korak 10 ne: prelaz na korak 11
Korak 10		Izračunati $x_{1,2} = (-b \pm e)/2a$ ; svršetak računa
Korak 11		Izračunati $x_{1,2} = (-b \pm ei)/2a$ ; svršetak računa.

```

graph TD
    Start([POČETAK]) --> Read[/a, b, c/]
    Read --> D1{a=0}
    D1 -- da --> D2{b=0}
    D1 -- ne --> Calc1["d = b² - 4ac"]
    D2 -- da --> D3{c=0}
    D2 -- ne --> Calc2["x = -c/b"]
    D3 -- da --> Print1[/—/]
    D3 -- ne --> Print2[/vsak x/]
    Calc1 --> D4{d=0}
    D4 -- da --> Print3[/x/]
    D4 -- ne --> Calc3["e = √|d|"]
    Calc3 --> D5{d > 0}
    D5 -- da --> Print4["x = -b ± e / 2a"]
    D5 -- ne --> Print5["x₁,₂ = -b ± e / 2a"]
    Print1 --> End([SVRŠETAK])
    Print2 --> End
    Print3 --> End
    Print4 --> End
    Print5 --> End

```

Svaki je programski jezik (tj. skup uputa za opis algoritma) jednoznačno sastavljen po određenoj »gramatici«. Znakovi – kao elementi jezika – određeni su odabranim nizovima (brojkama, slovima, posebnim znakovima, simbolima za riječi).

ADA (nazvan po »prvoj programerki« Augusti Adi Byron) je jezik za programiranje u prirodoslovlju i tehnici. (Standardiziran u SAD g. 1983.)

(Početak razvoj: 1958 – ALGOL 58; nato ALGOL 60–68. Standardiziran je u: ISO/R 1538 i DIN 66026.)

(Početak razvoja: 1957. Prvi puta upotrebljen za računare IBM 360.)

(Nastao je 1957. Standardiziran je po DIN 66025 – za sastavljanje programa za računarom regulirane alatne strojeve za odvajanje čestica.)

**COBOL** (*CO*mmun *B*usiness *O*riented *L*anguage) služi za potrebe trgovine i računovodstva. (Standardiziran po ISO/R 1989 i DIN 66028.)

(Početak: 1954., daljnji razvoj: FORTRAN 77. Standardiziran po ISO/R 1539, DIN 66027.)

PL 1 (*Programming Language 1*) upotrebljiv za višenamjensku primjenu.

ROLOG (*PRO*gramming in *LOG*ic) razvijen je za potrebe umjetne inteligencije.

(Početak: 1972, Marseille.)

Ostali su programski jezici:

CORAL, FORMAC, GPSS, LISP, LTR, PEARL, REDUCE, RPG, RTL, SNOBOL, SYMAP itd.

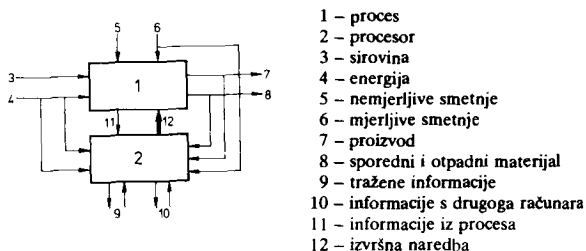


### Procesni računari

Procesni računari (procesori) su naprave za elektroničku obradu podataka pri raznim tehničkim procesima.

Razvoj tehnologije poluvodiča omogućio je izradu računara znatno manjeg volumena (i cijene) – miniračunar i mikroračunar. U njima je na vrlo maloj površini skupljeno mnogo tisuća sastavnih elemenata (npr. 20 000 jednodopolnih tranzistora na čipu površine od 35 mm<sup>2</sup>).

Mikroprocesori – procesni mikroračunari – većim su dijelom sastavljeni i programirani za određenu svrhu.



Procesor dobiva (stalno ili u određenim vremenskim razmacima) informacije o ulaznim veličinama (sirovinama i energiji), o toku proizvodnog procesa (i mjerljivim smetnjama) te o izlaznim veličinama (proizvodu te o sporednom i otpadnom materijalu). To su analogni signali koji se u pretvaračima pretvaraju u digitalne signale. U procesoru se uspoređuju mjerni podaci sa željama. U skladu s ustanovljenim odstupanjima procesor nato utiče neposredno na proces.

### Pomoć računara

Brzina, točnost i preglednost rada s računarom su uzroci za sve opsežniji rad u tehnici pomoću računara. Tako su se razvili značajni radni sistemi, vođeni računarom:

CAD (*Computer Aided Design*) za konstruiranje (planiranje)  
CAM (*Computer Aided Manufacturing*) za izradu (produkciju)  
CAE (*Computer Aided Engineering*) za optimiranje izradaka (produkta)  
CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) za sastavljenu (integriranu) izradu  
CAP (*Computer Aided Programming*) za programiranje (planiranje rada)  
CAQ (*Computer Aided Quality Ensurance*) za osiguranje kvaliteta  
itd.

## DRUGI DIO ISPITIVANJE MATERIJALA

### DIJAGRAM $\sigma, \epsilon$

U ispitnom uzorku (pokusnom štapu) materijala, opterećenom silom  $F$ , nastupaju naprezanja  $\sigma$  koja izazivaju rastezanje.

Naprežanje  $\sigma$  je odnos sile  $F$  i presjeka ispitnog uzorka  $S$  (okomito na smjer sile)

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

Zbog djelovanja sile  $F$  (i time nastalim naprežanjem  $\sigma$ ) ispitni će se uzorak s prvotne duljine  $L_0$  rastegnuti na duljinu  $L$ .

Produljenje epruvete iznosi

$$\Delta L = L - L_0$$

Postotno produljenje epruvete je produljenje s obzirom na prvotnu duljinu  $L_0$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0}$$

Dijagram  $\sigma, \epsilon$  pokazuje međusobnu ovisnost naprežanja i postotnog produljenja.

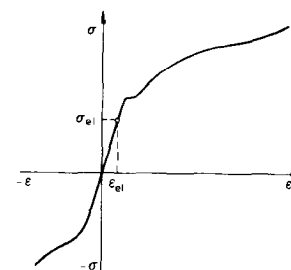
Početno je rastezanje linearno (tj. postotno je produljenje upravo razmjerno naprežanju). U području linearnoga rastezanja materijal je *elastičan* (tj. nakon prestanka djelovanja sile odn. naprežanja vraća se na prvotnu dimenziju).

Modul elastičnosti  $E$  je odnos naprežanja i postotnog produljenja (u području elastičnosti)

$$E = \frac{\sigma_{el}}{\epsilon_{el}}$$

»Granica elastičnosti« je naprežanje pri kojem osjetljiva mjerila osjete prvo primjetno, trajno, postotno produljenje materijala (pri još nepromijenjenom presjeku  $S = S_0$ )\*. Povrh te granice (obično na koncu linearnoga rastezanja) materijal se rasteže *plastično* (tj. nakon prestanka djelovanja sile ne vraća se više na prvotnu dimenziju, već ostaje stanovito, trajno, postotno produljenje, a presjek se suzuje:  $S < S_0$ ).

Dijagram  $\sigma, \epsilon$  nastavlja se u smislu tlačnih naprežanja, kad tlačno naprežanje  $-\sigma$  izaziva relativno skraćanje  $-\epsilon$ .



\* Tj. naprežanje tečenja  $R_{p 0,01}$  – vidi str. 316.

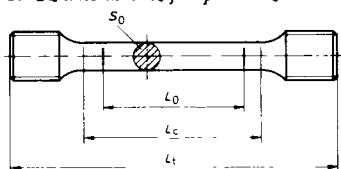
## MEHANIČKO ISPITIVANJE METALA

(JUS C.A4.001-1986)

### Vlačno ispitivanje (JUS C.A4.002-1985)

Za vlačno ispitivanje služe ispitni uzorci koji imaju razne oblike s obzirom na veličinu i oblik raspoloživog materijala i s obzirom na zahvatne čeljusti stroja za kidanje.

#### 1. Oznake dimenzija ispitnih uzoraka



$L_t$  – ukupna duljina ispitnog uzorka  
 $L_c$  – duljina ispitnog dijela ispit. uzorka  
 $L$  – mjerna duljina\*  
 $L_0$  – početna mjerna duljina\*  
 $L_u$  – konačna mjerna duljina (nakon kidanja)\*  
 $S$  – površina poprečnog presjeka ispitnog uzorka  
 $S_0$  – početna površina presjeka  
 $S_u$  – najmanja površina presjeka (nakon kidanja)

\* Pri upotrebi ekstenzometra:  
 $L_c$  – mjerna duljina mjerača produljenja (ekstenzora)  
 $L_{e0}$  – početna mjerna duljina mjerača  
 $L_{eu}$  – mjerna duljina mjerača nakon kidanja

#### 2. Dimenzije ispitnih uzoraka

Pri proporcionalnom ispitnom uzorku je početna mjerna duljina  $L_0$  razmjerna s korijenom početnog presjeka  $S_0$ :  $L_0 = k\sqrt{S_0}$  pa je kod ispitnih uzoraka kružnog presjeka proporcionalna promjeru:

$$L_0 = k\sqrt{S_0} = k\sqrt{\frac{\pi}{4}} \cdot d_0$$

Uobičajene početne duljine  $L_0$  su:

	za proporcionalni ispitni uzorak		za presjek ispit. uzorka	
	$k$	$k\sqrt{\pi/4}$	proizvoljni	kružni
kratki (normalni)	5,65	5	$L_0 = 5,65\sqrt{S_0}$	$L_0 = 5 d_0$
dugi	11,3	10	$L_0 = 11,3\sqrt{S_0}$	$L_0 = 10 d_0$

Primjeri kratkih ispitnih uzoraka:

$d_0$ mm	$S_0$ mm <sup>2</sup>	$L_0$ mm	$L_c$ mm
$20 \pm 0,150$	314	$100 \pm 1,0$	110
$10 \pm 0,075$	78,5	$50 \pm 0,5$	55
$5 \pm 0,040$	19,6	$25 \pm 0,25$	28

Pri neproporcionalnim uzorcima početna mjerna duljina  $L_0$  nije ovisna od presjeka  $S_0$  (odn. promjera  $d_0$ ).

Ispitni uzorci za žice i štapove, promjera do 4 mm moraju imati početnu mjernu duljinu  $L_0 = 200 \pm 2$  mm ili  $L_0 = 100 \pm 1$  mm.

Ispitni uzorci za limove i trake, debljine 0,1...3 mm izrezuju se na širine  $b$  (12,5 odn. 20 mm), s početnom mjernom duljinom  $L_0$  (50...80 mm) i ispitnim duljinama  $L_c$  (75 odn. 120 mm).

#### 3. Oznake veličina pri rastezanju i suživanju

Pri rastezanju vrijede oznake:

$$\begin{aligned} \Delta L &= L - L_0 && \text{mm} - \text{produljenje} \\ \Delta L_u &= L_u - L_0 && \text{mm} - \text{produljenje nakon kidanja} \\ \varepsilon &= (\Delta L / L_0) \cdot 100 && \% - \text{postotno produljenje} \\ A &= (\Delta L_u / L_0) \cdot 100 && \% - \text{postotno produljenje nakon kidanja} \end{aligned}$$

Oznaka  $A$  vrijedi za postotno produljenje nakon kidanja u slučaju upotrebe proporcionalnog ispitnog uzorka s vrijednošću koeficijenta  $k = 5,65$ . Pri upotrebi proporcionalnih uzoraka s drugim koeficijentom  $k$  (npr. 11,3), valja oznaki  $A$  dodati tu vrijednost kao indeks (npr.  $A_{11,3}$ ). Pri proporcionalnim uzorcima kružnog presjeka označujemo postotno produljenje nakon kidanja:

– pri kratkim ispitnim uzorcima  $A_5$

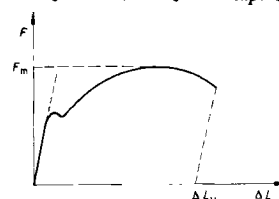
– pri dugim ispitnim uzorcima  $A_{10}$ .

Pri upotrebi neproporcionalnog ispitnog uzorka, početne mjerne duljine  $L_0$  (npr.  $L_0 = 80$  mm), treba oznaki  $A$  dodati kao indeks vrijednost početne mjerne vrijednosti (npr.  $A_{80}$ ).

Pri suživanju presjeka vrijede oznake:

$$\begin{aligned} \Delta S &= S_0 - S && \text{mm}^2 - \text{suženje poprečnog presjeka} \\ \Delta S_u &= S_0 - S_u && \text{mm}^2 - \text{najveće suženje (nakon kidanja)} \\ \psi &= (\Delta S / S_0) \cdot 100 && \% - \text{postotno suženje} \\ Z &= (\Delta S_u / S_0) \cdot 100 && \% - \text{postotno suženje nakon kidanja (kontrakcija)} \end{aligned}$$

#### 4. Oznake sila i nazivnih naprežanja



Dijagram  $F, \Delta L$

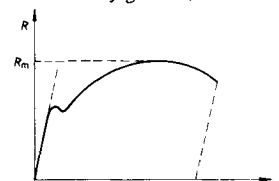
Dijagram sile  $F$  u ovisnosti od produljenja  $\Delta L$  snimamo neposredno na stroju za kidanje

$F$  – (vlačna) sila

$F_m$  – najveća sila

Pri određivanju najveće sile  $F_m$  mora brzina razmicanja čeljusti stroja za kidanje iznositi  $\leq L_c$  mm/min ( $L_c$  v mm).

\*



Dijagram  $R, \varepsilon$

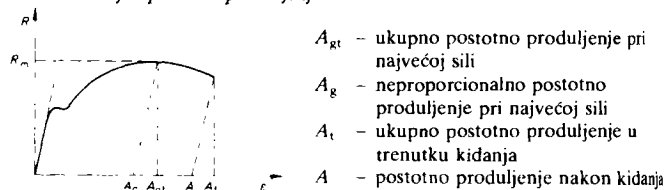
Nazivna naprežanja  $R$  izražena su silom  $F$ , dijeljenom s početnim presjekom  $S_0$ .

V dijagramu  $R, \varepsilon$  dana su nazivna naprežanja  $R$  u ovisnosti o postotnom produljenju  $\varepsilon$ , sukladno s dijagramom sile  $F$  u ovisnosti od produljenja  $\Delta L$ .

$R = F / S_0$  – (vlačna) nazivno naprežanje

$R_m = F_m / S_0$  – (vlačna) čvrstoća

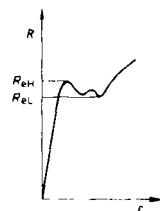
### 5. Značajna postotna produljenja



### 6. Naprezanja tečenja

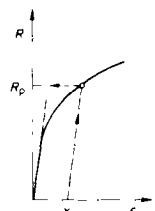
Naprezanja prirod-  
nog tečenja  $R_c$

gornje –  $R_{cH}$   
donje –  $R_{cL}$   
(npr. kod mekih  
čelika)



Konvencionalno naprezanje tečenja  $R_p$   
(za materijale s kontinuiranim rastezanjem)

U dijagramu  $R, \epsilon$  povučemo iz (odabrane) točke  $x$  na apscisi paralelu s početnim (linearnim) dijelom krivulje rastezanja. Presjek paralele s krivuljom rastezanja određuje konvencionalno naprezanje tečenja pri postotnom produljenju  $\epsilon = x\%$ , npr.:



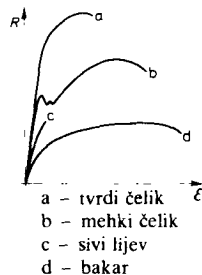
$R_{p0.01}$  pri  $\epsilon = 0.01\%$ <sup>1)</sup>,  
 $R_{p0.2}$  pri  $\epsilon = 0.2\%$ <sup>2)</sup>,  
 $R_{p1}$  pri  $\epsilon = 1\%$ .

<sup>1)</sup> To je »tehnička granica elastičnosti«.

<sup>2)</sup> Dosada zvana »granica plastičnosti«.

\*

Tok rastezanja u ovisnosti od naprezanja je za razne materijale različit i za njih karakterističan. Tako po obliku dijagrama  $R, \epsilon$  možemo razlikovati materijale:



Žilavi materijali se nakon početnog elastičnog (linearnog) rastezanja rastežu do prekida vrlo plastično, i to kontinuirano (npr. bakar) ili u diskontinuitetu s pojavom tečenja pri stalnom naprezanju (npr. meki čelik).

Krčki materijali se po početnom elastičnom rastezanju kidaju bez (značajnijeg) plastičnog rastezanja (npr. sivi lijev).

Plastični materijali se rastežu samo neznatno elastično (npr. olovo) ili su gotovo neelastični (npr. asfalt).

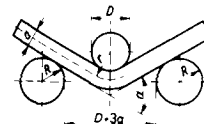
### Ispitivanje savijanjem (JUS C.A4.005 – 1985)

Ispitni uzorci imaju pravokutni, kvadratni ili okrugli presjek, a ispituju se i čitavi profili. Debljina  $a$  neka bude veća od 30 mm. Širina pravokutnih uzoraka iznosi 25 do 50 mm. Preporučuje se da duljina  $l$  ispitnog uzorka bude

$$l = (D + 3a) \pm \frac{a}{2}$$

Za savijanje služe dva oslonca s polumjerima  $R$ :

za  $a \leq 12$  mm  $R = 25$  mm  
za  $a > 12$  mm  $R = 50$  mm



Promjer  $D$  valjka kojim savijamo uzorak uzima se prema posebnim propisima za materijal koji se ispituje.

Savijanje mora biti polagano i neprekidno do određenog kuta savijanja  $\alpha$ , odnosno do pojave prvih pukotina na vanjskoj strani uzorka.

\*

Sivi lijev ispituje se u pogledu čvrstoće na savijanje sirovim ili obrađenim uzorcima u obliku posebno odlivenih ravnih okruglih štapova promjera  $d_0$ , koje oslanjamo o dva valjkasta oslonca s razmakom  $l$  (između osi oslonaca promjera  $D$ ), a u sredini ih opterećujemo silom  $F$  do prekida. Čvrstoća sivog lijeva na savijanje  $\sigma_{sm}$  slijedi iz najveće sile  $F_{sm}$  pri lomu

$$\sigma_{sm} = F_{sm}/4W \quad W = \pi d_0^3/32 \approx 0.1 d_0^3$$

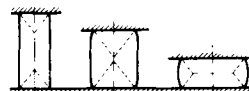
Mjere uzoraka i uređaja (prema JUS C.A4.014 – 1973) u mm

Promjer ispit. uzorka $d_0$	Duljina ispit. uzorka	Oslonci		Polumjer pritiskivača $r$
		promjer $D$	razmak $l$	
13	300	20 ... 30	260	10 ... 15
20	450	50 ... 60	400	25 ... 30
30	650		600	
45	1000		900	

### Tlačno ispitivanje (JUS C.A4.006 – 1954)

Za tlačni pokus služi ispitni uzorak koji je za kovine redovito okruglog presjeka, promjera  $d_0$  i visine  $h_0 = 2d_0$  (izuzetno je  $h_0 = d_0 \dots 3d_0$ ). Za nekovine uzorak je obično kocka.

Uzorak se tlači lakim i čestim udarcima čekićem ili prešom. Pri tome se pojavljuje (tlačni stožac) po kojem se materijal širi u stranu. Uzorak se tlači do određene visine (u hladnom stanju do  $h_0/2$ , u vrućem stanju do  $h_0/3$ ), odnosno dok se na boku ne pojave pukotine.



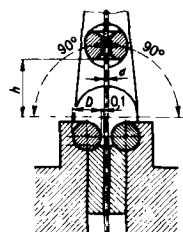
### Ispitivanje žica torzijom (JUS C.A4.016 – 1986)

U posebnom uređaju sućemo žicu oko vlastite osi do loma. Da bi žica pri tom ostala ravna, opterećujemo je vlačnom silom koja u žici ne smije izazvati naprezanja većeg od 2% čvrstoće čelične žice, odn. 5% čvrstoće žice od neželjeznih kovina. Slobodna duljina žice  $l$  i najveća brzina sukanja  $n$  iznose:

premjer žice $d$ (mm)	0,3...1	1...1,5	1,5...3	3...5	5...7
slobodna duljina $l$	200 $d$	100 $d$	100 $d$	100 $d$	50 $d$
brzina sukanja $n$ (okr./s)					
– pri čeliku	3	1	1	1	0,5
– pri Cu i Cu-legurama	5	2	1,5	1	0,5

Broj okretaja žice do loma mjera je njene sposobnosti pri ispitivanju torzijom.

### Ispitivanje žica izmjeničnim pregibanjem (JUS C.A4.018 – 1986)



Ispitivani komad žice stegnemo u pokusnu napravu u kojoj pregibamo žicu naizmjenice u jednu i drugu stranu do njezina loma.

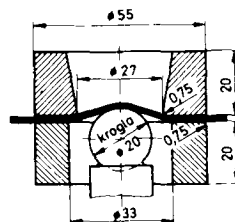
Karakteristične su mjere pokusne naprave (u mm)

$d$	$D$	$h$	$d$	$D$	$h$
0,3...0,5	2,5	15	2,0...3,0	15,0	25
0,5...0,7	3,5	15	3,0...4,0	20,0	35
0,7...1,0	5,0	15	4,0...6,0	30,0	50
1,0...1,5	7,5	20	6,0...8,0	40,0	75
1,5...2,0	10,0	20	8,0...10,0	50,0	100

Žicu pregibamo preko valjaka od kaljenog čelika. Jednim pregibom smatramo savijanje iz početnog (srednjeg) položaja za  $90^\circ$  u jednu stranu i natrag do početnog položaja (a obavljamo ga u 1 s). Broj pregiba do prekida žice mjera je sposobnosti žice za izmjenično pregibanje.

### Ispitivanje žica navijanjem (JUS C.A4.019 – 1986).

#### Ispitivanje sposobnosti za izvlačenje (JUS C.A4.021 – 1962).



Sposobnost materijala za izvlačenje ispituje se utiskivanjem čelične kuglice u limeni ispitni uzorak.

Za limove i trake debljine do 2 mm služi naprava po Erichsensu, koja se sastoji od kaljene čelične kuglice za utiskivanje, matrice i držača limenog uzorka.

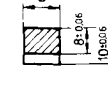
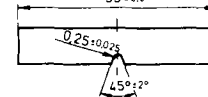
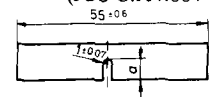
Kuglica se polagano i jednoliko (brzinom oko 0,1 mm/s) utiskuje u uzorak do pojave prvih pukotina. Kao mjera sposobnosti materijala za izvlačenje navodi se postignuta dubina.

### Ispitivanjem udarom po Charpyju

Za ispitivanjem udarom na savijanje po metodi Charpyja upotrebljavaju se ispitni uzorci sa zarezom. Tim se postupkom određuje žilavost materijala pri udaru (s obzirom na utjecaj zareza).

#### Ispitni uzorak s U-zarezom

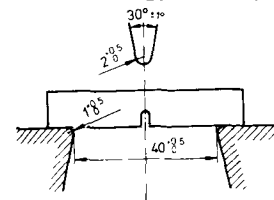
(JUS C.A4.004 – 1984)



$a = 5$  mm – standardno  
 $a = 3$  (2) mm – plitki zarez }  $\pm 0,09$  mm  
 $b = 10$  mm – standardno  
 $b = 7,5$  (5) mm – uski uzorak }  $\pm 0,11$  mm

Ispitni se uzorak prelama batom (nihalom) koji pri padu udara u sredinu uzorka, poduprtoga na oslonce.

Udarna energija bata  $Gh_1 = 300$  (150, 100) J.



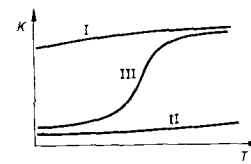
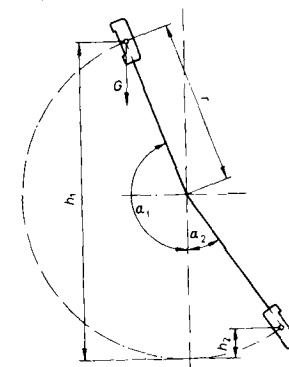
Udarni rad nihalnog bata težine  $G$ , koji pada s visine  $h_1$  te dospje pri lomu na visinu  $h_2$  iznosi

$$K = G(h_1 - h_2)$$

Oznaka udarnog rada pri nazivnoj energiji 300 J i pri standardnom ispitnom uzorku je:

- pri uzorku s U-zarezom:  $KU$
- pri uzorku s V-zarezom:  $KV$

Udarna žilavost u općem slučaju raste s temperaturom. U širokom su temperaturnom području udarno vrlo žilave kovine koje možemo gnječiti: Al, Cu, Ni, austenitni čelik (I); neznatno žilave su krhke materije: staklo, keramika, vrlo tvrdi čelici (II). Za obične čelike – nelegirane i malo legirane (III) značajna je velika ovisnost udarne žilavosti od temp.: pri višoj su vrlo žilavi, pri niskoj veoma krhki.



## ISPITIVANJE TRAJNE ČVRSTOĆE

### Ispitivanje trajne statičke čvrstoće

Konstantnom (statičkom) silom dugotrajno opterećeni materijal počeo će se pod određenim opterećenjem, u ovisnosti od temperature, postupno rastezati. Ova se pojava, koju nazivamo *puženje*, zaustavlja, ako se materijal pri rastezanju učvrsti, dok se u protivnom nastavlja do loma.

Temperatura pri kojoj se pojavljuje puženje ovisna je o materijalu (npr. pri čeliku od 200 °C naviše; pri olovu ili plastici već kod okolišne temperature).

Najveće naprezanje kod kojega se pri određenoj temperaturi konstantnom silom opterećeni materijal više trajno ne rasteže (ne puže) nazivamo *trajnom statičkom čvrstoćom materijala*.

Dugotrajnim je pokusima (100 000 h) ustanovljeno, da stvarnu trajnu statičku čvrstoću ni nakon tako dugog vremena ne možemo odrediti. Odrediti možemo u svakom slučaju samo vremenska statička svojstva čvrstoće koja vrijede za određeno ograničeno trajanje opterećenja.

Rezultati kratkotrajnih ispitivanja ne mogu se jednostavno upotrebiti pri dugotrajnim opterećenjima. Stoga je preporučljivo trajanje statičkog ispitivanja

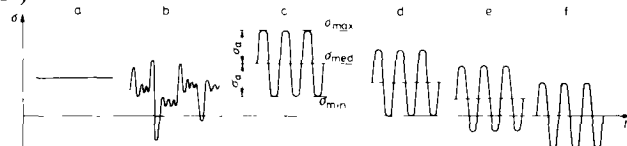
za kovine  $t = 100\,000\text{ h}$   
za plastične materijale  $t = 10\,000\text{ h}$ .

*Vremensko naprezanje tečenja*  $R_{p\,t/t/T}$  je naprezanje pri kojem se materijal rastegne do određenog postotnog produljenja  $\epsilon$  (npr. 1%) za određeno vrijeme  $t$  (npr. 100 000 h) pri određenoj temperaturi  $T$  (npr. 400 °C), što bi se za navedeni slučaj napisalo  $R_{p\,1/(100\,000)/400}$ .

*Vremenska statična čvrstoća*  $R_{m,t/T}$  je najveće naprezanje koje materijal podnosi određeno vrijeme  $t$  (npr. 100 000 h) pri određenoj temperaturi  $T$  (npr. 600 °C). U navedenom slučaju označujemo to  $R_{m\,100\,000/600}$ .

### Ispitivanje dinamičke čvrstoće (JUS C.A4.035 – 1966)

Čvrstoća je materijala znatno manja ako materijal u toku vremena  $t$  nije jednoliko opterećen (primjer »a« na donjoj slici), već nejednoliko (primjer »b«).



Potpuno nejednolika opterećenja nisu prikladna za uspoređivanje ispitnih rezultata. Zato određujemo dinamička svojstva čvrstoće materijala za sinusoidalna opterećenja, kod kojih naprezanje koleba za otklon (amplitudu)  $\sigma_a$  ( $\tau_a$ ) od srednjeg naprezanja  $\sigma_{med}$  ( $\tau_{med}$ ) (primjer »c«). Ta naprezanja mogu biti:

a) istosmjerna (primjeri »c« i »d«)      b) izmjenična (primjeri »e« i »f«).

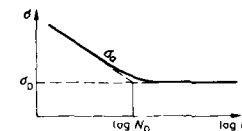
Od raznih sinusoidnih opterećenja posebno su značajna:

1. *pulzirajuće ili trajno dinamičko opterećenje* (primjer »d« na slici na str. 320), pri kojem naprezanje  $\sigma$  titra (pulzira) za amplitudu  $\sigma_a$  između vrijednosti 0 i  $\sigma_{max}$  oko srednjeg naprezanja  $\sigma_{med}$ ;  $\sigma_a = \sigma_{med} = \sigma_{max}/2$ ;

2. *nijajuće ili kolebljivo dinamičko opterećenje* (primjer »f«), pri kojem naprezanje  $\sigma$  koleba za amplitudu  $\sigma_a$  između vrijednosti  $-\sigma_{max}$  i  $+\sigma_{max}$ ;  $\sigma_a = \sigma_{max}$ , pri čemu je srednje naprezanje  $\sigma_{med} = 0$ .

Trajnost materijala ovisi o broju titraja opterećenja. Smanjivanjem amplitude naprezanja  $\sigma_a$  pri dinamičkom opterećenju povećava se broj titraja  $N$ , koje materijal podnosi bez loma.

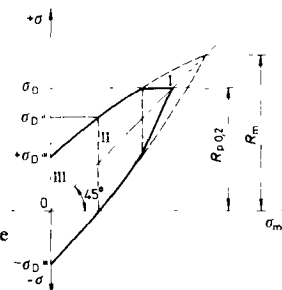
Ovisnost  $\sigma_a = f(N)$  prikazuje »Wöhlerova krivulja« (na slici desno). Wöhlerova se krivulja pri određenom broju titraja  $N_D$  ( $10^7$  za čelik,  $10^8$  za lake kovine) približava stalnoj vrijednosti  $\sigma_D$ , kojom definiramo »dinamičku čvrstoću«.



*Dinamička čvrstoća*  $\sigma_D$  je najveće naprezanje  $\sigma_{max}$  pri kojem se materijal ni pri bilo kakvom povećanju broja titraja opterećenja ne bi više slomio.

*Dijagram dinamičke čvrstoće* (Smithov dijagram) prikazuje dinamičku čvrstoću  $\sigma_D$  u ovisnosti o srednjem naprezanju  $\sigma_{med}$  za razna dinamička opterećenja:

I  $\sigma_D' = R_{p\,0,2}$  – za mirno opterećenje  
II  $0 \dots \sigma_D''$  – za pulzirajuće opterećenje  
III  $-\sigma_D''' \dots +\sigma_D'''$  – za nijajuće opterećenje.



Crta koja u dijagramu ide iz ishodišta pod kutom od 45° prikazuje srednje opterećenje. Udaljenosti od nje prema gore ili dolje do gornjega odnosno donjega graničnog naprezanja jesu otkloni naprezanja.

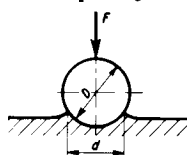
Budući da materijal u konstrukcijama po pravilu ne smijemo opterećivati iznad naprezanja tečenja  $R_{p\,0,2}$  je tom granicom u dijagramu dinamičke čvrstoće ograničeno područje dopuštenog opterećenja.

Na dinamičku čvrstoću veoma jako utječe djelovanje zarezata (nejednolika razdioba naprezanja), što može čvrstoću znatno sniziti ispod vrijednosti koju materijal ima bez zarezata. Zato je dinamička čvrstoća zavarenih spojeva (zbog zavarnog »zarezata«) ili predmeta s grubo obrađenom površinom (koja se zapravo sastoji od mnogih sitnih »zarezata«) mnogo manja.

## ISPITIVANJE TVRDOĆE

Mjera za tvrdoću ovisi o postupku ispitivanja.

### 1. Ispitivanje tvrdoće po Brinell HB (JUS C.A4.003 – 1985 i 032 – 1986)



U čistu se i ravnu površinu pokusnog materijala (kovine) utiskuje određenom silom  $F(N)$  kuglica promjera  $D(mm)$ . Mjeri se promjer otiska  $d(mm)$ . Mjera Brinellove tvrdoće iznosi

$$HB = \frac{0,102 F}{A} = 0,102 F \frac{2}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

gdje je  $A$  površina otiska (kalote).

Vrijednosti Brinellove tvrdoće HB za pojedine promjere otiska  $d$  sabrane su u tablicama na str. 324 i 325. Odlučujuća je prosječna vrijednost koja je rezultat barem dvaju mjerenja.

Kuglica je: do tvrdoće 450 HB od zakaljenog čelika, do tvrdoće 650 HB od tvrdog metala. (Tvrdoća iznad 650 HB ispituje se po Vickersu – str. 326).

Sila pritiska  $F$  mora rasti do nazivne 2...8 s, a djelovanje nazivne sile mora trajati 10...15 s.

Upotrebljavaju se slijedeće sile pritiska  $F(N)$  odn. odgovarajuće vrijednosti  $0,102 F$  (u zagradi) i promjeri kuglica  $D(mm)$  – rasporedene u skupine po vrijednostima  $0,102 F/D^2$ :

$\frac{0,102 F}{D^2}$	$F(N)$ ( $0,102 F$ )				
	za $D(mm)$ :				
	10	5	2,5	2	1
30	29420 (3000)	7355 (750)	1839 (187,5)	1177 (120)	294,2 (30)
15	14710 (1500)	–	–	–	–
10	9807 (1000)	2452 (250)	612,9 (62,5)	392,2 (40)	98,07 (10)
5	4903 (500)	1226 (125)	306,5 (31,25)	196,1 (20)	49,03 (5)
2,5	2452 (250)	612,9 (62,5)	153,2 (15,625)	98,07 (10)	24,52 (2,5)
1,25	1226 (125)	306,5 (31,25)	76,61 (7,8125)	49,03 (5)	12,26 (1,25)
1	980,7 (100)	245,2 (25)	61,29 (6,25)	39,23 (4)	9,807 (1)

Primjeri oznaka tvrdoće po Brinellu:

350 HBS 5/750 – znači tvrdoću 350 HB pri upotrebi čelične kuglice promjera  $D = 5 mm$  i pri vrijednosti  $0,102 F = 750$  (tj. pri sili pritiska  $F = 7355 N$ ).

Vrijednosti  $0,102 F/D^2$  odabiremo s obzirom na vrstu materijala ispitnog uzorka i njegovoj tvrdoći:

Materijal	Tvrdoća HB	$0,102 F/D^2$
čelik		30
lijevano željezo	< 140	10
	> 140	30
bakar i bakrene slitine	< 35	5
	35...200	10
	> 200	30
lake kovine i slitine	< 35	1,25 2,5
	35...80	5 10 15
	> 80	10 15
olovo i kositar		1 1,25

Najmanja debljina uzorka (u mm) u ovisnosti od promjera kuglice  $D$  i promjera otiska  $d$ :

$d$ mm	$D(mm)$				$d$ mm	$D(mm)$	
	1	2	2,5	5		5	10
0,2	0,08				2,4	2,46	1,17
0,3	0,18				2,6	2,92	1,38
0,4	0,33				2,8	3,43	1,60
0,5	0,54	0,25			3,0	4,00	1,84
0,6	0,80	0,37	0,29		3,2		2,10
0,7		0,51	0,40		3,4		2,38
0,8		0,67	0,53		3,6		2,68
0,9		0,86	0,67		3,8		3,00
1,0		1,07	0,83		4,0		3,34
1,1		1,32	1,02		4,2		3,70
1,2		1,60	1,23	0,58	4,4		4,08
1,3			1,46	0,69	4,6		4,48
1,4			1,72	0,80	4,8		4,91
1,5			2,00	0,92	5,0		5,36
1,6				1,05	5,2		5,83
1,7				1,19	5,4		6,33
1,8				1,34	5,6		6,86
1,9				1,50	5,8		7,42
2,0				1,67	6,0		8,00
2,2				2,04			

Za čelik možemo iz poznate Brinellove tvrdoće HB približno odrediti njegovu čvrstoću  $R_m(N/mm^2)$

za ugljični čelik  $R_m \approx 3,6 HB$   
za legirani čelik – Cr  $R_m \approx 3,5 HB$   
– Cr–Ni  $R_m \approx 3,4 HB$

Usporedbeni tablica (približna) između čvrstoće i tvrdoće čelika nalazi se na str. 322 i 323.

*Tvrdoća po*

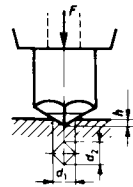
Promjer otiska $d$ mm						Tvrdoća po Brinellu HB							
pri promjeru kuglice $D$ mm:						za vrijednost $0,102F/D^2$ :							
10	5	2,5	2	1		30	15	10	5	2,5	1,25	1	
2,40	1,20	0,60	0,48	0,24		653	327	218	109	54,5	27,2	21,8	
2,45			0,49			627	313	209	104	52,2	26,1	20,9	
2,50	1,25		0,50	0,25		601	301	200	100	50,1	25,1	20,0	
2,55			0,51			578	289	193	96,3	48,1	24,1	19,3	
2,60	1,30	0,65	0,52	0,26		555	278	185	92,6	46,3	23,1	18,5	
2,65			0,53			534	267	178	89,0	44,5	22,3	17,8	
2,70	1,35		0,54	0,27		514	257	171	85,7	42,9	21,4	17,1	
2,75			0,55			495	248	165	82,6	41,3	20,6	16,5	
2,80	1,40	0,70	0,56	0,28		477	239	159	79,6	39,8	19,9	15,9	
2,85			0,57			461	230	154	76,8	38,4	19,2	15,4	
2,90	1,45		0,58	0,29		444	222	148	74,1	37,0	18,5	14,8	
2,95			0,59			429	215	143	71,5	35,8	17,9	14,3	
3,00	1,50	0,75	0,60	0,30		415	207	138	69,1	34,6	17,3	13,8	
3,05			0,61			401	200	134	66,8	33,4	16,7	13,4	
3,10	1,55		0,62	0,31		388	194	129	64,6	32,3	16,2	12,9	
3,15			0,63			375	188	125	62,5	31,3	15,6	12,5	
3,20	1,60	0,80	0,64	0,32		363	182	121	60,5	30,3	15,1	12,1	
3,25			0,65			352	176	117	58,6	29,3	14,7	11,7	
3,30	1,65		0,66	0,33		341	170	114	56,8	28,4	14,2	11,4	
3,35			0,67			331	165	110	55,1	27,5	13,8	11,0	
3,40	1,70	0,85	0,68	0,34		321	160	107	53,4	26,7	13,4	10,7	
3,45			0,69			311	156	104	51,8	25,9	13,0	10,4	
3,50	1,75		0,70	0,35		302	151	101	50,3	25,2	12,6	10,1	
3,55			0,71			293	147	97,7	48,9	24,4	12,2	9,77	
3,60	1,80	0,90	0,72	0,36		285	142	95,0	47,5	23,7	11,9	9,50	
3,65			0,73			277	138	92,3	46,1	23,1	11,5	9,23	
3,70	1,85		0,74	0,37		269	135	89,7	44,9	22,4	11,2	8,97	
3,75			0,75			262	131	87,2	43,6	21,8	10,9	8,72	
3,80	1,90	0,95	0,76	0,38		255	127	84,9	42,4	21,2	10,6	8,49	
3,85			0,77			248	124	82,6	41,3	20,6	10,3	8,26	
3,90	1,95		0,78	0,39		241	121	80,4	40,2	20,1	10,0	8,04	
3,95			0,79			235	117	78,3	39,1	19,6	9,79	7,83	
4,00	2,00	1,00	0,80	0,40		229	114	76,3	38,1	19,1	9,53	7,63	
4,05			0,81			223	111	74,3	37,1	18,6	9,29	7,43	
4,10	2,05		0,82	0,41		217	109	72,4	36,2	18,1	9,05	7,24	
4,15			0,83			212	106	70,6	35,3	17,6	8,82	7,06	
4,20	2,10	1,05	0,84	0,42		207	103	68,8	34,4	17,2	8,61	6,88	
4,25			0,85			201	101	67,1	33,6	16,8	8,39	6,71	

*Brinellu HB*

Promjer otiska $d$ mm						Tvrdoća po Brinellu HB							
pri promjeru kuglice $D$ mm:						za vrijednost $0,102 F/D^2$ :							
10	5	2,5	2	1		30	15	10	5	2,5	1,25	1	
4,30	2,15		0,86	0,43		197	98,3	65,5	32,8	16,4	8,19	6,55	
4,35			0,87			192	95,9	63,9	32,0	16,0	7,99	6,39	
4,40	2,20	1,10	0,88	0,44		187	93,6	62,4	31,2	15,6	7,80	6,24	
4,45			0,89			183	91,4	60,9	30,5	15,2	7,62	6,09	
4,50	2,25		0,90	0,45		179	89,3	59,5	29,8	14,9	7,44	5,95	
4,55			0,91			174	87,2	58,1	29,1	14,5	7,27	5,81	
4,60	2,30	1,15	0,92	0,46		170	85,2	56,8	28,4	14,2	7,10	5,68	
4,65			0,93			167	83,3	55,5	27,8	13,9	6,94	5,55	
4,70	2,35		0,94	0,47		163	81,4	54,3	27,1	13,6	6,78	5,43	
4,75			0,95			159	79,6	53,0	26,5	13,3	6,63	5,30	
4,80	2,40	1,20	0,96	0,48		156	77,8	51,9	25,9	13,0	6,48	5,19	
4,85			0,97			152	76,1	50,7	25,4	12,7	6,34	5,07	
4,90	2,45		0,98	0,49		149	74,4	49,6	24,8	12,4	6,20	4,96	
4,95			0,99			146	72,8	48,6	24,3	12,1	6,07	4,86	
5,00	2,50	1,25	1,00	0,50		143	71,3	47,5	23,8	11,9	5,94	4,75	
5,05			1,01			140	69,8	46,5	23,3	11,6	5,81	4,65	
5,10	2,55		1,02	0,51		137	68,3	45,5	22,8	11,4	5,69	4,55	
5,15			1,03			134	66,9	44,6	22,3	11,1	5,57	4,46	
5,20	2,60	1,30	1,04	0,52		131	65,5	43,7	21,8	10,9	5,46	4,37	
5,25			1,05			128	64,1	42,8	21,4	10,7	5,34	4,28	
5,30	2,65		1,06	0,53		126	62,8	41,9	20,9	10,5	5,24	4,19	
5,35			1,07			123	61,5	41,0	20,5	10,3	5,13	4,10	
5,40	2,70	1,35	1,08	0,54		121	60,3	40,2	20,1	10,1	5,03	4,02	
5,45			1,09			118	59,1	39,4	19,7	9,85	4,93	3,94	
5,50	2,75		1,10	0,55		116	57,9	38,6	19,3	9,66	4,83	3,86	
5,55			1,11			114	56,8	37,9	18,9	9,47	4,73	3,79	
5,60	2,80	1,40	1,12	0,56		111	55,7	37,1	18,6	9,28	4,64	3,71	
5,65			1,13			109	54,6	36,4	18,2	9,10	4,55	3,64	
5,70	2,85		1,14	0,57		107	53,5	35,7	17,8	8,92	4,46	3,57	
5,75			1,15			105	52,5	35,0	17,5	8,75	4,38	3,50	
5,80	2,90	1,45	1,16	0,58		103	51,5	34,3	17,2	8,59	4,29	3,43	
5,85			1,17			101	50,5	33,7	16,8	8,42	4,21	3,37	
5,90	2,95		1,18	0,59		99,2	49,6	33,1	16,5	8,26	4,13	3,31	
5,95			1,19			97,3	48,7	32,4	16,2	8,11	4,05	3,24	
6,00	3,00	1,50	1,20	0,60		95,5	47,7	31,8	15,9	7,96	3,98	3,18	

## 2. Ispitivanje tvrdoće po Vickersu HV (JUS C.A4.033 – 1984)

U površinu ispitnog materijala utisnemo dijamanтни šiljak u obliku piramide (s kutom 136°) proizvoljnom silom  $F$ .



Vickersova tvrdoća HV se računa iz sile pritiska  $F$  (N) i površine utisnutog plašta piramide  $A$  (mm<sup>2</sup>), koju određujemo mjerenjem dijagonala  $d_1$  i  $d_2$  (mm)

$$HV = 0,102 \frac{F}{A} \quad A = \frac{d^2}{2 \sin(136/2)} \quad d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

$$HV \approx 0,1891 \frac{F}{d^2}$$

Dijagonale  $d_1$  i  $d_2$  mjerimo točnošću od  $\pm 0,001$  mm.

Debljina ispitnog uzorka mora iznositi najmanje  $1,5 d$ .

Po pravilu upotrebljavamo slijedeće sile pritiska  $F$ , koje su raspoređene po zaokruženim vrijednostima  $0,102 F$  dodajući ih (za prikaz upotrebijene sile pritiska) oznaci tvrdoće po Vickersu HV:

$F$ N	49,03	98,07	196,1	294,2	490,3	980,7
$0,102 F$	5	10	20	30	50	100
HV	HV 5	HV 10	HV 20	HV 30	HV 50	HV 100

Pri mjerenju tvrdoće veoma tankih slojeva upotrebljavamo sile pritiska od 2...50 N; pri mjerenju mikrotvrdoće (tvrdoće sastavina zrnatih materijala) i manje sile od 2  $F$ .

Vrijednosti Vickersove tvrdoće HV (HV 5, HV 10, HV 100) sabrane su u tablicama na str. 326 do 329.

Za jednake otiske nekon drugom silom  $F'$  iznosi Vickersova tvrdoća

$$HV' = HV \cdot \frac{F'}{F}$$

Tvrdoća po Vickersu HV je do vrijednosti 250 HV brojčano jednaka tvrdoći po Brinellu HB

$$250 HV = 250 HB$$

povrh ove vrijednosti raste Vickersova tvrdoća brže nego Brinellova, tako da je

$$420 HV \approx 400 HB$$

### Tvrdoća po Vickersu HV 5

pri sili pritiska  $F = 49,03$  N ( $0,102 F = 5$ )  
za promjere otisaka  $d = 0,056 \dots 0,099$  mm

$d$ mm	...0	...1	...2	...3	...4	...5	...6	...7	...8	...9
0,05							2 957	2 854	2 756	2 664
0,06	2 576	2 492	2 412	2 336	2 264	2 195	2 129	2 066	2 005	2 948
0,07	1 892	1 839	1 789	1 740	1 693	1 648	1 605	1 564	1 524	1 486
0,08	1 449	1 413	1 379	1 346	1 314	1 283	1 254	1 225	1 197	1 171
0,09	1 145	1 120	1 096	1 072	1 049	1 027	1 006	985	965	946

### Tvrdoća po Vickersu HV 10

pri sili pritiska  $F = 98,07$  N ( $0,102 F = 10$ )  
za promjere otisaka  $d = 0,100 \dots 0,549$  mm

$d$ mm	...0	...1	...2	...3	...4	...5	...6	...7	...8	...9
0,10	1855	1818	1782	1748	1715	1682	1651	1620	1590	1561
0,11	1533	1505	1478	1452	1427	1402	1378	1355	1332	1310
0,12	1288	1267	1246	1226	1206	1187	1168	1150	1132	1114
0,13	1097	1081	1064	1048	1033	1018	1003	988	974	960
0,14	946	933	920	907	894	882	870	858	847	835
0,15	824	813	803	792	782	772	762	752	743	734
0,16	724	715	707	698	690	681	673	665	657	649
0,17	642	634	627	620	613	606	599	592	585	579
0,18	572	566	560	554	548	542	536	530	525	519
0,19	514	508	503	498	493	488	483	478	473	468
0,20	464	459	454	450	446	441	437	433	429	425
0,21	421	417	413	409	405	401	397	394	390	387
0,22	383	380	376	373	370	366	363	360	357	354
0,23	351	348	345	342	339	336	333	330	327	325
0,24	322	319	317	314	311	309	306	304	302	299
0,25	297	294	292	290	287	285	283	281	279	276
0,26	274	272	270	268	266	264	262	260	258	256
0,27	254	253	251	249	247	245	243	242	240	238
0,28	237	235	233	232	230	228	227	225	224	222
0,29	221	219	218	216	215	213	212	210	209	207
0,30	206	205	203	202	201	199	198	197	195	194
0,31	193	192	191	189	188	187	186	185	183	182
0,32	181	180	179	178	177	176	174	173	172	171
0,33	170	169	168	167	166	165	164	163	162	161
0,34	160	159	159	158	157	156	155	154	153	152
0,35	151	151	150	149	148	147	146	146	145	144
0,36	143	142	142	141	140	139	138	138	137	136
0,37	135	135	134	133	133	132	131	130	130	129
0,38	128	128	127	126	126	125	124	124	123	123
0,39	122	121	121	120	119	119	118	118	117	116
0,40	116	115	115	114	114	113	113	112	111	111
0,41	110	110	109	109	108	108	107	107	106	106
0,42	105	105	104	104	103	103	102	102	101	101
0,43	100	99,8	99,4	98,9	98,5	98,0	97,6	97,1	96,7	96,2
0,44	95,8	95,4	94,9	94,5	94,1	93,6	93,2	92,8	92,4	92,0
0,45	91,6	91,2	90,8	90,4	90,0	89,6	89,2	88,8	88,4	88,0
0,46	87,6	87,3	86,9	86,5	86,1	85,8	85,4	85,0	84,7	84,3
0,47	84,0	83,6	83,2	82,9	82,5	82,2	81,8	81,5	81,2	80,8
0,48	80,5	80,2	79,8	79,5	79,2	78,8	78,5	78,2	77,9	77,6
0,49	77,2	76,9	76,6	76,3	76,0	75,7	75,4	75,1	74,8	74,5
0,50	74,2	73,9	73,6	73,3	73,0	72,7	72,4	72,1	71,9	71,6
0,51	71,3	71,0	70,7	70,5	70,2	69,9	69,7	69,4	69,1	68,8
0,52	68,6	68,3	68,1	67,8	67,5	67,3	67,0	66,8	66,5	66,3
0,53	66,0	65,8	65,5	65,3	65,0	64,8	64,6	64,3	64,1	63,8
0,54	63,6	63,4	63,1	62,9	62,7	62,4	62,2	62,0	61,8	61,5



**Tvrdoća po Vickersu HV 10**  
pri sili pritiska  $F = 98,07 \text{ N}$  ( $0,102 \text{ F} = 10$ )  
za promjere otisaka  $d = 0,550 \dots 0,999 \text{ mm}$

$d \text{ mm}$	...0	...1	...2	...3	...4	...5	...6	...7	...8	...9
0.55.	61,3	61,1	60,9	60,6	60,4	60,2	60,0	59,8	59,6	59,3
0.56.	59,1	58,9	58,7	58,5	58,3	58,1	57,9	57,7	57,5	57,3
0.57.	57,1	56,9	56,7	56,5	56,3	56,1	55,9	55,7	55,5	55,3
0.58.	55,1	54,9	54,7	54,6	54,4	54,2	54,0	53,8	53,6	53,5
0.59.	53,3	53,1	52,9	52,7	52,6	52,4	52,2	52,0	51,9	51,7
0.60.	51,5	51,3	51,2	51,0	50,8	50,7	50,5	50,3	50,2	50,0
0.61.	49,8	49,7	49,5	49,4	49,2	49,0	48,9	48,7	48,6	48,4
0.62.	48,2	48,1	47,9	47,8	47,6	47,5	47,3	47,2	47,0	46,9
0.63.	46,7	46,6	46,4	46,3	46,1	46,0	45,8	45,7	45,6	45,4
0.64.	45,3	45,1	45,0	44,9	44,7	44,6	44,4	44,3	44,2	44,0
0.65.	43,9	43,8	43,6	43,5	43,4	43,2	43,1	43,0	42,8	42,7
0.66.	42,6	42,4	42,3	42,2	42,1	41,9	41,8	41,7	41,6	41,4
0.67.	41,3	41,2	41,1	40,9	40,8	40,7	40,6	40,5	40,3	40,2
0.68.	40,1	40,0	39,9	39,8	39,6	39,5	39,4	39,3	39,2	39,1
0.69.	39,0	38,8	38,7	38,6	38,5	38,4	38,3	38,2	38,1	38,0
0.70.	37,8	37,7	37,6	37,5	37,4	37,3	37,2	37,1	37,0	36,9
0.71.	36,8	36,7	36,6	36,5	36,4	36,3	36,2	36,1	36,0	35,9
0.72.	35,8	35,7	35,6	35,5	35,4	35,3	35,2	35,1	35,0	34,9
0.73.	34,8	34,7	34,6	34,5	34,4	34,3	34,2	34,1	34,0	34,0
0.74.	33,9	33,8	33,7	33,6	33,5	33,4	33,3	33,2	33,1	33,1
0.75.	33,0	32,9	32,8	32,7	32,6	32,5	32,4	32,4	32,3	32,2
0.76.	32,1	32,0	31,9	31,9	31,8	31,7	31,6	31,5	31,4	31,4
0.77.	31,3	31,2	31,1	31,0	31,0	30,9	30,8	30,7	30,6	30,6
0.78.	30,5	30,4	30,3	30,2	30,2	30,1	30,0	29,9	29,9	29,8
0.79.	29,7	29,6	29,6	29,5	29,4	29,3	29,3	29,2	29,1	29,0
0.80.	29,0	28,9	28,8	28,8	28,7	28,6	28,5	28,5	28,4	28,3
0.81.	28,3	28,2	28,1	28,1	28,0	27,9	27,9	27,8	27,7	27,6
0.82.	27,6	27,5	27,4	27,4	27,3	27,2	27,2	27,1	27,0	27,0
0.83.	26,9	26,9	26,8	26,7	26,7	26,6	26,5	26,5	26,4	26,3
0.84.	26,3	26,2	26,2	26,1	26,0	26,0	25,9	25,9	25,8	25,7
0.85.	25,7	25,6	25,5	25,5	25,4	25,4	25,3	25,3	25,2	25,1
0.86.	25,1	25,0	25,0	24,9	24,8	24,8	24,7	24,7	24,6	24,6
0.87.	24,5	24,4	24,4	24,3	24,3	24,2	24,2	24,1	24,1	24,0
0.88.	23,9	23,9	23,8	23,8	23,7	23,7	23,6	23,6	23,5	23,5
0.89.	23,4	23,4	23,3	23,3	23,2	23,2	23,1	23,0	23,0	22,9
0.90.	22,9	22,8	22,8	22,7	22,7	22,6	22,6	22,5	22,5	22,4
0.91.	22,4	22,3	22,3	22,2	22,2	22,2	22,1	22,1	22,0	22,0
0.92.	21,9	21,9	21,8	21,8	21,7	21,7	21,6	21,6	21,5	21,5
0.93.	21,4	21,4	21,3	21,3	21,3	21,2	21,2	21,1	21,1	21,0
0.94.	21,0	20,9	20,9	20,9	20,8	20,8	20,7	20,7	20,6	20,6
0.95.	20,5	20,5	20,5	20,4	20,4	20,3	20,3	20,2	20,2	20,2
0.96.	20,1	20,1	20,0	20,0	20,0	19,9	19,9	19,8	19,8	19,8
0.97.	19,7	19,7	19,6	19,6	19,5	19,5	19,5	19,4	19,4	19,3
0.98.	19,3	19,3	19,2	19,2	19,2	19,1	19,1	19,0	19,0	19,0
0.99.	18,9	18,9	18,8	18,8	18,8	18,7	18,7	18,6	18,6	18,6

**Tvrdoća po Vickersu HV 100**  
pri sili pritiska  $F = 980,7 \text{ N}$  ( $0,102 \text{ F} = 100$ )  
za promjere otisaka  $d = 1,00 \dots 1,99 \text{ mm}$

$d \text{ mm}$	...0	...1	...2	...3	...4	...5	...6	...7	...8	...9
1.0.	185	182	178	175	171	168	165	162	159	156
1.1.	153	151	148	145	143	140	138	135	133	131
1.2.	129	127	125	123	121	119	117	115	113	111
1.3.	110	108	106	105	103	102	100	98,8	97,4	96,0
1.4.	94,6	93,3	92,0	90,7	89,4	88,2	87,0	85,8	84,7	83,5
1.5.	82,4	81,3	80,3	79,2	78,2	77,2	76,2	75,2	74,3	73,4
1.6.	72,4	71,5	70,7	69,8	69,0	68,1	67,3	66,5	65,7	64,9
1.7.	64,2	63,4	62,7	62,0	61,3	60,6	59,9	59,2	58,5	57,9
1.8.	57,2	56,6	56,0	55,4	54,8	54,2	53,6	53,0	52,5	51,9
1.9.	51,4	50,8	50,3	49,8	49,3	48,8	48,3	47,8	47,3	46,8

**Korekturni faktori**  
 $d$  – srednja dijagonala otiska,  $D$  – promjer ispitnog uzorka

$d/D$	Kuglasta površina		Valjkasta površina*			
	konveksna	konkavna	× konveksna	konkavna	+ konveksna	konkavna
0.005	0,994	1,006	–	–	–	–
0.01	0,989	1,013	0,994	1,006	0,995	1,006
0.015	0,983	1,019	0,991	1,009	0,992	1,009
0.02	0,978	1,025	0,988	1,012	0,990	1,013
0.025	0,973	1,031	0,986	1,015	0,987	1,016
0.03	0,968	1,038	0,983	1,018	0,985	1,020
0.035	0,963	1,045	0,980	1,021	0,982	1,024
0.04	0,958	1,053	0,977	1,024	0,980	1,028
0.045	0,953	1,060	0,974	1,027	0,978	1,032
0.05	0,949	1,068	0,972	1,030	0,977	1,037
0.06	0,941	1,085	0,966	1,036	0,973	1,047
0.07	0,932	1,103	0,961	1,043	0,969	1,059
0.08	0,924	1,122	0,956	1,049	0,966	1,071
0.09	0,917	1,143	0,950	1,056	0,964	1,085
0.10	0,910	–	0,945	1,062	0,961	1,100
0.11	0,903	–	0,940	1,069	0,959	1,118
0.12	0,896	–	0,935	1,076	0,956	1,140
0.13	0,890	–	0,930	1,082	0,954	–
0.14	0,884	–	0,925	1,089	0,952	–
0.15	0,878	–	0,920	1,096	0,951	–
0.16	0,873	–	0,915	1,104	0,949	–
0.17	0,868	–	0,910	1,111	0,948	–
0.18	0,863	–	0,905	1,118	0,946	–
0.19	0,858	–	0,900	1,126	0,945	–
0.20	0,853	–	0,895	1,133	0,944	–
0.21	–	–	–	1,141	0,943	–
0.22	–	–	–	1,148	0,942	–

\* × dijagonale otiska pod  $45^\circ$  s osi uzorka  
+ jedna dijagonala otiska paralelna s osi uzorka

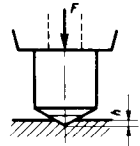
### 3. Ispitivanje tvrdoće kovina po Rockwellu (ISO, JUS C.A4.031-1980)

Pri Rockwellovoj metodi utiskuje se određenom silom u površinu ispitivog materijala posebni utiskivač, pri čemu se ne mjeri površina otiska, već njegova dubina. Utiskivač je dijamantni stožac vršnoga kuta  $120^\circ$  (i polumjera zaokruženja 0,2 mm) ili čelična kuglica promjera 1,5875 mm.

Utiskivač se prisloni na površinu ispitivanoga materijala početnom silom  $F_0$ , pri čemu se dobiva otisak dubine  $h_0$ . To je ishodišni položaj za koji valja mjerilo za dubinu namjestiti na ishodišnu vrijednost »0«. Nato se poveća pritisak utiskivača (u vremenu od 4 do 8 s) dodatnom silom  $F_1$  na ukupnu silu  $F$ . Vrijeme opterećenja ukupnom silom  $F$  ovisno je o naklonosti ispitivanoga materijala puženju i traje od 2 s (za materijal bez pojave puženja) do više od 30 s (za materijal s pojavama puženja). Potom se ukloni dodatna sila  $F_1$  te se pri opterećenju početnom silom  $F_0$  očita na mjerilu dubinu otiska  $e$  (mm).

Debljina ispitnog uzorka mora iznositi najmanje 8  $e$ .

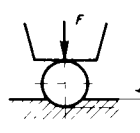
#### a) Određivanje tvrdoće stošcem



Najviše se upotrebljava postupak HRC (za kaljeni čelik i slitine), u posebnim slučajevima još i postupci HRA (za tvrde metale) i HR15N, HR30N i HR45N (za tanke uzorke ili male ispitne plohe). Pritisna sila i odgovarajuća tvrdoća su:

Postupak:	HRC	HRA	HR15N	HR30N	HR45N
$F_0$ N	98,07	98,07	29,42	29,42	29,42
Sila $F_1$ N	1373	490,3	117,7	264,8	411,9
$F$ N	1471	588,4	147,1	294,2	441,3
HR ... =	100–500 $e$		100–1000 $e$		

#### b) Određivanje tvrdoće kuglicom



Najviše se upotrebljava postupak HRB (za nekaljeni čelik, mjed, broncu), za posebne svrhe još i postupci HRF (za hladno valjani tanki lim, bakar), HRG (za slitine bakra s fosforom) te HR15T, HR30T i HR45T (za vrlo tanke uzorke ili male ispitne plohe). Pritisna sila i tvrdoća su:

Postupak:	HRB	HRF	HRG	HR15T	HR30T	HR45T
$F_0$ N	98,07	98,07	98,7	29,42	29,42	29,42
Sila $F_1$ N	882,6	490,3	1373	117,7	264,8	411,9
$F$ N	980,7	588,4	1471	147,1	294,2	441,3
HR ... =	130–500 $e$			100–1000 $e$		

### Područja upotrebljivosti postupka za ispitivanje tvrdoće po Rockwellu pri različitim dubinama otiska $e$

$e$ mm	HRC	HRA	HR 15N	HR 30N	HR 45N	HRB	HRF	HRG	HR 15T	HR 30T	HR 45T
0,010			90						90		
0,020		90	80	80					80	80	
0,030		85	70	70	70				70	70	70
0,040		80		60	60				60	60	60
0,050		75		50	50				50	50	50
0,060	70	70		40	40	100	100	100		40	40
0,070	65	65			30	95	95	95		30	30
0,080	60	60			20	90	90	90		20	20
0,090	55					85	85	85		10	10
0,100	50					80	80	80			
0,110	45					75	75	75			
0,120	40					70	70	70			
0,130	35					65	65				
0,140	30					60	60				
0,150	25					55					
0,160	20					50					
0,170						45					
0,180						40					
0,190						35					

### Ispravljene vrijednosti tvrdoće po Rockwellu pri ispitivanju tvrdoće na valjkastim (konveksnim) plohama promjera $d$

HR ...	$d$ (mm)			HR ...	$d$ (mm)		
	10	16	25		10	16	25
HRC				HRB			
HRA				HRF			
				HRG			
20	–	22,5	21,5	30	–	34,5	32,5
30	–	32,0	31,0	40	–	44,0	42,5
40	42,5	41,5	41,0	50	–	53,5	52,0
50	52,0	51,0	50,5	60	65,0	63,0	62,0
60	61,0	60,5	60,5	70	74,0	72,5	71,5
70	71,0	70,5	70,5	80	83,5	82,0	81,5
80	80,5	80,5	80,0	90	93,0	91,5	91,0
90	90,0	90,0	90,0	100	102,5	101,5	100,5
HRN				HRT			
20	22,0	21,5	21,5	20	–	–	22,0
30	32,0	31,5	31,0	30	–	–	32,0
40	41,5	41,0	41,0	40	–	43,0	42,0
50	51,5	51,0	50,5	50	–	52,5	51,5
60	61,0	61,0	60,5	60	63,0	62,0	61,5
70	71,0	70,5	70,5	70	72,5	71,5	71,0
80	80,5	80,5	80,0	80	81,5	81,0	80,5
90	90,0	90,0	90,0	90	91,0	90,5	90,5

Približan odnos različitih mjera

Tvrdća po				Čvrstoća čelika u N/mm <sup>2</sup>		
Brinellu HB	Vickersu HV	Rockwellu		C	Cr	Cr-Ni
		HRB	HRC			
	1175		70	2720	2640	2560
	1085		68	2680	2610	2530
	1000		66	2560	2490	2420
	930		64	2460	2390	2320
	845		62	2350	2290	2220
	790		60	2260	2200	2130
	735		58	2160	2100	2040
	692		57	2080	2020	1970
	645		55	2000	1940	1880
	608		53	1920	1870	1820
	575		52	1850	1800	1750
	546		50	1780	1730	1680
	520		49	1720	1670	1620
	496		47	1660	1610	1570
	473		46	1600	1550	1510
	454		45	1550	1510	1460
	437	115	44	1490	1450	1410
400	420	114	42	1440	1400	1360
388	404	114	41	1400	1360	1320
375	389	113	40	1350	1310	1280
363	375	113	38	1310	1270	1240
352	363	112	37	1270	1220	1200
341	350	111	36	1220	1190	1160
330	339	111	35	1190	1160	1130
321	327	110	34	1160	1120	1090
311	316	109	33	1120	1090	1060
302	305	108	32	1090	1060	1030
293	296	107	31	1040	1020	990
285	287	107	30	1030	1000	970
277	279	106	29	1000	970	940
269	270	105	28	970	940	920
262	263	104	26	940	920	890
255	256	103	25	920	890	870
248	248	102	24	890	870	840
241	241	101	23	870	840	820
235	235	100	22	850	820	800
229	229	99	21	820	800	780
223	223	98	20	800	780	760
217	217	97	19	780	760	740
212	212	96	18	760	740	720

tvrdće i čvrstoće čelika

Tvrdća po				Čvrstoća čelika u N/mm <sup>2</sup>		
Brinellu HB	Vickersu HV	Rockwellu		C	Cr	Cr-Ni
		HRB	HRC			
207	207	95	17	750	730	700
201	201	94	16	720	700	680
197	197	93	15	710	690	670
192	192	92	14	690	670	650
187	187	91		670	660	640
183	183	90		660	640	620
179	179	89		640	630	610
174	174	88		630	610	590
170	170	87		610	600	580
167	167	86		600	580	560
163	163	85		590	570	550
159	159	84		570	560	540
156	156	83		560	550	530
152	152	82		550	530	520
149	149	81		540	520	510
146	146	80		530	510	500
143	143	79		520	500	490
140	140	78		500	490	480
137	137	77		490	480	470
133	133	76		480	470	460
131	131	75		470	460	450
128	128	74		460	450	440
126	126	73		450	440	430
123	123	72		440	430	420
121	121	71		440	420	410
118	118	69		430	410	400
116	116	68		420	410	390
114	114	67		410	400	390
111	111	65		400	390	380
109	109	64		390	380	370
107	107	62		390	380	360
105	105	61		380	370	360
103	103	59		370		
101	101	58		360		
99	99	56		360		
97	97	54		350		
95	95	52		340		
92				330		
89				320		
86				310		

#### 4. Ispitivanje tvrdoće plastičnih tvari

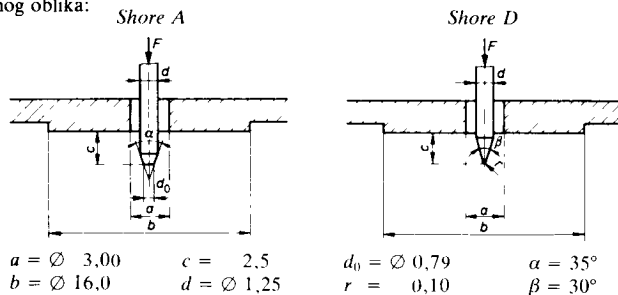
Za ispitivanje tvrdoće termoplasta i gume upotrebljavaju se postupci:

- za meke ispitne uzorke – postupak Shore A
- za tvrde ispitne uzorke – postupak Shore D.

Za točnija ispitivanja upotrebljava se postupak IRHD.

a) Postupci Shore A i Shore B (JUS G.S2.125 – 1986 i G.S2.525 – 1984)

Ispitni uzorak (debljine  $> 6$  mm, promjera  $> 30$  mm) pritisnemo na podlogu pritisnom pločom s rupom, kroz koja utiskujemo utisnu iglu određenog oblika:



Pritisnom pločom pritisnemo epruvetu na podlogu silom 12,5 N (Shore A) odnosno 50 N (Shore D).

Utisnu iglu utiskujemo u uzorke oprugom, čija se opružna sila  $F$  (N) mijenja s dubinom otiska  $h$  (mm) prema jednadžbama:

za postupak Shore A:  $F = 8,065 - 3,006 h$

za postupak Shore D:  $F = 44,50 - 17,8 h$

Tvrdoća  $H$  po postupcima Shore A i D određena je dubinom otiska  $h$ :

$$H = 100 - 40 h$$

tako da je:

$$H = 0 \text{ Sh pri } h = 2,5 \text{ mm}$$

$$H = 100 \text{ Sh pri } h = 0 \text{ mm}$$

Primjer oznake tvrdoće po postupku Shore A pri nastaloj dubini otiska  $h = 0,8$  mm:  $H = 68 \text{ Sh A}$ .

Temperatura ispitivanja je  $23^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$ .

Jedinice tvrdoće po Shoru	Dubina otiska $F$ (N)	Opružna sila $F$ (N)	
		Shore A	Shore D
0	2,5	0,55	0
10	2,25	1,30	4,45
20	2,0	2,05	8,90
30	1,75	2,805	13,35
40	1,5	3,555	17,80
50	1,25	4,305	22,25
60	1,0	5,06	26,70
70	0,75	5,81	31,15
80	0,5	6,56	35,60
90	0,25	7,31	40,05
100	0	8,065	44,50

b) Postupak po međunarodnoj skali za tvrdoću za gumu IRHD (International Rubber Hardness Degree) (JUS G.S2.143 – 1986)

Po tom se postupku ispituje u prvom redu tvrdoća (meke) gume i to utisnom dubinom  $h$  (mm) čelične kuglice, određenog promjera  $D$ , pri određenoj sili pritiska.

Ispitne uzorke pritiščemo na podlogu pritisnom pločom silom 8,3 N.

Početna sila pritiska na kuglicu iznosi 0,3 N, dodatna 5,4 N, a ukupna 5,7 N.

Mjeri se dubina otiska  $h$  koji određuje tvrdoću IRHD po slijedećoj tablici, a za ispitivanje kuglicom promjera  $D$ :

- za manju tvrdoću  $D = 5 \text{ mm}$
- za osrednju tvrdoću  $D = 2,5 \text{ mm}$
- za veliku tvrdoću  $D = 1 \text{ mm}$

$D = 5 \text{ mm}$		$D = 2,5 \text{ mm}$		$D = 1 \text{ mm}$	
$h$ mm	IRHD	$h$ mm	IRHD	$h$ mm	IRHD
1,10	34,9	2,10	17,8	0,00	100
1,15	33,6	2,15	17,3	0,05	99,3
1,20	32,4	2,20	16,8	0,10	97,1
1,25	31,2	2,25	16,3	0,15	94,0
1,30	30,0	2,30	15,8	0,20	90,6
1,35	29,0	2,35	15,3	0,25	87,1
1,40	28,0	2,40	14,9	0,30	83,6
1,45	27,0	2,45	14,5	0,35	80,2
1,50	26,1	2,50	14,1	0,40	77,0
1,55	25,2	2,55	13,7	0,45	73,9
1,60	24,4	2,60	13,4	0,50	71,0
1,65	23,6	2,65	13,0	0,55	68,2
1,70	22,8	2,70	12,7	0,60	65,5
1,75	22,0	2,75	12,4	0,65	63,0
1,80	21,3	2,80	12,1	0,70	60,6
1,85	20,7	2,85	11,8	0,75	58,3
1,90	20,1	2,90	11,5	0,80	56,2
1,95	19,5	2,95	11,2	0,85	54,2
2,00	18,9	3,00	11,0	0,90	52,3
2,05	18,4	3,05	10,7	0,95	50,5

Primjer oznake tvrdoće po postupku IRHD:  $H = 70 \text{ IRHD}$

Određivanje temperature smekčavanja termoplasta – po Vicatu (JUS G.S2.641 – 1970)

Upotrebljavamo ispitni uzorak oblika kvadratne pločice, bridova 10 mm i debljine 3...6,4 mm.

Određujemo temperaturu pri kojoj se utisna igla, promjera kružnog presjeka  $1,000 \pm 0,015$  mm utisne 1 mm duboko u uzorak pri opterećenju koje iznosi 9,81 N po metodi A ili 49,03 N po metodi B.

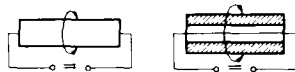
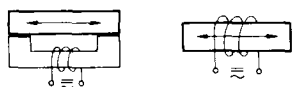
Ispitni uzorak zagrijavamo u tekućini (npr. u parafinu, glicerinu, transformatorskom ili silikonskom ulju i sl.).

## ISPITIVANJA BEZ OŠTEĆIVANJA MATERIJALA

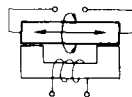
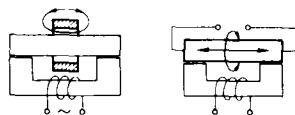
### Magnetsko ispitivanje

Predmete koji se mogu magnetizirati (sivi lijev, čelik) premažemo slojem rijetkog ulja (petroleja) kojemu smo dodali željeznog praha te ih magnetiziramo. U homogenom materijalu nastaje jednoliko magnetsko polje, pri čemu se i željezni prah raspodijeli jednoliko. Svaka nehomogenost u materijalu (šupljine, strana tijela) ili sitne, za oko nevidljive pukotine, uzrokuju otklon magnetskog polja, što se očituje u nejednolikoj raspodjeli željeznog praha na površini i time se otkrivaju pogreške. One će se pokazati i ako su pod površinom.

Otklon magnetskog polja osobito je jak ako su pogreške okomite na smjer magnetskog polja, dok pogreške u smjeru polja na nj bitno ne utječu. Zato predmet treba ispitivati u magnetskim poljima koja su međusobno okomita, kako bismo mogli otkriti sve pogreške.



okomito na svoj smjer (tj. poprečno) magnetsko polje, koje otkriva uzdužne pogreške. Ako je predmet šupalj, provlačimo električni vodič kroz šupljinu.



a) Za poprečno smještene pogreške magnetiziramo predmet pomoću magneta ili električnog svitka. Magnetsko je polje usmjereno uzduž predmeta te otkriva poprečne pogreške.

b) Za uzdužne pogreške uključujemo predmet kao otpornik u električni vod kojim teče jaka struja (200...1500 A). Ta struja izaziva

Šuplji predmet možemo upotrijebiti i kao sekundarni namot transformatora pa time u njemu otkrivamo poprečne pogreške (lijeva slika).

Kombinirani uređaji omogućuju pregled na oba načina (desna slika).

### Ispitivanje ultrazvukom

Ultrazvuk je mehaničko titranje frekvencijom  $f > 20$  kHz. U biti on ima ista svojstva kao i čujni zvuk ( $f = 16 \dots 20000$  Hz), ali se ultrazvukom može prenositi mnogo veća energija, koju iskoristavamo za ispitivanje materijala.

Ultrazvuk dobivamo na različite načine. Za ispitivanje materijala najčešće upotrebljavamo piezoelektrični efekt kremenog kristala, tj. njegovu deformaciju zbog djelovanja električnog polja. Izložimo li takav kristal djelovanju izmjeničnog električnog napona, on će se rastezati i stezati s frekvencijom napona. Nastat će mehaničko titranje – ultrazvuk.

Ultrazvuk prenosimo na okolinu prisnim dodiranjem kremenog kristala s površinom predmeta. Kroz homogeni materijal prodire ultrazvuk veoma dobro. Dubina prodiranja ultrazvuka ovisna je o njegovoj frekvenciji i o materijalu. Ako je dovoljno jak, prodire do suprotne plohe predmeta (stijenke) i od nje se odbija. Na taj način možemo – pomoću reflektiranog zvuka – odrediti debljinu predmeta. Najmanji prekidi u materijalu (već i zračni raspor širine od samo  $10^{-3}$  mm) za ultrazvuk su skoro nepremostiva zapreka, to veća, što je frekvencija zvuka viša. Na tim se zaprekama ultrazvuk odbija, a reflektirani ultrazvuk ih otkriva.

Ispitivanje sivog lijeva ultrazvukom gotovo da ne dolazi u obzir zbog prevelike apsorpcije zvuka u njemu.

### Ispitivanja rendgenskim zrakama

Rendgenske su zrake elektromagnetski titraji valne duljine 0,2 do 0,002 nm. Zrake veće valne duljine (oko 0,1 nm) nazivamo »mekim«, a one manje valne duljine »tvrdim«. Što su rendgenske zrake tvrđe, to lakše prodiru kroz tvar – ona ih manje apsorbira. Energija rendgenskih zraka mora biti to veća, što je deblji materijal kroz koji treba da prodru.

Rendgenske zrake, koje dobivamo rendgenskim cijevima, upotrebljavamo za ispitivanje materijala, i to za:

a) finostrukturno ispitivanje, koje se zasniva na svojstvu rendgenskih zraka, da se u kristalima ogibaju i odbijaju. Time nam otkrivaju razmještaj atoma u kristalima i smjer osi kristala;

b) grubostrukturno ispitivanje, koje se zasniva na svojstvu rendgenskih zraka, da ih tvari manje gustoće slabije apsorbiraju nego gušće tvari. Rendgenske zrake, koje izviru gotovo iz točke i šire se pravocrtno, bacaju na fluorescentni zaslon ili na fotografsku ploču sjene različite jakosti, prema tome je li tvar gušća ili rjeđa, i tako otkrivaju njihove oblike. Na taj način opažamo – bez oštećivanja materijala – pogreške u nutrinu materijala (šupljine, pukotine, trosku itd.). Najfinije pak pukotine (koje ustanovljujemo ultrazvukom) ne možemo zapaziti rendgenskim zrakama.

Pri ispitivanju rendgenskim zrakama služimo se uređajem u kojemu je rendgenska cijev pod naponom od 80...300 kV (iznimno i do 600 kV). Probojna moć iznosi:

pri 80 kV — 40 mm Al	pri 200 kV — 60 mm Fe
pri 110 kV — 100 mm Al	pri 230 kV — 60 mm Cu

### Ispitivanje $\gamma$ -zrakama

$\gamma$ -zrake su elektromagnetski valovi duljine oko 0,0005 nm (= 0,5 pm). Te su zrake tvrđe od rendgenskih i stoga dublje prodiru u materijal.  $\gamma$ -zrake dobivamo iz radija ili mezotorija, te — u novije vrijeme — osobito iz izotopa kobalta 60. Pomoću tih zraka možemo ispitivati materijal do debljine 250 mm. Sliku što je daju  $\gamma$ -zrake dobivamo na fotografskoj ploči, a osvetljavanje traje i po nekoliko dana.

## ISPITIVANJE SASTAVA MATERIJALA

### Kemijska analiza

Kemijskom analizom određujemo kvalitativni i kvantitativni sastav materijala. Za određivanje glavnih sastavina dovoljno je nekoliko grama materijala; za određivanje primjesa i nečistoća potrebno je 10 do 50 grama, u iznimnim slučajevima pri analizi male količine nečistoća i do 1 kg.

Za brzo ustanovljivanje pojedinih elemenata u materijalu služimo se različitim postupcima karakterističnih površinskih reakcija, koje međutim otkrivaju samo sastav površinskog sloja.

### Spektralna analiza

U užarenom stanju atomi emitiraju svjetlosne zrake koje imaju za svaki element karakteristične valne duljine. Odgovarajuće spektralne crte ovise samo o kemijskom sastavu, dok njihov intenzitet ovisi o udjelu pojedinih elemenata u ispitivanoj tvari. Osjetljivost je toga postupka veoma velika i na taj se način mogu ustanoviti elementi kojih količina iznosi 0,01 % i manje. Zato je taj postupak osobito prikladan kod manjih koncentracija.

Spektralna je analiza ograničena na veoma usko područje užarenog mjesta na površini materijala. To, međutim, omogućuje i analizu sitnih stranih primjesa u materijalu.

Spektralnom analizom možemo nadomjestiti kvalitativnu, a u ograničenom opsegu i kvantitativnu kemijsku analizu. Za nju dostaju veoma mali dijelci materijala; možemo je primijeniti i na gotovim predmetima, a da ih time ne oštetimo. Ako pak za spektralnu analizu izrađujemo posebne ispitne uzorke, njihove su prikladne dimenzije  $30 \times 5 \times 1$  mm.

### Ispitivanje iskrenjem pri brušenju

Za brzo, a grubo, razlikovanje pojedinih vrsta čelika, sivoga i temperovanog lijeva te tvrdih metala služe nam slike i boje pri brušenju, koje su karakteristične za pojedini materijal (vidi str. 339).

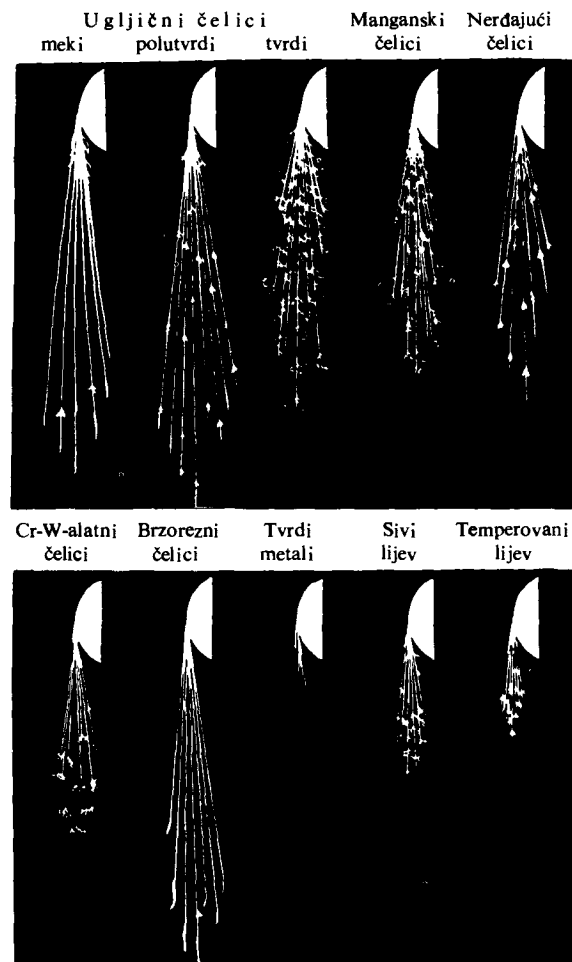
Ugljični konstrukcijski čelici se mogu po iskrama razlikovati za svakih 0,1 % C. Meki čelici daju snop iskara u obliku buzdovana s rijetkim zvjezdica. S porastom količine C množe se i za nj karakteristične zvjezdice. Cr, Ni i W u čeliku smanjuju broj zvjezdica unatoč prisutnosti C. Cr se u čeliku razaznaje po žuto-crvenim iskrama, W po njihovoj tamno-crvenoj boji (brzorezni čelici!). Tvrdi metali imaju vrlo kratke iskre tamno-crvene boje, bez zvjezdica.

Raspoznavanje čelika i srodnih kovina po brusnim iskrama zahtijeva veliko iskustvo. Za olakšanje raspoznavanja služe komadi za uspoređivanje točno poznate vrste čelika.

Ispitivanje iskrenjem ne možemo primijeniti na neželjezne kovine i slitine.

Za ispitivanje iskrenjem upotrebljavamo polutvrdu brusnu ploču veličine zrna 60 ... 80 pri brzini brušenja 20 ... 35 m/s.

Slike iskara pri brušenju



### Metalografski pregledi

**Makroskopski pregled** (pri povećanju do npr. 20 puta) otkriva šupljine, mjehure, pukotine, trosku, pogreške u valjanju itd.

**Mikroskopski pregled** (pri povećanju do 1000 puta i više) otkriva strukturu (raspored, oblik i veličinu kristalnih zrna), koja je ovisna o kemijskom sastavu i uvjetima skrućivanja te o naknadnoj obradi materijala (toploj i hladnoj).

Da bi struktura postala vidljivom, moramo površinu pokusnog predmeta izbrusiti smirkom, i to uvijek finijim, te konačno najfinije polirati. Za otkrivanje pojedinih sastavina strukture mora se polirana površina jetkati. Sredstva za jetkanje ovise o vrsti materijala i svrsi pregleda.

Najuobičajenija sredstva za jetkanje pri metalografskim ispitivanjima su: za čelik

— za nelegirane i legirane čelike: 2%-tna (za posebne slučajeve 4%-tna) alkoholna dušična kiselina;

— za nerđajuće kromne čelike: alkoholna solna kiselina;

— za austenitne čelike: alkoholna zlatotopka (carska vodica) sastava: 8 cm<sup>3</sup> dušične kiseline (1,40), 12 cm<sup>3</sup> solne kiseline (1,19) i 1000 cm<sup>3</sup> alkohola ili pak američko sredstvo: 7...8 cm<sup>3</sup> koncentrirane dušične kiseline, 2...3 cm<sup>3</sup> koncentrirane solne kiseline i 0,5 g bakrenog klorida CuCl<sub>2</sub> (to se sredstvo može samo kratkotrajno održati);

— za otkrivanje fosfornih segregata: Oberhofferovo sredstvo — 0,5 g kositrenog klorida SnCl<sub>2</sub>, 1,0 g bakrenog klorida CuCl<sub>2</sub>, 30 g željeznog klorida FeCl<sub>3</sub>, 30 cm<sup>3</sup> solne kiseline (1,19), 500 cm<sup>3</sup> destilirane vode i 500 cm<sup>3</sup> alkohola;

— za otkrivanje sumpornih segregata — Baumannov postupak: fotografski se papir (srebrni bromid) stavi kratko vrijeme u 5%-tnu sumpornu kiselinu, a zatim na staklenu ploču sa slojem prema gore. Na sloj pritiskujemo pomno očišćenu brušenu plohu ispitivanog dijela 1 do 10 min, a potom papir kratko isperemo vodom i konačno fiksiramo u normalnoj fiksirnoj kupelji (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>);

za bakar i bakrene slitine

— za bakar i  $\alpha$ -mjed: 10 g amonijeva persulfata otopljenog u 100 cm<sup>3</sup> vode (otopina mora biti uvijek svježe pripremljena);

— za bakar,  $\alpha$ - $\beta$ -mjed i broncu: amonijakna otopina bakrenog klorida (10 g bakrenog amonijeva klorida otopi se u 120 cm<sup>3</sup> destilirane vode i doda toliko otopine amonijaka da se prije nastali talog upravo otopi);

za olovo i olovne slitine

— otopina od 16 (ili 8) cm<sup>3</sup> dušične kiseline (1,40), 16 (ili 8) cm<sup>3</sup> octene kiseline i 68 (ili 84) cm<sup>3</sup> glicerina;

za aluminij i aluminijske slitine

— najprije 1 g natrijeve lužine u 100 cm<sup>3</sup> vode, zatim 5%-tna dušična kiselina;

za magnezij i magnezijske slitine

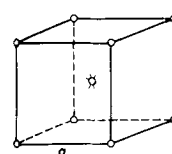
— razrijeđena alkoholna dušična kiselina.

### KOVINSKI MATERIJALI

#### Kristalna struktura kovina

Sve kovine u krutom stanju imaju kristalnu strukturu. Njeni najčešći oblici su (mjere u nm):

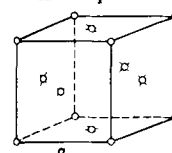
##### Kubna prostorno centrirana rešetka



Kovina	Dimenzija	Promjer atoma
	<i>a</i>	<i>d</i>
Fe <sub>α</sub>	0,286	0,248
Cr	0,288	0,250
V	0,303	0,262
Mo	0,314	0,272
W	0,316	0,274

Takoder: Fe<sub>δ</sub>, Ti<sub>β</sub>, Rb, Nb, Ba, Ta

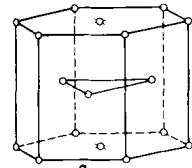
##### Kubna plošno centrirana rešetka



Kovina	Dimenzija	Promjer atoma
	<i>a</i>	<i>d</i>
Fe <sub>γ</sub>	0,356	0,252
Ni	0,352	0,248
Cu	0,362	0,256
Al	0,405	0,286
Pb	0,495	0,350

Takoder: Co<sub>β</sub>, Sr, Rh, Pd, Ce, Ag, Au, Pt, Ir

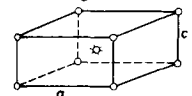
##### Heksagonalna rešetka



Kovina	Dimenzija		Promjer atoma
	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
Co <sub>α</sub>	0,251	0,407	0,250
Ti <sub>α</sub>	0,295	0,473	0,292
Zn	0,266	0,294	0,260
Mg	0,320	0,520	0,320

Takoder: Zr, Tc, Ru, Cd, Gd, Re, Os, Tl

##### Tetragonalna rešetka



Kovina	Dimenzija		Promjer atoma
	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
Sn	0,583	0,318	0,302

As, Sb, Te i Bi imaju kompleksnu kristalnu strukturu.

Neke se kovine mogu pojaviti u više kristalnih oblika — *modifikacija* (polimorfizam). Promjena modifikacije — *pretvorba* — javlja se pri određenoj temperaturi, npr.

Fe <sub>α</sub> — Fe <sub>γ</sub> : 910 °C	Co <sub>α</sub> — Co <sub>β</sub> : 420 °C
Fe <sub>γ</sub> — Fe <sub>δ</sub> : 1390 °C	Ti <sub>α</sub> — Ti <sub>β</sub> : 882 °C

Mn i In kristaliziraju kubno i ortorombno.

### Slitine (legure)

Slitine su sastavljene od najmanje dviju komponenata od kojih je barem jedna kovina, dok je druga kovina, nekovina ili spoj. Legiranjem postižemo mnoga mehanička i druga fizikalna svojstva koja čiste kovine nemaju.

*Slitinama* nazivamo samo takve kovinske materijale kod kojih nekoj kovini namjerno dodajemo druge (kovinske ili nekovinske) komponente.

Kovinske materijale koji sadrže nenamjerno dodane (npr. pri dobivanju) druge komponente, uglavnom u malim količinama, ubrajamo u nečistoće.

Slitine nastaju od komponenata koje se u tekućem stanju — taljevinu — međusobno otapaju. Komponente koje se međusobno otapaju i u krutom stanju stvaraju *kristale mješance*, i to u slučaju potpune topivosti u svim omjerima (koncentracijama) sastavina, a u slučaju djelomične topivosti samo do određenog sastava — zasićenja. Slitine takva sastava koji prelazi granicu zasićenja (otopinska praznina) mogu se sastojati samo od smjese kristala mješanaca. Mnoge slitine tvore (pri najnižoj temperaturi skrućivanja) osobito sitnozrnatu smjesu kristala mješanaca — *eutektik*.

*Binarni sistemi slitina* (sistemi slitina s dvjema komponentama)

Binarne (dvojne) sisteme slitina prikazujemo faznim dijagramima temperatura—sastav. U slijedećim dijagramima osnovnih binarnih sistema znače:  $t$  — taljevinu,  $A$  i  $B$  — komponente slitine,  $\alpha$  i  $\beta$  — kristale mješance (otopine  $B$  u kristalnoj rešetki  $A$ , odn.  $A$  u rešetki  $B$ ),  $E$  — eutektik.

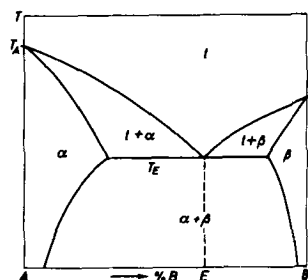
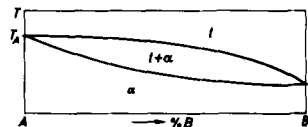
*Sistem potpune topivosti*

Komponente  $A$  i  $B$  otapaju se međusobno u krutom stanju u svim mogućim omjerima sastavina. Slitina je sastavljena od samih homogenih kristala mješanaca ( $\alpha$ ).

*Sistem djelomične topivosti*

Komponente  $A$  i  $B$  otapaju se jedna u drugoj samo do određenog sastava (zasićenja). Slitina se do tog sastava sastoji od homogenih kristala mješanaca ( $\alpha$  in  $\beta$ ), a inače od heterogene smjese kristala ( $\alpha$ ,  $\beta$  i  $E$ ). Eutektik  $E$  je sitnozrnata smjesa kristala  $\alpha$  i  $\beta$  u točno određenom omjeru.

*Potpune netopivosti* nema, ali područja kristala mješanaca ( $\alpha$  i  $\beta$ ) mogu biti tako neznatna (sastav kristala mješanaca pri zasićenju gotovo je jednak čistoj kovini) da djelomičnu topivost možemo u tom slučaju zanemariti.



### ŽELJEZO I NJEGOVE SLITINE

#### Čisto željezo

Pri zagrijavanju čistog željeza primjećujemo tri temperaturne (stojne) točke, u kojima određeno vrijeme zastaje porast temperature (zbog unutarnjih kristalnih promjena):

Stojište  $A_2 - 768^\circ\text{C}$  — (»Curiejeva temperatura«) označuje temperaturnu granicu do koje je željezo magnetično. Modifikaciju željeza do te granice nazivamo  $\alpha$  (magnetično), a iznad te granice  $\beta$  (nemagnetično). Kristalna je struktura za obje modifikacije ista — kubna prostorno centrirana kristalna rešetka.

Točka pretvorbe  $A_3 - 910^\circ\text{C}$  — označuje promjenu kristalne strukture  $\beta$  u kubnu plošno centriranu rešetku, koju nazivamo modifikacijom  $\gamma$  (nemagnetična).

Točka pretvorbe  $A_4 - 1390^\circ\text{C}$  — označuje promjenu kristalne strukture  $\gamma$  u modifikaciju  $\delta$ , strukturno identičnu modifikaciji  $\beta$  (nemagnetična). Talište je čistog željeza na  $1534^\circ\text{C}$ .

Čisto željezo u čvrstom stanju kristalizira prema tome u dva oblika:

a) kao željezo  $\alpha - \text{Fe}_\alpha$  (koje obuhvaća kristalno jednake modifikacije  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\delta$ ), koje je magnetično do  $768^\circ\text{C}$ , nemagnetično između  $768$  i  $910^\circ\text{C}$  te između  $1390$  i  $1534^\circ\text{C}$ ;

b) kao  $\gamma$ -željezo —  $\text{Fe}_\gamma$  između  $910$  i  $1390^\circ\text{C}$ , nemagnetično.

U  $\alpha$ -željezu otapa se samo vrlo malo ugljika, a u  $\gamma$ -željezu može se otopiti do  $2,06\%$  (pri  $1147^\circ\text{C}$ ).

Čisto je željezo pri temperaturi okoline ( $\text{Fe}_\alpha$ ) razmjerno veoma otporno prema koroziji, prilično je mekano ( $45 \dots 55 \text{ HB}$ ), male je čvrstoće ( $180 \dots 250 \text{ N/mm}^2$ ) i vrlo rastezljivo ( $50 \dots 40\%$ ). Zbog male čvrstoće i skupog dobivanja (elektroliza!) njegova je primjena u tehnici neznatna. Najviše iskorišćujemo njegovu izvanrednu sposobnost za magnetiziranje.

#### Tehničko željezo

Tehničko željezo sadrži uvijek ugljik  $C$  i neznatne primjese, preostale u procesu proizvodnje — stalne pratiocice mangan ( $Mn$ ) i silicij ( $Si$ ) te nečistoće fosfor ( $P$ ) i sumpor ( $S$ ).

Ugljik ima najveći utjecaj na nelegirano tehničko željezo; već u dijelovima postotka snažno utječe na njegova svojstva.

Pri ugrijavanju željeza, koje sadrži ma i neznatnu količinu ugljika, opažamo još i (stojnu) točku  $A_1 - 723^\circ\text{C}$ .

Prema sadržaju ugljika tehničko željezo dijelimo na:

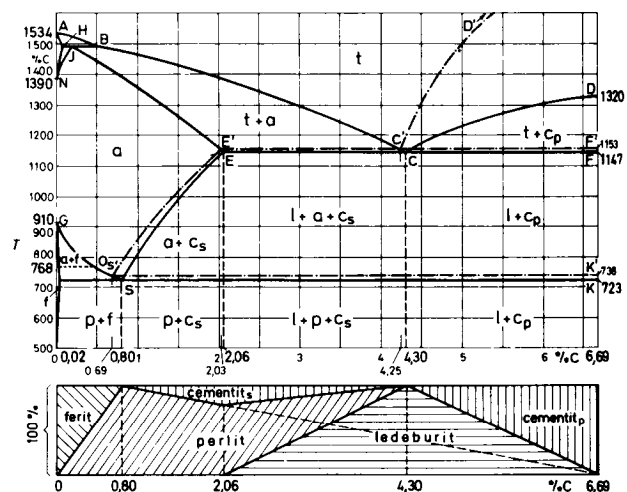
- čelik sa  $C < 2,06\%$ ,
- lijevano željezo sa  $C > 2,06\%$ .

Legirane vrste tehničkog željeza sadrže još i druge elemente, koji su namjerno dodani radi postizanja određenih svojstava.



### Sistem željezo-ugljik

Pune linije: *metastabilni sistem* Fe — Fe<sub>3</sub>C (željezo-cementit)  
Isprekidane linije: *stabilni sistem* Fe — C (željezo-grafit)



t — taljevina, a — austenit, f — ferit, c<sub>p</sub> i c<sub>s</sub> — primarni i sekundarni cementit,  
l — ledeburit, p — perlit

Strukturni sastojci u sistemu željezo-ugljik:

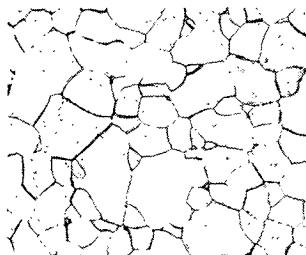
*ferit* je kristalni oblik α-željeza,  
*austenit* je rastopinski kristal γ-željeza i ugljika (0...2,06% C)  
*cementit* je kristalni oblik željeznog karbida Fe<sub>3</sub>C (6,65% C)  
*ledeburit* je eutektik u sistemu željezo-cementit (4,30% C)  
*perlit* je eutektoid željeza i cementita (0,80% C)  
*grafit* je kristalni oblik ugljika C.

Mehanička svojstva strukturnih sastavina (prosječne vrijednosti)

Sastavina	Čvrstoća (N/mm <sup>2</sup> )	Tvrdoća HV	Postot. produlj. (%)
ferit	250 ... 300	90	35
austenit	750	210	60
cementit, ledeburit	—	850	—
perlit	700 ... 900	220	10
grafit	20	—	—

344

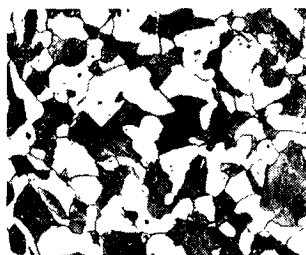
### Strukture čelika



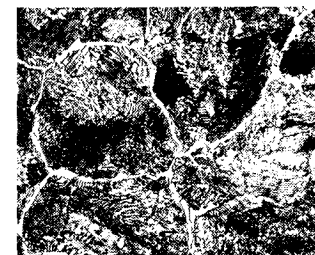
Ferit (500:1)



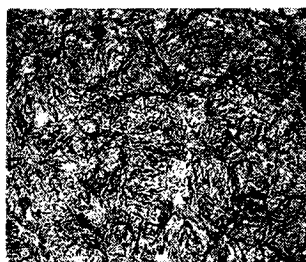
Perlit (500:1)



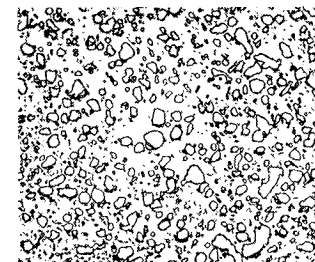
Ferit i perlit 0,35% C (500:1)



Perlit i cementit 1,1% C (500:1)

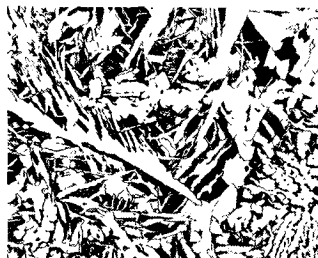


Martenzit (500:1)

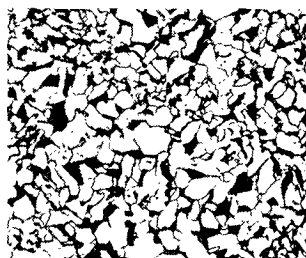


Zrnat cementit (500:1)

## Strukture lijeva



Čelični lijev nakon lijevanja (100:1)



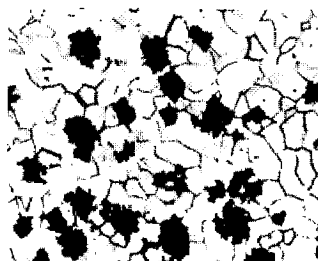
Čelični lijev normaliziran (100:1)



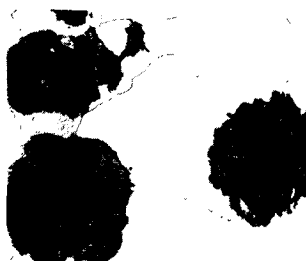
Bijeli lijev (200:1)



Sivi lijev (500:1)



Temperovani lijev — crni (100:1)



Sivi lijev — nodularni (500:1)

## Skrucivanje po metastabilnom ili stabilnom sistemu željezo-ugljjik

Čelici se sastoje od strukturnih sastavina metastabilnog sistema.

Lijeivano se željezo sastoji od strukturnih sastavina obaju sistema: metastabilnog i stabilnog. Željezni karbid  $\text{Fe}_3\text{C}$  (cementit) u željeznom lijevu ima metastabilan karakter. On nastaje (bijeli lijev) pri skrućivanju taljevine sirovog željeza u okolnostima koje spriječavaju njegovo raspadanje, tj. pri razmjerno brzom ohlađivanju i u prisutnosti izvjesnih elemenata, osobito Mn (te Mo, V, Cr, S). Pri polaganom ohlađivanju (ili dužem žarenju) željezni se karbid raspada, a ugljik se izlučuje u obliku kristalnih zrna (listića) grafitu. Taj raspad olakšava prisutnost nekih elemenata, osobito Si (te Al, Ni, Co, P).

Pri potpunom izlučivanju ugljika osnovna se masa sastoji od ferita, u kojem zrna grafitu sadrže sav ugljik (feritni sivi lijev). Pri djelomičnom izlučivanju ugljika osnovna se masa sastoji od perlita, koji sam sadrži dio ugljika, a samo se ostatak ugljika izlučuje kao grafit (perlitni sivi lijev).

## Utjecaj brzine ohlađivanja austenita na strukturu čelika

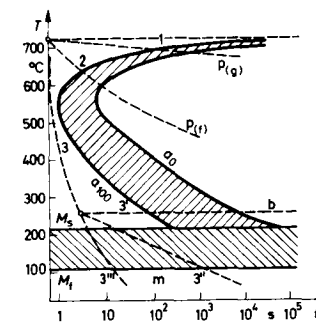
$\alpha$ -željezo nema gotovo nikakvih sposobnosti za otapanje ugljika, dok ga  $\gamma$ -željezo može prilično dobro otapati, i to u obliku rastopinskih kristala austenita. Pri polaganom ohlađivanju raspada austenit pri perlitnoj temperaturi ( $723^\circ\text{C}$ ) u perlit, a ugljik otprije otopljen u austenitu, izlučit će se i pojaviti u perlitnom cementitu. Sliku raspada pothlađenog austenita prikazuje Bainov dijagram (»TTT-dijagram«\*)

$a_{100}$  — početak } raspada austenita  
 $a_0$  — svršetak }  
 $M_s$  — početak } martenzitne pretvorbe  
 $M_f$  — svršetak }

Austenit raspada pri polaganom ohlađivanju (1) u grubi perlit  $p_g$ , a pri brzem (2) u fini perlit  $p_f$ . Ohlađivanje velikom brzinom (3) spriječava u kritičnom temperaturnom području ( $\approx 550^\circ\text{C}$ ) raspad austenita pa se po-tiže područje nešto stabilnijeg pothla-đenog austenita ( $\approx 250^\circ\text{C}$ ), što omo-gućava izotermni raspad (3') u bainit (b), a manjom (3'') ili prvotnom (3''') brzinom ohlađivanja promjenu u martenzit (m).

Bainit je čvršći i tvrdi (50...60 HRC) od perlita.

Martenzit (prezasićeno  $\alpha$ -željezo) je vrlo tvrd ( $\approx 66 \text{ HRC}$ ) sastojak zaka-ljenog čelika. Martenzit pri ugrijavanju iznad  $200^\circ\text{C}$  raspada i prelazi postu-pno preko strukturnih oblika trustita i sorbita iznad  $600^\circ\text{C}$  u zrnati cementit.



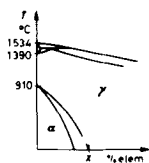
\* Time — Temperature — Transformation.

### Utjecaj elemenata na strukturu čelika

#### 1. Elementi koji proširuju austenitno područje

U tu skupinu spadaju naročito Mn, Ni in Co. (Uglik proširuje austenitno područje samo u ograničenom opsegu.)

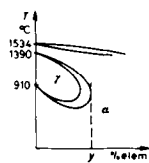
Austenitno se područje proširuje i postiže temperaturu okoline pri određenom sadržaju  $x$  (%) elementa, dodanog za legiranje. Slitine sa sadržajem dodanog elementa većim od  $x$  imaju, dakle, austenitnu strukturu postojanu i pri običnoj temperaturi. Takve čelike nazivamo »austenitnim čelicima«.



Značajna su svojstva austenitnih čelika da nisu magnetični; ne mogu se kaliti; čvrstoća i tvrdoća su im doduše razmjerno male, ali ti čelici pri većim deformacijama u hladnom neobično otvrdnu i postaju vrlo otporni prema habanju; otporni su prema koroziji.

#### 2. Elementi koji sužuju austenitno područje

U tu skupinu spadaju Be, Al, Si, P, Ti, V, Cr, Mo, W.



Austenitno je područje suženo. Iznad stanovitog sastava  $\gamma$ , ni pri kojoj se temperaturi više ne pojavljuje austenit, već imamo na svim temperaturama samo  $\alpha$ -strukturu – ferit. Takve čelike nazivamo »feritnim čelicima«.

Značajna su svojstva feritnih čelika da se ne mogu kaliti; naginju gruboj kristalizaciji; istezljivost u hladnom stanju manja je nego kod austenitnih čelika pa zato pri hladnom gnječenju i manje otvrdnu; otporni su prema koroziji.

#### 3. Elementi koji stvaraju karbide

Neki elementi stvaraju neposredno sa C karbide. Pri tome su osobito važni Mn, Cr, W, Mo, V, Ti itd.

Karbidi tih kovina su značajni zbog tvrdoće i velikog utjecaja na polaganiju promjenu strukture čelika. Ugrijani do austenitnog područja otapaju se u njemu polagano. Sprečavaju rast kristala i time podupiru nastanak finostrane strukture. Uz brzo ohlađivanje pri kaljenju se ti karbidi ne izlučuju, već ostaju otopljeni u martenzitu. Time smanjuju kritičnu brzinu hlađenja potrebnu za nastanak martenzita (što omogućuje kaljenje u ulju ili na zraku) te povišuju temperaturu postojanosti martenzita pri napuštanju, zadržavaju dakle raspad tvrde martenzitne strukture i na višim radnim temperaturama.

Čelici jako legirani s Cr in W koji sadrže višestruke karbide (»ledeburitni čelici«), vrlo su tvrdi i veoma otporni prema habanju, i to stoga što karbidi u isti mah sprečavaju raspadanje martenzita i zadržavaju tvrdoću (kaljenog) čelika i pri radu na višim temperaturama (brzorezni čelici).

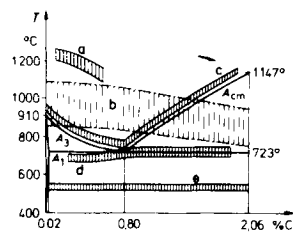
### Utjecaj legiranih elemenata na svojstva čelika

Svojstva čelika	Legirni elementi												
	C	S	P	Si	Mn	Al	Ni	Cr	Mo	W	V	Ti	Co
Čvrstoća	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Tvrdoća	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Postojno produljenje	—	—			+	—	+	+					—
Elastičnost	+	+	+	+	+		+	+	+		+		
Udarne žilavost	—	—	—	—	+	—	+		+		+	—	
Trajna statička čvrstoća (pri višim temperaturama)	+		+	+	+	+	+		+	+	+	+	+
Dinamička čvrstoća					+	—		+	+	+	+	+	+
Otpornost prema kem. utjecajima	—	—	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
Otpornost prema vatri	+			+	—	+		+	—		—		
Sposobnost za izvlačenje	—	—	—	—	—		—	—		—	—		
Sposobnost za kovanje	—	—	+	—									
Sposobnost za zavarivanje	—	—	—	—								+	
Sposobnost za obrađivanje	—	+	+	—	—	—	—	—		—	—	—	
Sposobnost za rezanje (alat)	+	+		+		+		+	+	+	+	+	+
Otpornost prema popuštanju								+	+	+	+	+	+

U tablici »+« znači utjecaj u smislu povećanja odgovarajućeg svojstva čelika, a »—« znači smanjivanje tog svojstva. Dvostruki znakovi znače pojačan utjecaj.

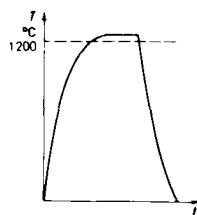
## TOPLINSKA OBRADA ČELIKA

### Žarenje čelika



Žarenje ugljičnog (nelegiranog) čelika

- a) difuzijsko žarenje
- b) žarenje radi kovanja
- c) normalizacija
- d) žarenje radi omekšavanja
- e) žarenje za odstranjivanje napetosti



- 1. Difuzijsko žarenje je dugotrajno žarenje čelika pri visokim temperaturama, a služi izjednačenju nejednolike strukture nastale pri lijevanju, koja otežava obradu i smanjuje vrijednost proizvoda. To se žarenje redovno izvodi već pri proizvodnji čelika.

Grubo zrnata struktura nastala prilikom difuzijskog žarenja može se odstraniti gnječenjem u toplom stanju ili normalizacijom.

- 2. Žarenje radi toplog gnječenja (kovanja, prešanja, valjanja itd.)

Kristali čelika nastali iz taljevine primarnom kristalizacijom ili narasli difuzijskim žarenjem su grubozrnati. Oni mogu postati mnogo finijim gnječenjem u toplom stanju.

Pri pravilnom gnječenju mora materijal biti temeljito prognječen do srži. Gnječenje dopire dublje pri valjanju i prešanju nego pri kovanju. Zato je pažljivost pri žarenju za kovanje osobito važna.

- 3. Normalizacija

Gruba struktura u čeličnim odljevcima, koji se zbog održanja oblika ne mogu gnječiti, i gruba struktura u velikim otkovcima, koji se kovanjem ne mogu do srži prognječiti, ostaje pri ohlađivanju ispod granice austenitnog područja  $A_3$  u novoj, perlitno-feritnoj strukturi također grubozrnata. Tu strukturu možemo normalizacijom učiniti finijom.

Žarenje čelika je postupak kojim čelik grijemo na određenoj temperaturi određeno vrijeme i zatim ga na odgovarajući način hladimo, da bismo time postigli željene strukturne promjene. Različitim postupcima pri žarenju postizemo izjednačenje kemijskog sastava i kristalne strukture, povećanje žilavosti, smanjenje veličine kristalnih zrna, povećanje mekoće čelika ili odstranjenje unutarnjih napetosti.

Pri žarenju čelika vrlo su važne temperature strukturnih promjena:  $A_3$  (linija G-O-S u sistemu željezo-ugljik, vidi str. 344) – kao donja granica austenitnog područja, i  $A_1$  (723 °C za ugljične čelike) – kao granica raspada austenita u perlit. Za legirane su čelike odgovarajuće temperature navedene u tablicama za čelik.

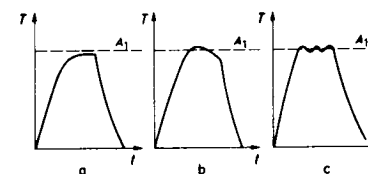
Tim se postupkom čelik zagrije za 30...50 °C iznad temperature pretvorbe  $A_3$ , i to kratko vrijeme – tek toliko da se struktura upravo promijeni opet u austenitnu. Pri toj se pretvorbi stvaraju novi fini austenitni kristali, koji se zatim pri normalnom ohlađivanju na zraku raspadaju u kristale ferita i perlita, a oni zadržavaju finu strukturu i pri temperaturi okoline.

Pri previsokoj temperaturi ili predugom grijanju u austenitnom području kristali bi opet narasli te bi korist normalizacije propala. Pregrijani se grubozrnati čelik može ispravno provedenom normalizacijom opet popraviti.

Normalizacijom se poboljšavaju svojstva čvrstoće.

- 4. Žarenje radi omekšavanja

Stanovite vrste čelika žarimo da bismo dobili čelik u što mekšem stanju, prikladnom za mehaničku obradu. Ujedno je to stanje polazište za ispravno kaljenje bez opasnosti da se predmet izvitoperi ili popuca.



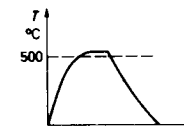
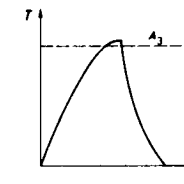
Mekše stanje postizemo:

- a) kod podeutektoidnih čelika duljim grijanjem predmeta (2...20 h) na temperaturi tik ispod perlitne temperature  $A_1$ , a zatim ohlađivanjem (pri čemu brzina ohlađivanja nije osobito važna, ali mora biti jednolika);
- b) kod čelika oko eutektoidnog sastava jednolikim ugrijavanjem predmeta do perlitne temperature  $A_1$ , zatim polaganim ohlađivanjem na 600...650 °C (pri čemu brzina daljnjeg ohlađivanja nije osobito važna);
- c) kod nadeutektoidnih čelika kolebanjem temperature oko perlitne temperature  $A_1$ .

- 5. Žarenje radi odstranjivanja unutarnjih napetosti

Nejednoliko ohlađivanje, obrada rezanjem, hladno gnječenje (kovanje, valjanje, izvlačenje) itd. izazivaju napetosti u predmetima. Zbog tih se napetosti predmeti vitopere pri ugrijavanju sve do temperatura na kojima se granica plastičnosti materijala snizuje ispod unutarnjeg naprezanja (oslobodena naprezanja izazivaju plastične deformacije).

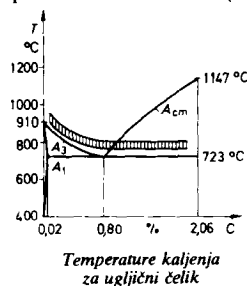
Unutarnja naprezanja u čeliku odstranjujemo žarenjem pri približno 500 (...600) °C i zatim polaganim ohlađivanjem predmeta.



## Kaljenje čelika

### 1. Obično kaljenje

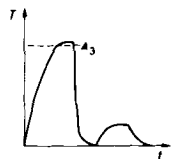
Kaljenjem nazivamo toplinsku obradu brzog ohlađivanja kaljivih čelika s određene temperature kaljenja (s područja austenita), pri čemu se stvara posebno tvrda struktura (martenzit).



Temperature kaljenja treba za pojedine vrste čelika odabrati točno prema podacima u tablicama. Grijanje do tih temperatura treba da bude jednoliko i takvo da prođe kroz cijeli presjek.

Za dobivanje tvrde strukture kaljenja (martenzita) treba predmet ohlađivati s temperature kaljenja najmanje »kritičnom brzinom ohlađivanja«. Ugljični i neki malo legirani čelici imaju vrlo veliku kritičnu brzinu ohlađivanja, koju možemo postići samo hlađenjem u vodi. Srednje legirani čelici imaju takvu kritičnu brzinu ohlađivanja da je možemo postići u ulju, a za jako legirane čelike dovoljno je već ohlađivanje na zraku.

Pri brzom ohlađivanju pojavljuju se razlike u temperaturama na površini i u dubini predmeta, što – zbog različite temperaturne rastezljivosti – izaziva naprezanja i opasnost od pucanja. Zato nikada ne upotrebljavamo sredstva za hlađenje koja djeluju brže nego je to potrebno. Za izradu predmeta koje treba kaliti odabiremo po mogućnosti vrstu čelika koja ima manju kritičnu brzinu ohlađivanja pa se zato može kaliti u rashladnom sredstvu koje blaže djeluje.



Velika unutarnja naprezanja koja nastaju pri kaljenju ublažujemo popuštanjem ili napuštanjem, tj. ugrijavanjem do 180 °C (gdje čelik još ne gubi tvrdoću), i to

neposredno nakon kaljenja (još prije nego se predmet potpuno ohladi do temperature okoline). U tu se svrhu preporučuju uljene ili solne kupelji (najmanje ½ h).

### 2. Posebni postupci pri kaljenju

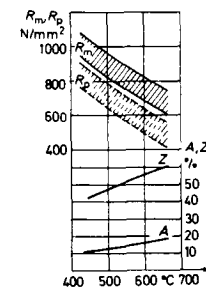
a) *Prekidno kaljenje* upotrebljavamo za komplicirane predmete. Ohlađujemo ih najprije u sredstvu koje brže hladi, a kad se dovoljno ohlade (što osigurava nastanak martenzita), hladimo ih dalje u rashladnom sredstvu koje blaže djeluje i time smanjujemo naprezanje.

b) *Stupnjevito kaljenje* (termalno kaljenje) upotrebljavamo za komplicirane dijelove od legiranog čelika. Prvo hlađenje obavimo u solnoj ili kovinskoj kupelji pri temperaturi blizu nad martenzitnom. Time osiguravamo kasnije stvaranje martenzita. On nastaje pri daljnjem ohlađivanju koje možemo izvršiti na zraku (vidi krivulju 3' u Bainovu dijagramu na str. 345).

### 3. Poboljšavanje

Svojstva čvrstoće čelika poboljšavamo posebnim postupkom koji se sastoji od običnog kaljenja i popuštanja pri višim temperaturama (do 680 °C), pri čemu martenzit raspada u finozrnate međustrukture (trustit, sorbit) do zrnatog cementita. Izborom temperature popuštanja možemo postići sva željena svojstva čvrstoće između zakačenog i meko žarenog stanja.

Posebnim postupkom poboljšavanja ohlađujemo predmet s temperature kaljenja neposredno u solnoj i kovinskoj kupelji na temperaturi poboljšavanja i zatim ga ostavljamo duže vrijeme na toj temperaturi (»izotermno poboljšavanje«, vidi krivulju 3' u Bainovu dijagramu na str. 345). Na taj način nastaje razmjerno žilava struktura (bainit).



Primjer poboljšavanja čelika  
 $R_m$  = čvrstoća  
 $R_{p0,2}$  = naprezanje tečenja  
 $A$  = postotno produljenje  
 $Z$  = kontrakcija

### 4. Površinsko kaljenje

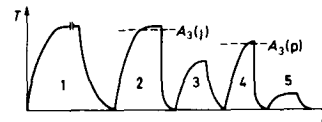
Grijanjem posebnim načinom kojim vrlo brzo ugrijavamo površinu predmeta do temperature kaljenja i neposredno zatim ohlađivanjem (dok su dublji slojevi još hladni) zakalimo samo površinski sloj. Time postizemo tvrdu površinu, a jezgra ostaje žilava. Potrebno brzo ugrijavanje površine možemo postići:

- potapanjem predmeta u solnu kupelj na temperaturi mnogo iznad temperature kaljenja,
- plamenom acetilena i kisika,
- visokofrekventnom strujom, koja zbog unutarnje indukcije ugrijava samo površinu (skin-efekt), i to sloj toliko tanji koliko je viša frekvencija.

### 5. Cementiranje (ugličenje)

Da bismo dobili na žilavom (mekom) čeliku osobito tvrdu površinu, upotrebljavamo cementiranje, tj. žarenje pri 870...930 °C u sredstvu za cementiranje, koje može biti kruto (drveni ugljen s dodatkom  $BaCO_3$ ), tekuće (specijalne solne kupelji na bazi NaCN) ili plinovito ( $CO$ ). Cementiranje traje u krutom sredstvu 4...10 h za cementirani sloj dubine oko 1,2...1,6 mm koji sadrži oko 1% C. U tekućem ili plinovitom sredstvu cementiranje je znatno kraće.

Nakon cementiranja treba predmet toplinski obraditi, i to nakon cementiranja (1) ga ohladimo i zatim kalimo najprije pri temperaturi kaljenja za meki čelik (2), a onda još pri temperaturi kaljenja za pougljičeni površinski sloj (4). Između oba kaljenja može biti uključeno još i međuzarenje (3). Na kraju predmet popuštamo (5) pri najviše 180 °C.



## 6. Nitiranje

Specijalne čelike za nitiranje zagrijavamo 10...100 h u struji amonijaka ( $\text{NH}_3$ ) pri 500°C. Time dobivamo 0,3...1,0 mm debeo, prirodno tvrd površinski sloj tvrdoće 900...1100 HV (koja se naglo smanjuje prema jezgri predmeta).

Cijaniranje je nitiranje u posebnoj solnoj kupelji (na bazi  $\text{NaCN}$ ), u kojoj pri 500...530°C u toku 1...3 h dobivamo nitrirani sloj dubok 0,125 mm tvrdoće 1100 HV.

### Opće upute za toplinsku obradu čelika

#### 1. Zagrijavanje

Čelik se pri zagrijavanju rasteže. Naglo je zagrijavanje uzrok nejednolike temperature različitih dijelova predmeta, koji obrađujemo (tanji se i šiljasti dijelovi i rubovi brže ugriju do viših temperatura), što može izazvati jake unutarnje napetosti. Ako je materijal razmjerno žilav, napetosti se ublažuju plastičnom deformacijom i izvijanjem odn. vitoperenjem predmeta (predmet se »baca«), dok se kod tvrdog materijala pojavljuju pukotine. One se pojavljuju to više što je čelik više legiran, jer je toplinska vodljivost pri jačem legiranju manja.

Zato čelik treba zagrijavati to opreznije, što je više sklon pucanju. Tvrde i legirane čelike, osobito alatne, moramo zagrijavati polako od temperature okoline do 400...500°C. Odatle dalje čelik postaje mekaniji pa ga zato možemo i brže zagrijavati.

#### 2. Temperatura zagrijavanja

Da bismo postigli što bolje rezultate toplinske obrade, potrebno je što je moguće točnije postići temperaturu, određenu za pojedini postupak.

Točno možemo temperaturu odrediti samo različitim mjerilima temperature.

a) Živini termometri se mogu upotrijebiti do 500°C (iznad 350°C u specijalnoj izvedbi — punjeni s  $\text{N}_2$  ili  $\text{CO}_2$  pod tlakom).

b) Termoelementi za različita temperaturna područja:

Cu — konstantan do 400°C    Ni — NiCr (9% Cr) do 1000°C

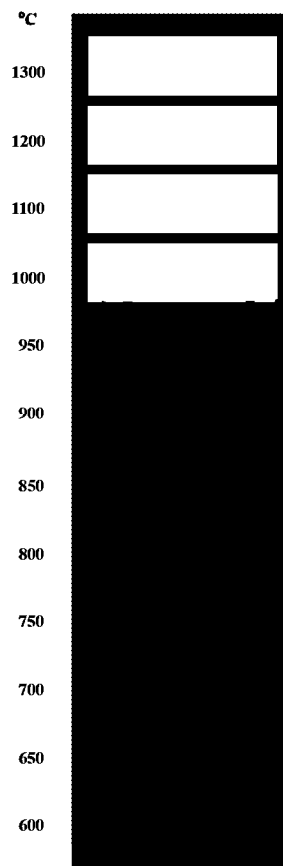
Fe — konstantan do 800°C    Pt — PtRh (10% Rh) do 1500°C

c) Optički termometri (pirometri) upotrebljivi su iznad 600°C do najviših temperatura.

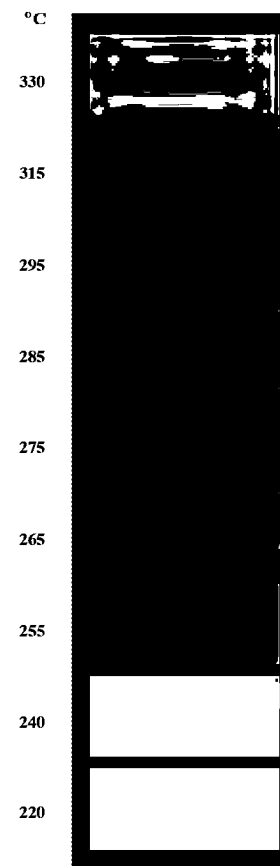
Osim navedenih instrumenata za mjerenje temperature, koji su neophodni za predmete s većim zahtjevima, možemo za jednostavnije predmete i s manjim zahtjevima ocijeniti temperaturu po boji užarenog čelika (vidi skalu boja užarenog čelika!).

Isto se tako u praksi često ocjenjuju temperature čelika pri popuštanju odn. poslije popuštanja u temperaturnom području od 200 do 350°C po oksidacijskim bojama (vidi ljestvicu boja pri popuštanju čelika!). Boje koje odgovaraju pojedinim temperaturama popuštanja vrijede doduše za većinu čelika, no ne vrijede za nardajuće čelike, kod kojih su temperature što pripadaju pojedinim bojama znatno više.

Boje  
užarenog čelika



Boje  
napuštanja čelika



### 3. Trajanje grijanja

Za toplinsku je obradu veoma važno i trajanje grijanja predmeta na određenoj temperaturi. To ovisi o debljini stijenki predmeta, njegovoj toplinskoj vodljivosti i o sredstvu u kojem predmet grijemo.

Ako je grijanje prekratko, nutrina se debljih predmeta ne ugrije do potrebne temperature, zbog čega tada može izostati uvjet za tok određenog procesa toplinske obrade. Ako je pak grijanje predugo, može se pojaviti grubozrnata struktura i smanjivanje količine ugljika u čeliku.

### 4. Sredstva za zagrijavanje

Ako zagrijavamo predmete samo pri nižim temperaturama do 180 °C (npr. za popuštanje), redovito upotrebljavamo mineralna ulja.

Ako temperatura mora biti visoka, ugrijavamo predmete većinom u žarnim pećima. U njima su izvrnuti oksidacijskom djelovanju kisika iz zraka. Otuda i gubici materijala zbog izgaranja. Oni su veći u električno grijanim komornim pećima nego u pećima na plin ili naftu.

Oksidacijskom utjecaju atmosfere pri visokim temperaturama najbolje izbjegavamo zagrijavanjem u kupeljima. Najčešće upotrebljavamo:

<i>solne kupelji:</i>		za 770 ... 1000 °C	3 dijela BaCl <sub>2</sub>
za 250 ... 600 °C	1 dio KNO <sub>3</sub>		2 dijela KCl
	1 dio NaNO <sub>3</sub>	iznad 1000 °C	BaCl <sub>2</sub>
za 600 ... 770 °C	1 dio NaCl	<i>kovinske kupelji</i>	
	1 dio KCl	za 250 ... 550 °C	2 dijela Pb
	1 dio BaCl <sub>2</sub>		3 dijela Sn
	2 dijela CaCl <sub>2</sub>	za 550 ... 900 °C	Pb

Zagrijavanje u kupeljima je brže od zagrijavanja u žarnim pećima. Zato su temperaturne napetosti pri zagrijavanju u kupeljima veće, što pri nižim temperaturama (manja žilavost obrađivanih predmeta) povećava opasnost od vitopenja i pucanja.

### 5. Sredstva za hlađenje

Za gašenje (brzo ohlađivanje s visokih temperatura) upotrebljavamo — već prema potrebnoj brzini ohlađivanja (vrsta čelika!) — vodu, ulje ili zrak.

Pri gašenju u vodi kaljenje veoma ovisi o temperaturi i gibanju vode. Potrebno je jako miješanje ili mlaz vode da bi se odstranili nastali mjehuri pare, koji sprečavaju prijelaz topline. (Rashladno se djelovanje vode znatno povećava, ako vodi dodamo natrijeve lužine — NaOH.)

Pri gašenju u ulju (repičnom ili mineralnom) temperatura ulja u području od 40 do 70 °C nema znatnijeg utjecaja na brzinu hlađenja. Važna je viskoznost ulja, koja pri 20 °C treba da iznosi oko 16 (... 50) mm<sup>2</sup>/s.

Pri hlađenju zrakom upotrebljavamo zračni mlaz, koji mora biti potpuno suh, ili pak predmet naprosto hladimo na zraku. Pri osobito sporom hlađenju ukopamo predmet u pepeo ili ga ostavimo u peći da se zajedno s njom ohladi.

## LIJEVANO ŽELJEZO

Lijeivano željezo dobivamo lijevanjem sirovog željeza ( $C > 2,06\%$ ). Količina ugljika C iznosi obično 2,5 ... 3,5%, a razlikujemo:

a) sivi lijev, u kojemu je ugljik sav ili veći dio po cijelom presjeku izlučen kao grafit (C);

b) tvrdi (bijeli) lijev, u kojem je ugljik po cijelom presjeku ili određenom dijelu presjeka potpuno vezan kao željezni karbid ( $Fe_3C$ ).

Lijeivano željezo sadrži redovno osim ugljika još i manje količine drugih primjesa: Si, Mn, P i S.

### Sivi lijev

Normalne vrste sivog lijeva s ljuskastim grafitom (ISO)  
(JUS C.J2.020 – 1973)

Nelegirani i malo legirani sivi lijev

Oznaka	Promjer neobrađenog ispitnog uzorka* mm	Vlačni poskus		Pokus savijanja		Gustoća kg/m <sup>3</sup>
		promjer obrađenog ispitnog uzorka mm	vlačna čvrstoća $R_m$ (min.) N/mm <sup>2</sup>	razmak simetrala oslonaca (min.) mm	čvrstoća** na savijanje (min.) N/mm <sup>2</sup>	
SL 10	30	20	100	–	–	7200
SL 15	13	8	230	260	340	
	20	12,5	180	400	320	
	20	20	150	600	300	
	45	32	110	900	270	
	45	32	160	900	330	
SL 20	13	8	280	260	410	7350
	20	12,5	230	400	390	
	30	20	200	600	360	
SL 25	13	8	330	–	–	
	20	12,5	280	400	460	
	30	20	250	600	420	
SL 30	20	12,5	330	–	–	
	30	20	300	600	480	
	45	32	260	900	450	
SL 35	20	12,5	380	–	–	7350
	30	20	350	600	540	
	45	32	310	900	510	
SL 40	30	20	400	600	600	
	45	32	360	900	570	

\* Standardni je ispitni uzorak izrađen od posebno odlivenog uzorka debljine 30 mm.

\*\* Čvrstoća na savijanje odnose se na neobrađene ispitne uzorke.

### Sivi lijev posebnih magnetskih svojstava

Oznaka	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Magnetska indukcija B u magnetskom polju H:			
		H = 1250	2500	5000	10000 A/m
ESL 10	100	B = 0,40	0,60	0,80	0,95 T

Kvalitetni sivi lijev ima manje ugljika, manje grafitne ljuske i bolju osnovnu strukturu, što postižemo promjenom sastava, postupkom taljenja (višom temperaturom pregrijavanja) i cijepljenjem – modificiranjem (čjepovima: ferosilicijem, silikokalcijem Al,  $CaC_2$  i dr., koja djeluju kao umjetne klice i pospješuju sitnozrnato izlučivanje grafita). Cijepljenjem postižemo čvrstoće od 300 ... 400 N/mm<sup>2</sup> (modificirani lijev).

Sivi lijev s kuglastim grafitom dobivamo dodatkom Mg (Ce, Ca), koji dezoksidiра taljevinu, i čjepiva na bazi Si, koje unosi u taljevinu klice: izlučuje se kuglasti grafit (nodularni ili sferoidni ili duktilni sivi lijev itd.).

### Nodularni lijev (JUS C.J2.022 – 1974)

Oznaka	Naprezanje tečenja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup> min.	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup> min.	Postot. produlj. $A_5$ % min.	Tvrdoća HB	Zrnatost
NL 38	240	380	17	140 ... 180	feritna
NL 42	280	420	12	150 ... 200	pretežno feritna
NL 50	350	500	7	170 ... 240	feritno-perlitna
NL 60	400	600	2	190 ... 290	perlitno-feritna
NL 70	450	700	2	210 ... 300	perlitna

Udarina žilavost nodularnog lijeva NL 38 iznosi:  $KV = 12$  J.

Legirani sivi lijev je:

a) otporan prema habanju – s manjim dodacima (do  $\approx 2,5\%$ ) Si, Cr, Ni, Mo;

b) austenitni – otporan prema oksidaciji na visokim temperaturama i prema koroziji – s velikim dodatkom Ni (12 ... 36%) i nešto Si, Mn, Cr, Cu.

Austenitni sivi lijev može sadržavati ljuskasti grafit ( $R_m = 140 ... 180$  N/mm<sup>2</sup>) ili kuglasti grafit ( $R_m = 380 ... 420$  N/mm<sup>2</sup>).

### Tvrdi lijev

Lijeiv s tvrdom korom ima ugljik u jezgri izlučen kao grafit, a u površinskom sloju (kori) vezan kao željezni karbid. Upotrebljava se za valjke i dijelove, izvrgnute habanju.

Bijeli lijev sadrži ugljik po cijelom presjeku vezan kao željezni karbid, a upotrebljava se za mlinske kugle, mlaznice za štrcanje pijeska i sl.



### Temperovani lijev (JUS C.J2.021 – 1958)

Temperovani lijev dobivamo od bijelog lijevanog željeza temperovanjem. *Bijeli temperovani lijev* ima nakon žarenja u oksidacijskoj atmosferi bijeli prijelom (zbog oksidacije ugljika).

*Crni temperovani lijev* ima nakon žarenja u neutralnoj atmosferi crni prijelom (zbog ugljika izlučenog u obliku grafita).

#### Bijeli temperovani lijev

Oznaka	Debljina mm	Promjer ispitnog uzorka mm	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. produlj. $A_1$ %	Brinellova tvrdoća HB
<b>B Te L 00</b>	—	—	—	—	250
<b>B Te L 35</b>	4 ... 9	9	340	5	200
	9) ... 13	12		3	
	13) ... 18	15		3	
	18) ... 30	18		2	
<b>B Te L 40</b>	4 ... 9	9	380	10	200
	9) ... 13	12		5	
	13) ... 18	15		3	
	18) ... 30	18		3	

#### Crni temperovani lijev

Oznaka	Debljina mm	Promjer ispitnog uzorka mm	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. produlj. $A_1$ %	Brinellova tvrdoća HB
<b>C Te L 35*</b>	4 ... 9	9	330	8	150
	9) ... 13	12			
	13) ... 18	15			
	18) ... 40	18			
<b>C Te L 38*</b>	4 ... 9	9	370	12	140
	9) ... 13	12			
	13) ... 18	15			
	18) ... 40	18			
<b>C Te L 45**</b>	4 ... 9	9	400	5	250
	9) ... 13	12			
	13) ... 18	15			
	18) ... 40	18			

\* Feritni lijev. — \*\* Perlitni lijev.

#### Magnetska svojstva temperovanog lijeva

Temperovani lijev	Magnetska indikcija $B$ u magnetskom polju $H$		
	$H = 2500$	5000	10000 A/m
bijeli	$B = 1,00$	1,10	1,20 T
crni	$B = 1,15$	1,25	1,35 T

### VRSTE ČELIKA

Čelici su kovke slitine željeza s ugljikom — do 2,06% C — ili i s drugim elementima. Pri većem sadržaju dodanih elemenata za legiranje može sadržaj ugljika biti i nešto veći od 2,06%.

Sve vrste čelika sadrže — iz procesa proizvodnje — još i manje količine Mn, Si, P i S. Čelike koji sadrže Mn < 0,8% i Si < 0,6% još ne smatramo legiranim. Sadržaj P i S gotovo je uvijek nepoželjan.

#### Razdioba čelika

1. Prema postupku proizvodnje:

a) *obični čelici* dobivaju se većinom iz Siemens-Martinovih peći (»SM čelici«) ili iz konvertera (Bessemmerovih ili Thomasovih); obični čelici su nelegirani (ugljični) ili malo legirani, a upotrebljavamo ih redovno bez toplinske obrade;

b) *plemeniti čelici* dobivaju se rafinacijom ili rafinacijom i legiranjem u električnim pećima (»elektročelici«). Plemeniti se čelici redovno toplinski obrađuju.

2. Prema sadržaju:

a) *ugljični čelici* su one vrste čelika u kojima odlučujući utjecaj na svojstva čelika ima ugljik, a drugih elemenata ima samo u količinama koje nemaju bitnog utjecaja, tj.

Mn < 0,80%	Cr < 0,20%	Co < 0,05%
Si < 0,60%	W < 0,10%	Ti < 0,05%
Ni < 0,30%	Mo < 0,05%	Al < 0,05%
Cu < 0,30%	V < 0,05%	

b) *legirani čelici* su one vrste čelika u kojima odlučujući utjecaj na svojstva čelika imaju legirni elementi (tj. oni koji se namjerno dodaju da bi se postigla određena svojstva); malo legirani čelici imaju do 5% dodanih elemenata, a jako legirani više od 5%.

3. Prema upotrebi:

a) *konstrukcijski čelici* su ugljični čelici (obični ili plemeniti) sa sadržajem C < 0,6% ili legirani (uglavnom sa Mn, Si, Cr, Ni, Mo, V itd.). Upotrebljavamo ih za izradu čeličnih konstrukcija, sastavnih dijelova strojeva, aparata i različitih uređaja. Razlikujemo:

— obične (ugljične ili malo legirane) čelike za opće svrhe (masovna upotreba),

— plemenite (rafinirane) ugljične ili legirane čelike za dijelove s većim zahtjevima (dijelove strojeva itd.);

b) *alatni čelici* su plemeniti ugljični čelici sa sadržajem C > 0,6% (< 2,06%) ili legirani (uglavnom sa Cr, W, V, Mo, Co itd.). Upotrebljavamo ih za izradu alata.

### Označivanje vrsta čelika prema JUS (JUS C.B0.002 – 1986)\*

Oznaka čelika sastoji se od tri dijela: Č. XXXX. X

- slovnog simbola Č
- osnovne oznake od četiriju ili petoro brojčanih simbola
- dodatne oznake od jednoga ili više slovnih ili brojčanih simbola
- drugih dodatnih oznaka

Osnovna oznaka označuje vrstu čelika:

1. Čelici s negarantiranim sastavom

Simbol na 1. mjestu : 0

Simbol na 2. mjestu označuje grupu minimalne vlačne čvrstoće:

Simbol	Čvrstoća N/mm <sup>2</sup>	Simbol	Čvrstoća N/mm <sup>2</sup>
0	–	5	490...580
1	...320	6	590...680
2	330...350	7	690...780
3	360...380	8	790...880
4	390...480	9	890...

Simbol na 3. i 4. (i 5.) mjestu označuje redni broj čelika:

- 0...44 – ugljični čelici s negarantiranim čistotom
- 45...79 – ugljični čelici s ograničenim udjelom nečistoća
- 80...99 – ugljični čelici s ograničenim udjelom S i P te propisanim udjelom C, Si i Mn.

2. Ugljični i legirani čelici s garantiranim sastavom

Simboli na 1. i 2. mjestu:

a) kod ugljičnih čelika

- simbol na 1. mjestu: 1
- simbol na 2. mjestu: deseterostruka vrijednost maksimalnog postotka ugljika zaokružena na desetine; brojčani simbol za C = 0,9% jest 9;

b) kod legiranih čelika

- simbol na 1. mjestu: oznaka najutjecajnijeg legirnog elementa
- simbol na 2. mjestu: oznaka drugog (po redu) legirnog elementa; za jednostruko legirane čelike brojčani je simbol 1.

Element: C Si Mn Cr Ni W Mo V drugi  
Oznaka: 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Pod najutjecajnijim legirnim elementom razumijeva se onaj kojemu pripada najveći umnožak sadržaja u čeliku (%) i faktora vrijednosti:

Element Si Mn Cr Ni W Mo V Co Ti Cu Al drugi  
Faktor vrijednosti 1 1 4 4 7 14 17 20 30 1 1 30

Ako višestruko legirani čelici imaju više legirnih elemenata s istim umnožkom, smatrat će se najutjecajnijim elementom onaj kojemu oznaka ima viši broj.

\* Osim ovog standarda čelici se po JUS-u označuju posebnim oznakama (npr. ČRV, ČRN, ČRO, MT, MD itd.)

Simboli na 3. i 4. (i 5.) mjestu označuju redni broj čelika:

- 0...9 (101...199) – čelici koji nisu namijenjeni toplinskoj obradi,
- 20...29 (201...299) – čelici za cementiranje,
- 30...39 (301...399) – čelici za poboljšavanje,
- 40...59 (401...599) – ugljični i malo legirani alatni čelici,
- 60...69 (601...699) – čelici s posebnim fizikalnim svojstvima,
- 70...79 (701...799) – kemijski otporni i vatrostalni čelici,
- 80...89 (801...899) – brzorezni čelici,
- 90...99 (901...999) – čelici za automate.

Dodatna oznaka označuje stanje čelika:

- 0 – bez određene toplinske obrade,
- 1 – žaren,
- 2 – žaren do najbolje obradivosti,
- 3 – normaliziran,
- 4 – poboljšan,
- 5 – hladno preoblikovan,
- 6 – ljušten,
- 7 – brušen
- 8 – kontrolirano hlađen
- 9 – obrađen po posebnim uputama.

Dodatne su oznake još: 2A, 2B, 2C, 2D, 8A, 8B, K, H, S, V, Z.

Ta se oznaka upotrebljava samo za poluproizvode, i to samo u dokumentaciji u vezi s dobavom. Ne odnosi se na gotove ugrađene dijelove i ne unosi se u crteže.

Posebne oznake mogu se dodati u pojedinačnim slučajevima

### Označivanje čelika u skladištima bojom (JUS C.B0.003 – 1957)

Oznaka čelika bojom sastoji se od dva dijela, i to:

- od osnovne oznake koju čine četiri trake, a dobiva se zamjenom brojčanih simbola osnovne brojčane oznake čelika odgovarajućom bojom,
- od dodatne oznake koju čine jedna ili dvije trake, a dobiva se zamjenom brojčanih simbola dodatne brojčane oznake čelika odgovarajućom bojom.

Brojčani simboli	Boja trake	Brojčani simboli	Boja trake
0	crna	5	zelena
1	bijela	6	modra
2	crvena	7	ljubičasta
3	narančasta	8	smeđa
4	žuta	9	siva

Širina obojene trake treba da je prilagođena veličini proizvoda, no po mogućnosti treba upotrebljavati širine 5...16 mm. Neobojeni pojas između traka iznosi polovinu širine obojene trake, a između dijelova oznake za čelik – osnovne i dodatne – iznosi dvostruku širinu obojene trake.

# KONSTRUKCIJSKI ČELIK

Opći konstrukcijski čelici (JUS C.B0.500 – 1970 i 1972)

Sastav (%)

Oznaka	Stanje	C ≈	P maks.	S maks.	N maks.
Č.0000	–	–	–	–	–
Č.0261	smireno	0.15	0.06	0.05	0.007
Č.0270	nesmireno	0.17	0.06	0.06	–
Č.0271	nesmireno	0.15	0.06	0.05	0.007
Č.0361	smireno	0.17	0.05	0.05	0.007
Č.0362	spec. smireno	0.17	0.045	0.045	0.009
Č.0363	spec. smireno	0.17	0.045	0.045	0.009
Č.0370	nesmireno	0.20	0.06	0.06	–
Č.0371	nesmireno	0.17	0.05	0.05	0.007
Č.0460	smireno	0.25	0.06	0.06	–
Č.0461	smireno	0.22	0.05	0.05	0.007
Č.0462	spec. smireno	0.22	0.045	0.045	0.007
Č.0463	spec. smireno	0.22	0.045	0.045	0.007
Č.0471	nesmireno	0.25	0.05	0.05	0.007
Č.0481	smireno	0.20	0.05	0.05	0.007
Č.0482	spec. smireno	0.20	0.045	0.045	0.009
Č.0483	spec. smireno	0.20	0.045	0.045	0.009
Č.0561	smireno	0.20	0.05	0.05	0.007
Č.0562	spec. smireno	0.20	0.045	0.045	0.009
Č.0563	spec. smireno	0.20	0.045	0.045	0.009
Č.0545	smireno	0.30	0.05	0.05	–
Č.0645	smireno	0.40	0.05	0.05	–
Č.0745	smireno	0.50	0.05	0.05	–

Toplinska obrada i upotreba

Oznaka	Kovanje °C	Normali- ziranje °C	Upotreba
Č.0000	–	–	za sporedne svrhe
Č.0261, Č.0270, Č.0271 Č.0361, Č.0362, Č.0363 Č.0370, Č.0371	1200 ... 900	900 ... 930	meki čelik
Č.0460, Č.0461, Č.0462 Č.0463, Č.0471 Č.0481, Č.0482, Č.0483	1150 ... 900	850 ... 880	polutvrdi čelik
Č.0561, Č.0562, Č.0563 Č.0545	1150 ... 900	830 ... 860	tvrdi čelik
Č.0645 Č.0745	1100 ... 850	810 ... 840 780 ... 810	vrlo tvrdi čelik

# Mehanička svojstva

Oznaka	Naprezanje tečenja $R_c$ N/mm <sup>2</sup> min.	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. produž. $A_5$ %	Pokus savijanja* ( $\alpha = 180^\circ$ )	Udarna žilavost KV	
					J	°C
Č.0000	–	330 ... 500	–	$D = 3a$	–	–
Č.0261 Č.0270, Č.0271	210	340 ... 420	28	$D = 0,5a$	28	+20 –
Č.0361 Č.0362 Č.0363 Č.0370, Č.0371	240	370 ... 450	25	$D = 1a$	28 28 28 –	+20 0 –20 –
Č.0460, Č.0461 Č.0462, Č.0463 Č.0471	260	420 ... 500	22	$D = 2a$	– 28 –	– +20 –
Č.0481 Č.0482 Č.0483	290	440 ... 540	22	$D = 2a$	28 28 28	+20 0 –20
Č.0561 Č.0562 Č.0563	360	520 ... 620	22	$D = 2a$	28 28 28	+20 0 –20
Č.0545 Č.0645 Č.0745	300 340 370	500 ... 600 600 ... 720 700 ... 850	20 15 10	– – –	– – –	– – –

\*  $\alpha$  – kut savijanja,  $D$  – promjer pritiskivača,  $a$  – debljina ispitnog uzorka.

Nelegirani čelici za vijke i zakovice: JUS C.B0.506 – 1974.

# Ugljični konstrukcijski čelici s garantiranim sastavom (JUS C.B2.020 – 1958)

Oznaka	Sastav* %			Oznaka	Sastav* %		
	C	Mn	Si maks.		C	Mn	Si maks.
Č.1100	0.08 ... 0.12	0.30 ... 0.60	0.35	Č.1400	0.32 ... 0.38	0.50 ... 0.80	0.35
Č.1101	0.08 ... 0.14	0.30 ... 0.60		Č.1500	0.38 ... 0.45	0.50 ... 0.80	0.35
Č.1209	0.10 ... 0.15	0.30 ... 0.60	0.35	Č.1501	0.42 ... 0.48	0.50 ... 0.80	0.35
Č.1210	0.12 ... 0.18	0.30 ... 0.60		Č.1600	0.48 ... 0.55	0.50 ... 0.80	0.35
Č.1211	0.14 ... 0.22	0.30 ... 0.60	0.35	Č.1601	0.52 ... 0.58	0.50 ... 0.80	0.35
Č.1300	0.18 ... 0.25	0.30 ... 0.60		Č.1700	0.58 ... 0.65	0.50 ... 0.80	0.35
Č.1301	0.18 ... 0.25	0.35 ... 0.60	0.35	Č.1701	0.62 ... 0.70	0.50 ... 0.80	0.35
Č.1302	0.26 ... 0.32	0.40 ... 0.60					

\* Svi ti čelici imaju još  $P_{\max} = 0.06\%$ ,  $S_{\max} = 0.06\%$ ,  $P + S \leq 0.10\%$ .

**Sitnoznatni konstrukcijski čelik**  
(JUS C.B0.502 – 1979)

Vrste: ČRO... osnovni čelik  
ČRV... čelici za visoke temperature  
ČRN... čelici za niske temperature

Sastav (%)

Oznaka	C maks.	Si maks.	Mn	P maks.	S maks.
<b>Kvalitetni čelici</b>					
Č RO 250 Č RV 250	0,18	0,40	0,40...1,30	0,040	0,040
Č RN 250	0,16	0,40	0,50...1,30	0,030	0,030
Č RO 280 Č RV 280	0,18	0,40	0,50...1,40	0,040	0,040
Č RN 280	0,16	0,40	0,60...1,40	0,030	0,030
Č RO 310 Č RV 310	0,18	0,45	0,60...1,50	0,040	0,040
Č RN 310	0,16	0,45	0,70...1,50	0,030	0,030
Č RO 350 Č RV 350	0,20	0,10...0,50	0,90...1,60	0,040	0,040
Č RN 350	0,18	0,10...0,50	0,90...1,60	0,030	0,030
<b>Plemeniti čelici</b>					
Č RO 380 Č RV 380	0,22	–	–	0,040	0,040
Č RN 380	0,22	–	–	0,035	0,035
Č RO 420 Č RV 420	0,22	–	–	0,040	0,040
Č RN 420	0,22	–	–	0,035	0,035
Č RO 460 Č RV 460	0,22	–	–	0,040	0,040
Č RN 460	0,22	–	–	0,035	0,035
Č RO 500 Č RV 500	0,23	–	–	0,040	0,040
Č RN 500	0,23	–	–	0,035	0,035

**Mehanička svojstva (pri temperaturi okoline)**

Oznaka	Naprežanje tečenja $R_e$ N/mm <sup>2</sup> (min.)				Čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. produlj.	Pokus savija- nja* $\alpha = 180^\circ$	
Č RO...	pri debljini (mm)				pri debljini do 50 mm	$A_5$ %	$D$	
Č RV...							uzduž.	popr.
Č RN...	... 16	16	... 35	35	... 50			
... 250	250	250	240		360...480	25	1 a	1 a
... 280	280	280	270		390...510	24	1,5 a	2 a
... 310	310	310	300		440...560	23	2 a	2,5 a
... 350	350	350	340		490...630	22	2 a	3 a
... 380	380	370	360		500...650	20	2,5 a	3,5 a
... 420	420	410	400		530...680	19	2,5 a	3,5 a
... 460	460	450	440		560...730	17	3 a	4 a
... 500	500	480	470		610...770	16	3 a	4 a

\*  $\alpha$  – kut savijanja,  $D$  – promjer pritiskivača,  $a$  – debljina ispitnog uzorka.

**Naprežanje tečenja čelika za visoke temperature**

Oznaka čelika	Naprežanje tečenja $R_e$ (N/mm <sup>2</sup> )*						
	pri temperaturi (°C)						
	100	150	200	250	300	350	400
Č RV 250	220	200	190	170	140	120	110
Č RV 280	240	230	210	190	160	140	120
Č RV 310	260	240	230	210	180	160	140
Č RV 350	290	270	250	230	220	200	170
Č RV 380	320	300	280	260	240	220	190
Č RV 420	350	330	310	280	260	230	210
Č RV 460	390	360	340	310	290	260	230
Č RV 500	410	380	360	330	310	280	250

\* Pri debljini ispitnog uzorka do 50 mm. (Pri debljinama do 35 mm su pri temperaturama 100 i 150 °C naprežanja tečenja viša za 10 N/mm<sup>2</sup>.)

**Žilavost čelika pri niskim temperaturama**

Oznaka čelika		Smjer ispitivanja	Žilavost KV (J)* min				
			pri temperaturi (°C)				
			–60	–40	–20	0	+20
Č RO 250 Č RO 280	uzdužno poprečno				48	62	62
Č RO 310 Č RO 350					34	41	41
Č RO 380 Č RO 420							
Č RO 460	uzdužno				48	55	62
	poprečno				34	38	41
	uzdužno				48	55	55
Č RO 500	poprečno				34	38	41
Č RV 250 Č RV 280	uzdužno poprečno				48	55	62
Č RV 310 Č RV 350					–	41	41
Č RV 380 Č RV 420							
Č RV 460	uzdužno				45	51	58
	poprečno				–	41	41
	uzdužno				41	48	55
Č RV 500	poprečno				–	41	41
Č RN 250 Č RN 280	uzdužno poprečno		34	41	55	62	62
Č RN 310 Č RN 350			24	31	38	45	45
Č RN 380 Č RN 420							
Č RN 460	uzdužno		31	38	51	58	62
	poprečno		24	27	34	41	45
	uzdužno		27	34	48	55	62
Č RN 500	poprečno		24	27	31	38	41

\* Pri debljini do 50 mm i u normaliziranom stanju.

**Čelici za cementiranje**  
(JUS C.B9.020 – 1974)

*Sastav i mehanička svojstva*

Oznaka	Sastav* %				Ža- reno HB	Jezgra – kaljena		
	C	Mn	Cr	drugo		napr. tečenja $R_e$ N/mm <sup>2</sup>	vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	rel. prod. $A_5$ %
Č. 1120 Č. 1121	0,10	0,45	–	–	131	300	500 ... 650	16
Č. 1220 Č. 1221	0,15	0,45	–	–	146	360	600 ... 800	14
Č. 1281	0,15	0,45	–	–	146	360	600 ... 800	14
Č. 4120	0,15	0,50	0,55	–	147	450	700 ... 900	11
Č. 4320 Č. 4321	0,16 0,20	1,15 1,25	0,95 1,15	–	207 217	600 700	800 ... 1100 1000 ... 1300	10 8
Č. 4381 Č. 4382	0,17 0,20	1,15 1,25	0,92 1,15	–	207 217	600 700	800 ... 1100 1000 ... 1300	10 8
Č. 4520	0,16	0,50	1,65	0,30 Mo 1,55 Ni	229	800	1100 ... 1350	8
Č. 4721	0,20	1,05	1,25	0,25 Mo	217	800	1100 ... 1400	7
Č. 4781	0,21	1,05	1,25	0,25 Mo	217	800	1100 ... 1400	7
Č. 7420 Č. 7421	0,20 0,26	0,75 0,75	0,40 0,50	0,45 Mo 0,45 Mo	207 217	600 700	800 ... 1100 1000 ... 1300	10 8
Č. 7480 Č. 7481	0,20 0,26	0,75 0,75	0,40 0,50	0,45 Mo 0,45 Mo	207 217	600 700	800 ... 1100 1000 ... 1300	10 8
Č. 5420 Č. 5421	0,15 0,18	0,50 0,50	1,55 1,95	1,55 Ni 1,95 Ni	217 235	650 800	900 ... 1200 1200 ... 1450	9 7

\* Navedene su prosječne vrijednosti. – Svi nelegirani čelici imaju još 0,15 ... 0,35% Si, legirani 0,15 ... 0,40% Si. – Čelici Č. 1120 i Č. 1220 imaju  $P_{\max} = 0,045\%$  i  $S_{\max} = 0,045\%$ , svi ostali čelici imaju  $P_{\max} = 0,035\%$  i  $S_{\max} = 0,035\%$ .

*Toplinska obrada<sup>1)2)</sup>*

Oznaka	Kaljenje jezgre <sup>3)</sup> °C	Među- žarenje <sup>4)</sup> °C	Kaljenje površine <sup>3)</sup> °C	Popuštanje °C
Č. 1120 Č. 1121 Č. 1220 Č. 1221 Č. 1281	890 ... 920 v, k	–	–	150 ... 180
Č. 4120	870 ... 900 v, k	–	–	150 ... 180
Č. 4320 Č. 4321 Č. 4381 Č. 4382 Č. 4520 Č. 4721 Č. 4781	850 ... 880 u, k	–	810 ... 840 u	170 ... 210
Č. 7420 Č. 7421 Č. 7480 Č. 7481	890 ... 920	–	–	170 ... 210
Č. 5420 Č. 5421	840 ... 870 u, v, k i 630 ... 650 p, z i 800 ... 830 u, k	–	–	170 ... 210

<sup>1)</sup> Kovanje pri 1100 ... 850 °C – <sup>2)</sup> Ugljičenje pri 900 ... 950 °C. – <sup>3)</sup> Gašenje: v – u vodi, u – u ulju, k – u solnoj kupelji 160 ... 250 °C. – <sup>4)</sup> Hlađenje: p – u peći, z – na zraku.

*Prokaljivost*

Oznaka čelika	Tvrdća HRC*													
	na udaljenosti od čelone plohe (mm)													
	1,5	3	5	7	9	12	15	20	25	30	35	40		
Č. 4320 Č. 4381	47 39	46 35	44 31	41 28	37 24	34 21	33	31	30	29	28	27		
Č. 4321 Č. 4382	49 41	49 39	48 36	46 33	44 31	41 28	40 25	37 23	35 21	34	33	31		
Č. 4520	48 40	48 40	48 39	48 38	47 37	46 35	46 34	44 32	43 31	42 30	41 29	41 29		
Č. 4721 Č. 4781	50 42	50 41	49 39	48 38	47 36	45 34	44 32	42 29	41 27	40 26	39 25	38 24		
Č. 7420 Č. 7480	49 41	47 35	43 30	40 27	36 23	32	29	26	24	23	22	21		
Č. 7421 Č. 7481	52 44	51 41	50 37	47 33	43 30	39 26	36 24	33 21	31	30	29	28		
Č. 5420	47 39	47 38	46 36	45 35	43 32	41 29	39 26	37 24	35 22	34 21	34 20	33 20		
Č. 5421	49 41	49 41	49 40	49 39	49 39	49 37	49 36	48 35	47 35	47 34	46 34	46 33		

\* Gornji i donji broj označuju granične vrijednosti tvrdoće.

**Čelici za poboljšavanje (JUS C.B9.021 – 1974)**

**Sastav i mehanička svojstva**

Oznaka	Sastav* %					Žareno tvrdo- ća HB max.	Poboljšano**			
							napr. tečenja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	vlačna čvrst. min. N/mm <sup>2</sup>	postot. prod. $A_5$ %	
	C	Mn	Cr	Mo	drugo					
Č. 1330	0,22	0,45	–	–	–	156	300	500	22	
Č. 1331	0,22	0,45	–	–	–	156	300	500	22	
Č. 1430	0,35	0,65	–	–	–	183	370	590	19	
Č. 1431	0,35	0,65	–	–	–	183	370	590	19	
Č. 1480	0,35	0,65	–	–	–	183	370	590	19	
Č. 1530	0,46	0,65	–	–	–	207	420	670	16	
Č. 1531	0,46	0,65	–	–	–	207	420	670	16	
Č. 1580	0,46	0,65	–	–	–	207	420	670	16	
Č. 1630	0,56	0,75	–	–	–	229	470	750	14	
Č. 1631	0,56	0,75	–	–	–	229	470	750	14	
Č. 1680	0,56	0,75	–	–	–	229	470	750	14	
Č. 1730	0,61	0,75	–	–	–	241	500	800	14	
Č. 1731	0,61	0,75	–	–	–	241	500	800	14	
Č. 1780	0,61	0,75	–	–	–	241	500	800	13	
Č. 3130	0,40	0,95	–	–	0,38 Si	217	550	800	14	
Č. 3135	0,28	1,48	–	–	–	223	500	700	15	
Č. 4130	0,33	0,75	1,05	–	–	217	600	800	14	
Č. 4131	0,42	0,65	1,05	–	–	217	680	900	12	
Č. 4132	0,38	0,65	0,50	–	–	207	450	700	15	
Č. 4133	0,46	0,65	0,50	–	–	207	550	800	14	
Č. 4134	0,38	0,75	1,05	–	–	217	640	800	13	
Č. 4180	0,33	0,75	1,05	–	–	217	600	800	14	
Č. 4181	0,42	0,65	1,05	–	–	217	680	900	12	
Č. 4184	0,38	0,75	1,05	–	–	217	640	800	13	
Č. 4730	0,25	0,65	1,05	0,22	–	212	600	800	14	
Č. 4731	0,34	0,65	1,05	0,22	–	217	680	900	12	
Č. 4732	0,42	0,65	1,05	0,22	–	217	780	1000	11	
Č. 4733	0,50	0,65	1,05	0,22	–	235	800	1000	10	
Č. 4734	0,30	0,55	2,50	0,20	0,15 V	248	1050	1250	9	
Č. 4738	0,32	0,55	3,05	0,40	0,30 Ni	248	1050	1250	9	
Č. 4781	0,34	0,65	1,05	0,22	–	217	680	900	12	
Č. 4782	0,42	0,65	1,05	0,22	–	217	780	1000	11	
Č. 4830	0,51	0,90	1,05	–	0,15 V	235	800	1000	10	
Č. 5430	0,36	0,65	1,05	0,22	1,05 Ni	217	800	1000	11	
Č. 5431	0,34	0,55	1,55	0,22	1,55 Ni	235	900	1100	10	
Č. 5432	0,30	0,45	2,00	0,40	2,00 Ni	248	1050	1250	9	

\* Navedene su prosječne vrijednosti. – Svi čelici (osim Č. 3130 i Č. 3230) imaju još oko 0,25...0,35% Si. – \*\*  $P_{max}$  i  $S_{max}$  su za sve čelike Č. 1330, Č. 1430, Č. 1530, Č. 1630 i Č. 1730 po 0,045%, za sve druge čelike po 0,035%.

**Toplinska obrada**

Oznaka	Kovanje °C	Meko žarenje °C	Norma- lizacija °C	Poboljšanje***	
				kaljenje u vodi °C	kaljenje u ulju °C
Č. 1330	1100...900	650...700	880...910	860...890	870...900
Č. 1331	1100...900	650...700	880...910	860...890	870...900
Č. 1430	1100...850	650...700	860...890	840...870	850...880
Č. 1431	1100...850	650...700	860...890	840...870	850...880
Č. 1480	1100...850	650...700	860...890	840...870	850...880
Č. 1530	1100...850	650...700	840...870	820...850	830...860
Č. 1531	1100...850	650...700	840...870	820...850	830...860
Č. 1580	1100...850	650...700	840...870	820...850	830...860
Č. 1630	1050...850	650...700	830...860	805...835	815...845
Č. 1631	1050...850	650...700	830...860	805...835	815...845
Č. 1680	1050...850	650...700	830...860	805...835	815...845
Č. 1730	1050...850	650...700	820...850	800...830	810...840
Č. 1731	1050...850	650...700	820...850	800...830	810...840
Č. 1780	1050...850	650...700	820...850	800...830	810...840
Č. 3130	1100...850	650...700	850...880	820...850	830...860
Č. 3139	1100...850	650...700	850...880	820...850	830...860
Č. 4130	1050...850	680...720	850...890	830...860	840...870
Č. 4131	1050...850	680...720	850...890	830...860	840...870
Č. 4132	1100...850	650...700	850...880	830...860	840...870
Č. 4133	1100...850	650...700	840...870	820...850	830...860
Č. 4134	1050...850	680...720	845...885	825...855	835...865
Č. 4180	1050...850	680...720	850...890	830...860	840...870
Č. 4181	1050...850	680...720	840...880	820...850	830...860
Č. 4184	1050...850	680...720	845...885	825...855	835...865
Č. 4730	1050...850	680...720	860...900	840...870	850...880
Č. 4731	1050...850	680...720	850...890	830...860	840...870
Č. 4732	1050...850	680...720	840...880	820...850	830...860
Č. 4733	1050...850	680...720	840...880	820...850	830...860
Č. 4734	1050...850	680...720	860...900	840...870	850...880
Č. 4738	1100...900	680...720	880...920	–	860...900
Č. 4781	1050...850	680...720	850...890	830...860	840...870
Č. 4782	1050...850	680...720	840...880	820...850	830...860
Č. 4830	1050...850	680...720	840...880	(820...850)	830...860
Č. 5430	1050...850	650...700	850...880	820...850	830...860
Č. 5431	1050...850	650...700	850...880	–	830...860
Č. 5432	1050...850	650...700	850...880	–	830...860

\*\* Vrijednosti za mehanička svojstva u poboljšanom stanju (str. 366) vrijede pri debljinama materijala 16...50 mm. Pri manjim (većim) debljinama vrijednosti su za naprezanje tečenja i čvrstoću veće (manje), a za produljenje manje (veće).

\*\*\* Popuštanje nakon kaljenja pri 550...660 °C.

*Kaljivost čelika za poboljšanje*

Oznaka čelika	Tvrdća HRC *													
	na udaljenosti od čone plohe (mm)													
	1,5	3	5	7	9	12	15	20	25	30	40	50		
Č. 3139	55	54	51	48	45	40		37	33	31	29	27	26	
	46	43	37	31	27	22								
Č. 4130, Č. 4180	57	57	56	54	52	47	44	39	37	35		33	31	
	49	48	45	41	35	30	27	23	21	20				
Č. 4131, Č. 4181	61	61	60	59	58	55	52	46	42	40	37	35		
	53	52	50	47	44	39	35	30	27	25	22	20		
Č. 4132	59	57	54	49	43	38		35	32	30	27	24	22	
	51	46	37	29	25	21								
Č. 4133	63	61	57	52	46	41	38	35						
	54	49	40	32	28	24	22	20	33	31	28	26		
Č. 4134, Č. 4184	59	59	58	57	55	51	48	42	39	37				
	51	50	48	44	39	34	31	26	24	22	35	33		
Č. 4730	52	52	51	50	48	44	41	37	35	33		31	31	
	44	43	40	37	34	30	27	23	21	20				
Č. 4731, Č. 4781	57	57	57	56	55	53	52	48	45	43	40	39		
	49	49	48	45	42	38	34	30	28	27	25	24		
Č. 4732, Č. 4782	61	61	61	60	60	59	58	56	53	51	47	45		
	53	53	52	51	50	46	43	38	35	34	32	32		
Č. 4733	64	64	64	63	63	61	60	59	57	55	53	52		
	56	55	54	53	51	49	46	42	40	39	37	36		
Č. 4734	56	56	56	56	56	56	55	54	53	52	50	48		
	48	48	47	47	46	45	44	41	39	38	36	34		
Č. 4738	57	57	57	57	57	57	57	56	55	55	54	53		
	49	48	48	48	47	47	46	46	46	46	45	44		
Č. 4830	65	65	64	64	63	62	61	60	58	56	54	53		
	57	56	56	55	53	51	48	44	41	40	38	37		
Č. 5430	59	59	58	58	57	57	56	55	54	53	51	49		
	51	50	49	49	48	46	45	43	41	39	36	33		
Č. 5431	58	58	58	58	57	57	56	56	56	55	55	55		
	50	50	49	49	48	48	47	46	45	44	43	41		
Č. 5432	57	57	57	57	56	56	56	56	55	55	55	55		
	49	49	49	49	48	48	47	47	46	46	45	44		

\* Gornji i donji broj označuju granične vrijednosti tvrdoće.

**Čelici za nitiranje**

*Sastav i mehanička svojstva*

Oznaka po JUS	Sastav %					Tvrdća (žar.) HB	U poboljšanom stanju			Tvrdća nitirane površine HV
							naprez. teč. $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	vlačna čvrstoća N/mm <sup>2</sup>	post. prod. $A_5$ %	
	C	Cr	Mo	Al	ostalo					
Č. 4531	0,34	1,7	0,2	0,1	1,0 Ni	245	590	780 ... 980	13	950
Č. 4734	0,30	2,5	0,2	—	0,15 V	248	785	980 ... 1180	11	750
Č. 4739	0,33	1,1	0,2	0,1	—	248	590	780 ... 980	14	900

*Toplinska obrada*

Oznaka	Kovanje °C	Žarenje °C	Normali- ziranje °C	Kaljenje °C	Popuštanje °C
Č. 4531	1050 ... 850	650 ... 700	—	850 ... 900 ulje	580 ... 660
Č. 4734	1050 ... 850	680 ... 720	860 ... 900	850 ... 880 ulje	580 ... 630
Č. 4739	1050 ... 850	680 ... 710	900 ... 930	870 ... 910 voda	580 ... 650

**Magnetski lim za transformatore i električne strojeve**  
(JUS C. K5.020 — 1955)

Oznaka	Gubici (W/kg)		Magnetska indukcija $B$ (T)							
	za $B$ (T)		u magnetskom polju $H$ (A/m)							
	1,0	1,5	40	160	1000	5000	10000	50000	100000	

**Transformatorski lim**

MT 93	0,93	2,40	0,45	1,02	1,36	1,55				
MT 100	1,00	2,60	0,20	0,87	1,34	1,55				
MT 110	1,10	2,80	0,20	0,87	1,34	1,55				
MT 125	1,25	3,10	0,20	0,87	1,34	1,55				
MT 135	1,35	3,40	0,20	0,87	1,34	1,55				
MT 145	1,45	3,70	0,20	0,87	1,34	1,55				

**Dinamo-lim**

MD 170	1,70	4,30		0,86	1,34	1,57	1,70	2,01	2,09	
MD 200	2,00	5,30		0,86	1,34	1,57	1,70	2,01	2,09	
MD 240	2,40	6,80		0,92	1,39	1,63	1,75	2,08	2,17	
MD 280	2,80	8,00		0,92	1,39	1,63	1,75	2,08	2,17	
MD 700	... 7,00	... 16,00		0,92	1,39	1,63	1,75	2,08	2,17	

**Čelici za automate**  
(JUS C.B0.505 – 1984)

Oznaka	Sastav %					Upotreba za
	C	Si	Mn	S	P max.	
Č. 1190	0,07 ... 0,12	do 0,25	0,60 ... 0,90	0,18 ... 0,25	0,07	cementiranje
Č. 1290	0,12 ... 0,18	0,10 ... 0,40	0,60 ... 0,90	0,18 ... 0,26	0,07	cementiranje
Č. 1490	0,32 ... 0,39	0,10 ... 0,40	0,60 ... 0,90	0,15 ... 0,25	0,07	poboljšanje
Č. 1590	0,42 ... 0,50	0,10 ... 0,40	0,60 ... 0,90	0,15 ... 0,25	0,07	poboljšanje
Č. 3190	0,14 ... 0,20	0,10 ... 0,40	1,10 ... 1,40	0,20 ... 0,25	0,07	cementiranje
Č. 3990	0,08 ... 0,14	do 0,05	0,90 ... 1,30	0,24 ... 0,32	0,11	
Č. 3991	0,10 ... 0,15	do 0,05	1,00 ... 1,50	0,30 ... 0,40	0,11	
Č. 3993	0,08 ... 0,14	do 0,05	0,90 ... 1,30	0,24 ... 0,32	0,11	0,15 ... 0,35 Pb

*Mehanička svojstva (pri debljini 16 ... 40 mm)*

Oznaka	Stanje	Naprezanje tečenja $R_e$ N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postotno produlj. $A_5$ % min.
Č. 1190	hladno vučeno	355	460 ... 710	9
	normalizirano	215	> 350	25
Č. 1290	hladno vučeno	375	460 ... 710	8
	normalizirano	225	> 370	23
Č. 1490	hladno vučeno	315	540 ... 740	8
	normalizirano	285	480 ... 600	18
	poboljšano	365	580 ... 730	16
Č. 1590	hladno vučeno	375	640 ... 830	7
	normalizirano	325	580 ... 700	14
	poboljšano	410	660 ... 800	13
Č. 3190	hladno vučeno	410	510 ... 760	8
	normalizirano	250	> 380	20
Č. 3990	hladno vučeno	375	460 ... 710	8
	normalizirano	225	> 370	23
Č. 3991	hladno vučeno	390	490 ... 740	8
	normalizirano	225	> 370	23
Č. 3993	hladno vučeno	375	460 ... 710	8
	normalizirano	225	> 370	23

*Toplinska obrada čelika za automate pri cementiranju*

Oznaka	Meko žarenje °C	Normalizacija °C	Ugljičenje °C	Toplinska obrada nakon ugljičenja*
Č. 1190)	650 ... 700		u prašku 850 ... 930	1. kaljenje 890 ... 920/v, u međuzar. 650 ... 680
Č. 1290)	(za vuče- ni čelik	890 ... 920	u sol. kup. 780 ... 930	2. kaljenje 770 ... 800/v, u popuštanje 150 (1 h)
Č. 3190)	600 ... 620)		u plinu 900 ... 920	

\* Gašenje: v – u vodi, u – u ulju.

*Toplinska obrada čelika za automate – za poboljšanje*

Oznaka	Meko žarenje °C	Normalizacija °C	Poboljšanje*	
			gašenje °C	popuštanje °C
Č. 1490	650 ... 700	860 ... 890	840 ... 870/v ali 850 ... 880/u	530 ... 670
Č. 1590	650 ... 700	840 ... 870	830 ... 860/u	530 ... 670

\* Gašenje: v – u vodi, u – u ulju.

**Čelici za opruge**

(JUS C.B0.551 – 1984)

*Sastav i mehanička svojstva*

Oznaka	Sastav (prosječne vrijednosti) %					Žarenje  HB maks.	Poboljšano		Post. prod. A <sub>5</sub> %
							naprez. tečenja R <sub>p0.2</sub> N/mm <sup>2</sup>	vlačna čvrstoća R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	
	C	Si	Mn	Cr	V				
Č. 2133	0,55	1,65	0,85	–	–	245	1130	1320 ... 1570	6
Č. 2330	0,60	1,45	1,05	–	–	255	1130	1320 ... 1570	6
Č. 2332	0,64	1,65	0,85	–	–	255	1130	1320 ... 1570	6
Č. 2430	0,60	1,65	0,85	0,30	–	255	1130	1320 ... 1570	6
Č. 4230	0,67	1,30	0,50	0,50	–	255	1180	1370 ... 1620	6
Č. 4332	0,55	0,25	0,85	0,85	–	248	1180	1370 ... 1620	6
Č. 4830	0,51	0,25	0,90	1,05	0,15	241	1180	1370 ... 1670	6

*Toplinska obrada*

Oznaka	Kovanje °C	Meko žarenje °C	Normalizacija °C	Poboljšanje*	
				kaljenje °C	popuštanje °C
Č. 2133)					
Č. 2330)	1050 ... 850	640 ... 680	830 ... 860	830 ... 860/u	350 ... 550
Č. 2332)					
Č. 2430)					
Č. 4230)	1100 ... 850	640 ... 680	850 ... 880	830 ... 860/u	350 ... 550
Č. 4332)					
Č. 4830)					

\* Gašenje: u – u ulju.

\*

Čelici za lance: JUS C.B0.507 – 1973.



**Hladno valjani čelični lim od malouglijčnog čelika**  
(JUS C.B4.016 – 1978)

Oznaka*	Sastav (%)				Naprez. tečenja $R_e$ N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. produž. $A_5$ %	Tvrdoća	
	C maks.	Mn maks.	P maks.	S maks.				HRB	HR30T
Č. 0145	0,15	0,60	0,050	0,050	–	200...500	–	–	–
Č. 0146	0,12	0,50	0,040	0,040	280	280...410	28	65	60
Č. 0147	0,10	0,45	0,030	0,030	250	280...380	32	57	55
Č. 0148	0,08	0,45	0,030	0,030	220	280...360	36	50	50

\* Pri Č.0145 do Č.0148: dodatna oznaka N: neumireno  
Pri Č.0147 i Č.0148: još i dodatna oznaka SU: specijalno umireno  
Upotreba: Č.0145 – za opću upotrebu; Č.0146 – za izvlačenje;  
Č.0147 – za duboko izvlačenje; Č.0148 – za veoma duboko izvlačenje

**Hladno valjane čelične trake od malouglijčnog čelika**  
(JUS C.B3.521 – 1967)

Vrste čelika: Č.0146, Č.0147, Č.0148

Dopunska Oznaka	Stupanj tvrdoće	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_{10}$ %	Upotrebljivost
HT 28	meko	280...400	25	} izvlačenje
HT 30	ojačano	300...420	23	
HT 32	1/8 tvrdo	320...440	16	} izvlačenje štancanje
HT 40	1/4 tvrdo	400...500	10	
HT 45	1/2 tvrdo	450...550	5	} probijanje
HT 55	3/4 tvrdo	550...650	3	
HT 60	tvrd	> 600	2	

**Valjana čelična žica**  
(JUS C.B0.501 – 1977)

Skupina	Oznaka žice*	Sastav (%)**					drugo
		C	Si	Mn	P	S	
A	Ž 8N Ž 8U	0,08	0,30	0,48	0,040	0,040	–
	...	...	...	...	...	...	...
	Ž22N Ž22U	0,22	0,30	0,58	0,050	0,050	–
B	PŽ12	0,15	0,20	0,45	0,040	0,040	0,025 Cu
	...	...	...	...	...	...	0,015 Cr
	PŽ90	0,95	0,20	0,50	0,040	0,040	0,015 Ni

\* N – neumireno, U – umireno.

\*\* Prosječne vrijednosti.

\*

Vučena obična čelična žica (JUS C.B6.010 – 1980)

Vučena čelična žica za posebne svrhe (JUS C.B6.011 – 1980)

Vučena čelična žica za opruge (JUS C.B6.018 – 1980)

**Čelici za valjane cijevi propisanih mehaničkih svojstava**  
(JUS C.B5.021 – 1964)

Oznaka	Sastav*			Naprez. tečenja $R_e$ N/mm <sup>2</sup> min.	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. produž. $A_5$ % min.
	C	Mn min.	Si			
Č. 1212	do 0,17	0,40	0,10...0,35	240	350...450	25
Č. 1213	do 0,22	0,40	0,10...0,35	260	450...550	21
Č. 1402	do 0,36	0,40	0,10...0,35	300	550...650	17
Č. 1502	≈ 0,45	0,40	0,10...0,35	400	650...750	12
Č. 3100	do 0,22	1,50	0,10...0,55	360	520...620	22

\* Sve vrste čelika te skupine imaju P ≤ 0,05% i S ≤ 0,05%.

**Čelici za valjane cijevi za više temperature (JUS C.B5.022 – 1965)**  
Sastav (%)

Ozna- ka	C	Si	Mn	Cr	Mo	P maks.	S maks.
Č. 1214	do 0,17	0,10...0,35	do 0,40	–	–	0,05	0,05
Č. 1215	do 0,22	0,10...0,35	do 0,45	–	–	0,05	0,05
Č. 7100	0,12...0,20	0,15...0,35	0,50...0,80	–	0,25...0,35	0,04	0,04
Č. 7400	0,10...0,18	0,15...0,35	0,40...0,70	0,7...1,0	0,40...0,50	0,04	0,04
Č. 7401	do 0,15	0,15...0,50	0,40...0,60	2,0...2,5	0,9...1,1	0,04	0,04

**Mehanička svojstva**

Oznaka	Naprezanje tečenja $R_e$ N/mm <sup>2</sup> *								Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ % min
	pri temperaturi °C									
	20	200	250	300	350	400	450	500		
Č. 1214	235	186	167	137	118	108	88	–	340 ... 440	25
Č. 1215	255	206	186	157	137	128	108	–	440 ... 540	21
Č. 7100	285	255	235	206	186	177	167	147	440 ... 570	22
Č. 7400	295	275	255	235	216	206	196	176	440 ... 570	22
Č. 7401	265	245	235	226	216	206	196	186	440 ... 590	20

\* Vremensko naprezanje tečenja i čvrstoća razabiru se iz tablice na str. 375.

**Toplinska obrada**

Oznaka	Oblikovanje u vrućem °C	Žarenje na- kon oblikov. u hladnom °C	Norma- lizacija °C	Poboljšanje	
				kaljenje* °C	popuštanje °C
Č. 1214	1100...850	650...700	900...930	–	–
Č. 1215	1100...850	650...700	870...900	–	–
Č. 7100	1100...850	660...700	910...940	–	–
Č. 7400	1100...850	680...720	–	910...940 z	650...720
Č. 7401	1100...850	730...780	–	900...960 z	680...780

\* z – hlađenje na zraku.

**Čelik za kotlovski lim (JUS C.B4.014 – 1977)**

**Sastav i toplinska obrada**

Oznaka	Sastav (%)*					Vruća obrada °C	Norma- lizacija °C	Žarenje za popušt. napetosti °C
	C	Si	Mn	Cr	Mo			
Č. 1202	< 0,16	< 0,35	> 0,40	< 0,30			910 ... 940	600 ... 650
Č. 1204	< 0,20	< 0,35	> 0,50	< 0,30			890 ... 920	
Č. 1206	< 0,22	< 0,35	> 0,55	< 0,30		1000	880 ... 910	
Č. 3105	0,17	0,30	1,05	< 0,30		...	880 ... 910	550 ... 620
Č. 3133	0,20	0,50	1,15	< 0,30		850	—	
Č. 7100	0,16	0,25	0,60		0,30		910 ... 940	
Č. 7400	0,14	0,25	0,55	0,85	0,45		— **	650 ... 720

\* Čelici Č. 1202 do 1206 imaju najviše po 0,050% P i S, drugi čelici pa najviše po 0,040% P i S. — \*\* Čelik Č. 7400 poboljšava se kaljenjem pri 910 ... 940 °C i popuštanjem pri 650 ... 720 °C.

**Mehanička svojstva**

Oznaka	Naprežanje tečenja $R_e$ N/mm <sup>2</sup>					Vlačna čvrstoća N/mm <sup>2</sup>	Post. prod. $A_5$ %	Žila- vost KU/3 J	Pokus savijanja ( $\alpha = 180^\circ$ ) *
	pri temperaturi °C								
	20	200	300	400	450				
Č. 1202	215	177	137	98	78	340...440	25	56	$D = 0,5 a$
Č. 1204	245	206	157	118	98	400...490	22	49	$D = 2 a$
Č. 1206	265	226	177	137	118	430...520	21	42	$D = 2,5 a$
Č. 3105	315	265	226	176	156	510...610	18	35	$D = 3,5 a$
Č. 3133	275	245	206	157	136	460...550	19	35	$D = 3 a$
Č. 7100	285	255	206	177	167	440...570	21	42	$D = 3 a$
Č. 7400	295	275	235	206	196	440...570	20	42	$D = 3 a$

\*  $\alpha$  – kut savijanja,  $D$  – promjer pritiskivača,  $a$  – debljina ispitnog uzorka.

Temperatura °C	20	300	400	500	600
Modul elastičnosti $E$ N/mm <sup>2</sup>	210 000	185 000	175 000	165 000	155 000

**Toplinska vodljivost i temperaturni koeficijent rastezanja**

Oznaka	Toplinska vodljivost $\lambda$ W/mK						
	pri temperaturi °C						
	20	100	200	300	400	500	600
Č. 1202	54,7	52,9	50,0	47,1	44,2	40,7	
Č. 1204	53,5	51,7	48,8	45,9	43,0	40,1	
Č. 1206	52,3	50,6	48,3	45,3	42,4	39,5	
Č. 3105	53,5	51,2	47,7	44,2	39,5	34,9	
Č. 7100	49,4	48,3	45,9	43,6	40,7	37,8	34,9
Č. 7400	44,2	43,0	41,3	39,5	37,2	34,3	31,4

Između 20 °C i temperature °C 100 200 300 400 500 600  
Temperaturni koef. rastezanja  $\alpha$   $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot \text{K})$  11,1 12,1 12,9 13,5 13,9 14,1

**Vremensko naprezanje tečenja i čvrstoća**

Vremensko naprezanje tečenja  $R_{p1/t}$  je naprezanje koje izaziva trajno postotno produljenje 1%:

$R_{p1/10000} - v \ 10000 \text{ h}$

$R_{p1/100000} - v \ 100000 \text{ h}$

Vremenska čvrstoća  $R_{m/t}$  je naprezanje koje izaziva lom:

$R_{m/10000} - v \ 10000 \text{ h}$

$R_{m/100000} - v \ 100000 \text{ h}$

$R_{m/200000} - v \ 200000 \text{ h}$

Oznaka čelika	$R_{p1}, R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Temperatura °C							
		380	400	420	440	460	480	500	520
Č. 1202	$R_{p1/10000}$	164	136	113	91	72	53	38	
Č. 1204	$R_{p1/100000}$	118	95	74	57	42	30	21	
Č. 1206	$R_{m/10000}$	229	191	158	127	100	75	54	
Č. 1214	$R_{m/100000}$	165	132	103	79	59	42	29	
Č. 1215	$R_{m/200000}$	145	115	89	67	48	33	24	
Č. 3105 Č. 3133	$R_{p1/10000}$	167	135	107	82	63	49	39	
	$R_{p1/100000}$	118	92	69	51	38	29	22	
	$R_{m/10000}$	250	200	156	121	90	69	54	
	$R_{m/100000}$	177	136	103	75	53	39	30	
	$R_{m/200000}$	158	119	89	65	44	32	26	
Č. 7100		Temperatura °C							
		460	480	500	520	540	560	580	600
		$R_{p1/10000}$	199	166	132	99	71		
		$R_{p1/100000}$	147	107	74	46	28		
		$R_{m/10000}$	279	228	177	127	86		
Č. 7400		$R_{m/100000}$	211	143	93	59	38		
		$R_{m/200000}$	193	121	74	45	28		
		$R_{p1/10000}$	227	192	157	122	90	64	
		$R_{p1/100000}$	167	133	98	70	46	30	
		$R_{m/10000}$	338	284	230	172	125	86	
Č. 7401		$R_{m/100000}$	252	190	137	94	61	40	
		$R_{m/200000}$	229	167	115	76	47	31	
		$R_{p1/10000}$	179	147	119	94	73	57	44
		$R_{p1/100000}$	130	103	78	58	41	30	23
		$R_{m/10000}$	240	196	157	123	95	74	59
		$R_{m/100000}$	184	142	108	78	56	41	29
		$R_{m/200000}$	170	128	95	68	47	33	24

### Čelici otporni prema kemijskim utjecajima

#### Sastav i mehanička svojstva\*

Oznaka	Železarna Ravne	Sastav %					Naprez. teč. $R_{p0.2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Post. prod. $A_5$ %
		C	Cr	Ni	Si, Mo	ost.			
Č. 4170	Prokron 1	0,08	13,0	–	–	–	400	550 ... 700	16
Č. 4171	Prokron 2	0,15	13,0	–	–	–	450	650 ... 800	16
Č. 4172	Prokron 3	0,20	13,0	–	–	–	550	800 ... 950	14
Č. 4570	Prokron 2 spec.	0,20	17,0	2,0	–	–	600	800 ... 950	14
Č. 4572	Prokron 11 spec.	0,08	18,0	10,5	–	+ Ti	205	500 ... 750	35
Č. 4573	Prokron 12	0,08	17,5	12,5	2,0 Mo	–	205	500 ... 700	40
Č. 4574	Prokron 12 spec.	0,08	17,5	12,5	2,0 Mo	+ Ti	225	500 ... 750	35
Č. 4580	Prokron 11 ex.	0,07	18,0	11,0	–	–	185	500 ... 700	45
Č. 4582	Prokron 11 Nb	0,10	18,0	10,0	–	+ Nb	205	500 ... 750	35
Č. 4583	Prokron 12 Nb	0,10	18,0	12,0	2,0 Mo	+ Nb	225	500 ... 750	35

\* Za čelike od Č. 4170 do Č. 4570 u poboljšanom stanju, za austenitne čelike od Č. 4571 do Č. 4583 u gašenom stanju.

#### Čvrstoća pri višim temperaturama

Oznaka	Čvrstoća N/mm <sup>2</sup>							
	pri °C							
	20	100	200	300	400	500	600	700
Č. 4171	750	700	650	600	550	500	340	240
Č. 4172	750	700	650	600	550	500	340	240
Č. 4570	750	700	650	600	550	500	340	240

#### Toplinska obrada

Oznaka	Kovanje* °C	Žarenje °C	Kaljenje** °C	Popuštanje*** °C
Č. 4170	1150 ... 750	750 ... 800	950 ... 1000 u, z	700 ... 750
Č. 4171	1150 ... 750	750 ... 800	980 ... 1030 u, z	700 ... 750
Č. 4172	1150 ... 750	750 ... 800	950 ... 1030 u, z	650 ... 700
Č. 4570	1100 ... 750	660 ... 700	1000 ... 1050 u	630 ... 720

\* Polagano zagrijavati i polagano ohlađivati. – \*\* Gašenje: u – u ulju, z – na zraku.  
\*\*\* Boje popuštanja za te čelike ne vrijede (vidi str. 352).

Austenitne čelike (Č. 4571 do Č. 4583) kujemo pri 1150 ... 750 °C, a gasimo pri 1050 ... 1100 °C u vodi.

### Čelici za ventile

#### Sastav i mehanička svojstva (u poboljšanom stanju)

Oznaka	Železarna Ravne	Sastav %					Naprez. teč. $R_{p0.2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Post. prod. $A_5$ %
		C	Si	Cr	Ni	drugo			
Č. 2331	2 Si	0,60	1,7	–	–	–	685	880 ... 1030	12
Č. 4270	Prokron 8	0,45	3,2	9,0	–	–	700	800 ... 1100	14
Č. 4581	Prokron 9	0,80	2,0	20,0	1,4	–	685	880 ... 1130	5
Č. 4588	21-4-N	0,50	–	21,0	4,0	0,40 N	540	980 ... 1180	10
Č. 4870	28-30-4-N	0,5	–	21,0	3,8	9,0 Mn*	600	950 ... 1150	10

\* Također: 1,0 Mo; 1,0 V; 1,0 Nb; 0,40 N.

#### Toplinska obrada

Oznaka	Kovanje °C	Žarenje °C	Kaljenje <sup>2)</sup> °C	Popuštanje °C
Č. 2331	1050 ... 1080	680 ... 720	830 ... 850 u	620 ... 680
Č. 4270	1100 ... 900 <sup>1)</sup>	700 ... 820	1000 ... 1050 u	700 ... 820 <sup>3)</sup>
Č. 4581	1100 ... 900 <sup>1)</sup>	820 ... 860	1050 ... 1180 u, z	700 ... 750
Č. 4588	1150 ... 900 <sup>1)</sup>	–	1140 ... 1180 v	–
Č. 4870	1100 ... 950 <sup>1)</sup>	770 ... 820	1140 ... 1180 u, z	650 ... 750

<sup>1)</sup> Ohlađivanje u pepelu. – <sup>2)</sup> Oznake: »u« i »z« znače gašenje u ulju, odn. na zraku. – <sup>3)</sup> Ohlađivanje 1 ... 2 h na zraku.

### Vatrostalni čelici

#### Sastav i mehanička svojstva

Oznaka	Železarna Ravne	Sastav %						Naprez. teč. $R_{p0.2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Post. prod. $A_5$ %
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Al			
Č. 4970	Prokron 10	0,12	1,3	–	24,0	–	1,5	280	520 ... 720	10
Č. 4972	X 10 Cr Al 13	0,12	1,0	–	13,0	–	1,0	250	450 ... 650	15
Č. 4973	X 10 Cr Al 18	0,12	1,0	–	18,0	–	1,0	270	500 ... 700	12
Č. 4578	Prokron 19	0,20	2,0	1,5	25,0	20,0	–	230	550 ... 800	30
Č. 4579	Prokron 20	0,15	1,7	1,5	16,0	35,0	–	230	550 ... 800	30

#### Toplinska obrada i upotreba

Oznaka	Kovanje	Žarenje	Gašenje u vodi	Upotreba
Č. 4970	1100 ... 750	750 ... 850	–	postoj. u vatri do 1150 °C
Č. 4972	1100 ... 800	800 ... 850	–	postoj. u vatri do 850 °C
Č. 4973	1100 ... 800	800 ... 850	–	postoj. u vatri do 1000 °C
Č. 4578	1150 ... 850	–	1500 ... 1100	austenitni čelik, ne podnosi
Č. 4579	1100 ... 850	–	1500 ... 1100	postojan do 1200 °C

### Čelici postojani pri višim temperaturama

Za standardirane vrste čelika Č. 7100 i Č. 7400 vidi podatke na str. 374!

*Sastav i mehanička svojstva (u poboljšanom stanju)*

Oznaka po JUS	Sastav %					Naprez. tečenja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ %
	C	Mn	Cr	Mo	V			
Č. 7431	0,22	0,60	1,1	0,45	–	500	650 ... 800	15
Č. 7432	0,24	0,60	1,3	0,50	0,2	550	700 ... 850	16

*Trajna čvrstoća pri višim temperaturama*

Oznaka	Granica puženja N/mm <sup>2</sup> pri °C				Upotreba (do 530 °C)
	400	450	500	550	
Č. 7431	320	240	150	(70)	dijelovi parnih turbina (osovine, diskovi)
Č. 7432	360	290	200	(100)	

*Toplinska obrada*

Oznaka	Kovanje* °C	Žarenje** °C	Normalizacija °C	Kaljenje*** °C	Popuštanje °C
Č. 7431	1100 ... 850	700 ... 730	900 ... 930	870 ... 900 u	600 ... 660
Č. 7432	1100 ... 850	660 ... 710	900 ... 930	900 ... 950 u, z	600 ... 680

\* Ohlađivanje u pepelu. – \*\* Ohlađivanje u peći. – \*\*\* Gašenje: z – na zraku, u – u ulju.

### Čelici otporni prema habanju

*Sastav i mehanička svojstva*

Oznaka po JUS	Želez. Ravne	Sastav %		Stanje čelika	Naprez. tečenja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ %
		C	Mn				
Č. 3134	2 Mn	0,5	1,8	poboljšano	1050	1200 ... 1400	7
Č. 3160	12 Mn	1,2	12,0	gašeno	350	800 ... 1000	30

*Toplinska obrada*

Oznaka	Kovanje °C	Žarenje °C	Normalizacija °C	Kaljenje* °C	Popuštanje °C
Č. 3134	1050 ... 850	680 ... 700	830 ... 850	790 ... 830 u	480 ... 520
Č. 3160**	1050 ... 850	–	–	–	–

\* u – gašenje u ulju. – \*\* Austenitni čelik Č. 3160 gasimo pri 1050 °C u vodi.

### ALATNI ČELICI

#### Ugljični alatni čelici

*Sastav i upotreba*

Oznaka		Sastav* C %	Upotreba
JUS	Železarna Ravne		
Č. 1531	CK 45	0,45	čekići, sjekire, noževi, svrdla za drvo
Č. 1731	CK 60	0,60	čekići za kamen, pile, držala za alat
Č. 1740	OC 70	0,70	meki čelik za vrlo žilav alat
Č. 1840	OC 80	0,80	žilavi čelik za alat za obradu mekog materijala
Č. 1940	OC 100	1,0**	žilavo-tvrđi čelik za alat koji treba da je prilično tvrd i odgovarajuće žilavosti
Č. 1941	OC 100 extra		
Č. 1943	OC 120	1,2	polutvrđi čelik za alat koji treba da je osobito tvrd uz manju žilavost
Č. 1944	OC 120 extra	1,2**	
Č. 1841	Kose	0,80	v vrlo čist čelik za kose
Č. 1948	OCP 135	1,3	osobito tvrdi čelik za najtvrdje male i srednje turpije

\* Svi ti čelici imaju najviše po 0,30% Si i Mn.

\*\* Čelici Č. 1941 i Č. 1944 sadrže još 0,1% V.

*Toplinska obrada*

Oznaka	Kovanje* °C	Meko žarenje** °C		Kaljenje (u vodi)***	
		°C	tvrdća HB	°C	tvrdća HRC
Č. 1531	1100 ... 850	650 ... 700	197	820 ... 850 v	54
Č. 1731	1050 ... 850	650 ... 700	231	800 ... 930 o	61
Č. 1740	1050 ... 800	690 ... 720	180	770 ... 800 v	63
Č. 1840	1050 ... 800	690 ... 720	190	770 ... 800 v	64
Č. 1940	1000 ... 800	690 ... 720	200	760 ... 790 v	65
Č. 1941	1000 ... 800	690 ... 720	200	760 ... 800 v	65
Č. 1943	1000 ... 800	690 ... 720	210	760 ... 790 v	65
Č. 1944	1000 ... 800	690 ... 720	210	760 ... 800 v	65
Č. 1841	1050 ... 800	680 ... 720	175	780 ... 810 o	65
Č. 1948	1000 ... 800	690 ... 720	210	760 ... 780 v	65

\* Nakon kovanja ohlađivanje na zraku.

\*\* Žarenje 3 ... 10 h.

\*\*\* Popuštanje pri 100 ... 200 °C.

### Legirani alatni čelici

Legirani alatni čelici za rad u hladnom

#### Sastav i upotreba

Oznaka	JUS	Železarna Ravne	Sastav %					Upotreba
			C	Cr	V	W	ostalo	
Č. 4141	OCR 1	1,15	0,70	0,10				navojna svrdla, narez-nice, razvrtala
Č. 4143	OCR 3	1,4	0,70					
Č. 4145	OCR 4 extra	1,0	1,5					
Č. 4149	OCR 3 extra	1,4	0,50					
Č. 4150	OCR 12	2,1	11,5					rezní alat, alat za reza-nje navoja, ručne ma-trice, štanice
Č. 4650	OCR 12 spec.	2,1	11,5		0,70			
Č. 4750	OCR 12 extra	1,65	11,5	0,15	0,50	0,6 Mo		
Č. 4850	OCR 12 VM	1,55	12,0	1,0		0,9 Mo		
Č. 4172	Prokron 3	0,20	13,0					kirurški instrumenti, matrice za tablete i sl.
Č. 41702	Prokron 4	0,32	13,0					
Č. 41704	Prokron 4 ex	0,45	13,0					
Č. 47702	Prokron 5	0,45	14,0	0,10		0,50 Mo		
Č. 5840	84 Ni V 4	0,85	-	0,15	-	0,9 Ni		udarni alat
Č. 7440	OH 49	0,60	3,3	0,15	-	1,1 Mo		rad u hlad. i vrućem
Č. 8140	145 V 33	1,45	-	3,2	-	-		ind. noževi, prešanje

#### Toplinska obrada

Oznaka	Kovanje °C	Meko žarenje		Kaljenje			Popuštanje °C
		°C	tvrd. HB	°C	hl.*	tvrd. HRC	
Č. 4141	1050...850	720...760	220	{ 780...820 800...840	v	{ 64...66 64...66	150...250
Č. 4143	1000...800	720...760	220	{ 770...810 780...840	v	{ 65...67 65...67	150...250
Č. 4145	1050...850	760...800	225	{ 820...860 790...820	u	{ 63...66 63...67	100...300
Č. 4149	1000...800	720...760	220	770...810	v	65...67	150...250
Č. 4150	1050...850	800...840	250	940...980	u, t	63...65	150...400
Č. 4650	1050...850	800...840	250	940...980	u, t	64...66	150...400
Č. 4750	1050...850	800...840	250	980...1020	u, t, z	63...65	150...400
Č. 4850	1050...850	840...880	250	1000...1040	u, t, z	62...64	150...550
Č. 4172	1100...850	770...800	220	950...1020	u, z	44...53	150...450
Č. 41702	1100...850	770...800	225	950...1020	u, z	52...58	150...450
Č. 41704	1050...850	760...800	225	990...1020	u, z	53...58	100...400
Č. 47702	1050...850	770...800	250	950...1020	u, z	53...60	150...450
Č. 5840	1050...850	700...740	220	780...840	v	64...66	150...250
Č. 7440	1050...850	820...850	240	950...1000	u, z	61...63	100...600
Č. 8140	1100...900	720...760	230	{ 800...880 840...950	v	{ 64...67 64...67	180...350

\* hl. - hlađenje pri kaljenju: v - voda, u - ulje, t - termalna kupka, z - zrak.

### Legirani alatni čelici za rad u hladnom

#### Sastav i upotreba

Oznaka	JUS	Železarna Ravne	Sastav %					Upotreba
			C	Cr	V	W	ostalo	
Č. 4754	CRV	1,0	10,0	0,25			1,1 Mo	udarno rezanje noževi za drvo, pile rezanje plastike
Č. 4755	CRV 2	0,53	8,5	0,10			0,9 Si; 1,2 Mo	
Č. 4756	OA 2	1,0	5,0	0,25	1,2		1,0 Mo	
Č. 4835	31 Cr V 3	0,33	0,60	0,10				
Č. 4844	OL 2 spec.	0,80	0,50	0,20				noževi za drvo i papir
Č. 6443	OSIKRO 2	0,45	1,0	0,20	2,0		1,0 Si	
Č. 6444	OSIKRO 4	0,60	1,0	0,15	2,0		0,60 Si	
Č. 6445	OSIKRO sp.	0,80	1,0	0,30	2,0			
Č. 3840	Merilo	0,90	0,30	0,10			2,0 Mn	mjerni alat
Č. 6440	Merilo extra	1,05	1,0		1,2		1,0 Mn	
Č. 6840	OW 1	1,2	0,20	1,10	1,0			
Č. 6441	OW 3	1,1	1,2	0,20	1,3			
Č. 6842	OW spec.	1,0		0,2	1,0			navojna svrdla razvrtaci, glodala
Č. 6850	OW 5	1,4	0,50	0,25	4,5			

#### Toplinska obrada

Oznaka	Kovanje °C	Meko žarenje		Kaljenje			Popuštanje °C
		°C	tvrd. HB	°C	hl.*	tvrd. HRC	
Č. 4754	1050...850	840...870	250	1000...1020	u	61...63	150...550
Č. 4755	1050...900	840...870	250	1000...1020	u	59...63	150...550
Č. 4756	1050...850	830...870	250	940...980	z, u, t	62...65	150...550
Č. 4835	1050...850	680...720	220	830...860	v	52...55	100...400
Č. 4844	1000...800	680...720	230	800...830	u	63...65	160...400
Č. 6443	1050...850	720...750	230	{ 890...930 860...900	u	{ 56...59 61...64	150...400
Č. 6444	1050...850	720...750	240	860...900	u	60...64	150...400
Č. 6445	1050...850	720...750	250	860...890	u	61...65	150...400
Č. 3840	1050...850	690...720	220	{ 760...800 770...810	u	{ 63...65 63...65	100...300
Č. 6440	1050...850	720...750	230	{ 790...830 800...840	u	{ 63...66 63...66	100...300
Č. 6840	1050...850	720...750	230	{ 760...820 800...840	v	{ 65...67 63...65	150...250
Č. 6441	1050...850	720...750	230	{ 800...860 780...830	u	{ 64...66 65...67	150...300
Č. 6842	1050...850	720...750	230	{ 780...820 820...860	v	{ 65...67 64...66	150...250
Č. 6850	1050...850	720...750	270	800...830	v	66...68	100...250

\* hl. - rashladno sredstvo: v - voda, u - ulje, t - termalna kupelj, z - zrak.

**Legirani alatni čelici za rad u vrućem**

**Sastav i upotreba**

Oznaka po JUS	Železarna Ravne	Sastav %						Upotreba
		C	Cr	V	W	Mo	drugo	
Č. 4742	Utop N	0,40	1,9			0,2	1,5 Mn	utopi, matrice trnovi, kokile
Č. 4751	Utop Mo 1	0,40	5,0	0,40		1,3	1,0 Si	
Č. 4752	Utop 3	0,36	5,0	0,25	1,4	1,4	1,0 Si	
Č. 4753	Utop Mo 2	0,40	5,0	1,0		1,3	1,0 Si	
Č. 4757	Utop Mo 4	0,50	5,0	1,0		1,5	1,0 Si	
Č. 4758	Utop Mo 6	0,72	5,5	0,65	1,2	1,35	1,0 Si	
Č. 5741	Utop extra 1	0,55	0,70	0,10		0,30	1,7 Ni	
Č. 5742	Utop extra 2	0,55	1,1	0,10		0,50	1,7 Ni	
Č. 6450	Utop 1	0,30	1,0	0,20	4,0		1,0 Si	
Č. 6451	Utop 2	0,30	2,5	0,40	9,0			
Č. 7450	Utop 33	0,32	3,0	0,50		3,0		
Č. 9750	Utop Co 2	0,32	3,0	0,50		3,0	3,0 Co	

**Toplinska obrada**

Oznaka	Kovanje °C	Meko žarenje		Kaljenje				Popušta- nje °C
		°C	tvrd. HB	°C	hl.*	tvrd. HRC		
Č. 4742	1080...850	700...740	230	{ 840...870 860...900	t, u z	{ 54...56 52...54	600...680	
Č. 4751	1100...900	800...830	250	{ 980...1030 1000...1050	u, t z	{ 52...56 50...55	570...700	
Č. 4752	1100...900	750...800	250	{ 890...1040 890...1040	u, t z	{ 54...58 52...57	400...650	
Č. 4753	1100...850	800...830	250	{ 1000...1030 1000...1030	u, t z	{ 52...56 50...55	550...700	
Č. 4757	1100...850	800...830	250	{ 1000...1040 1000...1040	u, t z	{ 54...58 52...56	450...650	
Č. 4758	1080...850	830...850	250	{ 1000...1040 1000...1040	u, t z	{ 60...63 59...62	450...600	
Č. 5741	1050...850	670...700	250	830...870	u	57...61	400...700	
Č. 5742	1050...850	670...700	250	{ 830...870 860...900	u z	{ 58...62 54...58	400...700	
Č. 6450	1100...850	740...760	250	{ 960...1000 1000...1040	v u	{ 49...53 46...50	500...700	
Č. 6451	1100...900	780...810	250	{ 1080...1160 1080...1160	u, t z	{ 47...53 42...47	550...700	
Č. 7450	1050...900	780...830	250	{ 1010...1050 1010...1050	t, u z	{ 49...54 42...46	500...700	
Č. 9750	1100...850	800...840	250	{ 1020...1060 1020...1060	u, t z	{ 49...53 42...46	550...700	

\* hl. – rashladno sredstvo: v – voda, u – ulje, t – termalna kupka, z – zrak.

**Brzorezni čelici**

**Sastav i upotreba**

Oznaka po JUS	Železarna Ravne	Sastav %						Upotreba
		C	W	Cr	Co	Mo	V	
Č. 6880	BRW	0,75	18,0	4,0	–	–	1,1	standardni brzorezni čelik za sve vrste brzoreznog alata
Č. 6980	BRC	0,80	18,0	4,0	5,0	0,7	1,5	Co-brzorezni čelik za rezanje tvrdih materijala velikim brzinama s debelom strugotinom
Č. 7680	BRM 2	0,90	6,5	4,0	–	5,0	1,9	Mo-brzorezni čelik za obradu kovina pri većim udarnim opterećenjima, osobito za noževe i glodala (za grubu obradu)
Č. 9682	BRC 3	0,76	18,0	4,0	9,5	0,7	1,5	jako legirani Co-brzorezni čelik za najveća opterećenja i za rezanje najtvrdijih materijala
Č. 9683	BRU	1,25	9,5	4,0	10,0	3,5	3,2	univerzalni brzorezni čelik najvećeg učinka pri finoj ili gruboj obradi
Č. 9780	BRC Mo	0,92	6,5	4,0	5,0	5,0	1,9	Co-Mo-brzorezni čelik za najtežu grubu obradu gdje se posebno zahtijeva žilavost
Č. 9880	OSV 1	1,5	6,5	4,5	5,0	3,5	5,0	vrlo opterećeni alat, probijači, glodala i noževi za obradu kovina

**Toplinska obrada**

Oznaka	Kovanje °C	Žarenje		Kaljenje* °C	Popuštanje	
		°C	tvrdća HB		°C	tvrdća HRC
Č. 6880	1150 ... 900	800 ... 830	300	1230 ... 1290	530 ... 560	63 ... 65
Č. 6980	1150 ... 900	800 ... 830	300	1260 ... 1300	540 ... 580	63 ... 66
Č. 7680	1100 ... 900	780 ... 810	300	1180 ... 1230	530 ... 560	63 ... 66
Č. 9682	1150 ... 900	800 ... 830	300	1250 ... 1310	550 ... 590	63 ... 67
Č. 9683	1100 ... 900	800 ... 860	300	1210 ... 1250	540 ... 570	64 ... 67
Č. 9780	1100 ... 900	780 ... 810	300	1200 ... 1240	540 ... 570	63 ... 66
Č. 9880	1100 ... 900	870 ... 900	300	1180 ... 1260	480 ... 520	62 ... 65

\* Gašenje u ulju, na zraku ili u termalnoj kupki (540 ... 550 °C).

### ČELIČNI LIJEV

Čelični ljev je svaki čelik dobiven postupkom u martenki, konverteru, taljici ili električnoj peći i ljevan u kalupe.

#### Ugljični (nelegirani) čelični ljev (JUS C.J3.011 – 1973)

Oznaka po JUS	Naprez. tečenja $R_e$ N/mm <sup>2</sup> min.	Vlač. čvrst. $R_m$ N/mm <sup>2</sup> min.	Postot. produlj. $A_5$ % min.	Kontrak. $Z$ % min.	Žilavost $KU/3$ J min.	Pokus savijanja ( $\alpha = 180^\circ$ ) $D$	Magn. indukcija T pri jakosti polja A/m 2500 5000 10000
ČL. 0300	185	375	25	35	—	—	1,45 1,60 1,75
ČL. 0301	—	—	—	—	34	2 a	—
ČL. 0400	225	440	22	30	—	—	1,40 1,55 1,70
ČL. 0401	—	—	—	—	27	3 a	—
ČL. 0500	255	510	18	25	—	—	1,35 1,55 1,70
ČL. 0501	—	—	—	—	21	4 a	—
ČL. 0600	295	590	15	—	—	—	1,30 1,50 1,65
ČL. 0601	—	—	—	—	14	—	—
ČL. 0602	345	610	15	—	—	—	—
ČL. 0603	—	—	—	—	14	—	—
ČL. 0700	410	685	12	—	—	—	—

Svi odljevci moraju biti toplo obrađeni i to: žarenjem na meko ili normaliziranjem ili normaliziranjem i žarenjem na meko.

#### Legirani čelični ljev za poboljšanje

Sastav

Oznaka po JUS	Željezna Ravne	Sastav %		
		C	Cr	Mo
ČL. 1330	Lg-C 25	0,20	—	—
ČL. 4730	CrMo 60 L	0,25	1,0	0,25
ČL. 4731	CrMo 80 L	0,33	1,0	0,25
ČL. 4732	CrMo 100 L	0,42	1,0	0,25
ČL. 7130	LgZ-45 Mo	0,21	—	0,40
ČL. 7431	GS17CrMo55	0,18	1,3	0,50

#### Mehanička svojstva (u poboljšanom stanju) i upotreba

Oznaka po JUS	Naprez. tečenja $R_e$ N/mm <sup>2</sup> min.	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. produlj. $A_5$ %	Upotreba
ČL. 1330	245	400 ... 590	22	ventili (do 450 °C)
ČL. 4730	390	590 ... 740	16	statički i dinamički opterećeni dijelovi
ČL. 4731	510	740 ... 890	12	
ČL. 4732	665	880 ... 1030	9	
ČL. 7130	245	440 ... 590	22	ventili (300 ... 540 °C)
ČL. 7431	315	490 ... 640	20	jače opterećeni dijelovi

### Kemijski otporan čelični ljev

Sastav

Oznaka		Sastav %					
JUS	Željezna Ravne	C maks.	Si	Cr	Ni	Mo	ostalo
Nerdajući ljev							
ČL. 4171	Prokron 2 L	0,20		13,5			
ČL. 4571	Prokron 11 L	0,12	1,5	18,0	9,0		
ČL. 4572	Prokron 11 sp. L	0,08	1,0	18,0	10,0		+ Nb
ČL. 4573	Prokron 12 L	0,12	1,5	18,0	10,0	2,0	
ČL. 4574	Prokron 12 sp. L.	0,08	1,0	18,0	11,5	2,0	+ Nb
Vatrostalni ljev							
ČL. 4271	Prokron 10 L	0,45	1,7	29,0			
ČL. 4273	Prokron 16 L	1,3	1,7	29,0			
ČL. 4576	Prokron AS L	0,40	1,5	27,0	4,0		
ČL. 4577	Prokron 15 L	0,35	1,5	25,0	12,0		

#### Mehanička svojstva i upotreba

Oznaka JUS	Stanje	Naprez. tečenja $R_e$ N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ %	Upotreba
ČL. 4171	pobolj. gaš. (v)	440	590 ... 790	12	otpornost prema rđi i kiselinama
ČL. 4571	gaš. (v)	175	440 ... 640	20	
ČL. 4572	gaš. (v)	175	440 ... 640	20	
ČL. 4573	gaš. (v)	185	440 ... 640	20	
ČL. 4574	gaš. (v)	185	440 ... 640	20	
ČL. 4271	žareno	Tvrdoća	200 ... 300 HB	—	dijelovi industrijskih peći u vatri do 1100 °C u vatri do 1150 °C
ČL. 4273	žareno		250 ... 330 HB	—	
ČL. 4576	žareno		200 ... 300 HB	—	
ČL. 4577	gaš. (v)		150 ... 230 HB	—	

### Čelični ljev otporan prema habanju

Sastav i mehanička svojstva

JUS	Oznaka Željezna Ravne	Sastav %					Svojstva čvrstoće*
		C	Mn	Cr	Mo	Ni	
ČL. 3134	2 Mn L	0,45	1,8	—	—	—	pobolj.: $R_e = 390$ , $A_5 = 7$
ČL. 3160	V 12 Mn L	1,2	13,0	—	—	—	
ČL. 3161	N 12 Mn L	1,0	12,0	—	—	—	
ČL. 3460	V 12 MnCr L	1,2	13,0	1,0	—	—	
ČL. 3462	12 MnCr L	1,2	13,0	1,8	—	—	
ČL. 7361	12 MnMo L	1,1	12,0	—	2,0	—	gašeno (u vodi): tvrdoća 200 HB
ČL. 7362	V 12 MnMo L	1,3	12,0	—	2,0	—	
ČL. 4758	15-3 LC-L	2,6	—	15,0	2,8	—	kalj.: tvrd. 55 ... 60 HRC kalj.: tvrd. 60 ... 64 HRC pobolj.: $R_e = 590$ , $A_5 = 4$
ČL. 4759	15-3 HC-L	3,3	—	15,0	2,8	—	
ČL. 4771	Prokron 3 M-L	0,30	—	17,0	0,6	1,6	

\*  $R_e$  – granica naravnog tečenja (N/mm<sup>2</sup>),  $A_5$  – postotno produljenje (%).

# OZNAKE ČELIKA

## Oznake čelika prema standardima JUS i DIN

JUS	DIN	JUS	DIN
Č. 0000	St 00	Č. 0645	St 60-2
Č. 0145	St 10	Č. 0745	St 70-2
Č. 0146	U St 12, St 12	Č. 1100	—
Č. 0147	U St 13, R St 13	Č. 1101	—
Č. 0148	RR St 14	Č. 1120	C 10
Č. 0210	U St 35-2	Č. 1121	Ck 10
Č. 0211	R St 35-2	Č. 1190	(10 S 20)
Č. 0245	U St 36-1	Č. 1202	H I
Č. 0246	(6 P 10)	Č. 1204	H II
Č. 0247	(U 7 S 10)	Č. 1206	H III
Č. 0255	U St 36-2	Č. 1209	—
Č. 0257	U 10 S 6	Č. 1210	—
Č. 0261	R St 34-2	Č. 1211	—
Č. 0265	UQ St 36-2	Č. 1212	St 35-4
Č. 0267	U 10 S 10	Č. 1213	St 45-4
Č. 0270	U St 34-1	Č. 1214	St 35-8
Č. 0271	U St 34-2	Č. 1215	St 45-8
Č. 0275	R St 36-2	Č. 1220	C 15
Č. 0345	U St 38-1	Č. 1221	Ck 15
Č. 0355	U St 38-2	Č. 1281	Cm 15
Č. 0361	R St 37-2	Č. 1290	15 S 20
Č. 0362	St 37-3	Č. 1300	—
Č. 0363	(St 37-3)	Č. 1301	—
Č. 0365	UQ St 38-2	Č. 1302	—
Č. 0370	U St 37-1	Č. 1330	C 22
Č. 0371	U St 37-2	Č. 1331	Ck 22
Č. 0375	R St 38-2	Č. 1400	—
Č. 0411	—	Č. 1402	St 55-4
Č. 0445	R St 44-2	Č. 1430	C 35
Č. 0446	(6 P 20)	Č. 1431	Ck 35
Č. 0460	R St 42-1	Č. 1480	Cm 35
Č. 0461	R St 42-2	Č. 1490	35 S 20
Č. 0462	St 42-3	Č. 1500	—
Č. 0463	(St 42-3)	Č. 1501	—
Č. 0471	U St 42-2	Č. 1502	—
Č. 0481	R St 46-2	Č. 1530	C 45
Č. 0482	St 46-3	Č. 1531	Ck 45
Č. 0483	(St 46-3)	Č. 1540	(C 45 W 3)
Č. 0545	St 50-2	Č. 1580	Cm 45
Č. 0561	(St 52-3)	Č. 1590	45 S 20
Č. 0562	St 52-3	Č. 1600	—
Č. 0563	(St 52-3)	Č. 1601	—

## Oznake čelika prema standardima JUS i DIN (nastavak)

JUS	DIN	JUS	DIN
Č. 1630	C 55	Č. 4141	115 CrV 3
Č. 1631	Ck 55	Č. 4143	140 Cr 3
Č. 1680	Cm 55	Č. 4145	100 Cr 6
Č. 1700	—	Č. 4149	(140 Cr 2)
Č. 1701	—	Č. 4150	X 210 Cr 12
Č. 1730	C 60	Č. 4170	X 7 Cr 13
Č. 1731	Ck 60	Č. 4171	X 15 Cr 13
Č. 1740	(C 67 W 3)	Č. 4172	X 20 Cr 13
Č. 1741	(C 67 W 3)	Č. 4173	(X 40 Cr 13)
Č. 1780	Cm 60	Č. 4175	X 42 Cr 13
Č. 1840	(C 80 W 1)	Č. 4180	34 CrS 4
Č. 1940	(C 105 W 1)	Č. 4181	41 CrS 4
Č. 1941	100 W 1	Č. 4184	37 CrS 4
Č. 1943	(C 125 W)	Č. 4230	67 SiCr 5
Č. 1944	(C 125 W)	Č. 4270	X 45 CrSi 9 3
Č. 1946	(C 110 W 2)	Č. 4320	16 MnCr 5
Č. 1948	(C 135 W 2)	Č. 4321	20 MnCr 5
Č. 2130	(38 Si 7)	Č. 4381	16 MnCrS 5
Č. 2131	46 Si 7	Č. 4382	20 MnCrS 5
Č. 2132	51 Si 7	Č. 4520	17 CrNiMo 6
Č. 2133	55 Si 7	Č. 4531	34 CrAlNi 7
Č. 2134	66 Si 7	Č. 4570	X 22 CrNi 17
Č. 2330	(60 SiMn 5)	Č. 4571	X 12 CrNi 18 8
Č. 2331	(65 Si 7)	Č. 4572	X 10 CrNiTi 18 9
Č. 3100	St 52-4	Č. 4573	X 5 CrNiMo 18 10
Č. 3105	19 Mn 5	Č. 4574	X 10 CrNiMoTi 18 10
Č. 3111	—	Č. 4578	X 15 CrNiSi 25 20
Č. 3112	—	Č. 4579	X 12 CrNiSi 36 16
Č. 3130	40 Mn 4	Č. 4580	X 5 CrNi 18 9
Č. 3133	17 Mn 4	Č. 4581	X 80 CrNiSi 20
Č. 3134	50 Mn 7	Č. 4582	X 10 CrNiNb 18 9
Č. 3139	28 Mn 6	Č. 4583	X 10 CrNiMoNb 18 10
Č. 3160	(X 120 Mn 12)	Č. 4588	(X 53 CrMnNiN 21 9)
Č. 3190	—	Č. 4650	X 210 CrW 12
Č. 3811	—	Č. 4721	20 CrMo 5
Č. 3840	90 MnV 8	Č. 4730	25 CrMo 4
Č. 3990	9 SMn 28	Č. 4731	34 CrMo 4
Č. 4120	15 Cr 3	Č. 4732	42 CrMo 4
Č. 4130	34 Cr 4	Č. 4733	50 CrMo 4
Č. 4131	41 Cr 4	Č. 4734	30 CrMoV 9
Č. 4132	38 Cr 2	Č. 4738	32 CrMo 12
Č. 4133	46 Cr 2	Č. 4739	34 CrAlMo 5
Č. 4134	37 Cr 4	Č. 4750	X 165 CrMoV 12
		Č. 4751	X 38 CrMoV 5 1



Oznake čelika prema standardima JUS i DIN (nastavak)

JUS	DIN	JUS	DIN
Č. 4753	X 40 CrMoV 5 1	Č. 7480	20 MoCrS 4
Č. 4754	—	Č. 7481	25 MoCrS 4
Č. 4755	(X 50 CrMoW 9 11)	Č. 7680	S 6-5-2
Č. 4756	X 100 CrMoV 5 1	Č. 9682	S 18-1-2-10
Č. 4757	(X 50 CrVMo 5 1)	Č. 9683	S 10-4-3-10
Č. 4770	X 55 CrMo 14	Č. 9750	—
Č. 4771	—	Č. 9780	S 6-5-2-5
Č. 4781	—	Č. 0300	GS-38
Č. 4782	42 CrMoS 4	Č. 0301	GS-38.3
Č. 4811	—	Č. 0400	GS-45
Č. 4830	50 CrV 4	Č. 0401	GS-45.3
Č. 4831	58 CrV 4	Č. 0500	GS-52
Č. 4835	31 CrV 3	Č. 0501	GS-52.3
Č. 4850	(X 155 CrVMo 12 1)	Č. 0600	GS-60
Č. 4970	X 10 CrAl 24	Č. 0601	GS-60.3
Č. 4972	X 10 CrAl 13	Č. 0602	GS-62
Č. 5420	15 CrNi 6	Č. 0603	GS-62.3
Č. 5421	18 CrNi 8	Č. 0700	GS-70
Č. 5430	36 CrNiMo 4	Č. 1330	GS-C 25
Č. 5431	34 CrNiMo 6	Č. 3134	(GS-36 Mn 5)
Č. 5432	30 CrNiMo 8	Č. 3160	(G-X 120 Mn 12)
Č. 5741	55 NiCrMoV 6	Č. 3161	(G-X 120 Mn 12)
Č. 5742	56 NiCrMoV 7	Č. 3460	(G-X 120 Mn 12)
Č. 6440	105 WCr 6	Č. 3462	(G-X 120 Mn 12)
Č. 6441	(110 WCrV 5)	Č. 4171	G-X 20 Cr 14
Č. 6443	45 WCrV 7	Č. 4271	G-X 40 CrSi 29
Č. 6444	60 WCrV 7	Č. 4273	G-X 130 CrSi 29
Č. 6445	80 WCrV 8	Č. 4571	G-X 10 CrNi 18 8
Č. 6450	X 30 WCrV 4 1	Č. 4572	G-X 7 CrNiNb 18 9
Č. 6451	X 30 WCrV 9 3	Č. 4573	G-X 10 CrNiMo 18 9
Č. 6840	120 WV 4	Č. 4574	G-X 7 CrNiMoNb 18 10
Č. 6842	100 WV 4	Č. 4576	G-X 40 CrNiSi 27 4
Č. 6850	(142 WV 13)	Č. 4577	G-X 35 CrNiSi 25 12
Č. 6880	S 18-0-1	Č. 4730	(GS-25 CrMo 4)
Č. 6980	S 18-1-2-5	Č. 4731	(GS-34 CrMo 4)
Č. 7100	15 Mo 3	Č. 4732	(GS-42 CrMo 4)
Č. 7400	13 CrMo 4 4	Č. 4758	(G-X 300 CrMo 15 3)
Č. 7401	10 CrMo 9 10	Č. 4759	—
Č. 7420	20 MoCr 4	Č. 4771	—
Č. 7421	25 MoCr 4	Č. 7130	GS-22 Mo 4
Č. 7431	22 CrMo 4 4	Č. 7361	(G-X 125 MnMo 12 2)
Č. 7432	24 CrMoV 5 5	Č. 7362	(G-X 125 MnMo 12 2)

Oznake domaćih i ukih stranih alatnih čelika\*

JUS	Železarna Ravne	Böhler (Austrija)	Poldi (ČSSR)	GOST (SSSR) (ruska slova!)
Č. 1540	OC 50	MS 45; EMS 45	TSW extra	—
Č. 1740	OC 70	Extra weich	6	Y 7
Č. 1840	OC 80	Extra zäh	5	Y 8
Č. 1940	OC 100	Extra zäh hart 100	EZH	Y 11
Č. 1941	OC 100 extra	Extra S	EZH spec.	—
Č. 1943	OC 120	Extra zäh hart	FS	Y 12A
Č. 1944	OC 120 extra	Extra zäh hart	FS	—
Č. 1741	OC 65	Prima weich	T 5 P	—
Č. 1946	OC 110	Pr. mittel hart 115	K 2	—
Č. 1948	OC 135	Prima hart	2	Y 13
Č. 4835	VCV 130	—	—	—
Č. 4141	OCR 1	CV; SSC	—	—
Č. 4143	OCR 3	—	RCR 1	—
Č. 4145	OCR 4 extra	K 150	KLZ	—
Č. 4149	OCR 3 extra	—	RCR 1	XO 5
Č. 4150	OCR 12	Spezial K	2002	X 12
Č. 4650	OCR 12 spec.	Spezial KR	2002 spec.	—
Č. 4750	OCR 12 extra	Spezial KNL	2002 M	X 12 M
Č. 6840	OW 1	WV; SSWY	—	B 1
Č. 6841	OW 3	—	SPS	—
Č. 6443	OSIKRO 2	MY extra	Tenax N	5 XB 2C
Č. 6444	OSIKRO 4	KL	Tenax NB	6 XB C
Č. 4751	Utop Mo 1	US ultra	TLH	—
Č. 5741	Utop extra 1	GNM	TBM 1	5 XHM
Č. 5742	Utop extra 2	GNME	TBM Extra 1	45 XHM Φ
Č. 6451	Utop 2	WKZ	HPS; 212	3 X 2B8
Č. 3840	Merilo	MST	Stabil spec.	—
Č. 6440	Merilo extra	Amutit	Solar	XBI
Č. 4172	Prokron 3	WKW 2	AK 2 spec.	2 X 13
Č. 4173	Prokron 4	—	—	—
Č. 4770	Prokron 5	WKW 4	AK 3 spec.	4 X 13
Č. 6880	BRW	Super Rapid Extra	Max. spec.	P 18
Č. 6882	BRW 2	S.R.E. HVN	Max. sp. Gex.	—
Č. 6980	BRC	S.R.E. 500	Max. spec. 55	P 18 K 5 Φ 2
Č. 7680	BRM 2	S.R.E. Mo	—	—
Č. 9682	BRC 3	CC	MK	PK 10
Č. 9683	BRU	Mo Rapid Ex. 500	—	—
Č. 9780	BRC Mo	Mo Rapid Ex. 1200	—	—

\* Usporedba sličnih čelika je po kvaliteti samo približna.

## TVRDI METALI

Tvrđi metali sastavljeni su od jednog ili više karbida kao nosilaca tvrdoće i od kobalta kao veziva.

Tvrđi metali nisu čelici i njihova se struktura ne može mijenjati nikakvom toplinskom obradom. Ne mogu se kovati ni valjati; oblikuju se samo lijevanjem odn. sinterovanjem i brušenjem.

### 1. Lijevani tvrdi metali

Pojavili su se najprije u USA pod nazivom »stellit«. Sastavljeni su na bazi Co (33...65%), Cr (25...32%) i W (6...17%) s približno 0...5% C te lijevani. Kasnije je bio Co – zbog visoke cijene – djelomice zamijenjen sa Fe. Svoju prirodnu tvrdoću zadržavaju do visokih temperatura (pri 750 °C mogu imati još tvrdoću do 750 HV). Veoma su otporni prema habanju, ali su krhki i vrlo osjetljiv prema udarcima. Upotrebljavamo ih za navarivanje.

### 2. Sinterovani tvrdi metali

Nastali su u Njemačkoj (Krupp, 1926) pod nazivom »widia«. Bitno su utjecali na razvoj tehnike obrade. Sastoje se od kristala WC, TiC (TaC, MoC) te Co kao veziva. TiC je tvrdi od WC, ali smanjuje žilavost. Sinterovani tvrdi metali oblikuju se u pločice, koje se sinteruju. Njihova tvrdoća, koja iznosi 1400...1750 HV, opada do 1000 °C tek za 10%. Sinterovani tvrdi metali sa TiC još su na 700 °C znatno tvrdi od brzoreznog čelika pri temperaturi okoline. Njihova je žilavost također znatna (čvrstoća na savijanje iznosi 2500...1250 N/mm<sup>2</sup>). Tlačna čvrstoća je vrlo velika (oko 4250 N/mm<sup>2</sup>).

### Tvrđi metali za alat za preoblikovanje (JUS K. A9. 025 – 1974)

Oznaka	Upotreba
<b>G 05</b>	velika otpornost prema habanju, manja žilavost; za matrice, mje-rila
<b>G 10</b>	otpornost prema habanju; za matrice, vođice
<b>G 20</b>	otpornost prema habanju i dovoljna žilavost; matrice za izradu cijevi, profilirane matrice, matrice za duboko izvlačenje
<b>G 30</b>	alat za preoblikovanje i odvajanje čestica; za noževe u štancama, za pečatanje
<b>G 40</b>	za jednaki alat kao pri G 30, ali s povećanom žilavošću
<b>G 50</b>	alat za odvajanje čestica, savijanje, kovanje, prešanje (u hladnom i toplom stanju)
<b>G 60</b>	za jednaki alat kao pri G 50, ali s povećanom žilavošću

### Tvrđi metali za alat za odvajanje čestica (JUS K.A9.020 – 1966)

Oznaka		Upotreba
P 01	Odvajanje dugih čestica s čelika	Najfinije tokarenje i bušenje čelika velikom brzinom do 1,7 m/s (100 m/min) s posmakom od 0,1 mm/okr.
P 10		Odvajanje čestica s čelika šesterostrukom brzinom brzoreznih čelika s najmanjim posmacima do 1 mm/okr.
P 20		Odvajanje čestica s čelika četverostrukom brzinom brzoreznih čelika s osrednjim posmacima do 2 mm/okr.
P 30		Odvajanje čestica s čelika dvostrukom brzinom brzoreznih čelika s većim posmacima do 3 mm/okr. Blijanje sivog lijeva.
P 40		Tokarenje i odvajanje čestica na automatima malom brzinom, ali s velikim presjekom strugotine.
P 50		Tokarenje i odvajanje čestica na automatima malom brzinom rezanja i velikim presjekom strugotine.
K 01	Odvajanje kratkih čestica s čelika, neželjeznih kovina i nekovina	Odvajanje čestica s tvrdog i sivog lijeva veće tvrdoće (do 60 HRC), aluminijevih slitina sa silicijem, kaljenog čelika, plastičnih masa, papira, keramike.
K 10		Odvajanje čestica s tvrdog sivog lijeva (nad 220 HB), tvrdog čelika ( $R_m > 1800 \text{ N/mm}^2$ ), slitina Al i Cu, plastičnih tvari, stakla, porculana i kamenja.
K 20		Odvajanje čestica sa sivog lijeva (nad 220 HB), slitina Al i Cu, plastičnih tvari, keramike i kamenja. Vruće i hladno vučenje i valjanje.
K 30		Odvajanje čestica sa sivog lijeva i čelika manje čvrstoće, ukočenih drvenih ploča i sl.
K 40		Odvajanje čestica s drveta, vlaknastih tvari, keramike i kamenja (udarna svrdla). Matrice za vučenje tvrdog čelika.
M 10		Odvajanje čestica velikom brzinom s malim presjekom strugotine. Obrada tvrdog Mn-čelika.
M 20		Odvajanje čestica osrednjom brzinom s osrednjim presjekom strugotine. Obrada tvrdog Mn-čelika i austenitnih čelika.
M 30		Odvajanje čestica malom brzinom s većim presjecima strugotine. Obrada austenitnih čelika.
M 40		Odvajanje čestica s čelika male čvrstoće, osobito na automatima. Obrada neželjeznih kovina

## LAKE KOVINE

### Aluminij (JUS C.C2.100 – 1986)

Osobite prednosti aluminija su mala gustoća i velika otpornost prema koroziji i kemijskim utjecajima. Aluminij ima također veliku toplinsku i električnu vodljivost.

#### Sastav i upotreba

Oznaka	Dopuštene nečistoće (%) maks.									
	ukupno	Cu	Mg	Si	Fe	Zn	Mn	Ti	Ga	ostalo
Al 99,8.00	0,2	0,03	0,02	0,15	0,15	0,06	0,02	0,02	0,03	0,02
Al 99,7.00	0,3	0,03	0,03	0,20	0,25	0,07	0,03	0,03		0,03
Al 99,5.00	0,5	0,05	0,05	0,25	0,40	0,07	0,05	0,05		0,03
Al 99,3.00	0,7	0,05	0,05	0,7	0,7	0,10	0,05	0,05		0,05
Al 99,0.00	1,0	0,05	0,05	0,5	0,8	0,10	0,10	0,05		0,04

Gustoća aluminija iznosi od 2560 kg/m<sup>3</sup> (lijevanog) do 2750 kg/m<sup>3</sup> (kovanog, valjanog ili vučenog).

#### Mehanička svojstva aluminija (Al 99,5)

Stanje aluminija	Vlač. čvrst. $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. produlj.		Tvrdća HB
		$A_{10}$	$A_5$	
lijev	90 ... 120	25 ... 18	—	24 ... 32
trake i limovi				
– meki (žareni)	70	22	25	20
– polutvrdo valjani	100	6	7	30
– tvrdo valjani	130	4	5	35
šipke, žice, cijevi i profili				
– meki (prešani ili žareni)	70	18	20	20
– polutvrdo vučeni	100	5	7	28
– tvrdo vučeni	130 (... 170)	3	4	35

Najbolja svojstva u meko žarenom stanju dobivamo, ako nakon što veće plastične deformacije (70...90% smanjenja presjeka) žarimo Al pri 360...400 °C. Najveću kemijsku otpornost postizemo žarenjem pri 450...500 °C.

\*

Žice za aluminijску užad moraju imati postotno produljenje > 2%. Pojedina se žica prije pletenja ispituje na pregib i torziju.

## Aluminijske slitine

Aluminijske slitine imaju stanovite prednosti pred čistim aluminijem, i to u pogledu čvrstoće i sposobnosti za lijevanje i gnječenje. Neke aluminijske slitine dosežu svojom znatnom čvrstoćom svojstva čelika.

#### Kaljenje aluminijskih slitina

Aluminijske slitine na bazi AlCu, AlCuNi, AlCuMg i AlMgSi mogu se kaliti (očvršćivati), što im daje svojstva čvrstoće slična onima čelika.

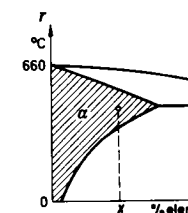
Kaljenje (očvršćivanje) aluminijskih slitina se osniva na promjenljivoj topljivosti stanovitih elemenata (npr. Cu, Si, Mg itd.) u aluminiju. Aluminij može u području oko 500 °C dobro otapati te elemente, dok mu je sposobnost za otapanje na nižim temperaturama neznatna. Ako krutu otopinu pri 500 °C brzo ohladimo, otopljeni se elementi ne mogu pravovremeno izlučiti, pa ostaju u prezasićenoj otopini. Kad se višak otopljenih elemenata s vremenom izluči u kristalnim zrnima ili među njima, slitina postaje znatno čvršća (starenje).

Kaljenje (očvršćivanje) aluminijskih slitina postižemo dakle žarenjem (4...6 h) pri temperaturi određenoj za svaku slitinu (oko 500...570 °C) i gašenjem u vodi te naknadnim starenjem. Starenje je kod nekih slitina (npr. AlCuMg) prirodno — pri okolnoj temperaturi, u drugih pak (npr. AlMgSi) umjetno — pri povišenoj temperaturi (8...15 h pri 100...200 °C). Kaljene slitine imaju mnogo bolja svojstva čvrstoće i mogu se upotrebljavati pri temperaturama do 120 °C. Kaljene se slitine omekšavaju pri 360...400 °C.

Aluminijske slitine sa Cu slabo su otporne prema koroziji.

#### Primjeri poznatijih trgovačkih naziva aluminijskih slitina

Naziv	Sastav (%) Al +
antikorodal	2,0 Si, 0,7 Mg, 0,6...0,8 Mn, 0,1...0,2 Ti
duralumin	3...4,5 Cu, 0,2...0,7 Si, 0...1,6 Mg, 0...1,2 Mn
duralumin K	0,5...2 Mg, 0,3...1,5 Si, 0...1,5 Mn
duralumin W	3,5...4,5 Cu, 1,8...2,2 Ni, 1...1,8 Mg
duralinij	2,5...9 Mg, 0,3...0,6 Mn
duralinij 2S	2...2,5 Mg, 1...2 Mn
hidronalij	3...12 Mg, 0,2...1 Si, 0,2...0,5 Mn
silal	1,5...4,4 Cu, 0,6...1,2 Mg, 0,6...1 Mn, 0,3...0,6 Si, ...0,1 Ti
silal K	1,5 Mn, 0...0,5 Mg
silal V	0,8...1,5 Mg, 0,5...1 Mn, 0,3...0,7 Si, 0,3 Ti
silumin	12...13,5 Si, 0,3...0,45 Mn
silumin γ	12,25...12,75 Si, 0,35...0,65 Mn, 0,25...0,35 Mg



$x$  = dodatni element  
 $\alpha$  = kruta otopina

**Aluminijske slitine za gnječenje**  
(JUS C.C2.100 – 1986)

Sastav (%)*								
Oznaka (ISO)**	Al +							
	Cu	Mg	Si	Fe	Zn	Mn	Cr	Ti + Zr
Al Mn 1	0,1	0,3	0,6	0,7	0,2	0,8 1,5	0,10	0,20
Al Mn 1 Cu	0,05 0,20	—	0,6	0,7	0,2	1,0 1,5	0,10	0,20
Al Mg 1	0,20	0,5 1,1	0,4	0,7	0,2	—	0,1	0,2
Al Mg 2	0,10	1,7 2,4	0,5	0,5	0,2	0,5	0,35	0,2
Al Mg 3	0,10	2,6 3,5	0,5	0,5	0,2	0,4	0,35	0,2
Al Mg 4	0,10	3,5 4,6	0,5	0,5	0,2	0,8	0,35	0,2
Al Mg 5	0,10	4,5 5,6	0,5	0,5	0,2	0,5	0,35	0,2
Al Mg 3 Mn	0,10	2,4 3,4	0,5	0,5	0,2	0,3 1,0	0,25	0,2
Al Si 1 Mg	0,10	0,6 1,4	0,6 1,6	0,5	0,2	0,4 1,0	0,35	0,2
Al Mg Si 0,5	0,10	0,4 0,9	0,3 0,7	0,5	0,2	0,3	0,10	0,2
Al Mg 1 Si Cu	0,15 0,40	0,8 1,2	0,4 0,8	0,7	0,25	0,15	0,15 0,35	0,2
Al Cu 2 Mg	2,0 3,0	0,2 0,5	0,8	0,7	0,2	0,2	0,1	0,2
Al Cu 4 Mg Si	3,5 4,7	0,3 1,2	0,2 0,8	0,7	0,5	0,3 1,0	—	—
Al Cu 4 Mg 1	3,8 4,9	1,0 1,8	0,5	0,5	0,2	0,3 1,2	—	—
Al Cu 4 Si Mg	3,8 5,0	0,2 0,8	0,5 1,2	0,7	0,2	0,3 1,2	—	—

\* Gornji i donji brojevi znače granične vrijednosti sadržaja. — \*\* Uzete su u obzir samo neke značajnije slitine, dok su druge sadržane u gore navedenom standardu.

**Mehanička svojstva i upotreba nekih aluminijskih slitina za gnječenje** (prosječne vrijednosti)

Oznaka	Stanje*	Naprez. tečenja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	$R_m$ VI. vrsti. N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod.		Tvrdoća HB	Smjernice za upotrebu
				A <sub>10</sub> %	A <sub>5</sub> %		
Al Mn 1	meko žareno polutvrdo tvrdo	40 100 120	90 120 150	18 5 3	20 6 4	22 35 42	otporna prema koroziji, dobro se zavaruje
Al Mg 2	meko žareno polutvrdo tvrdo	80 140 180	180 230 260	13 7 3	15 8 4	45 55 65	otporna prema koroziji (morske vode)
Al Mg 3	meko žareno polutvrdo tvrdo	80 140 180	180 230 260	14 8 3	16 9 4	42 65 75	veća otpornost prema koroziji (i u morskoj vodi); s porastom % Mg smanjuje se sposobnost zavarivanja
Al Mg 4	meko žareno polutvrdo tvrdo	100 160 220	230 270 310	14 7 3	16 9 4	52 72 85	
Al Mg 5	meko žareno polutvrdo	130 200	240 340	14 7	16 8	65 90	
Al Si 1 Mg	meko žareno tvrdo kaljeno – h. kaljeno – t.	50 150 100 210	110 170 200 290	14 3 11 8	17 4 13 10	35 55 60 80	dobro se kali, otporna prema koroziji
Al Cu 4 Si Mg	meko žareno tvrdo kaljeno – h. kaljeno – h.–g.	80 220 260 320	180 280 400 450	10 2 10 2	12 3 12 3	70 75 100 120	vrlo dobro se kali, prema koroziji neotporna
Al Cu 5 Pb Bi	kaljeno – h.	250	380	10	12	100	za automate

\* h. – stareno pri temperaturi okoline (hladno), t. – stareno pri povišenoj temperaturi (toplo), g. – hladno gnječeno.

Prešane aluminijske slitine za gnječenje imaju približno jednaka mehanička svojstva kao u meko žarenom stanju.

Aluminijske slitine za lijevanje (JUS C.C2.300 – 1983)  
Sastav (%)\*

Oznaka	Al +					Nečistoće (maks.)		
	Si	Cu	Mg	Ti	Mn	Fe	Zn	druge
<i>Slitine za lijevanje u pijesak ili kokilu</i>								
Al Si 12 00	11,0 13,5	(0,05)	(0,05)	(0,15)	0,01 0,4	0,50	0,10	
Al Si 12 Cu 00	11,0 13,5	0,1 1,2	(0,3)	(0,15)	0,2 0,5	0,8	0,5	1)
Al Si 8 Cu 3 00	7,5 9,5	2,0 3,5	(0,3)	(0,15)	0,2 0,5	0,8	1,2	2)
Al Si 6 Cu 4 00	5,0 7,5	3,0 5,0	0,1 0,3	(0,15)	0,01 0,6	1,0	2,0	3)
Al Si 10 Mg 00	9,0 11,0	(0,05)	0,2 0,5	(0,15)	0,01 0,4	0,5	0,10	
Al Si 5 Mg 00	5,0 6,0	(0,05)	0,4 0,8	0,01 0,20	0,01 0,4	0,50	0,10	
Al Mg 5 Si 00	0,9 1,5	(0,05)	4,5 5,5	0,01 0,20	0,01 0,4	0,50	0,10	
Al Mg 3 Si 1 00	0,9 1,3	(0,05)	2,5 3,5	0,01 0,20	0,01 0,4	0,50	0,10	
Al Mg 3 00	(0,5)	(0,05)	2,5 3,5	0,01 0,20	0,01 0,4	0,3	0,10	
Al Cu 4 Mg Ti 00	(0,18)	4,2 4,9	0,15 0,3	0,15 0,30	(0,05)	0,20	0,07	
<i>Slitine za tlačno lijevanje</i>								
Al Si 12 (Fe) 00	11,0 13,5	(0,10)	(0,1)	(0,15)	0,01 0,4	1,3	0,10	
Al Si 12 Cu (Fe) 00	11,0 13,5	0,1 1,2	(0,3)	(0,15)	0,2 0,5	1,3	0,8	1)
Al Si 8 Cu 3 (Fe) 00	7,5 9,5	2,0 3,5	(0,3)	(0,15)	0,2 0,5	1,5	2,0	2)
Al Si 6 Cu 4 (Fe) 00	5,0 7,5	3,0 5,0	0,1 0,3	(0,15)	0,3 0,6	1,3	2,0	3)
Al Si 10 Mg (Fe) 00	9,0 11,0	(0,05)	0,2 0,5	(0,15)	0,01 0,4	1,3	0,2	
Al Mg 10 00	0,1 2,5	(0,05)	8,0 10,5	(0,15)	0,2 0,5	1,0	0,10	

\* Gornji i donji brojevi znače granične vrijednosti – U zagradama su najveće dozvoljene vrijednosti sastavina kao nečistoća. – 1) 0,2 Ni; 0,2 Pb; 0,1 Sn. – 2) 0,3 Ni; 0,2 Pb; 0,1 Sn; – 3) 0,3 Ni; 0,3 Pb; 0,1 Sn.

Mehanička svojstva i upotreba slitina za lijevanje u pijesak ili kokilu

Oznaka*	Naprezanje tečenja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ %	Tvrdoća HB	Upotreba
Al Si 12 01 63 02 64	70 ... 100 80 ... 110 80 ... 110 80 ... 110	160 ... 210 160 ... 210 180 ... 240 180 ... 240	5 ... 10 6 ... 12 6 ... 12 6 ... 12	45 ... 60 50 ... 60 50 ... 60 50 ... 60	tanke stijenke odljevaka, dobra kemijska otpornost
Al Si 12 Cu 01 02	80 ... 100 90 ... 120	150 ... 220 180 ... 260	1 ... 4 2 ... 4	50 ... 65 50 ... 75	tanke stijenke, kem. manje otporan
Al Si 8 Cu 3 01 02	100 ... 150 100 ... 160	160 ... 200 170 ... 220	1 ... 3 1 ... 3	65 ... 90 70 ... 100	više temperature
Al Si 6 Cu 4 01 02	100 ... 150 120 ... 180	160 ... 200 180 ... 240	1 ... 3 1 ... 3	60 ... 80 70 ... 100	više temperature
Al Si 10 Mg 01 81 02 82	80 ... 100 180 ... 260 90 ... 120 210 ... 280	170 ... 220 200 ... 320 180 ... 240 240 ... 320	2 ... 6 1 ... 4 2 ... 6 1 ... 4	50 ... 60 80 ... 100 60 ... 80 85 ... 115	veća tvrdoća, za motore, prehrambena industrija
Al Si 5 Mg 01 61 81 02 62 82	100 ... 130 150 ... 180 220 ... 290 120 ... 160 160 ... 190 240 ... 290	140 ... 180 180 ... 250 240 ... 300 160 ... 200 210 ... 270 260 ... 320	1 ... 3 2 ... 5 0,5 ... 2 1,5 ... 4 2 ... 8 1 ... 3	55 ... 70 70 ... 85 80 ... 110 60 ... 75 70 ... 90 90 ... 100	za motore, prehrambena industrija
Al Mg 5 Si 01 02	110 ... 130 110 ... 150	160 ... 200 180 ... 240	2 ... 4 2 ... 5	60 ... 75 65 ... 85	otpornost prema morskoj vodi
Al Mg 3 Si 1 01 81 02 82	80 ... 100 120 ... 160 80 ... 100 120 ... 180	140 ... 190 200 ... 280 150 ... 200 220 ... 300	3 ... 8 2 ... 8 4 ... 10 3 ... 10	50 ... 60 65 ... 90 50 ... 65 65 ... 90	više temperature, dekorat. dijelovi
Al Mg 3 01 02	70 ... 100 70 ... 100	140 ... 190 150 ... 200	3 ... 8 5 ... 12	50 ... 60 50 ... 60	otpornost prema mor. vodi, dekorativni dijelovi
Al Cu 4 Mg Ti 61 81 62 82	220 ... 280 240 ... 350 220 ... 300 260 ... 380	300 ... 400 350 ... 420 320 ... 420 350 ... 440	5 ... 15 3 ... 10 8 ... 18 3 ... 12	90 ... 115 95 ... 125 95 ... 115 100 ... 130	za dijelove s velikom tvrdoćom

\* Dodatne oznake znače:  
01 – lijevano u pijesak, 02 – lijevano u kokilu;  
61 – lijevano u pijesak i kaljeno (učvršćivano);  
62 – lijevano u kokilu s prirodnim staranjem;  
63 – lijevano u pijesak i meko žareno  
64 – lijevano u kokilu i gašeno,  
81 – lijevano u pijesak i kaljeno s na-  
82 – lijevano u kokilu i prirodnim staranjem.

**Mehanička svojstva i upotreba aluminijskih slitina za tlačni ljev**

Oznaka*	Naprezanje tečenja $R_{p0.2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ %	Tvrdoća HB	Upotreba
AlSi12.05 AlSi12(Fe).05	140 ... 180	220 ... 280	1 ... 3	60 ... 80	tanke stijenke, dobra kem. otpor.
AlSi12Cu.05 AlSi12Cu(Fe).05	140 ... 220	220 ... 300	—	60 ... 80	tanke stijenke, slaba kem. otpor.
AlSi8Cu3.05 AlSi8Cu3(Fe).05	160 ... 240	240 ... 310	0,5 ... 3	70 ... 100	više temperat., šira upotreba
AlSi6Cu4.05 AlSi6Cu4(Fe).05	150 ... 220	220 ... 300	0,5 ... 3	80 ... 110	više temper., šira upotreba
AlSi10Mg.05 AlSi10Mg(Fe).05	140 ... 200	220 ... 300	1 ... 3	70 ... 90	motori, prehram. industrija
AlMg10.05	140 ... 220	220 ... 300	1 ... 5	70 ... 100	kem. otpornost, dekor. dijelovi

\* Dodatna oznaka 05 znači tlačni ljev.

**Magnezijske slitine**

Sam magnezij je premekan za neposrednu upotrebu. Potrebnu čvrstoću dobiva tek legiranjem. Magnezijske se slitine odlikuju osobito malom gustoćom, oko 1800 kg/m<sup>3</sup>. Prema koroziji nisu naročito otporne.

»Elektron« je zajednički naziv za više magnezijskih slitina koje osim Mg sadrže uglavnom do 10% Al, do 4,5% Zn, do 2,2% Mn i do 1,5% Si.

Magnezijske slitine za gnječenje (DIN 1729/1 – 1982)

**Sastav i upotreba**

Oznaka DIN	Sastav %* Mg +			Dopuštene nečistoće %, maks.	Smjernice za upotrebu
	Al	Zn	Mn		
<b>Mg Mn 2</b>	—	—	1,2 2,0	0,1 Si 0,05 Cu	otporna prema koroziji, dobro se zavaruje
<b>Mg Al 6 Zn</b>	5,5 7,0	0,5 1,5	0,15 0,4	0,1 Si 0,1 Cu	djelomice se može zavarivati
<b>Mg Al 8 Zn</b>	7,8 9,2	0,2 0,8	0,12 0,3	0,1 Si 0,05 Cu	može se kaliti (očvrstiti)

\* Gornji i donji brojevi znače granične vrijednosti sadržaja.

**Mehanička svojstva**

Oznaka	Naprez. teč. $R_{p0.2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlač. čvrst. $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postotno produljenje		Tvrdoća HB
			$A_5$	$A_{10}$	
Mg Mn 2	100 ... 160	200 ... 220	1,5 ... 2	1,5 ... 2	40
Mg Al 6 Zn	160 ... 190	270 ... 280	6 ... 10	8 ... 11	55

**Magnezijske slitine za lijevanje (DIN 1729/2 – 1973)**

**Oznaka i sastav**

Oznaka DIN*	Sastav %					
	Al	Zn	Mn	nečistoće (maks.)		
				Si	Cu	ostale
G – Mg Al 8 Zn 1 GK – Mg Al 8 Zn 1 GD – Mg Al 8 Zn 1	7,5 ... 9,0	0,3 ... 1,0	0,15 ... 0,3	0,30	0,20	0,20
G – Mg Al 9 Zn 1 GK – Mg Al 9 Zn 1 GD – Mg Al 9 Zn 1	8,3 ... 10,0	0,3 ... 1,0	0,15 ... 0,3	0,30	0,20	0,20
G – Mg Al 9 Zn 2 GK – Mg Al 9 Zn 2 GD – Mg Al 9 Zn 2	7,5 ... 9,5	0,5 ... 2,0	0,15 ... 0,3	0,50	0,35	0,20

\* Početni dijelovi oznaka znače: G – lijevanje u pijesak, GK – lijevanje u kokilu, GD – tlačni ljev.

**Mehanička svojstva**

Oznaka DIN	Način lijevanja*	Naprez. tečenja $R_{p0.2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrst. $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$	Tvrdoća HB	Dinam. čvrst. na savij. ** ± N/mm <sup>2</sup>
G – Mg Al 8 Zn 1	p	90 ... 120	160 ... 220	2 ... 6	50 ... 65	70 ... 90
GK – Mg Al 8 Zn 1	k	90 ... 120	160 ... 220	2 ... 6	50 ... 65	70 ... 90
GD – Mg Al 8 Zn 1	t	140 ... 160	200 ... 240	1 ... 2	60 ... 85	50 ... 60
G – Mg Al 9 Zn 1	h	110 ... 130	240 ... 280	6 ... 10	55 ... 70	80 ... 100
	u	140 ... 150	240 ... 280	2 ... 4	65 ... 90	80 ... 100
GK – Mg Al 9 Zn 1	h	110 ... 130	240 ... 280	6 ... 10	55 ... 70	80 ... 100
	u	140 ... 150	240 ... 280	2 ... 4	65 ... 90	80 ... 100
GD – Mg Al 9 Zn 1	t	150 ... 170	220 ... 250	0,5 ... 1,5	65 ... 85	40 ... 50
G – Mg Al 9 Zn 2	p	90 ... 130	160 ... 220	2 ... 5	50 ... 70	70 ... 90
GK – Mg Al 9 Zn 2	k	90 ... 130	160 ... 220	2 ... 5	50 ... 70	70 ... 90
GD – Mg Al 9 Zn 2	t	140 ... 170	200 ... 250	0,5 ... 2	60 ... 85	40 ... 50

\* p – lijevano u pijesak, k – lijevano u kokilu, t – tlačni ljev; h – homogenizirano, u – toplo učvršćeno.

\*\* Pri 50 · 10<sup>6</sup> titraja.

## BAKAR I BAKRENE SLITINE

### Bakar

*Katodni bakar* je elektrolitički rafinirani (na katodi izlučeni) bakar, namijenjen u prvom redu za pretaljivanje u elektrolitski bakar.

S obzirom na način rafiniranja razlikujemo:

- *talionički bakar*, dobiven pirometalurškom rafinacijom
- *elektrolitski bakar*, dobiven pretaljivanjem katodnog bakra.

S obzirom na kisik u bakru razlikujemo:

- *bakar bez kisika*, taljen u zaštitnoj atmosferi ili vakuumu,
- *bakar s kisikom*, taljen u oksidacijskoj atmosferi,
- *dezoksidirani bakar*, dobiven upotrebom kovinskih ili nekovinskih dezoksidanata.

Standardne vrste bakra (JUS C.D1.002 – 1986)

Oznaka	Cu min.	Sastav* (%) O	P	Napomena
<b>Katodni bakar</b>				
EK1-Cu	99,99			} za katode
EK2-Cu	99,95			
<b>Bakar bez kisika</b>		0,001		} elektrolitski bakar
EB1-Cu	99,99			
EB2-Cu	99,95			
<b>Bakar s kisikom</b>				
ET1-Cu	99,90	0,005 ... 0,04		} elektrolitski bakar talionički bakar za lijevanje
ET2-Cu	99,90	0,005 ... 0,04		
T1-Cu	99,90	0,005 ... 0,08		
T2-Cu	99,70	... 0,01		
<b>Dezoksidirani bakar</b>				
ED-Cu	99,90		0,003	} elektrolitski bakar s malo P s mnogo P
DNP-Cu	99,90		0,005 ... 0,014	
DVP1-Cu	99,90		0,015 ... 0,04	
DVP2-Cu	99,70		0,015 ... 0,05	

\* Za elektrotehnički bakar nije odlučan kemijski sastav (EB1-Cu, EB2-Cu, ET1-Cu, ET2-Cu in ED-Cu), već samo električna vodljivost (u mekom stanju, pri 20 °C: najmanje 58 m/Ω mm<sup>2</sup>).

### Mehanička svojstva bakra

Stanje	Vlač. čvrst. $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Post. prod. $A_5$ %	Tvrdoća HB
meko	210 ... 250	> 38	40 ... 60
polutvrdo	250 ... 300	> 10	60 ... 90
tvrd	> 300	> 6	> 90

## Bakrene slitine za gnječenje

(JUS C.D2.100 – 1982)

### Slitine bakra s cinkom (»Mjedi«)

#### Oznaka i sastav

Oznaka	Sastav %		
	Cu	Zn	nečistoće (maks.)
<b>Cu Zn 5.00</b>	94,0 ... 96,0	ostatak	0,2 Ni ostale ukupno 0,3 (Al, Fe, Mn, Pb, Sn, Sb)
<b>Cu Zn 10.00</b>	89,0 ... 91,0		
<b>Cu Zn 15.00</b>	84,0 ... 86,0		
<b>Cu Zn 20.00</b>	79,0 ... 81,0		
<b>Cu Zn 28.00</b>	69,0 ... 73,0		0,3 Ni, 0,1 ... 0,2 Pb ostale ukupno 0,5
<b>Cu Zn 30.00</b>	69,0 ... 71,0		
<b>Cu Zn 33.00</b>	66,0 ... 68,5		
<b>Cu Zn 36.00</b>	63,4 ... 65,0		
<b>Cu Zn 37.00</b>	62,0 ... 64,5		
<b>Cu Zn 40.00</b>	59,0 ... 61,5		

#### Mehanička svojstva (prosječne vrijednosti) i smjernice za upotrebu

Oznaka	Stanje slitine	Vlačna čvrst. $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	% prod.		Tvrdoća HB	Smjernice za upotrebu
			$A_{10}$ %	$A_5$ %		
Cu Zn 10.00	meko polutvr tvrd	250 320 400	40 30 15	– – –	55 70 90	instalacijski dijelovi za elektrotehniku, ukrasni predmeti
Cu Zn 15.00	meko polutvr tvrd	250 320 400	40 30 15	– – –	55 70 90	
Cu Zn 20.00	meko polutvr tvrd	260 330 420	40 30 15	– – –	55 70 90	
Cu Zn 28.00	meko polutvr tvrd	250 320 380	40 30 18	45 32 20	50 70 90	cijevi za manometre, instalacijski dijelovi za elektrotehniku, ukrasni predmeti
Cu Zn 30.00	meko polutvr tvrd	260 340 430	40 24 12	45 26 14	52 80 100	
Cu Zn 33.00	meko polutvr tvrd	280 380 500	40 15 5	45 18 6	55 90 115	povećana sposobnost za hladno oblikovanje, žičane mreže, cijevne zakovice, vijci
Cu Zn 37.00	meko polutvr tvrd	290 350 410	45 25 15	48 28 17	60 75 95	najvažnija slitina za hladno oblikovanje (vučenje, valjanje, prešanje); vijci, cijevi
Cu Zn 40.00	meko polutvr tvrd	340 410 480	30 15 10	33 18 12	70 95 125	za toplo i hladno oblikovanje; dijelovi za prešanje u toplom stanju

**Slitine bakra s cinkom i olovom**  
(»Mjedi s olovom«)

<i>Oznaka i sastav</i>					
Oznaka	Cu	Sastav %			
		Pb	Zn	nečistoće (maks.)	
				Ni	ostale
Cu Zn 36 Pb 1,5.00	62,0 ... 64,0	0,7 ... 2,5	ostatak	0,3	0,5
Cu Zn 36 Pb 3 .00	60,0 ... 62,0	2,5 ... 3,5		0,3	0,5
Cu Zn 38 Pb 1,5.00	59,5 ... 61,5	1,5 ... 2,5		0,3	0,5
Cu Zn 39 Pb 2 .00	57,0 ... 59,0	1,5 ... 2,5		0,3	1,0
Cu Zn 39 Pb 3 .00	57,0 ... 59,0	2,5 ... 3,5		0,5	1,0
Cu Zn 44 Pb 2 .00	53,5 ... 56,0	1,0 ... 2,5		0,5	1,0

<i>Mehanička svojstva (prosječne vrijednosti) i smjernice za upotrebu</i>						
Oznaka	Stanje slitine	Vlačna čvrst. $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. %		Tvrdoća HB	Smjernice za upotrebu
			A <sub>10</sub>	A <sub>5</sub>		
Cu Zn 36 Pb 3.00	meka	340	30	33	70	za toplo i hladno oblikovanje, dijelovi za prešanje u toplom stanju
	polutvr.	410	15	18	95	
	tvrd	480	10	12	125	
Cu Zn 39 Pb 2.00	meka	370	25	28	75	najvažnija slitina za oblikovanje odvajanjem čestica (slit. za automate), razni dijel. strojeva
	polutvr.	440	10	12	105	
	tvrd	510	5	6	125	

**Posebne slitine bakra s cinkom**  
(»Posebne mjedi«)

<i>Oznaka i sastav</i>				
Oznaka	Cu	Sastav %		
		Al	Mn	ostalo
Cu Zn 20 Al 2.00	76,0 ... 79,0	1,8 ... 2,3	—	0,02 ... 0,035 As
Cu Zn 28 Sn 1.00	70,0 ... 73,0	—	—	0,9 ... 1,3 Sn <sup>1)</sup>
Cu Zn 31 Si 1.00	66,0 ... 70,0	—	—	0,7 ... 1,3 Si
Cu Zn 35 Ni 2,5.00	58,0 ... 61,0	0,3 ... 1,5	1,5 ... 2,5	2,0 ... 3,0 Ni
Cu Zn 38 Sn 1.00	59,5 ... 63,5	—	—	0,7 ... 1,4 Sn
Cu Zn 40 Al 1.00	56,5 ... 59,5	0,4 ... 1,6	0,4 ... 1,8	—
Cu Zn 40 Al 2.00	55,5 ... 59,0	1,3 ... 2,3	1,0 ... 2,4	—
Cu Zn 40 Ni 2.00	56,0 ... 58,0	0,5 ... 1,0	—	1,0 ... 2,0 Ni
Cu Zn 40 Mn 2.00	57,0 ... 59,0	—	1,0 ... 2,5	—
Cu Zn 38 Al 2 Mn 3 Ni.00	61,0 ... 63,0	2,0 ... 3,0	3,0 ... 4,0	0,3 ... 0,5 Ni <sup>2)</sup>
Cu Zn 39 Al Fe Mn.00	56,0 ... 61,0	0,2 ... 1,5	0,2 ... 2,0	0,2 ... 1,5 Fe

<sup>1)</sup> Također 0,02 ... 0,035 As. — <sup>2)</sup> Također 0,3 ... 0,7 Fe.

**Slitine bakra s kositrom**  
(»Kositrena bronca«)

<i>Oznaka, sastav i upotreba</i>				
Oznaka	Sn	Sastav %		Upotreba
		P	Cu	
Cu Sn 2.00	1,0 ... 2,5	0,01 ... 0,4	ostatak	vijci, opruge, za elektr. vodljive opruge
Cu Sn 6.00	5,5 ... 7,5	0,01 ... 0,4		opruge, savitljive cijevi za manometre, mreže za sita
Cu Sn 8.00	7,5 ... 9,0	0,01 ... 0,4		opruge, cijevi veće otpornosti prema habanju i koroziji

**Slitine bakra s kositrom i cinkom**  
(»Crvena kovina«)

<i>Oznaka, sastav i upotreba</i>						
Oznaka	Sn	Sastav %			Cu	Upotreba
		Zn	Pb	P maks.		
Cu Sn 4 Zn 4.00	3,0 ... 5,0	3,0 ... 5,3	—	0,1	ostatak	za manometarske opruge
Cu Sn 4 Pb 4 Zn 4.00	3,0 ... 5,0	3,0 ... 5,0	3,0 ... 5,0	0,4		za klizne ležaje

**Slitine bakra s aluminijem**  
(»Aluminijske bronce«)

Oznaka, sastav i upotreba						
Oznaka	Sastav %				Cu	Upotreba
	Al	Mn	Ni	As, Fe		
Cu Al 5,00	4,0 ... 6,0	0,0 ... 0,3	0,0 ... 0,8	As	ostatak	za kočne pojase, prigušivače oscilacija
Cu Al 5 As.00	4,0 ... 6,0	—	—	0,0 ... 0,8		otpor. prema sump. i oct. kiselini
Cu Al 8,00	7,0 ... 9,0	0,0 ... 0,5	0,0 ... 0,5	—		velika čvrstoća (i na povišenoj temper.), otpornost prema kiselinama i mor. vodi te vatri
Cu Al 8 Fe 3,00	6,5 ... 8,5	0,0 ... 0,8	0,0 ... 0,8	1,5 ... 3,5		
Cu Al 10 Fe 3,00	8,5 ... 11,0	1,5 ... 3,5	0,0 ... 1,0	2,0 ... 4,0		
Cu Al 10 Fe 5 Ni 5,00	8,5 ... 11,5	0,0 ... 1,5	4,0 ... 6,0	2,0 ... 8,0		
Cu Al 9 Mn 2,00	8,0 ... 10,0	1,5 ... 2,5	—	—		



**Slitine bakra s niklom (»Niklena bronca«)**  
**Sastav i upotreba**

Oznaka	Ni	Sastav %			Upotreba
		Fe	Mn	Cu	
Cu Ni 5 Fe 1 Mn .00	4,0... 6,0	1,0... 1,5	0,3... 0,8		ostatak za cijevi i aparate osobita otp. prema eroziji, koroziji i kavit. sposobnost za duboko izvlačenje, platiniranje za kondenzator, cijevi za kovani novac i platiniranje velika otp. prema eroziji, koroziji i kavit. sposobnost oblikovanja, lako oksidira
Cu Ni 10 Fe 1 Mn .00	9,0... 11,0	1,0... 2,0	0,3... 1,0		
Cu Ni 20.00	19,0... 22,0	–	0,0... 0,5		
Cu Ni 20 Mn 1 Fe .00	19,0... 22,0	0,4... 1,0	0,5... 1,5		
Cu Ni 25.00	24,0... 26,0	–	0,0... 0,5		
Cu Ni 30 Mn 1 Fe .00	29,0... 32,0	0,4... 1,0	0,5... 1,5		
Cu Ni 44 Mn 1.00	43,0... 45,0	–	0,5... 2,0		

**Slitine bakra s niklom i cinkom**  
**(»Novo srebro«)**

**Sastav i upotreba**

Oznaka	Cu	Sastav %			Upotreba
		Ni	Pb	Zn	
Cu Ni 10 Zn 27.00	61,0... 65,0	8,0... 11,0	–		ostatak dobro se lijeva i preša; za unut. arhitekturu dobro se preša i kuje, za opću upotrebu dobra spos. obl., za opruge; za pribor za jelo dobro se preša, kuje i obrađuje dobra sposobnost obl., za ukrasne predmete općenito za finu mehaniku i optiku; ključeve
Cu Ni 10 Zn 42 Pb 2.00	45,0... 48,0	9,0... 11,0	0,5... 2,0		
Cu Ni 12 Zn 24.00	62,0... 66,0	11,0... 13,0	–		
Cu Ni 15 Zn 21.00	63,0... 67,0	13,5... 16,5	–		
Cu Ni 18 Zn 20.00	60,0... 64,0	17,0... 19,0	–		
Cu Ni 18 Zn 27.00	59,0... 63,0	17,0... 19,0	–		
Cu Ni 18 Zn 19 Pb 1.00	59,0... 63,0	17,0... 19,0	0,3... 1,5		

Poznatiji trgovački nazivi za novo srebro: alpaka, argentan, pakfong. »Kitajsko srebro« je starije ime za posrebrano novo srebro.

\*

*Slitina bakra sa silicijem* (»silicijska bronca«) – (2,8... 3,5% Si; 1... 1,5% Mn; ost. Cu) – služi za opruge koje su električni vodiči, kovinska sita itd.

*Slitina bakra s berilijem* (»berilijska bronca«) – (1,5... 2,5% Be) – lako se kalij (otvrdnjava), čime se postiže tvrdoća do 400 HB.

**Bakrove slitine za lijevanje**  
**(JUS C.D2.300 – 1980/1986)**

**Slitine bakra sa cinkom i olovom**  
**(»Mjedi za lijevanje«)**

**Oznaka i sastav**

Oznaka	Sastav %			
	Cu	Pb	Al	Zn
• Cu Zn 33 Pb 2.00	63,0... 67,0	1,0... 3,0	–	ostatak
• Cu Zn 39 Pb .00	60,0... 63,0	0,5... 2,0	0,0... 0,5	
• Cu Zn 40 Pb .00	58,0... 63,0	0,5... 2,5	0,2... 0,8	

**Mehanička svojstva i upotreba**

Oznaka	Naprez. tečenja $R_p$ $R_{p\ 0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlač. čvrst. $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ %	Tvrdoća HB 10/1000	Upotreba
P. Cu Zn 33 Pb 2.01	70	180	12	450	otpornost prema koroziji, armature
K. Cu Zn 39 Pb .02	80	250	25	750	armature za plin i vodu
T. Cu Zn 39 Pb .05	120	250	15	750	
P. Cu Zn 40 Pb .01	—	220	15	—	armature, okovi, precizna mehanika
K. Cu Zn 40 Pb .02	120	280	15	750	
T. Cu Zn 40 Pb .05					

**Slitine bakra sa cinkom te aluminijem, željezom i manganom (»Posebne mjedi za lijevanje«)**

**Oznaka i sastav**

Oznaka	Sastav %				
	Cu	Al	Fe	Mn	Zn
• Cu Zn 25 Al 6 Fe 3 Mn 3.00	60,0... 66,0	4,5... 7,0	2,0... 4,0	1,5... 4,0	ostatak
• Cu Zn 26 Al 4 Fe 3 Mn 3.00	60,0... 66,0	2,5... 5,0	1,5... 4,0	1,5... 4,0	
• Cu Zn 35 Al Fe Mn .00	57,0... 65,0	0,5... 2,5	0,5... 2,0	0,1... 3,0	

**Mehanička svojstva i upotreba**

Oznaka	Naprez. tečenja $R_{p\ 0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlač. čvrst. $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ %	Tvrdoća HB 10/1000	Upotreba
P. Cu Zn 25 Al 6 Fe 3 Mn 3.01	400	725	10	1800	statički jako opte- rećeni dijelovi konstrukcija
C. Cu Zn 25 Al 6 Fe 3 Mn 3.03	400	740	10	1900	
N. Cu Zn 25 Al 6 Fe 3 Mn 3.04					
P. Cu Zn 26 Al 4 Fe 3 Mn 3.01	300	600	18	1400	velika statička čvrstoća i tvrdoća
C. Cu Zn 26 Al 4 Fe 3 Mn 3.03	300	600	18	1500	
N. Cu Zn 26 Al 4 Fe 3 Mn 3.04					
P. Cu Zn 35 Al Fe Mn .01	200	475	18	1100	umjerena klizna mehanička svoj- stva, brodski pro- peleri
K. Cu Zn 35 Al Fe Mn .02					
C. Cu Zn 35 Al Fe Mn .03					
N. Cu Zn 35 Al Fe Mn .04					
T. Cu Zn 35 Al Fe Mn .05					

**Slitine bakra s kositrom (»Kositrena bronca za lijevanje«)**

**Oznake i sastav**

Oznaka	Sastav %				
	Cu	Sn	Ni	Pb	P
• Cu Sn 14.00	85,0 ... 87,0	12,9 ... 15,0	—	—	< 0,2
• Cu Sn 12.00	85,0 ... 88,5	10,8 ... 12,8	—	—	0,05 ... 0,40
• Cu Sn 12 Ni 2.00	84,0 ... 87,5	11,0 ... 13,0	1,5 ... 2,5	—	0,05 ... 0,40
• Cu Sn 12 Pb 2.00	84,0 ... 87,5	11,0 ... 13,0	—	1,2 ... 2,5	0,05 ... 0,40
• Cu Sn 11 P.00	86,0 ... 89,5	10,0 ... 12,0	—	—	0,15 ... 1,5
• Cu Sn 10.00	88,0 ... 91,0	9,0 ... 10,7	—	—	—
• Cu Sn 10 P.00	87,0 ... 89,5	10,0 ... 11,5	—	—	0,5 ... 1,0

**Mehanička svojstva i upotreba**

Oznaka	Naprez. tečenja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlač. čvrst. $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ %	Tvrdoća HB 10/1000	Upotreba
P. Cu Sn 14.01	140	200	3	850	velika otpornost na koroziju i mor. vodu
C. Cu Sn 14.03	150	220	1,5	950	
N. Cu Sn 14.04	150	220	2	950	
P. Cu Sn 12.01	130	240	6	800	velika otpornost prema habanju, koroziji i morskoj vodi
K. Cu Sn 12.02	150	270	4	—	
C. Cu Sn 12.03	150	270	4	950	
N. Cu Sn 12.04	150	270	4	900	
P. Cu Sn 12 Ni 2.01	160	280	12	900	dobra otpornost prema habanju, koroziji i morskoj vodi
C. Cu Sn 12 Ni 2.03	180	300	8	1000	
N. Cu Sn 12 Ni 2.04	180	300	10	1000	
P. Cu Sn 12 Pb 2.01	130	240	4	800	dobra otpornost prema habanju, koroziji i morskoj vodi
C. Cu Sn 12 Pb 2.03	150	280	5	900	
N. Cu Sn 12 Pb 2.04	150	280	7	900	
P. Cu Sn 10.01	130	240	5	700	velika žilavost, otpornost na koroziju i morsku vodu
C. Cu Sn 10.03	150	270	7	950	
N. Cu Sn 10.04	150	270	7	900	

Slitine (P., K., C., N.): Cu Sn 11 P.00 i Cu Sn 10 P.00 (01, 02, 03, 04) su otporne prema habanju, koroziji i morskoj vodi.

**Slitine bakra s olovom i kositrom  
(»Olovno-kositrena bronca za lijevanje«)**

**Sastav**

Oznaka	Sastav %		
	Cu	Pb	Sn
• Cu Pb 9 Sn 5.00	80,0 ... 87,0	8,0 ... 10,0	4,0 ... 6,0
• Cu Pb 10 Sn 10.00	78,0 ... 82,0	8,0 ... 11,0	9,0 ... 11,0
• Cu Pb 15 Sn 8.00	75,0 ... 79,0	13,0 ... 17,0	7,0 ... 9,0
• Cu Pb 20 Sn 5.00	70,0 ... 78,0	18,0 ... 23,0	4,0 ... 6,0

**Mehanička svojstva i upotreba**

Oznaka	Naprez. tečenja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlač. čvrst. $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ %	Tvrdoća HB 10/1000	Upotreba
P. Cu Pb 9 Sn 5.01	80	160	7	—	otpornost na koroziju (za pare sumpor. i solne kiseline), klizni ležaji
K. Cu Pb 9 Sn 5.02	80	200	5	—	
C. Cu Pb 9 Sn 5.03	80	220	6	—	
N. Cu Pb 9 Sn 5.04	130	230	9	—	
P. Cu Pb 10 Sn 10.01	80	180	7	650	dobra otpornost prema habanju i koroziji, klizni ležaji
C. Cu Pb 10 Sn 10.03	140	220	3	700	
N. Cu Pb 10 Sn 10.04	110	220	6	700	
P. Cu Pb 15 Sn 8.01	80	170	5	600	dobra klizna svojstva, otpornost na sumpor. i solnu kiselinu
C. Cu Pb 15 Sn 8.03	100	220	8	650	
N. Cu Pb 15 Sn 8.04	100	220	8	650	
P. Cu Pb 20 Sn 5.01	60	150	5	500	dobra klizna svojstva, otpor. na koroziju
N. Cu Pb 20 Sn 5.04	80	180	7	—	

**Slitine bakra s kositrom, cinkom i olovom (»Crveni lijev«)**

Oznaka	Sastav %			
	Cu	Sn	Zn	Pb
• Cu Sn 10 Zn 2.00	86,0 ... 89,0	9,1 ... 11,0	1,0 ... 3,0	—
• Cu Sn 8 Pb 2.00	82,0 ... 91,0	6,0 ... 9,0	—	0,5 ... 4,0
• Cu Sn 7 Pb 7 Zn 3.00	81,0 ... 85,0	6,0 ... 8,0	2,0 ... 5,0	5,0 ... 8,0
• Cu Sn 5 Pb 5 Zn 5.00	84,0 ... 86,0	4,0 ... 6,0	4,0 ... 6,0	4,0 ... 6,0
• Cu Sn 3 Zn 9 Pb 7.00	78,0 ... 82,0	2,5 ... 3,5	7,0 ... 10,0	6,0 ... 8,0

**Mehanička svojstva i upotreba**

Oznaka	Naprez. tečenja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlač. čvrst. $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ %	Tvrdoća HB 10/1000	Upotreba
P. Cu Sn 10 Zn 2.01	120	240	12	750	umjereno opterećeni klizni dijelovi, otpor. na morsku vodu
C. Cu Sn 10 Zn 2.03	149	270	7	850	
N. Cu Sn 10 Zn 2.04	140	270	7	800	
P. Cu Sn 8 Pb 2.01	130	250	16	—	otpornost na morsku vodu i koroziju, za armature i kućišta pumpi
K. Cu Sn 8 Pb 2.02	130	220	2	—	
C. Cu Sn 8 Pb 2.03	130	230	4	—	
N. Cu Sn 8 Pb 2.04	130	270	5	—	
P. Cu Sn 7 Pb 7 Zn 3.01 <sup>1)</sup>	100	210	12	650	otpornost na koroziju i morsku vodu
C. Cu Sn 7 Pb 7 Zn 3.03 <sup>2)</sup>	120	260	12	750	
P. Cu Sn 5 Pb 5 Zn 5.01 <sup>3)</sup>	90	200	13	600	otpornost na koroziju i morsku vodu
C. Cu Sn 5 Pb 5 Zn 5.03 <sup>4)</sup>	100	250	13	—	
P. Cu Sn 3 Zn 9 Pb 7.01	90	200	18	500	
C. Cu Sn 3 Zn 9 Pb 7.03	100	201	16	550	

1) Također K. Cu Sn 7 Pb 7 Zn 3.02. — 2) Također N. Cu Sn 7 Pb 7 Zn 3.04 — 3) Također K. Cu Sn 5 Pb 5 Zn 5.02. — 4) Također N. Cu Sn 5 Pb 5 Zn 5.04.

**Slitine bakra s aluminijem (»Aluminijska bronca za lijevanje«)**  
**Sastav**

Oznaka	Sastav %			
	Cu	Al	Fe	Ni
Cu Al 9.00	88,0...92,0	8,0...10,5	—	—
Cu Al 10 Fe 3.00	83,0...89,0	8,5...11,0	2,0...5,0	—
Cu Al 10 Fe 5 Ni 5.00	76	8,5...11,0	3,5...5,5	3,5...6,5

**Mehanička svojstva i upotreba**

Oznaka	Naprez. tečenja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlač. čvrst. $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ %	Tvrdoća HB 10/1000	Upotreba
P. Cu Al 9.01	120	320	15	800	otpor. na koroziju, za prehr. industriju
K. Cu Al 9.02	140	450	15	850	
P. Cu Al 10 Fe 3.01	200	500	13	1150	općenito za meha- nički opterećene di- jelove (pri temper. –200 do +200°C)
K. Cu Al 10 Fe 3.02		550	15	1150	
C. Cu Al 10 Fe 3.03					
N. Cu Al 10 Fe 3.04					
P. Cu Al 10 Fe 5 Ni 5.01	250	600	10	1400	otpornost na koro- ziju i velika čvrsto- ća, za brodske pro- pelere
K. Cu Al 10 Fe 5 Ni 5.02	300	600	12	1500	
C. Cu Al 10 Fe 5 Ni 5.03	280	680	12	1600	
N. Cu Al 10 Fe 5 Ni 5.04					

**NIKAL I NIKLENE SLITINE**  
**Čisti nikal**

Tehnički čisti nikal sadrži:

- iznad 99,6% Ni – za kemijske aparate (osobito za platiniranje),
- iznad 98,7% Ni – za anode,
- iznad 98,0% Ni – za opću upotrebu (i za slitine).

**Mehanička svojstva**

Slitina	Stanje	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ %	Tvrdoća HB
98,0% Ni	meko tvrd	400...450 750	30...45 1	80...90 180...200

**Niklene slitine za lijevanje**  
**(DIN 17730 – 1971)**

**Sastav**

Oznaka po DIN	Sastav %					
	Ni	Cu	Fe	Mn	Si	ostalo
G-Ni95	> 95	—	—	—	—	— <sup>1)</sup>
G-Ni93 C	> 93	—	—	—	—	1,0...2,5 C <sup>2)</sup>
G-Ni90 Si	> 90	—	—	—	5,5...6,5	1,0 C <sup>3)</sup>
G-Ni Cu 30 Nb	62...68	26...33	1,0...2,5	0,5...1,5	0,5...1,5	1,0...1,5 Nb <sup>4)</sup>
G-Ni Cu 30 Si3	61...68	27...33	1,0...2,5	—	2,7...3,7	0,5...1,5 Al <sup>4)</sup>
G-Ni Cu 30 Si4	60...68	27...31	1,0...2,5	0,5...1,5	3,5...4,5	— <sup>4)</sup>

Nečistoće:

- <sup>1)</sup> 2,0 Si, 1,0 C, 1,2 Cu, 1,0 Fe, 1,5 Mn, 0,01 S, 0,19 ostalo
- <sup>2)</sup> 2,0 Si, 1,2 Cu, 1,0 Fe, 1,5 Mn, 0,01 S, 1,19 ostalo
- <sup>3)</sup> 1,2 Cu, 1,0 Fe, 1,5 Mn, 0,01 S, 0,19 ostalo
- <sup>4)</sup> 1,0 razno

**Mehanička svojstva i upotreba**

Oznaka slitine	Naprez. tečenja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup> min.	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup> min.	Postot. prod. $A_5$ % min.	Tvrdoća HB min.	Upotreba
G-Ni95	120	320	12	80	dobra otpornost prema koro- ziji, za armature, aparate i sl.
G-Ni93 C	160	340	10	85	
G-Ni90 Si	350	500	3	180	
G-Ni Cu 30 Nb	220	450	25	120	dobra otpornost prema eroziji (i kavitacijskoj), koroziji; ve- lika postojanost u mor. vodi
G-Ni Cu 30 Si3	350	650	10	220	
G-Ni Cu 30 Si4	500	750	1	260	

\*

**Monel** je slitina s približno 66% Ni, 29% Cu, 3% Mn (+ Si, Fe, C), a veoma je otporna prema koroziji. Upotrebljava se za kondenzatorske cijevi, lopatice vodnih turbina, dijelove kućanskih aparata i sl.

### Niklene slitine za gnječenje

(DIN 17741, 17742, 17743, 17744 – 1983 i 17745 – 1973)

#### Sastav i upotreba

Oznaka po DIN	Ni min	Mn	Cr	Cu	Mo	Fe	Al	ostalo	Upotreba
Ni99,4Fe	99,4					0,4			otporni termometri
NiMn1	98	0,6							kem. aparati
NiMn2	97	2,0							motorske svječe
NiMn3Al	94	3,0					1,5	1 Si	termoelementi, mrežice za elektronke
NiMn5	94	5,0							
NiCr8020	76		20					1 Si	} otpornici žice za grijala
NiCr7030	60	1,0	30	0,5		5		2 Si	
NiCr6015	59		15			21			
NiCr20AlSi	73	0,7	20			1	3,2	2 Si	otpornici
NiCr15Fe	72		15			8			} vatrostalni dijelovi
NiCr23Fe	58	1,0	23	0,5		18	1,4	0,5 Ti	
NiCr20Ti	72	1,0	20	0,5		5		1 Si; 0,4 Ti	
NiCr20TiAl	65	1,0	20			1,5	1,4	1 Si; 2,3 Ti	} trajno opter. dijelovi otpor. na koroziju kaljivo – kem. apar.
NiCu30Fe	63			31		1,5			
NiCu30Al	63			30		1	3,0	0,6 Ti	
NiMo16Cr16Ti		1,0	16	0,5	16	3		2 Co	} dijelovi otporni na koroziju
NiMo28		1,0	1	0,5	28	2		1 Co	
NiCr22Mo6Cu		1,5	22	2	6	20		1 Si; 2 Co	
NiCr22Mo7Cu		1,0	22	2	7	20		5 Co	
NiMo16Cr15W		1,0	15	0,5	16	5		2 Co; 4 W	
NiCr22Mo9Nb		0,5	22	0,5	9	3		1 Co; 4 Nb	
NiCr21Mo6Cu	39	1,0	21	2,5	6			1 Co	} meke magnetske slitine
NiCr21Mo	38	1,0	21	2,0	3	ost.		1 Co; 0,9 Ti	
NiFe15Mo	79					4	15		
NiFe16CuCr	76		2	5		16			
NiFe16CuMo	76			5	4	16			
NiFe48Cr	51		1			47			
NiFe47Cr	47	1,0	6			47			} utaljivanje u mekom staklu
Ni49	48		1			49			
Ni48	46					51			
Ni42	41	1,0				57			
NiFe47	50	0,6				47			
NiFe46	51	0,6				46			
NiFe45	53					45			
NiFe44	53	0,5				44			
NiCo2918	28					54	18 Co		
NiCo2823	27	0,5				48	23 Co		

\* Prosječne i zaokružene vrijednosti.

### CINK I CINCANE SLITINE

#### Čisti cink

Tehnički čisti cink – u pločama (JUS C.E1.020 – 1970)

#### Sastav i upotreba

Oznaka	Sastav %		Upotreba
	Zn min.	nečistoće maks.	
Zn 99,995	99,995	0,005	} za cincane slitine za tlačno lijevanje, za bakrene slitine s cinkom (i niklom); za duboko izvlačenje
Zn 99,99	99,99	0,01	
Zn 99,95	99,95	0,05	
Zn 99,5	99,5	0,5	} za galvansko i toplo cinkanje, slitine s cinkom, cinka- no bješlo itd.
Zn 98,5	98,5	1,5	
Zn 97,5	97,5	2,5	

#### Cincane slitine za lijevanje

(JUS C.J6.040 – 1963 i DIN 1743/2 – 1967)

#### Oznaka i sastav

Oznaka JUS – DIN	Sastav %				Nečistoće % maks.
	Al	Cu	Mg	Zn	
- po JUS:					
T. Zn Al 4	3,5 ... 4,3	0,0 ... 0,5	0,02 ... 0,06	} ostatak	} 0,08 Fe 0,005 Cd 0,007 Pb 0,003 Sn
T. Zn Al 4 Cu 1	3,5 ... 4,3	0,5 ... 1,2	0,02 ... 0,06		
- po DIN					
GK – Zn Al 4 Cu 3	3,5 ... 4,3	2,5 ... 3,2	0,03 ... 0,06	} ostatak	} 0,075 Fe 0,009 Pb + Cd 0,002 Sn
GK – Zn Al 6 Cu 1	5,6 ... 6,0	1,2 ... 1,6	(< 0,005)*		

\* kao nečistoća.

#### Mehanička svojstva i upotreba

Oznaka	Naprez. tečenja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup> min.	Vlačna čvrst. $R_m$ N/mm <sup>2</sup> min.	Postot. prod. $A_5$ % min.	Tvr- doća HB min.	Upotreba
T. Zn Al 4	200	250	1,5	70	tlačni odljevci točnih dimen- zija
T. Zn Al 4 Cu 1	220	270	2	80	tlačni odljevci tankih stijenki
G-Zn Al 4 Cu 3	170	220	0,5	90	odljevci u pijesku
GK-Zn Al 4 Cu 3	200	240	1	100	odljevci u kokili
G-Zn Al 6 Cu 1	150	180	1	80	} lijevački odljevci u pijesku od- nosno kokili
GK-Zn Al 6 Cu 1	170	220	1,5	80	

# OLOVO I OLOVNE SLITINE

## Čisto olovo

Rafinirano olovo – u bloku (JUS C.E1.030 – 1978)

### Sastav i upotreba

Oznaka	Pb min.	Sastav % Cu	nečistoće maks.	Upotreba
Pb 99,99	99,99	–	0,01	za optičko staklo, akumulatore za kemijske aparate za slitine, kableske plašteve za kemijske aparate pri povišenim temperaturama
Pb 99,985	99,985	–	0,015	
Pb 99,95	99,95	–	0,05	
Pb 99,9	99,90	–	0,10	
Pb H. 99,9	99,90	0,04 ... 0,10	0,06	

## Slitine olova s kositrom i antimonom

Tiskarske slitine (JUS C.E1.101 – 1966)

### Sastav i upotreba

Oznaka	Sastav % Pb Sn Sb			Tiskarska oznaka slitine	Upotreba
G Pb Sn 3 Sb 4	93	3	4	3/4	podloge galvanskih ploča za stereo-ploče za strojeve linotype za stereo-ploče za strojeve monotype
G Pb Sn 4 Sb 15	81	4	15	4/15	
G Pb Sn 5 Sb 12	83	5	12	5/12	
G Pb Sn 5 Sb 14	81	5	14	5/14	
G Pb Sn 9 Sb 17	74	9	17	9/17	za povećanje žitkosti za povećanje tvrdoće
D Pb Sn 30 Sb 6*	64	30	6	30/6	
D Pb Sn 5 Sb 28*	67	5	28	5/28	

\* Dodatne slitine.

Slitine za plašteve električnih kablove (JUS C.E1.040 – 1963)

### Sastav i upotreba

Oznaka	Sastav % Cu Sn Sb Pb				Upotreba
E Pb 99,9	–	–	–	> 99,90	vrlo meko, za posebne svrhe vrlo meko, za opću upotrebu tvrd, za telefonske kabele meko, za brodске kabele
E Pb Cu	0,04	–	–		
E Pb Sb	–	–	0,85	ostatak	
E Pb Sn Sb	–	0,40	0,20		

Slitine olova s antimonom (JUS C.E1.035 – 1963)

Sastav %	Upotreba
1 ... 5 Sb	limovi, trake, cijevi, žice armature ploče za zaštitu od radioaktivnog zračenja za akumulatore
6 Sb	
7 ... 10 Sb	
5,5 Sb	
8,8 Sb	

# Kositrene i olovne slitine za ležaje (JUS C.E1.100 – 1963)

(»Bijela kovina«)

Oznaka	Sastav %	Tvrdoća HB pri °C 20 50 100			Talište °C	Temperatura lijevanja °C
L. Sn 89	88 ... 90 Sn 3 ... 4 Cu 7 ... 8 Sb	24,5	19	12	241 ... 354	424 ... 450
L. Sn 80	79 ... 81 Sn 8 ... 10 Cu 11 ... 12 Sb	27	20	10	230 ... 400	440 ... 460
L. Sn 80 Pb	79 ... 81 Sn 5 ... 7 Cu 11 ... 13 Sb 1 ... 3 Pb	27	20	10	182 ... 400	440 ... 460
L. Pb Sn 9 Cd	8 ... 10 Sn 0,5 ... 1,5 Cu 13 ... 15 Sb 0,75 ... 1,0 Cd 0,75 ... 1,0 As 0,4 ... 0,6 Ni ost. Pb	28	23	15	240 ... 400	450 ... 520
L. Pb Sn 6 Cd	5 ... 7 Sn 0,5 ... 1,5 Cu 14 ... 16 Sb 0,75 ... 1,0 Cd 0,75 ... 1,0 As 0,4 ... 0,6 Ni ost. Pb	26	21	15	245 ... 420	480 ... 520
L. Pb Sn 10	9,5 ... 10,5 Sn 0,5 ... 1,5 Cu 14,5 ... 16,5 Sb ost. Pb	23	16	9	235 ... 370	420 ... 450
L. Pb Sn 5	4,5 ... 5,5 Sn 0,5 ... 1,5 Cu 14,5 ... 16,5 Sb ost. Pb	22	13	6	240 ... 420	450 ... 520

### Upotreba

- L. Sn 89 } za dinamički teško opterećene ležaje uz povišenu temperaturu
- L. Sn 80 } za dinamički teško opterećene ležaje
- L. Pb Sn 9 Cd } za ležaje dobre klizne sposobnosti pri velikim opterećenjima
- L. Pb Sn 6 Cd } za ležaje dobre klizne sposobnosti pri umjerenim opterećenjima
- L. Pb Sn 10 }
- L. Pb Sn 5 }

## LEMOVI

### Tvrđi lemovi

#### Mjedeni lemovi (JUS C.D2.306 – 1957)

Oznaka	Sastav %			Temper. lemljenja °C	Upotreba
	Cu	Zn min.	Si		
S. Cu 85 Zn	84...86	13	0,2...0,4	1020	za bakar, bakrene slitine, čelik i lijevano željezo
S. Cu 63 Zn	62...64	35	0,2...0,4	910	
S. Cu 60 Zn	59...61	38	0,2...0,4	900	
S. Cu 54 Zn	53...55	44	0,2...0,4	890	za bakrene i niklene slitine i lijevano željezo
S. Cu 48 Zn	47...49	50	–	870	
S. Cu 42 Zn	41...43	56	–	845	za bakrene i niklene slitine

#### Bakreni lemovi (DIN 8513/1 – 1979)

Oznaka po DIN	Sastav %			Temper. lemljenja °C	Upotreba
	Cu	Sn	P		
L-Cu	> 99,90	–	–	1083	za nelegirani čelik
L-SF Cu	> 99,90	–	0,02...0,05	1083	
L-Cu Sn6	> 91	5...8	0...0,4	1040	za željezne i niklene slitine
L-Cu Sn 12	> 86	11...13	0...0,4	990	

#### Meki lemovi (JUS C.E1.041 – 1963)

Oznaka	Sastav* %		Najniža temperatura lemljenja °C	Upotreba
	Sn	Pb		
S. Sn 20	20	80	275	za prevlake kovina
S. Sn 25	25	75	257	
S. Sn 30	30	70	249	za strojno lemljenje plamenom
S. Sn 33	33	67	242	
S. Sn 35	35	65	237	za lemljenje razmazivanjem
S. Sn 40	40	60	223	
S. Sn 50	50	50	200	za opće svrhe
S. Sn 60	60	40	185	za fino lemljenje
S. Sn 75	75	25	185	za lemljenje zdravstvenih predmeta

\* Dopustive nečistoće (maks.) %: 0,25 Bi; 0,02 Fe; 0,05 As; 0,005 Al; 0,005 Zn.

\*

Slitine s ekstremno niskim talištem:

Roseova slitina: 50% Bi, 25% Pb, 25% Sn – talište 94 °C.

Woodova slitina: 50% Bi, 25% Pb, 12,5% Sn, 12,5% Cd – talište 70 °C.

### Srebrni lemovi (JUS C.D2.307 – 1957)

Oznaka	Sastav %				Zn	Talište °C
	Ag	Cu maks.	Cd	razno maks.		
S. Cu 55 Zn Ag 8	7...9	55	–	–	ostatak	870
S. Cu 52 Zn Ag 12	11...13	52	–	–		830
S. Cu 52 Zn Ag 12 Cd	11...13	52	5...9	–		800
S. Cu 49 Zn Ag 15 Cd	14...16	49	8...12	–		770
S. Cu 43 Zn Ag 20 Cd	19...21	43	13...17	–		750
S. Cu 43 Zn Ag 25	24...26	43	–	–		780
S. Cu 42 Zn Ag 25 Cd	24...26	42	12...16	–		730
S. Cu 40 Zn Ag 27 Mn	26...28	40	–	10 Mn, 6 Ni		840
S. Cu 44 Zn Ag 30 Cd	29...31	44	3...7	–		770
S. Cu 36 Zn Ag 30 Cd	29...31	36	10...14	–		700
S. Cu 42 Zn Ag 38 Sn	37...39	42	–	4 Sn		800
S. Cu 32 Zn Ag 44	43...45	32	–	–		730
S. Cu 19 Zn Ag 45 Cd	44...46	19	18...22	–		620
S. Cu 18 Zn Ag 49 Mn	48...50	18	–	8 Mn, 5 Ni		690
S. Cu 32 Zn Ag 50 Cd	49...51	32	3...7	–		700

#### Upotreba

Srebrni su lemovi namijenjeni općenito za lemljenje čelika, lijevenog željeza, bakra i bakrenih slitina, a osobito:

S. Cu 52 Zn Ag 12 Cd, S. Cu 49 Zn Ag 15 Cd, S. Cu 43 Zn Ag 20 Cd – za lemljenje čelika (i platiranih čeličnih limova) s bakrom;

S. Cu 40 Zn Ag 27 Mn za kemijski otporne čelike i tvrde metale;

S. Cu 42 Zn Ag 38 Sn – kao lem otporan prema morskoj vodi;

S. Cu 32 Zn Ag 44 – kao vatrostalni lem;

S. Cu 32 Zn Ag 50 Cd – kao lem otporan prema koroziji.

### Aluminijaki lemovi

#### Tvrđi lemovi za aluminij (DIN 8513/4 – 1981)

Oznaka po DIN	Sastav %		Temperatura lemljenja °C	Upotreba
	Si	Al		
L-Al Si 7,5	6,8...8,2	ostatak	605...615	općenito za aluminij (naročito za slitine Al Mn)
L-Al Si 10	9,0...10,5		595...605	
L-Al Si 12	11,0...13,5		590...600	

#### Meki lemovi za aluminij (DIN 1707 – 1981)

Oznaka po DIN	Sastav %				Temper. lemljenja °C	Upotreba
	Sn	Zn	Cd	drugo		
L-Sn Zn 10	85...92	8...15	–	–	200...250	tarni lemovi
L-Sn Zn 40	55...70	30...45	–	–	200...340	
L-Cd Zn 20	–	17...25	75...83	–	265...280	manje osjetljiv prema koroziji
L-Zn Al 5	–	94,0...96,0	–	4,0...6,0 Al	380...390	

**POSEBNE SLITINE ZA ELEKTROTEHNIKU**  
**Slitine za električne otpornike (DIN 17471 – 1983)**

Oznaka po DIN	Sastav %				Specifični električni otpor $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$				Upotreba
	Mn	Ni	Al	Cu	20 °C	100 °C	300 °C	500 °C	
Cu Mn 12 Ni*	12	2	–	–	0,43	0,43	–	–	za preciz. mjerne otpornike
Cu Ni 20 Mn 10	10	20	–	–	0,49	0,49	0,49	–	
Cu Ni 44**	1	44	–	–	0,49	0,49	0,49	0,49	
Cu Mn 2 Al	2	–	0,8	–	0,125	0,130	–	–	za opće otpornike
Cu Ni 30 Mn	3	30	–	–	0,40	0,405	0,417	0,432	
Cu Mn 12 Ni Al	12	5	1,2	–	0,50	0,50	0,50	0,50	

\* »Manganin«. – \*\* »Konstantan«.  
Nikotin je slitina sa (%): 55...68 Cu, 31...32 Ni, 0...13 Zn, a ima specifični električni otpor 0,40...0,44  $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ .

**Slitine za električne žice za visoke temperature (DIN 17470 – 1984)**

Oznaka po DIN	Sastav %				Specifični električni otpor $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$				Upotreba do °C
	Cr	Ni	Al	Fe	20 °C	400 °C	800 °C	1200 °C	
Ni Cr 80 20 <sup>1)</sup>	20	ost.	–	–	1,12	1,15	1,14	1,17	1200
Ni Cr 60 15 <sup>2)</sup>	15	ost.	–	22	1,13	1,20	1,22	1,28	1150
Ni Cr 30 20 <sup>3)</sup>	20	30	–	ost.	1,04	1,17	1,26	–	1100
Cr Ni 25 20 <sup>4)</sup>	25	20	–	ost.	0,95	1,11	1,22	–	1050
Cr Al 25 5	25	–	5	ost.	1,44	1,45	1,48	1,49	1300
Cr Al 20 5	20	–	5	ost.	1,37	1,39	1,44	1,45	1200

<sup>1)</sup> »Cekas II«. – <sup>2)</sup> »Cekas«. – <sup>3)</sup> »Cekas 0«. – <sup>4)</sup> »Cekas I«.

Kanal je slitina sa (%): 30 Cr, 5 Al, 3 Co i ost. Fe, a upotrebljava se do 1350 °C.

**Slitine posebne električne permeabilnosti**

Naziv	Sastav u %					Fe
	Ni	Cu	Mo	Mn	C	
slitina »1040«	72	14	3	–	< 0,1	11
permalloy A	78,5	–	–	–	–	21,5
permalloy B	48	–	–	–	< 0,1	52
permalloy C	78,5	–	3	0,5	< 0,1	18

**Slitine za permanentne magnete**

Naziv	Sastav u %					Fe
	Co	Cr	Mo	Ni	Al	
permendur	49	–	–	–	–	49
koerzit 15 Co 70	16	9	1,6	–	–	–
koerzit 30 Co 90	31	4,7	0,4	–	–	4,8 Ti
500 koerzit 120	–	–	–	27,5	13	–
700 koerzit 160	10	–	–	24,5	11,5	4 Cu
slitine Mishima: 1)	–	–	–	26	14	+ Cu
2)	7,5	–	–	27	6	+ Cu

**TITAN I TITANOVE SLITINE**

**Čisti titan**

Titan kristalizira u dva kristalna oblika: pod temperaturom pretvorbe 882 °C je  $T_{\alpha}$  koji kristalizira heksagonalno, nad tom temperaturom nastaje  $T_{\beta}$  koji kristalizira u kubnoj prostorno centraliziranoj rešetki.

Gustoća titana leži među gustoćama teških i lakih kovina:

$T_{\alpha}$  (20 °C)  $\rho = 4505 \text{ kg/m}^3$        $T_{\beta}$  (900 °C)  $\rho = 4320 \text{ kg/m}^3$

**Tehnički čisti titan (DIN 17850 – 1985)**

Oznaka	Sastav (%)					
	Fe maks.	O $\approx$	N maks.	C maks.	H maks.	Ti
3.7025	0,20	0,10	0,05	0,08	0,13	ost.
3.7035	0,25	0,20	0,06	0,08	0,13	
3.7055	0,30	0,25	0,06	0,10	0,13	
3.7065	0,35	0,30	0,07	0,10	0,13	

**Mehanička svojstva kovanog titana (DIN 17864 – 1973)**

Oznaka	Naprez. tečenja $R_{p0,2}$		Vlačna čvrstoća $R_m$	Postot. produlj. $A_5$ %		Tvrdća HB	Žilav. KU/3 J	
	$R_{p0,2}$	$R_{p1}$		uzd.	popr.		uzd.	popr.
3.7025.10	> 180	> 200	250...410	30	25	120	85	60
3.7035.10	> 250	> 270	390...540	22	20	150	40	35
3.7055.10	> 320	> 350	460...590	28	16	170	35	25
3.7065.10	> 390	> 410	540...740	16	15	200	25	20

Tehnički čisti titan je otporan prema koroziji, postojan u morskoj vodi i morskoj klimi. Upotreba: za kemijske aparate i u zrakoplovstvu.

**Titaneve slitine (DIN 17851 – 1973)**

Oznaka	Sastav (%)*				Gustoća $\text{kg/m}^3$
	Al	V	Sn	Ti	
TiAl 6 V 4	5,5...6,75	3,5...4,5	–	–	4450
TiAl 5 Sn 2	4,0...6,0	–	2,0...3,0	ost.	4500

\* Dozvoljene nečistoće (%): 0,08 C, 0,30...0,50 Fe, 0,015...0,020 H, 0,05 N, 0,20 O.

**Mehanička svojstva titanovih slitina (DIN 17864)**

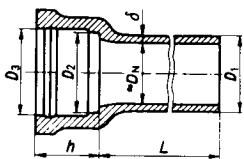
Oznaka	Modul elast. E $\text{N/mm}^2$	Naprez. tečenja $R_{p0,2}$	Vlačna čvrstoća $R_m$	Postot. produlj. %	Žilavost KU/3 J	Upotreba
		$R_{p0,2}$	$R_m$			
TiAl 6 V 4-F89	111 000	820	890	10	31	do 480 °C
TiAl 5 Sn 2-F79	–	760	790	8	–	do 500 °C

Titaneve slitine dobro se zavaruju, otporne su prema koroziji. Njihova znatna čvrstoća i razmjerno mala gustoća omogućuju konstruiranje najlakših dijelova (zrakoplovstvo, svemirska tehnika).

# OBLICI KOVINSKIH POLUPROIZVODA

## ODLJEVCI OD SIVOG LIJEVA za tlačne cjevovode

### Cijevi s kolčakom (JUS C.J1.030 — 1961)



Razred*		Nazivni tlak bar				Ispitni tlak bar	
		za $D_N$ (mm)				za $D_N$ (mm)	
		50, 65	80	100	1200	600	600
LA	c	16	10	20	15		
A	c	—	12,5	25	20		
	g	12,5	10	20	15		
B	c	—	16	30	25		
	g	—	12,5	25	20		

\* c — centrifugalni lijev, g — gravitacijski lijev

Nazivni promjer $D_N$ mm	Dimenzije								Masa	
	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$h$	$\delta$ (mm) pri razredu				kg	kg/m
	mm	mm	mm	mm	LA	A	B			
50	66	78	84	77	6,7	7,3	—	3,3	8,9	
65	82	94	100	80	6,9	7,6	—	4,4	11,6	
80	98	110	116	84	7,2	7,9	8,6	5,5	14,7	
100	118	131	137	88	7,5	8,3	9,0	7,1	18,6	
125	144	157	163	91	7,9	8,7	9,5	9,2	24,2	
150	170	183	189	94	8,3	9,2	10,0	11,5	31,1	
200	222	235	241	100	9,2	10,1	11,0	16,8	44,0	
250	274	287	294	103	10,0	11,0	12,0	22,9	59,3	
300	326	339	346	105	10,8	11,9	13,0	29,8	76,5	
350	378	391	398	107	11,7	12,8	14,0	37,5	96,3	
400	429	442	449	110	12,5	13,8	15,0	46,3	116,9	
450	480	494	501	112	13,3	14,7	16,0	56,0	141,0	
500	532	546	553	115	14,2	15,6	17,0	66,0	165,2	
600	635	650	657	120	15,8	17,4	19,0	89,3	219,8	
700	738	753	760	122	17,5	19,3	21,0	116,8	283,2	
800	842	857	865	125	19,2	21,1	23,0	147,8	354,9	
900	945	960	968	128	20,8	22,9	25,0	182,6	431,8	
1000	1048	1064	1072	130	22,5	24,8	27,0	222,3	518,3	
1100	1152	1169	1177	135	24,2	26,6	29,0	265,6	613,1	
1200	1256	1273	1281	140	25,8	28,4	31,0	313,2	712,9	

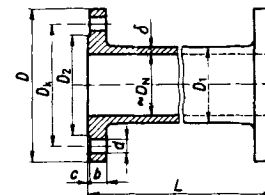
\* Masa cijevi vrijedi za razred LA. Mase cijevi za razrede A i B su približno za 10 odnosno 20% veće.

Nazivni promjeri $D_N$	50, 65	80 ... 150	200 ... mm
Duljine $L$	2 i 3	3, 4 i 5	4 i 5 m

## Cijevi s prirubnicom (JUS C.J1.033 — 1961)

Razred*	Nazivni tlak (bar)	Ispitni tlak (bar)			
		za $D_N$ (mm) =			
		... 300	300	600	600
B	g	12,5	25	20	15

\* g — gravitacijski lijev (u pješčanim kalupima).



Nazivni promjer $D_N$ mm	Dimenzije					Rupe za vijke			Masa	
	$D_1$	$D_2$	$D$	$b$	$\delta$	$D_k$	$n^*$	$d$	prirub- nice kg	cijevi kg/m
50	66	98	165	20,5	8,0	125	4	19	2,7	10,4
65	82	118	185	21,0	8,3	145	4	19	3,3	13,7
80	98	133	200	21,0	8,6	160	4	19	3,7	17,3
100	118	153	220	22,0	9,0	180	8	19	4,2	22,0
125	144	183	250	22,5	9,5	210	8	19	5,3	28,7
150	170	209	285	23,0	10,0	240	8	23	6,7	35,9
200	222	264	340	24,5	11,0	295	8	23	9,3	52,1
250	274	319	395	26,0	12,0	350	12	23	12,0	70,6
300	326	367	445	27,5	13,0	400	12	23	14,8	91,4
350	378	427	505	29,0	14,0	460	16	23	19,0	114,5
400	429	477	565	30,0	15,0	515	16	28	23,4	139,5
450	480	528	615	31,5	16,0	565	20	28	26,5	169,0
500	532	582	670	33,0	17,0	620	20	28	32,1	196,7
600	635	682	780	36,0	19,0	725	20	31	44,0	262,9
700	738	797	895	38,5	21,0	840	24	31	59,9	338,2
800	842	904	1015	41,5	23,0	950	24	34	80,8	423,1
900	945	1004	1115	44,0	25,0	1050	28	34	94,6	516,6
1000	1048	1111	1230	47,0	27,0	1160	28	37	120,0	619,2
1100	1152	1221	1340	50,0	29,0	1270	32	37	139,0	731,5
1200	1256	1329	1455	52,5	31,0	1380	32	40	173,0	853,0

\*  $n$  — broj rupa.

Vrijednost  $c$  na slici iznosi:

$D_N = 50 \dots 250$	$300 \dots 500$	$600 \dots 1200$	mm
$c = 3$	$4$	$5$	mm

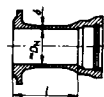
Duljine  $L$  iznose za  $D_N = 50, 65$  i  $80$  mm: 1, 2 ili 3 m, za sve ostale  $D_N$ : 1, 2, 3 ili 4 m.



# Fazonski cijevni komadi (JUS C.J1. 040 ... 081 — 1961)

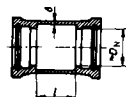
## Spojni komadi

s kolčakom i  
prirubnicom  
(JUS C.J1.040)



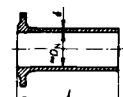
$D_N = 50 \dots 1200$   
 $\delta = 9,3 \dots 36,2$   
 $l = 150 \dots 500$

s kolčacima  
(JUS C.J1.041)



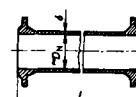
$D_N = 50 \dots 1200$   
 $\delta = 10,1 \dots 38,0$   
 $l = 155 \dots 270$

s prirubnicom  
(JUS C.J1.042)



$D_N = 50 \dots 1200$   
 $\delta = 9,3 \dots 36,2$   
 $l = 400 \dots 800$

s prirubnicama  
(JUS C.J1.043)

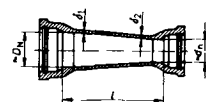


$D_N = 50 \dots 1200$   
 $\delta = 9,3 \dots 36,2$   
 $l = 100 \dots 900$

(Sve su mjere u mm)

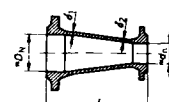
## Redukcijski komadi

s kolčacima  
(JUS C.J1.050)



$D_N = 65 \dots 1200$  mm  
 $d_n = 50 \dots 1100$  mm  
 $\delta_1 = 9,7 \dots 36,2$  mm  
 $\delta_2 = 9,3 \dots 33,8$  mm  
 $l = 200 \dots 600$  mm

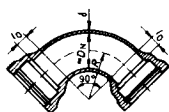
s prirubnicama  
(JUS C.J1.051)



$D_N = 65 \dots 1200$  mm  
 $d_n = 50 \dots 1100$  mm  
 $\delta_1 = 9,7 \dots 36,2$  mm  
 $\delta_2 = 9,3 \dots 33,8$  mm  
 $l = 200 \dots 600$  mm

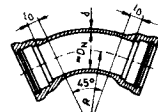
## Lukovi — s kolčacima

$1/4$  luk  
(JUS C.J1.060)



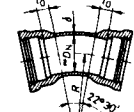
$D_N = 50 \dots 500$   
 $\delta = 9,3 \dots 19,8$   
 $R = 110 \dots 515$   
 $l_0 = 40 \dots 85$

$1/8$  luk  
(JUS C.J1.061)



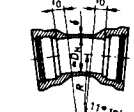
$D_N = 50 \dots 1200$   
 $\delta = 9,3 \dots 36,2$   
 $R = 250 \dots 1400$   
 $l_0 = 40 \dots 155$

$1/16$  luk  
(JUS C.J1.062)



$D_N = 50 \dots 1200$   
 $\delta = 9,3 \dots 36,2$   
 $R = 250 \dots 1400$   
 $l_0 = 40 \dots 155$

$1/32$  luk  
(JUS C.J1.063)

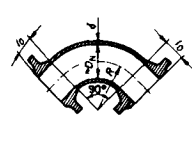


$D_N = 50 \dots 1200$   
 $\delta = 9,3 \dots 36,2$   
 $R = 250 \dots 1400$   
 $l_0 = 40 \dots 155$

(Sve su mjere u mm)

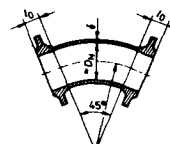
## — s prirubnicama

$1/4$  luk  
(JUS C.J1.064)



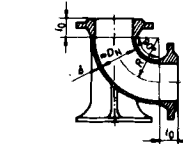
$D_N = 50 \dots 1200$  mm  
 $\delta = 9,3 \dots 36,2$  mm  
 $R = 110 \dots 1145$  mm  
 $l_0 = 40 \dots 155$  mm

$1/8$  luk  
(JUS C.J1.065)



$D_N = 50 \dots 1200$  mm  
 $\delta = 9,3 \dots 36,2$  mm  
 $R = 266 \dots 1400$  mm  
 $l_0 = 40 \dots 155$  mm

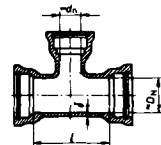
luk sa stopalom  
(JUS C.J1.068)



$D_N = 50 \dots 600$  mm  
 $\delta = 9,2 \dots 22,2$  mm  
 $R = 110 \dots 605$  mm  
 $l_0 = 40 \dots 95$  mm

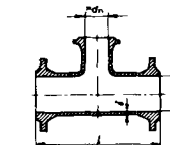
## Odvojci

s kolčacima  
(JUS C.J1.070)



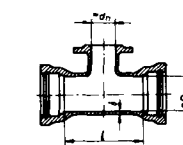
$D_N = 50 \dots 600$  mm  
 $d_n = 50 \dots 600$  mm  
 $\delta = 9,3 \dots 22,2$  mm  
 $l = 171 \dots 940$  mm

s prirubnicama  
(JUS C.J1.071)



$D_N = 50 \dots 1200$  mm  
 $d_n = 50 \dots 1200$  mm  
 $\delta = 9,3 \dots 36,2$  mm  
 $l = 300 \dots 1700$  mm

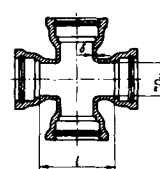
s kolčacima  
i prirubnicom  
(JUS C.J1.072)



$D_N = 50 \dots 1200$  mm  
 $d_n = 50 \dots 1200$  mm  
 $\delta = 9,3 \dots 36,2$  mm  
 $l = 170 \dots 1780$  mm

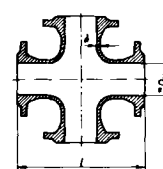
## Križni komadi

s kolčacima  
(JUS C.J1.080)



$D_N = 50 \dots 600$  mm  
 $\delta = 9,3 \dots 22,2$  mm  
 $l = 170 \dots 940$  mm

s prirubnicama  
(JUS C.J1.081)






$D_N = 50 \dots 1200$  mm  
 $\delta = 9,3 \dots 36,2$  mm  
 $l = 300 \dots 1700$  mm

# ČELIČNI POLUPROIZVODI

Mase materijala po jedinici duljine (kg/m) ili jedinici površine (kg/m<sup>2</sup>) izračunate su s obzirom na gustoću čelika 7850 kg/m<sup>3</sup>.

Čelik u šipkama – vruće valjan:

okrugli (JUS C.B3.021 – 1984)		kvadratni (JUS C.B3.024 – 1984)		šesterokutni (JUS C.B3.026 – 1984)	
					
Nazivna debljina mm	Duljinska masa kg/m	Nazivna debljina mm	Duljinska masa kg/m	Nazivni zbijen ključ mm	Duljinska masa kg/m
	okrugli	kvadr.	okrugli	kvadr.	
5,5	0,187		40	9,86	12,6
6	0,222		42	10,9	
6,5	0,260		44	11,9	
7	0,302		45	12,5	
7,5	0,347		50	15,4	19,6
8	0,395	0,502	52	16,7	
10	0,617	0,785	55	18,7	
12	0,888	1,13	60	22,2	28,3
14	1,21	1,54	65	26,0	
16	1,58	2,01	70	30,2	38,5
18	2,00	2,54	75	34,7	
20	2,47	3,14	80	39,5	50,2
22	2,98	3,80	90	49,9	
24	3,55		100	61,7	78,5
25	3,85	4,91	110	74,6	
27	4,49		120	88,8	113
28	4,83		140	121	
30	5,55	7,07	150	139	
31	5,92		160	158	
32	6,31	8,04	180	200	
35	7,55	9,62	200	247	
37	8,44		220	298	
38	8,90				
					83
					88
					93
					98
					103

Navedeni su samo čelici debljine skupine A koji se obično upotrebljavaju. (Za čelike debljine skupine B koji se upotrebljavaju samo iznimno – vidi gore navedeni standard!)

Okrugli betonski čelik (JUS C.K6.020 – 1955)

Promjeri: 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 36, 40.

Preporučuje se upotreba deblje tiskanih promjera.

# Vučeni čelici u šipkama

Okrugli vučeni čelici

– vučeni u tolerancijskom polju ISO h 11 (JUS C.B3.411 – 1984) i ISO h 9 (JUS C.B3.412 – 1984)

Promjer d mm	Masa kg/m	Promjer d mm	Masa kg/m	Promjer d mm	Masa kg/m	Promjer d mm	Masa kg/m
10	0,617	21	2,72	38	8,90	75	34,7
10,5	0,680	22	2,98	39	9,38	80	39,5
11	0,746	23	3,26	40	9,86	85	44,5
11,5	0,815	24	3,55	42	10,9	90	49,9
12	0,888	25	3,85	44	11,9	95*	55,6
12,5	0,963	26	4,17	45	12,5	100	61,7
13	1,04	27	4,49	46	13,0	110	74,6
13,5	1,12	28	4,83	48	14,2	120	88,8
14	1,21	30	5,55	50	15,4	125	96,3
14,5	1,30	31	5,92	52	16,7	130	104
15	1,39	32	6,31	55	18,7	140	121
16	1,58	33	6,71	58	20,7	150	139
17	1,78	34	7,13	60	22,2	160	158
18	2,00	35	7,55	63	24,5	180	200
19	2,23	36	7,99	65	26,0	200	247
20	2,47	37	8,44	70	30,2		

\* Standardizirano samo u tolerancijskom području ISO h 11.

Kvadratni vučeni čelici (JUS C.B3.421 – 1986)  
vučeni u tolerancijskom polju ISO h 11

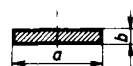
Debljina a mm	Masa kg/m	Debljina a mm	Masa kg/m	Debljina a mm	Masa kg/m	Debljina a mm	Masa kg/m
2	0,0314	10	0,785	22	3,80	50	19,6
3	0,0707	11	0,950	(24)	4,52	(55)	23,7
3,5	0,0962	12	1,13	25	4,91	(60)	28,3
4	0,126	13	1,33	(27)	5,72	63	31,2
4,5	0,159	14	1,54	28	6,15	(65)	33,2
5	0,196	(15)	1,77	(30)	7,07	70	38,5
5,5	0,237	16	2,01	32	8,04	(75)	44,2
6	0,283	(17)	2,27	(35)	9,62	80	50,2
7	0,385	18	2,54	36	10,2	100	78,5
8	0,502	(19)	2,83	40	12,6		
9	0,636	20	3,14	45	15,9		

Dimenzije u zagradama upotrebljavaju se jedino u iznimnim slučajevima.

\*

Šesterokutni vučeni čelici – JUS C.B3.441 – 1984 (vučeni u tolerancijskom polju ISO h 11).

# Plosnati čelik



vruće valjan (JUS C.B3.025 – 1984)

Debljine 5... 14 mm

Širina <i>a</i> mm	Duljinska masa kg/m za debljinu <i>b</i> mm									
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10	0,393	–	–	–	–	–	–	–	–	–
12	0,471	0,565	–	–	–	–	–	–	–	–
14	0,550	0,659	0,769	0,879	–	–	–	–	–	–
15	0,589	0,707	0,824	0,942	–	1,18	–	–	–	–
16	0,628	0,754	0,879	1,00	1,13	1,26	1,38	–	–	–
18	0,707	0,848	–	1,13	1,27	1,41	–	–	–	–
20	<b>0,785</b>	<b>0,942</b>	1,10	<b>1,26</b>	1,41	<b>1,57</b>	–	1,88	2,04	–
22	0,864	1,04	1,21	1,38	–	1,73	1,90	2,07	2,25	2,42
25	<b>0,981</b>	<b>1,18</b>	1,37	<b>1,57</b>	–	<b>1,96</b>	–	<b>2,36</b>	2,55	2,75
26	1,02	1,22	1,43	1,63	–	2,04	–	2,45	2,65	2,86
28	1,10	1,32	1,54	1,76	–	2,20	–	2,64	2,86	3,08
30	<b>1,18</b>	<b>1,41</b>	1,65	<b>1,88</b>	2,12	<b>2,36</b>	–	<b>2,83</b>	3,06	3,30
32	1,26	1,51	–	2,01	–	2,51	–	3,01	3,27	3,52
35	<b>1,37</b>	<b>1,65</b>	1,92	<b>2,20</b>	2,47	<b>2,75</b>	–	<b>3,30</b>	3,57	3,85
38	1,49	1,79	–	2,39	–	2,98	–	3,58	3,88	4,18
40	<b>1,57</b>	<b>1,88</b>	2,20	<b>2,51</b>	2,83	<b>3,14</b>	–	<b>3,77</b>	4,08	4,40
45	<b>1,77</b>	<b>2,12</b>	2,47	<b>2,83</b>	–	<b>3,53</b>	–	<b>4,24</b>	4,59	4,95
50	<b>1,96</b>	<b>2,36</b>	2,75	<b>3,14</b>	3,53	<b>3,93</b>	–	<b>4,71</b>	5,10	5,50
55	2,16	2,59	–	3,45	–	4,32	–	5,18	5,61	6,04
60	<b>2,36</b>	<b>2,83</b>	3,30	<b>3,77</b>	4,24	<b>4,71</b>	–	<b>5,65</b>	6,12	7,14
65	2,55	3,06	–	4,08	4,59	5,10	–	6,12	6,63	–
70	<b>2,75</b>	<b>3,30</b>	3,85	<b>4,40</b>	–	<b>5,50</b>	–	<b>6,59</b>	7,14	–
75	2,94	3,53	–	4,71	–	5,89	–	7,07	7,65	–
80	<b>3,14</b>	<b>3,77</b>	4,40	<b>5,02</b>	–	<b>6,28</b>	6,91	<b>7,54</b>	8,16	–
90	<b>3,53</b>	<b>4,24</b>	4,95	<b>5,65</b>	6,36	<b>7,07</b>	7,77	<b>8,48</b>	9,18	–
100	<b>3,93</b>	<b>4,71</b>	5,50	<b>6,28</b>	–	<b>7,85</b>	8,64	<b>9,42</b>	10,2	11,0
110	–	–	–	6,91	7,77	8,64	9,50	10,4	11,2	12,1
120	–	–	–	<b>7,54</b>	8,48	<b>9,42</b>	10,4	<b>11,3</b>	12,2	–
130	–	–	–	8,16	9,18	10,2	11,2	12,2	13,3	14,3
140	–	–	–	8,79	9,89	11,0	–	13,2	–	–
150	–	–	–	<b>9,42</b>	–	<b>11,8</b>	13,0	<b>14,1</b>	15,3	16,5

Debelo otisnute mase vrijede za običajne dimenzije; ostale su izvanredne.

Duljina plosnatog čelika:

normalno: 3... 4 m, najveća: 12 m.

# Vruće valjani plosnati čelik (JUS C.B3.025 – 1984)

Debljine 15... 50 mm

Širina <i>a</i> mm	Duljinska masa kg/m za debljinu <i>b</i> mm									
	15	16	17	18	20	25	30	35	40	50
	15	16	17	18	20	25	30	35	40	50
20	2,36	–	–	–	–	–	–	–	–	–
22	2,59	–	–	–	–	–	–	–	–	–
25	2,94	3,14	–	–	–	–	–	–	–	–
26	3,06	3,27	–	3,67	–	–	–	–	–	–
28	–	3,52	–	3,96	–	–	–	–	–	–
30	<b>3,53</b>	3,77	–	4,24	<b>4,71</b>	5,89	–	–	–	–
32	3,77	4,02	–	–	5,02	6,28	–	–	–	–
35	<b>4,12</b>	4,40	–	4,95	<b>5,50</b>	6,87	–	–	–	–
38	4,47	4,77	–	–	5,97	7,46	–	–	–	–
40	<b>4,71</b>	5,02	–	5,65	<b>6,28</b>	7,85	9,42	–	–	–
45	<b>5,30</b>	5,65	–	–	<b>7,07</b>	8,83	10,6	–	–	–
50	<b>5,89</b>	6,28	–	7,07	<b>7,85</b>	<b>9,81</b>	<b>11,8</b>	–	15,7	–
55	6,48	6,91	–	7,77	8,64	10,8	13,0	–	–	–
60	<b>7,07</b>	7,54	–	8,48	<b>9,42</b>	<b>11,8</b>	<b>14,1</b>	16,5	18,8	–
65	7,65	8,16	–	9,18	10,2	12,8	15,3	–	20,4	–
70	<b>8,24</b>	8,79	–	9,89	<b>11,0</b>	<b>13,7</b>	<b>16,5</b>	19,2	22,0	27,5
75	8,83	9,42	10,0	–	11,8	14,7	17,7	20,6	23,6	–
80	<b>9,42</b>	10,0	10,6	–	<b>12,6</b>	<b>15,7</b>	<b>18,8</b>	22,0	<b>25,1</b>	31,4
90	<b>10,6</b>	11,3	12,0	12,7	<b>14,1</b>	17,7	<b>21,2</b>	–	<b>28,3</b>	35,3
100	<b>11,8</b>	12,3	13,3	14,1	<b>15,7</b>	<b>19,6</b>	<b>23,6</b>	–	<b>31,4</b>	39,3
110	13,0	13,8	14,7	15,5	17,3	21,6	25,9	–	34,5	43,2
120	<b>14,1</b>	15,1	16,0	17,0	<b>18,8</b>	<b>23,6</b>	<b>28,3</b>	–	<b>37,7</b>	<b>47,1</b>
130	15,3	16,3	–	18,4	20,4	25,5	30,6	–	40,8	51,0
140	16,5	17,6	–	–	22,0	27,5	33,0	–	44,0	55,0
150	<b>17,7</b>	18,8	–	–	<b>23,6</b>	<b>29,4</b>	<b>35,3</b>	–	<b>47,1</b>	<b>58,9</b>

Duljina plosnatog čelika: normalna 3... 4 m, maksimalna 12 m.

Široki plosnati čelik – lamele, vruće valjan

(JUS C.B3.030 – 1986): širina *a* 150... 1250 mm,  
debljina *b* 40... 80 mm,  
duljina *l* 2... 12 m.

Plosnati čelik s rebrom – za lisnate opruge, vruće valjan

(JUS C.B3.031 – 1966): širina *a* 60... 120 mm,  
debljina *b* 10... 16 mm.

Vučeni plosnati čelik

(JUS C.B3.431 – 1986): širina *a* 5... 50 mm,  
debljina *b* 1,5... 50 mm.

Hladno valjane čelične trake

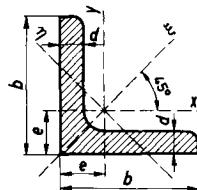
(JUS C.B3.530 – 1967): širina *a* do 600 mm,  
debljina *b* 0,08... 5,0 mm.

Trakasti (obručni) čelik, vruće valjan

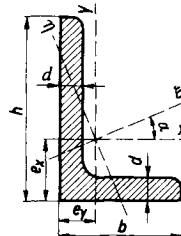
(JUS C.B3.550 – 1960): širina *a* 10... 190 mm,  
debljina *b* 1... 5 mm.

Čelični kutni profili — vruće valjani

Jednakokrani kutni profili  
(JUS C.B3.101 — 1962)



Raznokračni kutni profili  
(JUS C.B3.111 — 1962)



Statičke veličine:

$I$  — moment tromosti plohe

$W$  — moment otpora

$i$  — polumjer tromosti

Konstruktivske mjere — vidi str. 431!

Jednakokrani kutni profili


Oznaka $b \times b \times d$ mm	Pre- sjek $S$ mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Statičke veličine					
			$e$ mm	$I_x = I_y$ $10^4 \text{ mm}^4$ (= cm <sup>4</sup> )	$I_\eta$	$W_x = W_y$ $10^3 \text{ mm}^3$ (= cm <sup>3</sup> )	$W_\eta$	$i_\eta$ mm
20 × 20 × 3	112	0,88	6,0	0,39	0,15	0,28	0,18	3,7
25 × 25 × 3	142	1,12	7,3	0,79	0,31	0,45	0,30	4,7
25 × 25 × 4	185	1,45	7,6	1,01	0,40	0,58	0,37	4,7
30 × 30 × 3	174	1,36	8,4	1,41	0,57	0,65	0,48	5,7
30 × 30 × 4	227	1,78	8,9	1,81	0,76	0,86	0,61	5,8
30 × 30 × 5	278	2,18	9,2	2,16	0,91	1,04	0,70	5,7
35 × 35 × 4	267	2,10	10,0	2,96	1,24	1,18	0,88	6,8
40 × 40 × 4	308	2,42	11,2	4,48	1,86	1,56	1,18	7,8
40 × 40 × 5	379	2,97	11,6	5,43	2,22	1,91	1,35	7,7
45 × 45 × 5	430	3,38	12,8	7,83	3,25	2,43	1,80	8,7
50 × 50 × 5	480	3,77	14,0	11,0	4,59	3,05	2,32	9,8
50 × 50 × 6	569	4,47	14,5	12,8	5,24	3,61	2,57	9,6
55 × 55 × 6	631	4,95	15,6	17,3	7,24	4,40	3,28	10,7

Jednakokrani kutni profili (nastavak)

Oznaka $b \times b \times d$ mm	Pre- sjek $S$ mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Statičke veličine					
			$e$ mm	$I_x = I_y$ $10^4 \text{ mm}^4$ (= cm <sup>4</sup> )	$I_\eta$	$W_x = W_y$ $10^3 \text{ mm}^3$ (= cm <sup>3</sup> )	$W_\eta$	$i_\eta$ mm
60 × 60 × 6	691	5,42	16,9	22,8	9,43	5,29	3,95	11,7
60 × 60 × 8	903	7,09	17,7	29,1	12,1	6,88	4,84	11,6
65 × 65 × 7	870	6,83	18,5	33,4	13,8	7,18	5,27	12,6
70 × 70 × 7	940	7,38	19,7	42,4	17,6	8,43	6,31	13,7
70 × 70 × 9	1 190	9,34	20,5	52,6	22,0	10,6	7,59	13,6
75 × 75 × 8	1 150	9,03	21,3	58,9	24,4	11,0	8,11	14,6
75 × 75 × 10	1 410	11,1	22,1	71,4	29,8	13,5	9,55	14,5
80 × 80 × 8	1 230	9,66	22,6	72,3	29,6	12,6	9,25	15,5
80 × 80 × 10	1 510	11,9	23,4	87,5	35,9	15,5	10,9	15,4
80 × 80 × 12	1 790	14,1	24,1	102	43,0	18,2	12,6	15,3
90 × 90 × 9	1 550	12,2	25,4	116	47,8	18,0	13,3	17,6
90 × 90 × 11	1 870	14,7	26,2	138	57,1	21,6	15,4	17,5
100 × 100 × 10	1 920	15,1	28,2	177	73,3	24,7	18,4	19,5
100 × 100 × 12	2 270	17,8	29,0	207	86,2	29,2	21,0	19,5
110 × 110 × 10	2 120	16,6	30,7	239	98,6	30,1	22,7	21,6
110 × 110 × 12	2 510	19,7	31,5	280	116	35,7	26,1	21,5
120 × 120 × 11	2 540	19,9	33,6	341	140	39,5	29,5	23,5
120 × 120 × 13	2 970	23,3	34,4	394	162	46,0	33,3	23,4
130 × 130 × 12	3 000	23,6	36,4	472	194	50,4	37,7	25,4
130 × 130 × 14	3 470	27,2	37,2	540	223	58,2	42,4	25,3
140 × 140 × 14	3 720	29,2	40,2	692	282	69,3	49,7	27,5
140 × 140 × 16	4 220	33,2	40,9	775	318	78,2	55,0	27,4
150 × 150 × 14	4 030	31,6	42,1	845	347	78,2	58,3	29,4
150 × 150 × 16	4 570	35,9	42,9	949	391	88,7	64,4	29,3
160 × 160 × 15	4 610	36,2	44,9	1 100	453	95,6	71,3	31,4
160 × 160 × 17	5 180	40,7	45,7	1 230	506	108	78,3	31,3
200 × 200 × 16	6 180	48,5	55,2	2 340	943	162	121	39,1
200 × 200 × 18	6 910	54,3	56,0	2 600	1 050	181	133	39,0

Normalne duljine jednakokranih kutnih profila: 3...15 m.

# Raznokračni kutni profili

Oznaka  $b \times h \times d$ mm	Pre- sjek $S$ mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Statičke veličine					
			$e_x$	$e_y$	$I_x$ 10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup> (= cm <sup>4</sup> )	$I_y$ 10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup> (= cm <sup>4</sup> )	$W_x$ 10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> (= cm <sup>3</sup> )	$W_y$ 10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> (= cm <sup>3</sup> )
			mm					
20 × 30 × 3	142	1,11	9,9	5,0	1,25	0,44	0,62	0,29
20 × 30 × 4	185	1,45	10,3	5,4	1,59	0,55	0,81	0,38
20 × 40 × 3	172	1,35	14,3	4,4	2,79	0,47	1,08	0,30
30 × 45 × 4	287	2,25	14,8	7,4	5,78	2,05	1,91	0,91
40 × 60 × 5	479	3,76	19,6	9,7	17,2	6,11	4,25	2,02
40 × 60 × 6	568	4,46	20,0	10,1	20,1	7,12	5,03	2,38
40 × 60 × 7	655	5,14	20,4	10,5	23,0	8,07	5,79	2,74
40 × 80 × 6	689	5,41	28,5	8,8	44,9	7,59	8,73	2,44
50 × 65 × 5	554	4,35	19,9	12,5	23,1	11,9	5,11	3,18
50 × 65 × 7	760	5,97	20,7	13,3	31,0	15,8	6,99	4,31
50 × 100 × 10	1 410	11,1	36,7	12,0	141	23,4	22,2	6,17
55 × 75 × 7	866	6,80	24,0	14,1	47,9	21,8	9,39	5,32
60 × 90 × 6	869	6,82	28,9	14,1	71,7	25,8	11,7	5,61
60 × 90 × 8	1 140	8,96	29,7	14,9	92,5	33,0	15,4	7,31
65 × 80 × 8	1 100	8,66	24,7	17,3	68,1	40,1	12,3	8,41
65 × 100 × 9	1 420	11,1	33,2	15,9	141	46,7	21,0	9,52
65 × 100 × 11	1 710	13,4	34,0	16,7	167	55,1	25,3	11,4
65 × 130 × 10	1 860	14,6	46,5	14,5	321	54,2	38,4	10,7
75 × 130 × 8	1 590	12,5	43,6	16,5	276	68,3	31,9	11,7
80 × 120 × 8	1 550	12,2	38,3	18,7	226	80,8	27,6	13,2
80 × 120 × 10	1 910	15,0	39,2	19,5	276	98,1	34,1	16,2
80 × 120 × 12	2 270	17,8	40,0	20,3	323	114	40,4	19,1
90 × 130 × 10	2 120	16,6	41,5	21,8	358	141	40,5	20,6
90 × 130 × 12	2 510	19,7	42,4	22,6	420	165	48,0	24,4
100 × 150 × 10	2 420	19,0	48,0	23,4	552	198	54,1	25,8
100 × 150 × 12	2 870	22,6	48,9	24,2	650	232	64,2	30,6
100 × 200 × 12	3 480	27,3	70,3	21,0	1 440	247	111	31,3
100 × 200 × 14	4 030	31,6	71,2	21,8	1 650	282	128	36,1

Normalne duljine raznokračnih kutnih profila: 3...15 m.

# Čelični profili

vruće valjani (JUS C.B3.141 — 1962)

Statičke veličine:

$I$  — moment tromosti plohe

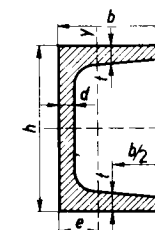
$W$  — moment otpora

Polumjer tromosti:

$$i_x = \sqrt{I_x/A}$$

$$i_y = \sqrt{I_y/A}$$

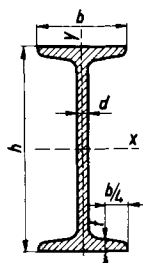
Konstruktivske mjere — vidi str. 431!



Oznaka*	Dimenzije mm				Pre- sjek <i>S</i> mm <sup>2</sup>	Duljinska masa kg/m	Statičke veličine				
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>t</i>			<i>e</i> mm	<i>I</i> <sub>x</sub> 10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup> (= cm <sup>4</sup> )	<i>I</i> <sub>y</sub> 10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup> (= cm <sup>4</sup> )	<i>W</i> <sub>x</sub> 10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> (= cm <sup>3</sup> )	<i>W</i> <sub>y</sub> 10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> (= cm <sup>3</sup> )
□											
6,5	65	42	5,5	7,5	903	7,09	14,2	57,5	14,1	17,7	5,07
8	80	45	6	8	1100	8,64	14,5	106	19,4	26,5	6,36
10	100	50	6	8,5	1350	10,6	15,5	206	29,3	41,2	8,49
12	120	55	7	9	1700	13,4	16,0	364	43,2	60,7	11,1
14	140	60	7	10	2040	16,0	17,5	605	62,7	86,4	14,8
16	160	65	7,5	10,5	2400	18,8	18,4	925	85,3	116	18,3
18	180	70	8	11	2800	22,0	19,2	1350	114	150	22,4
20	200	75	8,5	11,5	3220	25,3	20,1	1910	148	191	27,0
(22)	220	80	9	12,5	3740	29,4	21,4	2690	197	245	33,6
24	240	85	9,5	13	4230	33,2	22,3	3600	248	300	39,6
26	260	90	10	14	4830	37,9	23,6	4820	317	371	47,7
(28)	280	95	10	15	5330	41,8	25,3	6280	399	448	57,2
30	300	100	10	16	5880	46,2	27,0	8030	495	535	67,8

\* Treba se kloniti dimenzija u zagradama.

Normalne duljine čeličnih profila  $\square$ : 4...15 m.



**Čelični profili I**  
vruće valjani (JUS C.B3.131 — 1962)

Statičke veličine:

$I$  — moment tromosti plohe  
 $W$  — moment otpora

Polumjer tromosti:

$$i_x = \sqrt{I_x/A}$$

$$i_y = \sqrt{I_y/A}$$

Konstruktivske mjere — vidi str. 431!

Oznaka*	Dimenzije mm				Pre-sjek S mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Statičke veličine			
	h	b	d	t			$I_x$ 10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup>	$I_y$ 10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup>	$W_x$ 10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>	$W_y$ 10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>
8	80	42	3,9	5,9	758	5,95	77,8	6,3	19,5	3,00
10	100	50	4,5	6,8	1 060	8,32	171	12,2	34,2	4,88
12	120	58	5,1	7,7	1 420	11,2	328	21,5	54,7	7,41
14	140	66	5,7	8,6	1 830	14,4	573	35,2	81,9	10,7
16	160	74	6,3	9,5	2 280	17,9	935	54,7	117	14,8
18	180	82	6,9	10,4	2 790	21,9	1 450	81,3	161	19,8
20	200	90	7,5	11,3	3 350	26,3	2 140	117	214	26,0
(22)	220	98	8,1	12,2	3 960	31,1	3 060	162	278	33,1
24	240	106	8,7	13,1	4 610	38,2	4 250	221	354	41,7
26	260	113	9,4	14,1	5 340	41,9	5 740	288	442	51,0
(28)	280	119	10,1	15,2	6 110	48,0	7 590	364	543	61,2
30	300	125	10,8	16,2	6 910	54,2	9 800	451	653	72,2
(32)	320	131	11,5	17,3	7 780	61,1	12 510	555	782	84,7
34	340	137	12,2	18,3	8 680	68,1	15 700	674	923	98,4
(36)	360	143	13,0	19,5	9 710	76,2	19 610	818	1 090	114
(38)	380	149	13,7	20,5	10 700	84,0	24 010	975	1 250	131
40	400	155	14,4	21,6	11 800	92,6	29 210	1 160	1 460	149

\* Treba se kloniti dimenzija u zagradama.

Normalne duljine čeličnih profila I: 4...15 m.

**Konstruktivske mjere čeličnih profila (po DIN 997)**

Sve mjere u mm

**Čelični kutni profili**

	b	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>0</sub> max.	b	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>0</sub> max.
	h				h			
	20	12	—	4,3	75	40	—	23
	25	15	—	6,4	80	45	—	23
	30	17	—	8,4	90	50	—	25
	35	18	—	11	100	45	60	25
	40	22	—	11	110	45	70	25
	45	25	—	13	120	50	80	25
	50	30	—	13	130	50	90	25
	55	30	—	17	140	50	95	28
	60	35	—	17	150	50	105	28
	65	35	—	21	160	60	115	28
	70	40	—	21	200	60	150	28

**Čelični profili C**

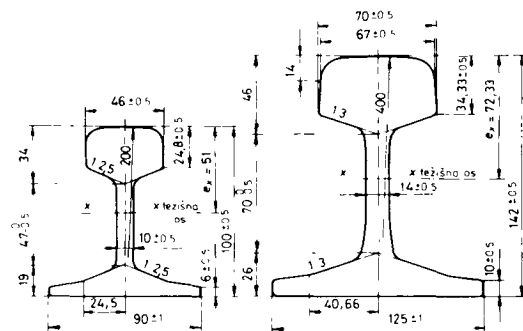
	b	c	d <sub>0</sub> max.	h <sub>1</sub>	b	c	d <sub>0</sub> max.	h <sub>1</sub>
	42	25	11	33	75	40	23	151
	45	25	13	46	80	45	23	167
	50	30	13	64	85	45	25	184
	55	30	17	82	90	50	25	200
	60	35	17	98	95	50	25	216
	65	35	21	115	100	55	25	222
	70	40	21	133				

**Čelični profili I**

	b	c	d <sub>0</sub> max.	h <sub>1</sub>	b	c	d <sub>0</sub> max.	h <sub>1</sub>
	42	22	6,4	59	113	60	17	208
	50	28	6,4	75	119	62	17	225
	58	32	8,4	92	125	64	21	241
	66	34	11	109	131	70	21	258
	74	40	11	125	137	74	21	274
	82	44	13	142	143	76	23	290
	90	48	13	159	149	82	23	306
	98	52	13	176	155	86	23	323
	106	56	17	192				

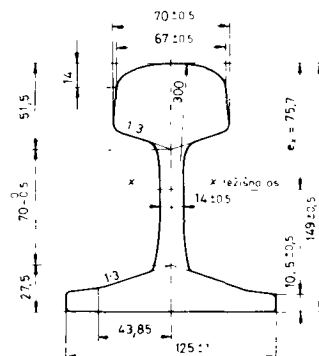
**Željezničke tračnice** (duljinske mase veće od 20 kg/m)  
(JUS C.K1.021 – 1963)

Oznaka tipa tračnice	Dulj. masa kg/m	Presjek $S$ mm <sup>2</sup>	Moment tromosti $I_x$ 10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup> (= cm <sup>4</sup> )	Moment otpora $W_x$ 10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> (= cm <sup>3</sup> )
22	22,12	2 818	375,5	73,6
45	45,44	5 784	1 552	215
49	49,43	6 297	1 819	240



Tip 22

Tip 45



Tip 49

**Čelični limovi**

**Čelični debeli limovi** (JUS C.B4.110 – 1972)

Debljina mm	Širina mm	Duljina mm
u skokovima po	400...700 (700)...1500 (1500)...3000	...6000 (6000)...
5...7 7)...30	0,5 mm u skokovima po 20 mm	u skokovima u skokovima po 50 mm
30)...50 50)...60 60)...	2 mm u skokovima po 50 mm	u skokovima u skokovima po 100 mm
	3 mm u skokovima po 50 mm	u skokovima u skokovima po 500 mm
	5 mm u skokovima po 100 mm	u skokovima u skokovima po 1000 mm

**Čelični osrednji limovi** (JUS C.B4.111 – 1956)

Debljina 3, 3,5 4, 4,5 4,75 mm  
Širina ... 1200 ... 1450 ... 1700 mm  
Duljina ... 4000 ... 5000 ... 6000 ... 7000 mm  
Trgovački formati 1000 × 2000 mm 1250 × 2500 mm

**Čelični tanki limovi** (JUS C.B4.112 – 1962 in 113 – 1978)

Debljina 0,4 ... 0,8 mm u razmaku po 0,05 mm  
0,9 ... 1,1 mm u razmaku po 0,1 mm  
1,25 ... 2,75 mm u razmaku po 0,25 mm  
Širina 550 ... 600, 750 ... 1000, 1100, 1200 mm  
Duljina 1500 ... 2000, 2250, 2500, 3000 mm

**Plošna masa čeličnih limova**

Debljina mm	Plošna masa kg/m <sup>2</sup>	Debljina mm	Plošna masa kg/m <sup>2</sup>	Debljina mm	Plošna masa kg/m <sup>2</sup>	Debljina mm	Plošna masa kg/m <sup>2</sup>
0,40	3,14	2,00	15,70	9	70,65	25	196,2
0,45	3,53	2,25	17,66	10	78,50	26	204,1
0,50	3,93	2,50	19,63	11	86,35	27	211,9
0,55	4,32	2,75	21,59	12	94,20	28	219,8
0,60	4,71	3,00	23,55	13	102,0	29	227,6
0,65	5,10	3,25	25,51	14	109,9	30	235,5
0,70	5,50	3,50	27,48	15	117,8	32	251,2
0,75	5,89	4,0	31,40	16	125,6	34	266,9
0,80	6,28	4,5	35,32	17	133,4	36	282,6
0,85	6,67	5,0	39,25	18	141,3	38	298,3
0,90	7,07	5,5	43,18	19	149,2	40	314,0
0,95	7,46	6,0	47,10	20	157,0	42	329,7
1,00	7,85	6,5	51,03	21	164,8	44	345,4
1,25	9,81	7,0	54,95	22	172,7	46	361,1
1,50	11,78	7,5	58,88	23	180,6	48	376,8
1,75	13,74	8,0	62,80	24	188,4	50	392,5

**Pocinčani lim** (JUS C.B4.081 – 1984)

Debljina 0,45 ... 4 mm; širina 1000 mm; duljina 2000 (2500) mm.

Čelične bešavne cijevi (ISO)

Materijal cijevi:

čelik Č. 0000 (JUS C.B5.226 — 1968)

čelik Č. 1212 (JUS C.B5.122 — 1968)

čelik Č. 1213 (JUS C.B5.123 — 1968)

čelik Č. 1402 (JUS C.B5.124 — 1968)

čelik Č. 3100 (JUS C.B5.125 — 1968)

Nazivni promjer mm	Vanjski promjer mm	Debljina stijenke mm	Dulj. masa kg/m	Nazivni tlak (bar)				
				Č. 0000	Č. 1212	Č. 1213	Č. 1402	Č. 3100
10	16	1,8	0,632	25	100	100	100	100
	17,2	1,8	0,688	25	100	100	100	100
15	20	2,0	0,890	25	100	100	100	100
	21,3	2,0	0,962	25	100	100	100	100
20	25	2,0	1,13	25	100	100	100	100
	26,9	2,3	1,41	25	100	100	100	100
25	30	2,6	1,77	25	100	100	100	100
	33,7	2,6	2,01	25	100	100	100	100
32	38	2,6	2,29	25	100	100	100	100
	42,4	2,6	2,57	25	100	100	100	100
40	44,5	2,6	2,70	25	100	100	100	100
	48,3	2,6	2,95	25	100	100	100	100
50	57	2,9	3,90	25	100	100	100	100
	60,3	2,9	4,14	25	100	100	100	100
65	76,1	2,9	5,28	25	80	80	100	100
		3,2	5,80	—	—	100	—	—
		3,6	6,49	—	100	—	—	—
80	88,9	3,2	6,81	25	64	80	80	100
		3,6	7,63	—	80	100	100	—
		4,0	8,43	—	100	—	—	—
100	108	3,6	9,33	25	64	80	80	100
		4,0	10,3	—	80	—	100	—
		4,5	11,4	—	—	100	—	—
		5,0	12,7	—	100	—	—	—

Čelične bešavne cijevi (nastavak)

Nazivni promjer mm	Vanjski promjer mm	Debljina stijenke mm	Dulj. masa kg/m	Nazivni tlak (bar)				
				Č. 0000	Č. 1212	Č. 1213	Č. 1402	Č. 3100
100	114,3	3,6	9,90	25	40	64	80	100
		4,0	11,0	—	80	80	100	—
		4,5	12,1	—	—	100	—	—
		5,0	13,5	—	100	—	—	—
125	133	4,0	12,8	25	40	40	80	100
		4,5	14,2	—	64	80	—	—
		5,0	15,8	—	80	—	100	—
		5,6	17,6	—	—	100	—	—
	139,7	6,3	19,8	—	100	—	—	—
		4,0	13,5	25	40	40	80	80
150	159	4,5	14,9	—	—	64	—	100
		5,0	16,6	—	80	80	100	—
		5,6	18,5	—	—	100	—	—
		6,3	20,8	—	100	—	—	—
	168,3	4,5	17,1	25	40	40	80	80
		5,0	19,0	—	—	64	—	100
		5,6	21,1	—	80	80	100	—
		6,3	23,8	—	—	100	—	—
	193,7	7,1	26,6	—	100	—	—	—
		4,5	18,1	25	40	40	64	80
		5,0	20,1	—	—	—	80	100
		5,6	22,4	—	64	80	—	—
	(175)*	6,3	25,3	—	80	—	100	—
		7,1	28,3	—	100	100	—	—
200	216**	5,4 ... 8,8	25 ... 40	—	—	—	—	—
		6,0**	31,1	25	40	40	64	80
		6,3	32,6	—	—	—	80	100
		7,1	36,6	—	64	80	—	—
		8,0	41,0	—	80	—	100	—
		8,8	45,0	—	—	100	—	—
		10,0	50,8	—	100	—	—	—

\* Nazivni promjer 175 mm JUS ne preporučuje.

\*\* Dimenzije nisu prema ISO.



Čelične bešavne cijevi (nastavak)

Nazivni promjer mm	Vanjski promjer mm	Debljina stijenke mm	Dulj. masa kg/m	Nazivni tlak (bar)				
				Č. 0000	Č. 1212	Č. 1213	Č. 1402	Č. 3100
200	219,1	5,9	31,0	25	40	40	64	80
		6,3	33,2	—	—	—	80	100
		7,1	37,2	—	64	80	—	—
		8,0	41,5	—	80	—	100	—
		8,8	45,4	—	—	100	—	—
		10,0	51,6	—	100	—	—	—
250	267	6,3	40,6	25	40	40	40	80
		7,1	45,6	—	—	—	64	—
		8,0	50,9	—	—	64	80	100
		8,8	55,8	—	64	80	—	—
		10,0	63,4	—	80	—	100	—
		11,0	69,7	—	100	100	—	—
	273	6,3	41,6	25	40	40	40	80
		7,1	46,7	—	—	—	64	—
		8,0	52,1	—	—	64	80	100
		8,8	57,1	—	64	80	—	—
		10,0	64,9	—	80	—	100	—
		11,0	71,4	—	—	100	—	—
300	318*	7,5*	57,4	16	40	40	40	64
		8,0	61,2	—	—	—	—	80
		8,8	67,1	—	—	—	80	—
		10,0	76,0	—	—	80	—	100
		11,0	83,3	—	80	—	100	—
		12,5	94,2	—	—	100	—	—
		14,2	106	—	100	—	—	—
	323,9	7,1	55,6	16	40	40	40	64
		8,0	62,1	—	—	—	—	80
		8,8	68,1	—	—	—	80	—
		10,0	77,4	—	—	80	—	100
		11,0	85,3	—	80	—	100	—
		12,5	96,7	—	—	100	—	—
		14,2	109	—	100	—	—	—

\* Dimenzije nisu po ISO.

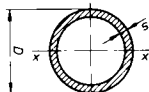
Čelične bešavne cijevi (nastavak)

Nazivni promjer mm	Vanjski promjer mm	Debljina stijenke mm	Dulj. masa kg/m	Nazivni tlak (bar)				
				Č. 0000	Č. 1212	Č. 1213	Č. 1402	Č. 3100
350	355,6	8,0	68,3	16	40	40	40	64
		8,8	74,9	—	—	—	—	80
		10,0	85,2	—	—	—	80	100
		11,0	93,9	—	—	80	—	—
		12,5	107	—	80	—	100	—
		14,2	120	—	—	100	—	—
		16,0	133	—	100	—	—	—
	368	8,0	70,8	16	40	40	40	64
		8,8	77,7	—	—	—	—	80
		10,0	88,3	—	—	—	80	—
		11,0	97,3	—	—	64	—	100
		12,5	110	—	80	80	100	—
		14,2	124	—	—	100	—	—
400	406,4	8,8	85,9	16	40	40	40	64
		10,0	97,8	—	—	—	—	80
		11,0	108	—	—	—	80	—
		12,5	122	—	—	80	—	100
		14,2	138	—	80	100	100	—
		17,5	168	—	100	—	—	—
	419	10,0	101	16	40	40	40	80
		11,0	111	—	—	—	64	—
		12,5	126	—	—	64	80	100
		14,2	142	—	80	80	100	—
		16,0	158	—	—	100	—	—
		17,5	173	—	100	—	—	—
500	508	11,0	135	10	40	40	40	40
		12,5	154	—	—	—	—	64
		14,2	173	—	—	—	80	100
		16,0	193	—	64	80	—	—
		17,5	211	—	80	—	100	—
		20,0	241	—	—	100	—	—
		22,2	266	—	100	—	—	—

Od pojedinih vrsta čelika dolaze u obzir cijevi onih dimenzija za koje je označen nazivni tlak.

### Precizne čelične cijevi

vučene ili hladno valjane (JUS C.B5.250 – 1983)



Polarni moment tromosti  
Polarni moment otpora

$$I_p = 2 I_x$$

$$W_p = 2 W_x$$

Vanjski promjer $D$ mm	Debljina $s$ mm	Presjek $S$ mm <sup>2</sup>	Duljinska masa $m_l$ kg/m	Moment tromosti $I_x$ 10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup> (= cm <sup>4</sup> )	Moment otpora $W_x$ 10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> (= cm <sup>3</sup> )
10	1	28,3	0,222	0,028 98	0,057 96
	1,5	40,0	0,314	0,037 30	0,074 60
12	1	34,5	0,271	0,052 70	0,087 83
	1,5	49,5	0,388	0,069 58	0,116 0
16	1	47,1	0,370	0,133 1	0,166 4
	1,5	68,3	0,536	0,181 5	0,226 9
18	2	88,0	0,690	0,219 9	0,274 9
	1	53,4	0,419	0,193 6	0,215 1
20	1,5	77,7	0,610	0,266 8	0,296 3
	2	100,5	0,789	0,326 7	0,363 0
22	1	59,7	0,468	0,270 1	0,270 1
	1,5	87,2	0,684	0,375 4	0,375 4
25	2	113,1	0,888	0,463 7	0,463 7
	2,5	137,4	1,079	0,536 9	0,536 9
28	3	160,2	1,258	0,596 8	0,596 8
	1	66,0	0,518	0,364 5	0,331 4
30	1,5	96,6	0,758	0,510 2	0,463 8
	2	125,7	0,986	0,634 6	0,576 9
32	2,5	153,1	1,202	0,739 9	0,672 7
	3	179,1	1,406	0,828 2	0,752 9
35	1	75,4	0,592	0,543 8	0,435 0
	1,5	110,7	0,869	0,767 6	0,614 1
38	2	144,5	1,134	0,962 8	0,770 2
	2,5	176,7	1,387	1,132	0,905 6
40	3	207,3	1,627	1,278	1,022
	1	84,8	0,666	0,774 0	0,552 9
45	1,5	124,8	0,980	1,100	0,785 7
	2	163,4	1,282	1,389	0,992 1
50	2,5	200,3	1,572	1,644	1,174
	3	235,6	1,849	1,867	1,334

### Precizne čelične cijevi

vučene ili hladno valjane (nastavak)

Vanjski promjer $D$ mm	Debljina $s$ mm	Presjek $S$ mm <sup>2</sup>	Duljinska masa $m_l$ kg/m	Moment tromosti $I_x$ 10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup> (= cm <sup>4</sup> )	Moment otpora $W_x$ 10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> (= cm <sup>3</sup> )
30	1	91,1	0,715	0,958 9	0,639 3
	1,5	134,3	1,054	1,367	0,911 3
	2	175,9	1,381	1,733	1,155
	2,5	216,0	1,695	2,059	1,373
	3	254,5	1,997	2,347	1,565
32	1	97,4	0,764	1,171	0,731 9
	1,5	143,7	1,128	1,675	1,047
	2	188,5	1,480	2,130	1,331
	2,5	231,7	1,819	2,538	1,586
	3	273,3	2,145	2,904	1,815
35	1	106,8	0,838	1,545	0,882 9
	1,5	157,9	1,239	2,219	1,268
	2	207,3	1,627	2,833	1,619
	2,5	255,2	2,003	3,390	1,937
	3	301,6	2,367	3,894	2,225
38	4	389,5	3,058	4,757	2,718
	1	116,2	0,912	1,991	1,048
	1,5	172,0	1,350	2,869	1,510
	2	226,2	1,776	3,676	1,935
	2,5	278,8	2,189	4,414	2,323
40	3	329,9	2,589	5,088	2,678
	4	427,2	3,354	6,259	3,294
45	1	122,5	0,962	2,331	1,166
	1,5	181,4	1,424	3,367	1,684
	2	238,8	1,874	4,322	2,161
	2,5	294,5	2,312	5,200	2,600
	3	348,7	2,737	6,007	3,004
50	4	452,4	3,551	7,419	3,710
	1,5	205,0	1,609	4,854	2,157
	2	270,2	2,121	6,258	2,781
	2,5	333,8	2,620	7,563	3,361
	3	395,8	3,107	8,773	3,899
50	4	515,2	4,044	10,929	4,857
	1,5	228,5	1,794	6,727	2,691
	2	301,6	2,367	8,701	3,480
	2,5	373,1	2,929	10,551	4,220
	3	443,0	3,477	12,281	4,912
50	4	578,0	4,537	15,405	6,162

**Precizne čelične cijevi**  
vučene ili hladno valjane (nastavak)

Vanjski promjer <i>D</i> mm	Debljina <i>s</i> mm	Presjek <i>S</i> mm <sup>2</sup>	Duljinska masa <i>m<sub>l</sub></i> kg/m	Moment tromosti <i>I<sub>x</sub></i> 10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup> (= cm <sup>4</sup> )	Moment otpora <i>W<sub>x</sub></i> 10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> (= cm <sup>3</sup> )
56	1,5	256,8	2,016	9,543	3,408
	2	339,3	2,663	12,384	4,423
	2,5	420,2	3,298	15,066	5,381
	3	499,5	3,921	17,595	6,284
	4	653,5	5,129	22,217	7,935
63	1,5	289,8	2,275	13,710	4,352
	2	383,3	3,009	17,846	5,665
	2,5	475,2	3,730	21,777	6,913
	3	565,5	4,439	25,510	8,098
	4	741,4	5,820	32,409	10,289
70	1,5	322,8	2,534	18,942	5,412
	2	427,3	3,354	24,717	7,062
	2,5	530,1	4,161	30,235	8,639
	3	631,5	4,957	35,504	10,144
	4	829,4	6,511	45,326	12,950
80	1,5	369,9	2,904	28,505	7,126
	2	490,1	3,847	37,296	9,324
	2,5	608,7	4,778	45,746	11,437
	3	725,7	5,697	53,866	13,467
	4	955,0	7,497	69,145	17,286
90	2	552,9	4,340	53,550	11,900
	2,5	687,2	5,395	65,823	14,627
	3	820,0	6,436	77,670	17,260
	4	1080,7	8,483	100,127	22,250
100	2	615,8	4,833	73,952	14,790
	2,5	765,8	6,012	91,054	18,211
	3	914,2	7,176	107,624	21,525
	4	1206,4	9,470	139,215	27,843
110	2	678,6	5,327	98,971	17,995
	2,5	844,3	6,628	122,028	22,187
	3	1008,5	7,916	144,435	26,261
	4	1332,0	10,456	187,351	34,064
120	2	741,4	5,820	129,080	21,513
	2,5	922,8	7,244	159,334	26,556
	3	1102,7	8,656	188,809	31,468
	4	1457,7	11,443	245,476	40,913

**Čelične cijevi za cijevni navoj**  
Čelične cijevi propisanih mehaničkih svojstava (JUS C.B5.222 – 1968)

Nazivni promjer		Vanjski promjer	Nazivni tlak (bar)					
			1 ... 50		80		100	
			debljina stijenke mm	dulj. masa kg/m	debljina stijenke mm	dulj. masa kg/m	debljina stijenke mm	dulj. masa kg/m
mm	col*	mm						
6	1/8	10,2	—	—	—	—	2,65	0,493
8	1/4	13,5	—	—	—	—	2,9	0,769
10	3/8	17,2	—	—	—	—	2,9	1,02
15	1/2	21,3	—	—	—	—	3,25	1,45
20	3/4	26,9	—	—	—	—	3,25	1,9
25	1	33,7	—	—	—	—	4,05	2,97
32	1 1/4	42,4	—	—	—	—	4,05	3,84
40	1 1/2	48,3	—	—	—	—	4,05	4,43
50	2	60,3	—	—	—	—	4,50	6,17
65	2 1/2	76,1	—	—	—	—	4,50	7,90
80	3	88,9	—	—	—	—	4,85	10,1
100	4	114,3	—	—	5,4	14,4	6,3	16,8
125	5	139,7	5,4	17,8	7,1	23,3	8,0	25,9
150	6	165,1	5,4	21,2	8,0	30,9	8,8	33,8

**Čelične cijevi bez propisanih mehaničkih svojstava (JUS C.B5.225 – 1968)**

Nazivni promjer mm	Vanjski promjer col*	Vanjski promjer mm	Poluteške cijevi		Teške cijevi	
			debljina stijenke mm	dulj. masa kg/m	debljina stijenke mm	dulj. masa kg/m
<b>6</b>	1/8	10,2	2,0	0,407	2,65	0,493
<b>8</b>	1/4	13,5	2,35	0,650	2,9	0,769
<b>10</b>	3/8	17,2	2,35	0,852	2,9	1,02
<b>15</b>	1/2	21,3	2,65	1,22	3,25	1,45
<b>20</b>	3/4	26,9	2,65	1,58	3,25	1,90
<b>25</b>	1	33,7	3,25	2,44	4,05	2,97
<b>32</b>	1 1/4	42,4	3,25	3,14	4,05	3,84
<b>40</b>	1 1/2	48,3	3,25	3,61	4,05	4,43
<b>50</b>	2	60,3	3,65	5,10	4,5	6,17
<b>65</b>	2 1/2	76,1	3,65	6,51	4,5	7,90
<b>80</b>	3	88,9	4,05	8,47	4,85	10,1
<b>100</b>	4	114,3	4,5	12,1	5,4	14,4
<b>125</b>	5	139,7	4,85	16,2	5,4	17,8
<b>150</b>	6	165,1	4,85	19,2	5,4	21,8

\* Napuštena stara oznaka.

### Čelična žica

Okrugla vučena čelična žica (JUS C.B6.110 – 1982)

Nazivni promjer mm	Tolerancija mm	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/km	Nazivni promjer mm	Tolerancija mm	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/km
0,1	± 0,005	0,00785	0,0617	1,4	± 0,04	1,54	12,1
0,12		0,0113	0,0888	1,6		2,01	15,8
0,14	± 0,01	0,0154	0,121	1,8	± 0,06	2,54	20,0
0,16		0,0201	0,158	2		3,14	24,7
0,18		0,0254	0,200	2,2	± 0,08	3,80	29,8
0,2	± 0,015	0,0314	0,247	2,5		4,91	38,5
0,22		0,0380	0,298	2,8		6,16	48,3
0,24		0,0452	0,355	3,1	± 0,10	7,55	59,2
0,26		0,0531	0,417	3,4		9,08	71,3
0,28		0,0616	0,483	3,8		11,3	89
0,31	± 0,02	0,0755	0,592	4		12,6	99
0,34		0,0908	0,713	4,2		13,9	109
0,37		0,108	0,844	4,6		16,6	130
0,4		0,126	0,986	5		19,6	154
0,45		0,159	1,25	5,5		23,8	187
0,5		0,196	1,54	6		28,3	222
0,55		0,238	1,87	6,5		33,2	260
0,6		0,283	2,22	7	± 0,15	38,5	302
0,7	± 0,03	0,385	3,02	8		50,3	395
0,8		0,503	3,95	9		63,6	499
0,9		0,636	4,99	10		78,5	617
1		0,785	6,17	11		95	746
1,1	± 0,04	0,950	7,46	12	± 0,15	113	888
1,2		1,13	8,88	13		133	1040
1,3		1,33	10,4	14		154	1210

\*

Okrugla vučena čelična žica od malougličnog čelika za posebne svrhe (JUS C.B6.011 – 1980)

Nazivni promjer 0,1 ... 14 mm.

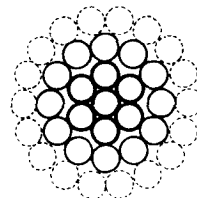
Okrugla čelična žica, vučena ili brušena u tolerancijskom polju ISO h 11 (JUS C.B6.111 – 1982):

Nazivni promjer 1 ... 9,8 mm

### Čelična užad

za opće svrhe

Čelična užad bez jezgre



Užad bez jezgre (srži) je spletena od žica istog promjera. Oko središnje žice sukano je u prvom sloju 6 ili u drugome 12, ili još u trećem 18 žica..

Sukanje prvog sloja može biti *desno* (tj. normalno) ili *lijevo*. Sukanje u slijedećim slojevima uvijek je suprotno sukanju u sloju prije toga.

Žice za užad bez jezgre su od čelika nazivne vlačne čvrstoće

$$R_m = 1570 \text{ ili } 1770 \text{ N/mm}^2$$

Žice mogu biti gole ili pocinčane.

Uže 1 × 7 (JUS C.H1.060 – 1982):

Izvedba užeta: 1 + 6 žica

Uže se sastoji od sedam žica od kojih je šest ovijeno oko središnje žice.

Nazivni promjer užeta d mm	Duljinska masa m <sub>l</sub> kg/m	Prekidna sila F <sub>r</sub> – računska, F <sub>min</sub> – najmanja			
		pri nazivnoj čvrstoći žica			
		R <sub>m</sub> = 1570 N/mm <sup>2</sup>		R <sub>m</sub> = 1770 N/mm <sup>2</sup>	
		F <sub>r</sub> kN	F <sub>min</sub> kN	F <sub>r</sub> kN	F <sub>min</sub> kN
0,6	0,001 81	0,342	0,308	0,385	0,347
0,8	0,003 21	0,608	0,547	0,685	0,617
1	0,005 02	0,950	0,855	1,07	0,963
1,5	0,011 3	2,14	1,92	2,41	2,17
2	0,020 1	3,80	3,42	4,28	3,85
2,5	0,031 4	5,93	5,34	6,69	6,02
3	0,045 2	8,55	7,69	9,63	8,67
3,5	0,061 5	11,6	10,5	13,1	11,8
4	0,080 3	15,2	13,7	17,1	15,4
4,5	0,102	19,2	17,3	21,7	19,5
5	0,126	23,7	21,4	26,8	24,1
6	0,181	34,2	30,8	38,5	34,7
7	0,246	46,5	41,9	52,4	47,2
8	0,321	60,8	54,7	68,5	61,7
9	0,407	76,9	69,2	86,7	78,0
10	0,502	95,0	85,5	107	96,3
12	0,723	137	123	154	139
14	0,984	186	167	210	189
16	1,29	243	219	274	247

*Uže 1 × 19 (JUS C.H1.061 – 1982)*

Uže se sastoji od 19 (1 + 6 + 12) žica od kojih je oko središnje žice ovijeno u prvom sloju 6 žica, a u drugom 12 žica.

Nazivni promjer užeta	Duljinska masa $m_l$ kg/m	Prekidna sila $F_r$ – računska, $F_{min}$ – najmanja			
		pri nazivnoj čvrstoći žica			
		$R_m = 1570 \text{ N/mm}^2$		$R_m = 1770 \text{ N/mm}^2$	
$d$ mm		$F_r$ kN	$F_{min}$ kN	$F_r$ kN	$F_{min}$ kN
1,	0,004 95	0,937	0,825	1,06	0,930
1,5	0,011 1	2,11	1,86	2,38	2,09
2	0,019 8	3,75	3,30	4,23	3,72
2,5	0,031 0	5,86	5,15	6,61	5,81
3	0,044 6	8,43	7,42	9,51	8,37
3,5	0,060 7	11,5	10,1	12,9	11,4
4	0,079 3	15,0	13,2	16,9	14,9
5	0,124	23,4	20,6	26,4	23,2
6	0,178	33,7	29,7	38,1	33,5
7	0,243	45,9	40,4	51,8	45,6
8	0,317	60,0	52,8	67,6	59,5
9	0,401	75,9	66,8	85,6	75,3
10	0,495	93,7	82,5	106	93,0
11	0,599	113	99,8	128	112
12	0,713	135	119	152	134
13	0,837	158	139	179	157
14	0,971	184	162	207	182
15	1,11	211	186	238	209
16	1,27	240	211	271	238
17	1,43	271	238	305	269
18	1,61	304	267	342	301
19	1,79	338	298	382	336
20	1,98	375	330	423	372
21	2,18	413	364	466	410
22	2,40	454	399	512	450
23	2,62	496	436	559	492
24	2,85	540	475	609	536
25	3,10	586	515	661	581

*Uže 1 × 37 (JUS C.H1.062 – 1982)*

Uže se sastoji od 37 (1 + 6 + 12 + 18) žica od kojih je oko središnje žice ovijeno u prvom sloju 6 žica, u drugom 12 žica i u trećem 18 žica.

Nazivni promjer užeta	Duljinska masa $m_l$ kg/m	Prekidna sila $F_r$ – računska, $F_{min}$ – najmanja			
		pri nazivnoj čvrstoći žica			
		$R_m = 1570 \text{ N/mm}^2$		$R_m = 1770 \text{ N/mm}^2$	
$d$ mm		$F_r$ kN	$F_{min}$ kN	$F_r$ kN	$F_{min}$ kN
3	0,044 0	8,32	7,24	9,39	8,16
4	0,078 2	14,8	12,9	16,7	14,5
5	0,122	23,1	20,1	26,1	22,7
6	0,176	33,3	29,0	37,5	32,7
7	0,240	45,3	39,4	51,1	44,4
8	0,313	59,2	51,5	66,8	58,1
9	0,396	74,9	65,2	84,5	73,5
10	0,489	92,5	80,5	104	90,7
12	0,704	133	116	150	131
14	0,958	181	158	204	178
16	1,25	237	206	267	232
18	1,58	300	261	338	294
20	1,96	370	322	417	363
22	2,37	448	389	505	439
24	2,82	533	463	601	522
26	3,31	625	544	705	613
28	3,83	725	631	818	711
30	4,40	832	724	939	816
32	5,01	947	824	1070	929
34	5,65	1070	930	1210	1050
36	6,34	1200	1040	1350	1180

\*  
Čelična užad za izvozne uređaje u rudarstvu JUS C.H1.030/052/055/056 – 1980)

Čelična užad za vitla i slično (JUS C.H1.051 – 1968)

Spojke za čeličnu užad (JUS C.H1.300/301 – 1975)

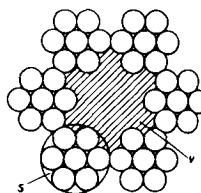
Uške za čeličnu užad (JUS C.H1.306 – 1983)

Sremenje (JUS C.H4.080 – 1975)

Čelična užad s jezgrom (dušom)  
Užad s jezgrom ima 6 žičanih strukova (u izvedbi kao kod užeta bez jezgre, v. str. 443 do 445) sukanih oko vlaknene ili čelične jezgre.\*

Sukanje žičanih strukova može biti desno (normalno) ili lijevo.

Prema tome da li je gornji sloj struka sukan desno ili lijevo može uže biti sukano križno (normalno) ili istosmjerno.



s – žičani struk  
v – vlaknena jezgra

#### Uže 6 × 7 (JUS C.H1.070 – 1982)

Izvedba užeta: 6 strukova po 7 (1 + 6) žica, ovijenih oko vlaknaste jezgre.

Nazivni promjer užeta <i>d</i> mm	Duljinska masa <i>m<sub>l</sub></i> kg/m	Prekidna sila <i>F<sub>r</sub></i> – računska, <i>F<sub>min</sub></i> – najmanja			
		pri nazivnoj čvrstoći žica			
		<i>R<sub>m</sub></i> = 1570 N/mm <sup>2</sup>		<i>R<sub>m</sub></i> = 1770 N/mm <sup>2</sup>	
		<i>F<sub>r</sub></i> kN	<i>F<sub>min</sub></i> kN	<i>F<sub>r</sub></i> kN	<i>F<sub>min</sub></i> kN
2	0,014 3	–	–	2,61	2,35
3	0,032 2	–	–	5,88	5,29
4	0,057 2	–	–	10,5	9,41
5	0,089 4	–	–	16,3	14,7
6	0,129	–	–	23,5	21,1
7	0,175	–	–	32,0	28,8
8	0,229	37,1	33,4	41,8	37,6
9	0,289	46,9	42,2	52,9	47,6
10	0,357	58,0	52,2	65,3	58,8
11	0,432	70,1	63,1	79,1	71,1
12	0,515	83,4	75,1	94,1	84,7
13	0,604	97,9	88,1	110	99,4
14	0,701	114	102	128	115
16	0,915	148	134	167	151
18	1,16	188	169	212	191
20	1,43	232	209	261	235
22	1,73	280	252	316	285
24	2,06	334	300	376	339
26	2,42	392	353	442	397
28	2,80	454	409	512	461
32	3,66	593	534	669	602
36	4,63	751	676	847	762
40	5,72	927	835	1050	941

\* Pri čeličnoj jezgri su duljinska masa i prekidna sila nešto veće.

\*  
Obično uže 8 × 7 (JUS C.H1.080 – 1982)

#### Uže 6 × 19 (JUS C.H1.072 – 1982)

Uže se sastoji od 6 strukova po 19 (1 + 6 + 12) žica od kojih je oko središnje žice ovijeno u prvom sloju 6 žica, u drugom 12 žica, a strukovi su ovijeni oko vlaknaste jezgre.

Nazivni promjer užeta <i>d</i> mm	Duljinska masa <i>m<sub>l</sub></i> kg/m	Prekidna sila <i>F<sub>r</sub></i> – računska, <i>F<sub>min</sub></i> – najmanja			
		pri nazivnoj čvrstoći žica			
		<i>R<sub>m</sub></i> = 1570 N/mm <sup>2</sup>		<i>R<sub>m</sub></i> = 1770 N/mm <sup>2</sup>	
		<i>F<sub>r</sub></i> kN	<i>F<sub>min</sub></i> kN	<i>F<sub>r</sub></i> kN	<i>F<sub>min</sub></i> kN
3	0,031 1	–	–	5,69	4,90
4	0,055 4	–	–	10,1	8,70
5	0,086 5	–	–	15,8	13,6
6	0,125	–	–	22,8	19,6
7	0,170	–	–	31,0	26,7
8	0,221	35,9	30,9	40,5	34,8
9	0,280	45,4	39,1	51,2	44,1
10	0,346	56,1	48,2	63,3	54,4
11	0,419	67,9	58,4	76,5	65,8
12	0,498	80,8	69,5	91,1	78,3
13	0,585	94,8	81,5	107	91,9
14	0,678	110	94,6	124	107
16	0,886	144	124	162	139
18	1,12	182	156	205	176
20	1,38	224	193	253	218
22	1,67	272	234	306	263
24	1,99	323	278	364	313
26	2,34	379	326	428	368
28	2,71	440	378	496	426
32	3,54	575	494	648	557
36	4,48	727	625	820	705
40	5,54	898	722	1010	870
44	6,70	1090	934	1220	1050
48	7,97	1290	1110	1460	1250
52	9,36	1520	1300	1710	1470
56	10,9	1760	1510	1980	1710

\*  
Uže 6 × 19 – ispunjeno žicama (JUS C.H1.086 – 1982)

Uže 8 × 19 – ispunjeno žicama (JUS C.H1.088 – 1982)

Uže Warrington 6 × 19 (JUS C.H1.090 – 1982)

Uže Warrington 8 × 19 (JUS C.H1.096 – 1982)

Uže Seale 6 × 19 (JUS C.H1.100 – 1982)

Uže Seale 8 × 19 (JUS C.H1.104 – 1982)

**Uže 6 × 37 (JUS C.H1.074 – 1982)**

Uže se sastoji od 6 strukova po 37 (1 + 6 + 12 + 18) žica od kojih je oko središnje žice ovijeno u prvom sloju 6 žica, u drugom 12 žica, u trećem 18 žica, a strukovi su ovijeni oko vlaknaste jezgre.

Nazivni promjer užeta	Duljinska masa	Prekidna sila			
		$F_r$ – računska, $F_{min}$ – najmanja			
		pri nazivnoj čvrstoći žica			
$d$ mm	$m_l$ kg/m	$R_m = 1570 \text{ N/mm}^2$		$R_m = 1770 \text{ N/mm}^2$	
		$F_r$ kN	$F_{min}$ kN	$F_r$ kN	$F_{min}$ kN
6	0,125	–	–	22,8	18,8
7	0,170	–	–	31,0	25,6
8	0,221	35,9	29,6	40,5	33,4
9	0,280	45,4	37,5	51,2	42,3
10	0,346	56,1	46,3	63,3	52,2
11	0,419	67,9	56,0	76,5	63,1
12	0,498	80,8	66,6	91,1	75,1
13	0,585	94,8	78,2	107	88,2
14	0,678	110	90,7	124	102
16	0,886	144	118	162	134
18	1,12	182	150	205	169
20	1,38	224	185	253	209
22	1,67	272	224	306	253
24	1,99	323	267	364	301
26	2,34	379	313	428	353
28	2,71	440	363	496	409
32	3,54	575	474	648	534
36	4,48	727	600	820	676
40	5,54	898	741	1010	835
44	6,70	1090	896	1220	1010
48	7,97	1290	1070	1460	1200
52	9,36	1520	1250	1710	1410
56	10,9	1760	1450	1980	1640
60	12,5	2020	1670	2280	1880
64	14,2	2300	1900	2590	2140

\*

Obično uže 8 × 37 (JUS C.H1.084 – 1982)

Uže Seale 6 × 37 (JUS C.H1.102 – 1982)

Uže 6 × 12 + 7 vlaknastih jezgri (JUS C.H1.076 – 1982)

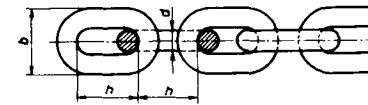
Uže 6 × 24 + 7 vlaknastih jezgri (JUS C.H1.078 – 1982)

Uže Warrington-Seale 6 × 31 (JUS C.H1.106 – 1982)

Uže Warrington-Seale 6 × 36 (JUS C.H1.108 – 1982)

Uže Warrington-Seale 8 × 36 (JUS C.H1.112 – 1982)

**Čelični lanci**



**Lanci za opću upotrebu (JUS C.H4.020 – 1978)**  
(kalibrirani)

Nazivni promjer*	Korak	Širina članka	Duljinska masa	dozvoljeno	Opterećenje ispitno**	
					LO, LC	LP
$d$ mm	$h$ mm	$b$ mm	$m_l$ kg/m	$F_{dop}$ kN	$F_{isp}$ kN	$F_{isp}$ kN
5***	18,5	17	0,500	–	–	–
6***	18,5	20	0,750	–	–	–
4	16	14	0,320	1,47	2,94	–
5	18,5	17	0,500	2,45	4,91	6,18
6	18,5	20	0,750	3,43	6,87	8,83
7	22	23	1,00	4,41	8,83	12,4
8	24	26	1,35	6,18	12,4	15,7
9	27	30	1,80	7,85	15,7	19,6
(9,5)	27	31	1,90	8,34	16,7	–
10	28	34	2,25	9,81	19,6	24,5
(11)	31	36	2,70	11,0	22,0	31,4
13	36	44	3,80	15,7	31,4	41,6
14	41	47	4,40	–	–	49,1
16	45	54	5,80	24,5	49,1	61,8
18	50	60	7,30	30,9	61,8	78,5
20	56	67	9,00	39,2	78,5	98,1
23	64	77	12,0	49,1	98,1	131
26	73	87	15,0	61,8	124	167
28	78	94	17,5	73,6	147	196
30	84	101	20,0	83,4	167	220
33	92	112	24,5	98,1	196	259
36	101	122	29,0	123	245	294
39	109	132	34,0	137	275	353
42	118	142	40,0	167	334	392
45	126	152	45,5	186	373	439
48	134	162	52,0	206	412	491
51	143	172	58,5	245	490	549
54	151	182	65,5	275	549	618
57	160	192	73,0	294	589	657
60	168	202	81,0	329	657	697

\* Treba se kloniti nazivnih promjera u zagradama.

\*\* LO-obični lanci, LC-cementirani lanci, LP-poboljšani lanci.

\*\*\* Samo za ručnu upotrebu.

**Lanci za dizala (JUS C.H4.021 – 1978)**  
(kalibrirani)

Nazivni promjer <i>d</i> mm	Korak <i>h</i> mm	Širina članka <i>b</i> mm	Duljinska masa <i>m<sub>l</sub></i> kg/m	Opterećenje	
				dovoljeno <i>F<sub>dop</sub></i> kN	ispitno <i>F<sub>isp</sub></i> kN
13	36	42	3,80	15,7	31,4
16	45	52	5,80	24,5	49,1
18	50	58	7,30	30,9	61,8
20	56	65	9,00	39,2	78,5
23	64	74	12,0	49,1	98,1

**Lanci za dizala (JUS C.H4.022/023/024 – 1978) kvalitetni razred: 5, 6, 8**

Nazivni promjer* <i>d</i> mm	Korak* <i>h</i> mm	Širina članka		Duljinska masa <i>m<sub>l</sub></i> kg/m
		vanjska <i>b</i> maks. mm	unutarnja <i>b<sub>n</sub></i> min. mm	
4	12	13,7	5	0,35
5	15	16,9	6	0,54
(5)	(18,5)	16,9	6	0,50
6	18	20,2	7,2	0,78
(6)	(18,5)	20,2	7,2	0,77
7	21	23,6	8,4	1,07
(7)	(22)	23,6	8,4	1,05
8	24	27	9,6	1,40
9	27	30,4	10,8	1,75
10	28	34	12	2,25
11	31	37,4	13,2	2,70
13	36	44,2	15,6	3,80
14	41	47,6	16,8	4,40
16	45	54,4	19,2	5,75
18	50	63,0	21,6	7,30

\* Dimenzije u zagradama treba izbjegavati.

\*

**Komadni lanci za opću upotrebu s kratkim člancima (JUS C.H4.025 – 1978).**

**Lanci za transportere s dugim člancima (JUS C.H4.030 – 1978).**

**Lanci za transportere sa srednje dugim člancima (JUS C.H4.031 – 1978).**

**ALUMINIJSKI POLUPROIZVODI**

Mase poluproizvoda po jedinici duljine (kg/m) ili jedinici površine (kg/m<sup>2</sup>) izračunane su s obzirom na prosječnu gustoću aluminija od 2700 kg/m<sup>3</sup>.

**Aluminijske šipke i žice**

*Okrugle šipke i žice od aluminija i aluminijskih slitina, vučene ili prešane*  
(JUS C.C3.030/031/130/131 – 1963)

Promjer* mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Promjer* mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m		
vučeno al, sl	prešano al, sl			vučeno al, sl	prešano al, sl				
1	1	—	0,785	0,002 12	20	20	20	314,2	0,848
1,2	—	—	1,131	0,003 05	21	—	—	346,4	0,935
1,4	—	—	1,539	0,004 16	22	—	—	380,1	1,03
1,5	—	—	1,767	0,004 77	23	—	—	415,5	1,12
1,6	—	—	2,011	0,005 43	24	—	—	452,4	1,22
1,8	—	—	2,545	0,006 87	25	25	25	490,9	1,33
2,0	2	—	3,142	0,008 48	26	—	—	530,9	1,43
2,2	—	—	3,801	0,010 3	27	—	—	572,6	1,55
2,5	—	—	4,909	0,013 3	28	—	—	615,8	1,66
2,8	—	—	6,158	0,016 6	29	—	—	660,5	1,78
3,0	—	—	7,069	0,019 1	30	30	30	706,9	1,91
3,2	—	—	8,042	0,021 7	32	32	—	804,2	2,17
3,5	—	—	9,621	0,026 0	34	—	—	907,9	2,45
3,8	—	—	11,34	0,030 6	35	35	35	962,1	2,60
4,0	4	—	12,57	0,033 9	36	—	—	1 018	2,75
4,5	—	—	15,90	0,042 9	38	38	—	1 134	3,06
5,0	5	5	19,63	0,053 0	40	40	40	1 257	3,39
5,5	—	—	23,76	0,064 1	42	42	—	1 385	3,74
6,0	6	6	28,27	0,076 3	45	45	45	1 590	4,29
7,0	—	7	38,48	0,104	48	48	—	1 810	4,89
8,0	8	8	50,27	0,136	50	50	50	1 963	5,30
9,0	—	—	63,62	0,172	52	52	—	2 124	5,73
10	10	10	78,54	0,212	53	—	—	2 206	5,96
11	—	—	95,03	0,257	54	—	—	2 290	6,18
12	12	—	113,1	0,305	55	55	55	2 376	6,41
13	—	—	132,7	0,358	56	—	—	2 463	6,65
14	—	—	153,9	0,416	57	—	—	2 552	6,89
15	15	15	176,7	0,477	58	58	—	2 642	7,13
16	—	—	201,1	0,543	60	60	60	2 827	7,63
17	—	—	227,0	0,613	65	65	65	3 318	8,96
18	—	—	254,5	0,687	70	70	70	3 848	10,4
19	—	—	283,5	0,766	75	75	75	4 418	11,9

(Nastavak na str. 452)

\* Vrijednosti »al« vrijede za poluproizvode od aluminija, a vrijednosti »sl« za poluproizvode od aluminijskih slitina.



Okrugle šipke i žice od aluminija i aluminijskih slitina, vučene ili prešane (nastavak).

Promjer* mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Promjer* mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
vučeno al sl	prešano al, sl			vučeno al sl	prešano al, sl		
80	80	5 027	13,6	—	170	22 698	61,3
90	90	6 362	17,2	—	180	25 447	68,7
95	—	7 088	19,1	—	190	28 353	76,6
100	100	7 854	21,2	—	200	31 416	84,8
—	110	9 503	25,7	—	210	34 636	93,5
—	120	11 310	30,5	—	220	38 013	103
—	130	13 273	35,8	—	230	41 548	112
—	140	15 394	41,6	—	240	45 239	122
—	150	17 672	47,7	—	250	49 087	133
—	160	20 106	54,3	—	—	—	—

\* Vidi opasku na str. 451!

Kvadratne šipke i žice od aluminija i aluminijskih slitina, vučene ili prešane (JUS C.C3.034/035/134/135 — 1963)

Debljina* mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Debljina* mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
vučeno al sl	prešano al, sl			vučeno al sl	prešano al, sl		
2	—	4	0,010 8	22	22	484	1,31
3	—	9	0,024 3	—	24	576	1,56
4	4	16	0,043 2	25	—	625	1,69
—	4,5	20,25	0,054 7	—	27	729	1,97
5	5	25	0,067 5	28	—	784	2,12
—	5,5	30,25	0,081 7	30	30	900	2,43
6	6	36	0,097 2	32	—	1 024	2,76
7	7	49	0,132	35	—	1 225	3,31
8	8	64	0,173	40	—	1 600	4,32
—	9	81	0,219	45	—	2 025	5,47
10	10	100	0,273	50	—	2 500	6,75
—	11	121	0,327	55	—	3 025	8,17
12	12	144	0,389	60	—	3 600	9,72
—	14	196	0,529	65	—	4 225	11,4
15	—	225	0,608	70	—	4 900	13,2
16	—	256	0,691	75	—	5 625	15,2
—	17	289	0,780	—	80	6 400	17,3
18	—	324	0,875	—	100	10 000	27,3
—	19	361	0,975	—	120	14 400	38,9
20	—	400	1,08	—	150	22 500	60,8

\* Vidi opasku na str. 451!

Šesterokutne šipke i žice od aluminija i aluminijskih slitina, vučene ili prešane (JUS C.C3.036/037/136/137 — 1963)

Otvor ključa* mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Otvor ključa* mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
vučeno al sl	preš. al, sl			vučeno al sl	preš. al, sl		
3	3	—	7,794	0,021 0	25	—	541,3
3,5	3,5	—	10,61	0,028 6	27	27	—
4	4	—	13,86	0,037 4	28	—	631,3
4,5	4,5	—	17,54	0,047 3	30	30	—
5	5	—	21,65	0,058 5	32	32	—
5,5	5,5	—	26,20	0,070 7	33	—	678,9
6	6	6	31,18	0,084 2	35	—	779,4
7	7	—	42,44	0,115	36	36	—
8	8	8	55,43	0,150	38	—	886,8
9	9	—	70,15	0,189	—	40	—
10	10	10	86,60	0,234	41	41	—
11	11	—	104,8	0,283	42	—	943,0
12	12	—	124,7	0,337	45	—	1 060
13	—	—	146,4	0,394	46	46	—
14	14	—	169,7	0,458	50	50	—
—	—	15	194,8	0,526	55	—	1 122
17	17	—	250,3	0,676	60	—	1 250
18	—	—	280,6	0,750	—	70	—
19	19	—	312,6	0,844	—	80	—
20	—	20	346,0	0,934	—	100	—
22	22	—	419,2	1,13	—	120	—
24	24	—	498,8	1,35	—	150	—
—	—	—	—	—	—	19 481	52,60

\* Vrijednosti »al« vrijede za poluproizvode od aluminija, a vrijednosti »sl« za poluproizvode od aluminijskih slitina.

Plosnate šipke i žice od aluminija i aluminijskih slitina, vučene ili prešane (JUS C.C3.200/201 — 1963)

Širina × debljina mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Širina × debljina mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
vučeno	prešano			vučeno	prešano		
5 × 2	—	10	0,027	6 × 4	—	24	0,065
5 × 3	—	15	0,041	6 × 5	—	30	0,081
5 × 4	—	20	0,054	8 × 2	—	16	0,043
6 × 2	—	12	0,032	8 × 3	—	24	0,065
6 × 3	—	18	0,049	8 × 4	—	32	0,086

(Nastavak na str. 454 i 455.)

*Plosnate šipke i žice od aluminija i aluminijskih slitina, vučene i prešane  
(nastavak)*

Širina × debljina mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Širina × debljina mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
vučeno	prešano			vučeno	prešano		
8 × 5	8 × 5	40	0,108	25 × 3	—	75	0,202
8 × 6	8 × 6	48	0,130	25 × 4	—	100	0,270
10 × 2	—	20	0,054	25 × 5	25 × 5	125	0,338
10 × 3	—	30	0,081	25 × 6	25 × 6	150	0,405
10 × 4	—	40	0,108	25 × 8	25 × 8	200	0,540
10 × 5	10 × 5	50	0,135	25 × 10	25 × 10	250	0,675
10 × 6	10 × 6	60	0,162	25 × 12	25 × 12	300	0,810
10 × 8	10 × 8	80	0,216	25 × 16	25 × 16	400	1,08
12 × 2	—	24	0,065	25 × 20	—	500	1,35
12 × 3	—	36	0,097	30 × 4	—	120	0,324
12 × 4	—	48	0,130	30 × 5	30 × 5	150	0,405
12 × 5	12 × 5	60	0,162	30 × 6	30 × 6	180	0,486
12 × 6	12 × 6	72	0,194	30 × 8	30 × 8	240	0,648
12 × 8	12 × 8	96	0,259	30 × 10	30 × 10	300	0,810
12 × 10	—	120	0,324	30 × 12	30 × 12	360	0,972
16 × 2	—	32	0,086	30 × 16	30 × 16	480	1,30
16 × 3	—	48	0,130	30 × 20	30 × 20	600	1,62
16 × 4	—	64	0,173	30 × 25	—	750	2,03
16 × 5	16 × 5	80	0,216	40 × 5	40 × 5	200	0,540
16 × 6	16 × 6	96	0,259	40 × 6	40 × 6	240	0,648
16 × 8	16 × 8	128	0,346	40 × 8	40 × 8	320	0,864
16 × 10	16 × 10	160	0,432	40 × 10	40 × 10	400	1,08
16 × 12	—	192	0,518	40 × 12	40 × 12	480	1,30
20 × 2	—	40	0,108	40 × 16	40 × 16	640	1,73
20 × 3	—	60	0,162	40 × 20	40 × 20	800	2,16
20 × 4	—	80	0,216	40 × 25	40 × 25	1 000	2,70
20 × 5	20 × 5	100	0,270	40 × 30	—	1 200	3,24
20 × 6	20 × 6	120	0,324	—	50 × 5	250	0,675
20 × 8	20 × 8	160	0,432	50 × 6	50 × 6	300	0,810
20 × 10	20 × 10	200	0,540	50 × 8	50 × 8	400	1,08
20 × 12	20 × 12	240	0,648	50 × 10	50 × 10	500	1,35
20 × 16	—	320	0,864	50 × 12	50 × 12	600	1,62
				50 × 16	50 × 16	800	2,16

*Plosnate šipke i žice od aluminija i aluminijskih slitina, vučene i prešane  
(nastavak)*

Širina × debljina mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Širina × debljina mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
vučeno	prešano			vučeno	prešano		
50 × 20	50 × 20	1 000	2,70	—	125 × 10	1 250	3,38
50 × 25	50 × 25	1 250	3,38	—	125 × 12	1 500	4,05
50 × 30	50 × 30	1 500	4,05	125 × 16	125 × 16	2 000	5,40
50 × 40	—	2 000	5,40	125 × 20	125 × 20	2 500	6,75
—	60 × 6	360	0,972	125 × 25	125 × 25	3 125	8,44
60 × 8	60 × 8	480	1,30	125 × 30	125 × 30	3 750	10,13
60 × 10	60 × 10	600	1,62	125 × 40	125 × 40	5 000	13,50
60 × 12	60 × 12	720	1,94	—	125 × 50	6 250	16,87
60 × 16	60 × 16	960	2,59	—	125 × 60	7 500	20,25
60 × 20	60 × 20	1 200	3,24	—	160 × 10	1 600	4,32
60 × 25	60 × 25	1 500	4,05	—	160 × 12	1 920	5,18
60 × 30	60 × 30	1 800	4,86	—	160 × 16	2 560	6,91
60 × 40	60 × 40	2 400	6,48	160 × 20	160 × 20	3 200	8,64
—	80 × 8	640	1,73	160 × 25	160 × 25	4 000	10,80
80 × 10	80 × 10	800	2,16	160 × 30	160 × 30	4 800	12,96
80 × 12	80 × 12	960	2,59	160 × 40	160 × 40	6 400	17,28
80 × 16	80 × 16	1 280	3,45	—	160 × 50	8 000	21,60
80 × 20	80 × 20	1 600	4,32	—	160 × 60	9 600	25,92
80 × 25	80 × 25	2 000	5,40	—	180 × 10	1 800	4,86
80 × 30	80 × 30	2 400	6,48	—	180 × 12	2 160	5,83
80 × 40	80 × 40	3 200	8,64	—	180 × 16	2 880	7,78
—	80 × 50	4 000	10,80	—	180 × 20	3 600	9,72
—	100 × 10	1 000	2,70	—	180 × 25	4 500	12,15
100 × 12	100 × 12	1 200	3,24	—	180 × 30	5 400	14,58
100 × 16	100 × 16	1 600	4,32	—	180 × 40	7 200	19,44
100 × 20	100 × 20	2 000	5,40	—	200 × 10	2 000	5,40
100 × 25	100 × 25	2 500	6,75	—	200 × 12	2 400	6,48
100 × 30	100 × 30	3 000	8,10	—	200 × 16	3 200	8,64
100 × 40	100 × 40	4 000	10,80	—	200 × 20	4 000	10,80
—	100 × 50	5 000	13,50	—	200 × 25	5 000	13,50
—	100 × 60	6 000	16,20	—	200 × 30	6 000	16,20
				—	200 × 40	8 000	21,60

### Aluminijski profili

**L** *Jednakokrakni kutni profili od aluminija i aluminijskih slitina, prešani*  
(JUS C.C3.202 — 1963)

Duljina krakova mm	Deb- ljina mm	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Duljina krakova mm	Deb- ljina mm	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
10	1	19,2	0,051 8	40	2	156,8	0,423
10	1,5	28,2	0,076 1	40	4	307,0	0,828
10	2	36,8	0,099 3	50	4	387	1,045
12	1	23,2	0,062 6	50	5	480	1,296
12	1,2	27,6	0,074 5	60	5	580	1,565
15	1,5	43,2	0,116 5	60	6	691	1,86
15	2	56,8	0,153 2	80	6	931	2,51
15	2,5	70,0	0,189	80	8	1 229	3,32
20	2	76,8	0,207	100	8	1 549	4,18
20	2,5	95,0	0,256	100	10	1 920	5,18
20	3	112,8	0,304	125	10	2 420	6,53
25	2	96,8	0,261	125	12	2 885	7,78
25	2,5	120,0	0,324	140	12	3 245	8,76
30	3	172,8	0,466	140	14	3 763	10,15
30	4	227,0	0,612	160	12	3 725	10,06
				160	16	4 915	13,27

**T** *Profili T od aluminija i aluminijskih slitina, prešani*  
(JUS C.C3.204 — 1963)

Širina noge mm	Visina mm	Deb- ljina mm	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Širina noge mm	Visina mm	Deb- ljina mm	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
20	20	1,6	62,6	0,169	30	30	3	175	0,472
20	20	2	78	0,212	30	45	3	220	0,594
20	30	2	98	0,264	30	45	4	291	0,785
20	30	3	145	0,391	40	25	2,5	159	0,429
25	16	1,6	64	0,173	40	25	3	190	0,513
25	16	2	80	0,216	40	40	3	235	0,634
25	25	2	98	0,264	40	40	4	311	0,839
25	25	2,5	121	0,328	50	50	3	295	0,796
30	30	2	118	0,318	50	50	4	391	1,055
30	30	2,5	146	0,394	50	50	5	485	1,310

*Profili T od aluminija i aluminijskih slitina, prešani (nastavak)*

Širina noge mm	Visina mm	Deb- ljina mm	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Širina noge mm	Visina mm	Deb- ljina mm	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
60	40	4	391	1,055	125	80	10	1 991	5,38
60	40	5	485	1,310	125	125	10	2 441	6,59
60	60	5	585	1,58	125	125	12	2 915	7,87
60	60	6	699	1,87	140	90	10	2 241	6,05
80	50	5	635	1,71	140	90	12	2 675	7,22
80	50	6	759	2,05	140	140	12	3 275	8,84
80	80	6	939	2,53	140	140	14	3 804	10,27
80	80	8	1 242	3,35	160	100	12	3 035	8,19
100	100	8	1 562	4,23	160	100	14	3 524	9,52
100	100	10	1 941	5,24	160	160	14	4 364	11,77
125	80	8	1 602	4,33	160	160	16	4 969	13,41

**C** *Profili C od aluminija i aluminijskih slitina, prešani*  
(JUS C.C3.203 — 1963)

Visina mm	Širina noge mm	Deb- ljina mm	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Visina mm	Širina noge mm	Deb- ljina* mm	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
25	16	1,6	87,1	0,235	80	50	4	693	1,87
32	16	2	122	0,329	80	50	5	860	2,32
32	20	2	138	0,372	100	50	5	960	2,59
40	20	2	154	0,416	100	50	6	1 143	3,08
40	25	2,5	215	0,581	125	80	6	1 653	4,47
40	30	3	286	0,772	125	80	8	2 178	5,88
40	40	4	455	1,228	140	90	8	2 458	6,64
50	25	2,5	240	0,648	140	90	10	3 041	8,21
50	30	3	316	0,853	160	80	8	2 458	6,64
50	40	4	495	1,335	160	80	10	3 041	8,21
60	30	4	455	1,228	160	100	8	2 778	7,50
60	30	5	560	1,51	160	100	10	3 441	9,30
60	40	4	535	1,44	200	100	12(10)	4 219	11,39
60	40	5	660	1,78	200	125	16(12)	6 121	16,53
80	40	4	615	1,66	250	100	16(12)	5 921	15,99
80	40	5	760	2,05	250	125	16(12)	6 721	18,15

\* Vrijednosti u zagradama vrijede za debljinu noge.



Profili I od aluminija i aluminijskih slitina, prešani  
(JUS C.C3.205 — 1963)

Visina mm	Širina noge mm	Debljina mm	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Visina mm	Širina noge mm	Debljina mm	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
25	16	1,6	88,2	0,238	125	80	8	2 205	5,95
25	25	1,6	117	0,316	125	125	6	2 208	5,96
30	20	2	135	0,364	125	125	8	2 925	7,90
30	30	2	175	0,473	140	90	8	2 485	6,72
40	25	2,5	218	0,588	140	90	10	3 083	8,33
40	40	4	461	1,245	140	140	8	3 285	8,86
50	30	3	319	0,861	140	140	10	4 083	11,02
50	50	3	439	1,185	160	100	8	2 805	7,57
50	50	5	721	1,947	160	100	10	3 483	9,42
60	40	4	541	1,46	160	160	8	3 765	10,17
60	50	4	621	1,68	160	160	10	4 683	12,64
60	60	5	871	2,35	200	125	10	4 383	11,85
80	50	4	701	1,89	200	125	12	5 231	14,12
80	50	5	871	2,35	200	200	10	5 883	15,90
80	80	4	941	2,54	200	200	12	7 031	18,98
80	80	5	1 171	3,16	250	160	12	6 671	18,01
100	100	5	1 471	3,97	250	160	16	8 820	23,80
100	100	6	1 758	4,74	250	250	12	8 831	23,84
125	80	6	1 668	4,50	250	250	16	11 700	31,60

Toplo valjani lim od aluminija i aluminijskih slitina  
(JUS C.C4.019 — 1963)

Debljina mm	Širina mm	Plošt. masa kg/m <sup>2</sup>	Debljina mm	Širina mm	Plošt. masa kg/m <sup>2</sup>
4	do 2 500	10,8	15	do 3 000	40,5
5	do 2 500	13,5	20	do 3 000	54,0
6	do 3 000	16,2	25	do 1 000	67,5
8	do 3 000	21,6	30	do 1 000	81,0
10	do 3 000	27,0	40	do 1 000	108
12	do 3 000	32,4			

Duljine: do 10 000 mm.

\*

Hladno valjane trake od aluminija i aluminijskih slitina (JUS C.C4.051/151 — 1963).  
Hladno valjani lim od aluminija i aluminijskih slitina (JUS C.C4.050/150 — 1963).

Okrugle cijevi od aluminija i aluminijskih slitina, vučene i prešane  
(JUS C.C5.030/031/130/131 — 1966)

Vanj.prom.* (R 10) mm	Debljina sti- jenke** mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Vanj.prom.* (R 10) mm	Debljina sti- jenke** mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
	vučeno al sl	prešano al, sl					vučeno al sl		
4	0,5 0,5	—	5,49	0,015	20	0,5 —	—	30,63	0,083
	0,8 0,8	—	8,04	0,022		0,8 0,8	—	48,26	0,130
	1 —	—	9,42	0,025		1 1	—	59,69	0,161
5	0,5 0,5	—	7,07	0,019		1,2 1,2	—	70,87	0,191
	0,8 0,8	—	10,55	0,029		1,6 1,6	—	92,49	0,250
	1 1	—	12,57	0,034		2 2	—	113,1	0,305
8	0,5 0,5	—	11,78	0,032	2,5 2,5	—	137,4	0,371	
	0,8 0,8	—	18,10	0,049	3 3	—	160,2	0,433	
	1 1	—	22,01	0,059	25	0,5 —	—	38,49	0,104
	1,2 1,2	—	25,64	0,069		0,8 0,8	—	60,82	0,164
1,6 1,6	—	32,17	0,086	1 1		—	74,40	0,204	
10	0,5 —	—	14,92	0,040		1,2 1,2	1,2	89,72	0,242
	0,8 0,8	—	23,12	0,062		1,6 1,6	1,6	117,6	0,318
	1 1	—	28,27	0,076		2 2	2	144,5	0,390
	1,2 1,2	—	33,18	0,090	2,5 2,5	2,5	176,7	0,477	
	1,6 1,6	—	42,22	0,114	3 3	3	207,4	0,560	
	2 2	—	50,27	0,136	0,8 0,8	—	78,41	0,212	
12	0,5 —	—	18,06	0,049	1 1	—	97,39	0,263	
	0,8 0,8	—	28,15	0,076	1,2 1,2	1,2	116,1	0,314	
	1 1	—	34,46	0,093	1,6 1,6	1,6	152,8	0,413	
	1,2 1,2	—	40,72	0,110	2 2	2	188,5	0,509	
	1,6 1,6	—	52,28	0,141	2,5 2,5	2,5	231,7	0,626	
	2 2	—	62,83	0,170	3 3	3	273,3	0,738	
16	0,5 —	—	24,35	0,066	4 4	4	351,9	0,950	
	0,8 0,8	—	38,20	0,103	— 5	5	424,1	1,15	
	1 1	—	47,12	0,127	— 6	6	490,1	1,32	
	1,2 1,2	—	55,80	0,151	— 8	8	603,2	1,63	
	1,6 1,6	—	72,38	0,195					
	2 2	—	87,97	0,238					
	2,5 2,5	—	106,0	0,286					

(Nastavak – str. 460 i 461.)

(Nastavak — str. 460 i 461.)

\* Uzeti su u obzir samo promjeri standardnih brojeva osnovnog reda R 10.

\*\* Vrijednosti »al« vrijede za cijevi od aluminija, a vrijednosti »sl« za cijevi od aluminijskih slitina.

Okrugle cijevi od aluminija i aluminijskih slitina, vučene i prešane  
(nastavak)

Vanj.prom. (R 10) mm	Debljina stijenke** vučeno al sl	Debljina stijenke** preš. al sl	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Vanj.prom. (R 10) mm	Debljina stijenke** vučeno al sl	Debljina stijenke** preš. al sl	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
40	0,8 —	—	98,68	0,266	63	— 6	6	1 074	2,90
	1 1	—	122,7	0,331		— 8	8	1 382	3,73
	1,2 1,2	—	146,3	0,395		— 10	10	1 665	4,50
	1,6 1,6	—	193,0	0,521		1,6 1,6	—	394,1	1,06
	2 2	2	238,9	0,645		2 2	—	490,1	1,31
	2,5 2,5	2,5	294,7	0,795		2,5 2,5	—	608,8	1,64
	3 3	3	348,9	0,942	80	3 3	—	727,7	1,96
	4 4	4	452,6	1,22		4 4	4	955,1	2,58
	5 5	5	549,6	1,48		5 5	5 5	1 178	3,18
	— 6	6	640,9	1,73		6 6	6 6	1 385	3,74
	— 8	8	804,3	2,17		8 8	8 8	1 810	4,89
	—	—	—	—		— 10	10 10	2 199	5,94
50	1 1	—	153,9	0,416	100	2 2	—	615,8	1,66
	1,2 1,2	—	183,9	0,497		2,5 2,5	—	765,8	2,07
	1,6 1,6	—	243,3	0,657		3 3	—	914,2	2,47
	2 2	—	301,6	0,814		4 4	4 4	1 206	3,26
	2,5 2,5	2,5	373,1	1,01		5 5	5 5	1 492	4,03
	3 3	3	444,0	1,20		6 6	6 6	1 772	4,78
	4 4	4	578,1	1,56	125	8 8	8 8	2 312	6,24
	5 5	5	706,9	1,91		10 10	10 10	2 827	7,63
	— 6	6	829,4	2,24		—	—	3 318	8,96
	— 8	8	1 055	2,85		3 3	—	1 150	3,11
	1,2 1,2	—	233,0	0,629		4 4	4 4	1 521	4,11
	1,6 1,6	—	308,6	0,833		5 5	5 5	1 885	5,09
63	2 2	—	383,3	1,04	125	6 6	6 6	2 243	6,06
	2,5 2,5	—	475,2	1,28		8 8	8 8	2 941	7,94
	3 3	—	565,5	1,53		10 10	10 10	3 613	9,76
	4 4	4	741,2	2,00		12 12	12 —	4 260	11,5
	5 5	5	911,1	2,46		—	—	—	—
	—	—	—	—		—	—	—	—

\* \*\* Vidi primjedbe na str. 459.

Okrugle cijevi od aluminija i aluminijskih slitina, vučene i prešane  
(nastavak)

Vanj.prom. (R 10) mm	Debljina stijenke** vučeno al sl	Debljina stijenke** preš. al, sl	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Vanj.prom. (R 10) mm	Debljina stijenke** vučeno al sl	Debljina stijenke** preš. al, sl	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
160	3 —	—	1 480	4,00	200	6 —	6 6	3 657	9,87
	4 —	4 4	1 960	5,29		8 —	8 8	4 824	13,0
	5 —	5 5	2 425	6,55		10 —	10 10	5 969	16,1
	6 —	6 6	2 903	7,84		12 —	12 —	7 087	19,1
	8 —	8 8	3 820	10,3		5 —	5 5	3 849	10,4
	10 —	10 10	4 712	12,7	250	6 —	6 6	4 599	12,4
200	12 —	12 —	5 580	15,1		8 —	8 8	6 082	16,4
	4 —	4 4	2 463	6,65		10 —	10 10	7 540	20,4
	5 —	5 5	3 063	8,27		12 —	12 —	8 972	24,2

\* \*\* Vidi primjedbe na str. 459!

\*

Okrugle cijevi od aluminija i aluminijskih slitina, koje imaju promjere  
standardnih brojeva osnovnih redova R 20 i R 40

Vanjski promjer mm		Debljine stijenke mm			
R 20	R 40	vučene		prešane	
		aluminij	alum. slitine	aluminij	alum. slitine
14	6	0,5 ... 1,2	0,5 ... 1,2	—	—
18		0,5 ... 2	0,8 ... 2	—	—
22		0,5 ... 2,5	0,8 ... 2,5	—	—
28		0,5 ... 3	0,8 ... 3	—	—
36	30	0,5 ... 3	0,8 ... 3	1,2 ... 3	1,2 ... 3
45		0,8 ... 4	0,8 ... 6	1,2 ... 6	1,2 ... 6
56	38	0,8 ... 4	0,8 ... 8	1,6 ... 8	1,6 ... 8
70		0,8 ... 4	0,8 ... 8	2 ... 8	2 ... 8
90		1 ... 5	—	2,5 ... 8	2,5 ... 8
110		1,2 ... 5	1,2 ... 8	3 ... 8	3 ... 8
140		1,6 ... 6	1,6 ... 8	4 ... 8	5 ... 8
180		2 ... 8	2 ... 8	5 ... 8	5 ... 8
220		3 ... 10	—	5 ... 12	5 ... 10
		3 ... 12	—	4 ... 12	4 ... 10
		4 ... 12	—	4 ... 12	4 ... 10
		5 ... 12	—	5 ... 12	5 ... 10

POLUPROIZVODI OD BAKRA I BAKRENIH SLITINA

**Bakrene šipke, lim i žica**

*Okrugle šipke, vučene (JUS C.D3.520 – 1982)*

Promjer mm	Dulj. masa kg/m	Promjer mm	Dulj. masa kg/m	Promjer mm	Dulj. masa kg/m
0,5	0,00175	4,5	0,141	22	3,38
0,6	0,00252	5	0,175	25	4,37
0,8	0,00447	5,5	0,211	28	5,48
1,0	0,00699	6	0,252	32	7,16
1,2	0,0101	6,5	0,295	36	9,06
1,4	0,0137	7	0,342	40	11,2
1,6	0,0175	8	0,447	45	14,1
1,8	0,0226	9	0,566	50	17,5
2,0	0,0279	10	0,699	56	21,9
2,2	0,0338	11	0,846	60	25,2
2,5	0,0437	12	1,01	63	27,7
2,8	0,0548	14	1,37	70	34,2
3	0,0629	16	1,79	75	39,3
3,5	0,0856	18	2,26	80	44,7
4	0,112	20	2,79		

*Kvadratne šipke, vučene (JUS C.D3.525 – 1972) debljina: 2... 60 mm*

*Šesterokutne šipke, vučene (JUS C.D3.527 – 1972)*

otvor ključa: 3... 60 mm

*Plosnate šipke, vučene (JUS C.D3.523 – 1982)*

debljina: 2... 40 mm, širina: 4... 200 mm

*Limovi, hladno valjani (JUS C.D4.520 – 1972)*

Debljina mm	Plošt. masa kg/m <sup>2</sup>	Debljina mm	Plošt. masa kg/m <sup>2</sup>	Debljina mm	Plošt. masa kg/m <sup>2</sup>
0,20	1,89	0,70	5,91	2,0	16,9
0,25	2,11	0,80	6,75	2,5	21,1
0,30	2,53	0,90	7,60	3,0	25,4
0,35	2,96	1,0	8,45	3,5	29,6
0,40	3,38	1,1	9,30	4,0	34,8
0,45	3,80	1,2	10,1	4,5	38,0
0,50	4,23	1,5	12,7	5,0	42,3
0,60	5,06	1,8	15,2		

Širina: 1000 mm, duljina: 20000 mm.

*Tanki limovi, hladno valjani (JUS C.D4.521 – 1972)*

*Žica, vučena (JUS C.D6.520 – 1972)*

Debljina mm	Dulj. masa kg/km	Debljina mm	Dulj. masa kg/km	Debljina mm	Dulj. masa kg/km
0,02	0,0028	0,45	1,42	3,5	85,6
0,05	0,0175	0,50	1,75	4,0	112
0,06	0,0251	0,56	2,19	4,5	142
0,07	0,0342	0,60	2,52	5,0	175
0,08	0,0447	0,70	3,42	5,5	211
0,09	0,0566	0,80	4,47	6,0	252
0,10	0,0689	0,90	5,66	6,5	295
0,12	0,101	1,0	6,99	7,0	342
0,14	0,137	1,2	10,1	8	447
0,16	0,179	1,4	13,7	9	566
0,18	0,226	1,6	17,9	10	699
0,20	0,280	1,8	22,6	11	846
0,22	0,330	2,0	28,0	12	1010
0,25	0,437	2,2	33,8	14	1370
0,28	0,548	2,5	43,7	16	1790
0,30	0,629	2,8	54,8	18	2265
0,36	0,906	3,0	62,9		
0,40	1,12	3,2	71,6		

*Kvadratna žica*

3,0	80,1	6	320	12	1282
3,5	109	7	436	13	1504
4,0	142	8	570	14	1744
4,5	180	9	721	16	2278
5,0	222	10	890	17	2572
5,5	269	11	1077		

*Šesterokutna žica*

3,0	69,4	6	277	12	1120
3,5	94,4	7	378	13	1303
4,0	123	8	493	14	1510
4,5	156	9	624	17	2238
5,0	193	10	771		
5,5	233	11	933		

# Bakrena užad (za električne vodiče)

Konstrukcija užeta	Vanjski promjer užeta	Ukupni presjek žica	Dulj. masa	Omski otpor
broj žica × promjer žice	mm	mm <sup>2</sup>	kg/km	(20 °C) Ω/km
7 × 1,70	5,10	16	143	1,11
7 × 2,10	6,30	25	222	0,715
7 × 2,5	7,50	35	311	0,51
7 × 3,0	9,00	50	443	0,36
19 × 2,1	10,50	70	620	0,26
19 × 2,5	12,50	95	844	0,19
19 × 2,8	14,00	120	1064	0,15
(19 + 18) × 2,25	16,50	150	1340	0,12

# Bakrene cijevi, vučene (JUS C.D5.500 — 1972, 501 — 1973)

Vanjski promjer mm	Duljinska masa cijevi (kg/m)*							
	pri debljini stijenke (mm)							
	0,50	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
4	0,05	0,07	0,08	—	—	—	—	—
5	0,06	0,09	0,11	—	—	—	—	—
6	0,08	0,11	0,14	—	—	—	—	—
7	0,09	0,13	0,17	—	—	—	—	—
8	0,10	0,15	0,20	0,27	—	—	—	—
9	0,12	0,17	0,22	0,31	—	—	—	—
10	0,13	0,19	0,25	0,36	0,45	—	—	—
12	0,16	0,24	0,31	0,44	0,56	—	—	—
14	0,19	0,28	0,36	0,52	0,67	—	—	—
15	0,20	0,30	0,39	0,57	0,73	0,87	—	—
16	0,22	0,32	0,42	0,61	0,78	0,94	—	—
18	0,24	0,36	0,48	0,69	0,89	1,08	1,26	—
20	—	0,40	0,53	0,78	1,01	1,22	1,43	1,79
22	—	—	0,59	0,86	1,12	1,36	1,59	—
24	—	—	0,64	—	1,23	—	—	—
25	—	—	0,67	0,99	1,29	1,57	1,85	2,35
28	—	—	0,75	1,11	1,45	1,78	2,10	2,68
30	—	—	0,81	1,20	1,57	1,92	2,26	2,91
32	—	—	0,87	1,28	1,68	—	—	—
35	—	—	0,95	1,40	1,85	2,27	2,68	—
38	—	—	1,03	1,53	2,01	2,48	2,94	3,80
40	—	—	1,09	1,61	2,12	2,62	3,10	4,89
42	—	—	1,15	1,70	2,24	2,76	3,27	4,25
44,5	—	—	—	—	—	2,94	3,48	4,53
45	—	—	—	1,82	2,40	2,97	3,52	5,59
48	—	—	—	1,95	2,57	—	3,77	4,92
50	—	—	1,37	2,03	2,68	3,32	3,94	6,29

\* Vidi primjedb u na str. 465!

# Bakrene cijevi, vučene (nastavak)

Vanjski promjer mm	Duljinska masa cijevi (kg/m)*					
	pri debljini stijenke (mm)					
	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
54	2,20	2,91	—	—	—	—
55	—	—	3,67	—	—	—
56	—	—	—	4,45	—	—
57	—	—	3,81	4,53	5,93	7,27
58	—	—	—	—	6,04	7,41
60	—	3,24	4,02	4,78	6,26	7,69
64	2,62	3,47	—	—	—	—
65	—	—	4,37	—	—	—
66	—	—	—	5,28	—	—
70	—	3,80	4,72	—	—	9,09
74	—	4,03	—	—	—	—
75	—	—	5,07	—	—	—
76	—	—	5,14	6,12	8,05	9,93
80	—	—	5,42	—	8,50	10,5
84	—	4,59	—	—	—	—
85	—	4,64	5,77	—	—	—
86	—	—	—	6,96	—	—
89	—	—	6,05	7,21	9,51	11,7
100	—	5,48	—	8,14	—	—
105	—	—	7,16	—	—	—
106	—	—	—	8,64	—	—
108	—	—	—	8,81	11,6	14,4
114	—	—	—	9,31	12,3	—
120	—	—	8,21	—	—	16,1
130	—	—	—	—	—	17,5
133	—	—	—	10,9	14,4	—
150	—	—	—	—	—	20,3
159	—	—	—	—	17,3	21,5
170	—	—	—	—	18,6	23,1
190	—	—	—	—	—	25,9
194	—	—	—	—	21,2	—
200	—	—	—	—	—	27,3
219	—	—	—	—	24,0	—
267	—	—	—	—	29,4	—
273	—	—	—	—	30,1	—
324	—	—	—	—	35,8	—
368	—	—	—	—	40,7	—
419	—	—	—	—	46,4	—

\* Standardizirane su one cijevi, za koje je u tablici navedena duljinska masa.

Cijevi od bakrenih slitina, vučene  
(JUS C.D5.520 — 1972, 522 — 1973)

Vanjski promjer mm	Duljinska masa cijevi (kg/m)*								
	pri debljini stijenke (mm)								
	0,50	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
4	0,05	0,07	0,08	—	—	—	—	—	—
5	0,06	0,09	0,11	—	—	—	—	—	—
6	0,08	0,11	0,14	—	—	—	—	—	—
7	—	—	0,17	—	—	—	—	—	—
8	0,10	0,15	0,20	0,27	0,34	—	—	—	—
9	—	—	0,22	—	—	—	—	—	—
10	0,13	0,19	0,25	0,36	0,45	0,52	0,59	—	—
12	0,16	0,24	0,31	0,44	0,56	0,66	0,75	0,89	—
14	0,19	0,28	0,36	0,52	0,67	0,80	0,92	1,12	—
15	0,20	0,30	0,39	0,57	0,73	0,87	1,01	1,23	—
16	0,22	0,32	0,42	0,61	0,78	0,94	1,09	1,34	—
18	0,24	0,36	0,48	0,69	0,89	—	1,26	1,57	1,82
20	0,27	0,40	0,53	0,78	1,01	1,22	1,43	1,79	2,10
22	—	0,45	0,59	0,86	1,12	—	1,59	2,01	2,38
25	—	0,51	0,67	0,99	1,29	1,57	1,85	2,35	2,80
28	—	—	0,75	1,11	1,45	1,78	2,10	2,68	3,22
30	—	—	0,81	1,20	1,57	1,92	2,26	2,91	3,50
32	—	—	0,87	1,28	1,68	—	—	—	—
35	—	—	0,95	1,40	1,85	2,27	2,68	3,47	4,19
38	—	—	1,03	1,53	2,01	2,48	2,94	3,80	4,61
40	—	—	1,09	1,61	2,12	2,62	3,10	4,03	4,89
42	—	—	1,15	1,70	2,24	2,76	3,27	—	—
44,5	—	—	—	1,80	2,38	2,94	3,48	—	—
45	—	—	—	1,82	2,40	2,97	3,52	—	—
48	—	—	—	1,95	2,57	—	—	4,92	—
50	—	—	1,37	2,03	2,68	3,32	3,94	5,14	6,29
55	—	—	—	—	—	3,67	4,36	—	6,99
56	—	—	—	—	—	—	4,45	—	—
57	—	—	—	2,33	3,08	3,81	4,53	—	—
58	—	—	—	—	—	—	—	6,04	—
60	—	—	—	2,45	3,24	4,02	4,78	6,26	7,69
64	—	—	—	—	3,47	—	—	—	—
65	—	—	—	—	—	4,37	—	—	—
66	—	—	—	—	—	—	5,28	—	—
70	—	—	—	2,87	3,80	4,72	5,62	7,38	9,09

\* Vidi primjedb u na str. 467!

Cijevi od bakrenih slitina, vučene (nastavak)

Vanjski promjer mm	Duljinska masa cijevi (kg/m)*					
	pri debljini stijenke (mm)					
	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0
75	—	5,07	—	—	—	—
76	4,14	5,14	6,12	—	—	—
80	—	5,42	6,46	8,50	10,5	—
85	4,64	5,77	—	—	11,2	—
86	—	—	6,96	—	—	—
89	4,87	6,05	7,21	—	—	—
100	5,48	—	8,14	10,7	13,3	—
104	5,70	—	—	—	—	—
105	—	7,16	—	—	—	—
106	—	—	8,64	—	—	—
108	—	7,37	8,81	11,6	—	—
114	—	7,79	9,31	—	—	—
120	—	8,21	—	—	16,1	—
125	—	8,56	—	13,5	16,8	—
130	—	—	—	—	17,5	—
133	—	9,12	10,9	14,4	17,9	—
150	—	—	—	—	20,3	—
159	—	10,9	13,1	17,3	21,5	—
160	—	—	—	17,5	—	—
168	—	11,6	13,8	18,3	—	—
170	—	—	—	—	23,1	—
190	—	—	—	—	25,9	—
194	—	13,4	16,0	—	—	—
200	—	—	—	21,9	27,3	—
219	—	—	18,1	24,0	29,9	—
267	—	—	22,1	29,4	36,6	—
273	—	—	22,6	30,1	37,5	—
324	—	—	—	35,8	44,6	53,3
368	—	—	—	40,7	50,7	60,7
419	—	—	—	46,4	57,9	69,3

\* Standardizirane su one cijevi za koje je u tablici navedena duljinska masa. – Masa je proračunana za gustoću od 8900 kg/m<sup>3</sup>. Pri gustoći slitine  $\rho$  kg/m<sup>3</sup> valja vrijednosti tablice pomnožiti s faktorom  $\rho/8900$ .

Cijevi za kondenzatore i izmjenjivače topline – JUS C.D5.521 – 1981.



## POLUPROIZVODI OD MJEDI, CINKA I OLOVA

### Mjedeni poluproizvodi

*Mjedne šipke, istiskane*

- Okrugle šipke (JUS C.D3.522 – 1982)
- Plosnate šipke (JUS C.D3.524 – 1956)
- Kvadratne šipke (JUS C.D3.526 – 1956)
- Šesterokutne šipke (JUS C.D3.528 – 1956)

*Mjedeni kutni profili*

- jednakokrani, prešani* (JUS C.D3.529 – 1956)
  - duljine krakova  $10 \times 10 \dots 60 \times 60$  mm
- raznokračni, prešani* (JUS C.D3.530/531 – 1956)
  - duljine krakova  $10 \times 20 \dots 25 \times 50$ ,  $15 \times 20 \dots 30 \times 45$  mm

*Mjedena žica (okrugla)*

- prešana* (JUS C.D6.521 – 1956), promjeri  $5 \dots 15$  mm

### Cinčani poluproizvodi

Pri određivanju mase poluproizvoda od cinka računamo s gustoćom od  $7180 \text{ kg/m}^3$ .

*Cinčani lim* (JUS C.E4.020 – 1970)

- debljina lima  $0,2 \dots 6$  mm
- veličina ploče  $1000 \times 2000$  (3000) mm

### Olovni poluproizvodi

Pri određivanju mase poluproizvoda od olova računamo s gustoćom od  $11400 \text{ kg/m}^3$ .

*Olovni lim* (JUS C.E4.030 – 1963)

- debljina lima  $1 \dots 4$  mm
- širina  $1000$  mm
- duljina do  $10000$  mm

*Olovne cijevi*

- dovodne cijevi* (JUS C.E4.040 – 1963)
  - unutarnji promjeri  $10 \dots 26$  mm
  - debljina stijenki  $2,0 \dots 7$  mm
- odvodne cijevi* (JUS C.E4.041 – 1963)
  - unutarnji promjeri  $30 \dots 125$  mm
  - debljina stijenki  $2,0 \dots 2,5$  mm

*Olovna žica* (JUS C.E6.050 – 1965)

- promjeri  $2 \dots 20$  mm

## NEKOVINSKI MATERIJALI

### ANORGANSKI NEKOVINSKI MATERIJALI

#### Staklo

Staklo se sastoji od natrijskih i kalcijevih (te kalijevih i bornih) silikata. Posebna mu svojstva daju dodaci oksida nekih kovina (Pb, Mg, Al, Zn, Te).

Staklo je amorfno (nema kristalne strukture) i zato bez određenog tališta prelazi iz tekućeg u kruto stanje. Pri temperaturi  $1300$  do  $1500$  °C može biti tekuća talina (lijevanje!), pri temperaturi  $1000$  °C je gusta tekućina prikladna za preradu (puhanjem, vučenjem, valjanjem, prešanjem). Temperatura smekšavanja (prelaza u krutinu) je oko  $500$  °C. Kremično staklo –  $\text{SiO}_2$  – smekšava se pri  $1200$  °C.)

Pri temperaturi okoliša je staklo u amorfnom stanju pothlađene tekućine. Njegova je tlačna čvrstoća  $400 \dots 1300 \text{ N/mm}^2$ , vlačna čvrstoća iznosi  $30 \dots 90 \text{ N/mm}^2$ .

Najznačajnija su svojstva stakla: propustivost za svjetlo ( $85 \dots 90\%$ ), kemijska otpornost na zrak, vodu i kiseline (osim fluorovodične HF) i neprovodnost za električnu struju.

Upotreba: natrijsko staklo – za armature manjih zahtjeva; borno – za aparate s većim zahtjevima; kremenasto – za dijelove kod viših temperatura.

Brzim ohlađivanjem vruće staklene ploče javljaju se na površini tlačna naprezanja koje povećavaju čvrstoću na savijanje. Takvo se staklo pri lomu raspada na prašinu. Staklene ploče, s obih strana obložene folijom od prozirne plastike, upotrebljava se kao sigurnosno staklo (npr. za automobile).

#### Beton

*Cementni beton* je umjetni kamen od cementa, betonskih dodataka (pijeska i šljunka) i vode, a nastaje skrućivanjem cementnog veziva (mješavine cementa s vodom).

Portland cement se sastoji od 1 dijela  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  i najmanje 1,7 dijela  $\text{CaO}$ .

Volumenski omjer mješavine cement : pijesak	Tlačna čvrstoća betona* $\text{N/mm}^2$	Volumenski omjer mješavine cement : pijesak : šljunak	Tlačna čvrstoća betona* $\text{N/mm}^2$
1 : 4	22 ... 30	1 : 2 : 3	22 ... 25
1 : 5	18 ... 22	1 : 3 : 5	13 ... 18
1 : 8	9 ... 12	1 : 4 : 6	10 ... 12

\* Nakon 28 dana.

Zbog male vlačne čvrstoće (u odnosu na tlačnu) ojačavaju se vlačna područja u betonu čeličnim ulošcima (armirani beton). Ako su čelični ulošci prednapregnuti, izazivaju u neopterećenom stanju u betonu tlačna naprezanja radi kojih je moguće, da se pri opterećenju uopće ne pojavljuju vlačna naprezanja (prednapregnuti beton).

### Pjenasti beton

Normalni (teški) beton gustoće 2200...2600 kg/m<sup>3</sup> provodi toplinu razmjerno dobro. Lakim dodacima (npr. mljevenom drvenom piljevinom, drvenom vunom i sl.) te odgovarajućom obradom stvaraju se u betonu pore (zrak) koje veoma snižuju njegovu gustoću (na 300...500 kg/m<sup>3</sup>) pa mu zbog velikog smanjenja tlačne čvrstoće smanjuju nosivost, ali mu veoma povećavaju izolacijsku sposobnost.

### Polimerni beton

Polimarni beton je umjetni kamen pri kojemu umjesto cementa upotrebljavamo kao vezivo razna ljepljiva na bazi plastike (MMA, UP).

Polimerni beton (s 5...15% veziva) postizava nakon jednog dana slijedeća mehanička svojstva:

tlačnu čvrstost 70...150 N/mm<sup>2</sup>, modul elastičnosti 15 000...30 000 N/m<sup>2</sup>, čvrstoću na savijanje 20...40 N/mm<sup>2</sup>, temper. rastezljiv. (15...20) 10<sup>-6</sup> K<sup>-1</sup>.

Upotrebljava se za temelje strojeva i konstrukcija, mjerne ploče. I polimerni beton može biti pjenast.

### Keramički materijali

Keramičke tvari sadrže većinom okside. Svi čisti oksidi su kemijski vrlo postojani i imaju visoka tališta:

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :	2046 °C	BeO:	2530 °C
SiO <sub>2</sub> :	1702 °C	ZrO <sub>2</sub> :	2700 °C

**Sinterovani korund** Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> odlikuje se velikom tvrdoćom 3800 HV 30 i velikom tlačnom čvrstoćom. (Dodatkom Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> čistom Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nastaje sinterovani rubin tvrdoće 4000 HV 30.)

Sinterovani korund upotrebljava se za izradu dijelova koji moraju biti posebno otporni na habanje (matrice za vučenje žice, dijelovi tekstilnih strojeva) i postojani u visokoj temperaturi (svječiice motora s unut. sagor. i sl.).

Tvrdoća, koja se ni pri visokim temperaturama (do 1200°) bitno ne smanjuje te mala toplinska provodnost su svojstva sinterovanoga korunda koja su naročito značajna za izradu alata za rezanje (tokarenje, glodanje) i brušenje.

Sastavljeni keramički materijal Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · SiO<sub>2</sub> je veoma otporan na habanje (upotreba npr. pri dodirnim plohami mjerila). Materijal MgO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · SiO<sub>2</sub> (kao i MgO · SiO<sub>2</sub>) vrlo je otporan na temperaturne promjene.

Od kvalitetne gline koja – osim Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – sadrži i SiO<sub>2</sub> te alkalne okside (kao i posebne dodatke) izrađen keramički materijal (kamenština) ima vlačnu čvrstoću 6,5...13 N/mm<sup>2</sup>, tlačnu čvrstoću 320...350 N/mm<sup>2</sup>. Zbog velike otpornosti prema kiselinama upotrebljava se u kemijskoj industriji za aparate i strojne dijelove (za pumpe, ventilatore, mješalice i sl.).

### Opeka

Opeka je pri temperaturi 900...1300°C pečena glina (prven. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Tlačna čvrstoća opeka iznosi (po kvaliteti) 10...25(...35) N/mm<sup>2</sup>.

Normalni je format opeke: 240 × 115 × 71 mm.

### Vatrostalni keramički materijali

Talište mora biti najmanje 1580°C. Za kvalitetu su odlučni još: temperatura na kojoj se materijal pod tlakom smeškava; propustljivost za plinove; otpornost prema temperaturnim promjenama i prema kemijskim utjecajima.

Vatrostalne keramičke materijale dijelimo na:

a) *kisele* — glavna sastavina: kremen (SiO<sub>2</sub>),

b) *bazične* — glavna sastavina: dolomitna (CaO · MgO) ili magnezitna (MgO),

c) *neutralne* — glavna sastavina: glina, kaolin (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 2SiO<sub>2</sub>), glinica (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), kromit (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ili ugljen (C).

Naziv	Sastav %	Talište °C	Otpornost prema tlaku do °C	Upotreba
silika I	> 94,5 SiO <sub>2</sub> < 2 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 3,5 CaO	1720	1630	teško opterećeni dijelovi pri visokim temperaturama, velika osjetljivost prema bazičnoj troski
silika II	> 92 SiO <sub>2</sub>	1670	1560	
kremeni šamot (polukiseli)	≈ 90 SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + CaO + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1650	1470	srednje opterećeni dijelovi
šamot (bazični)	55...60 SiO <sub>2</sub> 36...41 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,2...0,6 CaO 0,8...0,2 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	> 1580	1300	manje opterećeni dijelovi ložišta (dimni kanali)
silimanit	55...60 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ost. SiO <sub>2</sub>	≈ 1875	1620	otporan prema troski i temperaturnim promjenama
magnezit	85...88 MgO 4...6 SiO <sub>2</sub> 1...2 CaO 1...2 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 4...5 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	> 2000	1400	za peći s bazičnom oblogom, velika osjetljivost prema temperaturnim promjenama
kromni magnezit	> 42 MgO > 15 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	≈ 1960	1560	otporan prema visokim temperaturama, brzim temperaturnim promjenama i utjecaju troske
karborund	45...80 SiC 10...25 SiO <sub>2</sub> 9...20 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	> 2000	1700	neosjetljiv prema temperaturnim promjenama; iznad 1600°C raspada zbog oksidirajućih plinova
ugljen	85...90 C	> 2000	1750	lonci, peći, elektrode

## DRVO

Drvo se odlikuje malom gustoćom, razmjerno velikom čvrstoćom i lakom obradom.

Drvo upotrebljavamo kao gradivo (u građevinarstvu, brodogradnji, za vozila, u tekstilnoj industriji itd.) ili kao sirovinu (za izradu papira i celuloze).

Vrsta drveta	Gustoća kg/m <sup>3</sup>	Smjer s obzir. vlakna	Čvrstoća N/mm <sup>2</sup>			
			vlačna	tlačna	na savij.	smična
brijest	500...850	 ⊥	60...210 4	30...60 10	50...160 –	7 25
bukva	500...900	 ⊥	60...180 7	40...80 10	60...180 –	5...20 35
grab	500...850	 ⊥	50...200 6	40...80 10	50...140 –	10 30
jasen	500...900	 ⊥	30...220 7	30...60 10	50...180 –	7 –
hrast	400...950	 ⊥	50...180 5	40...60 10	70...100 –	5...15 30
orah	600...750	 ⊥	100 4	40...70 10	80...140 –	– –
bor	300...900	 ⊥	40...190 3	30...80 10	40...200 90	5...15 20
jela	300...700	 ⊥	50...120 2	30...50 4	40...100 –	5 25
smreka	300...700	 ⊥	40...240 3	30...70 5...10	40...120 –	5...10 25

Na zraku sušeno drvo ima oko (10)12...15(20) postotaka vlage. Povećanjem vlage čvrstoća se osjetno smanjuje.

### Oplemenjeno drvo

Svojstva drveta možemo poboljšati rezanjem na tanke ploče – furnire – i njihovim slepljivanjem.

*Ukočeno drvo* su slepljeni furniri i to:

- kao lamelirani nosači s jednosmjernim vlaknima (dobra čvrstoća u smjeru vlakana),
- kao vezane ploče s vlaknima pod kutom 45 ili 90° (u svim smjerovima jednolika čvrstoća).

*Stolarske ploče (panel-ploče)* imaju u unutrašnjosti slepljene letve, pokrivene s obiju strana furnirom.

*Vlaknaste (lesonit)* su (razmjerno tanke) ploče, izrađene valjanjem drvene kaše od piljevine i ljepila.

*Iverice* su (razmjerno deblje) ploče, izrađene valjanjem drvene kaše, obilježene obostrano furnirom.

Oplemenjene drvene ploče su čvršće i praktički se ne savijaju.

## PLASTIČNE MASE

Plastične mase (plastika) su umjetne tvari čija su glavna sastojina polimeri (str. 96). S obzirom na karakteristična svojstva razvrstavamo ih u sljedeće glavne skupine:

### 1. Termoplasti

Termoplasti su umjetne tvari od polimera koje imaju međusobno fizikalno vezane makromolekule. Po stanju su više ili manje viskozne tekućine. Mogu biti amorfne ili djelomično kristalinične. Pri temperaturi okoliša su tvrdi, a pri zagrijavanju se smekšavaju (povratno). Lako se mogu preoblikovati i zavari-vati. Redovno su topivi u posebnim organskim otapalima. Njihovi se otpaci lako regeneriraju i ponovno upotrebljavaju. Ovamo se ubrajaju npr.:

*amorfni termoplasti* (koji se skrućuju odnosno smekšavaju do taline konti-nuirano u širokom temperaturnom području)

PVC – polivinilklorid      PMMA – polimetilmetakrilat  
PS – polistiren (polistirol)      PC – polikarbonat  
ABS – akrilnitril butadienstiren      CN – celulozoid

*djelomično kristalinični termoplasti* (koji se skrućuju iz taline u uskom temperaturnom području – »talištu«)

PE – polietilen      PTFE – politetrafluoretilen  
PP – polipropilen      PA – poliamid  
SAN – stirenakrilnitril      PETP – polietilentereftalat  
POM – polioksimetilen      (poliester)

### 2. Elasti

Elasti su umjetne tvari od polimera, koje imaju međusobno labavo vezane makromolekule. Dobivamo ih iz termoplasta vulkanizacijom (tj. kemijskim postupkom omreživanja). Uvijek su amorfni. Pri temperaturi okoliša su meko gumeno elastični. Već i najmanja naprezanja izazivaju velika elastična produ-ljenja. Ovamo ubrajamo npr.:

NR – prirodni kaučuk      IIR – butilni kaučuk  
PUR – poliuretanski kaučuk      NBR – akrilnitrilbutadienski  
SBR – stirenbutadienski kaučuk      kaučuk  
BR – butadienski kaučuk      SI – silikonski kaučuk

### 3. Duroplasti

Duroplasti su umjetne tvari od polimera koje imaju kemijski mrežom vezane makromolekule (nepovratni proces). Uvijek su amorfni. Oblikuju se (i učvršćuju) preko taline, a preoblikovanje je omeđeno. Teško se tope i zava-ruju. Njihovi otpaci nisu upotrebljivi (ili samo kao dodatak). Ovamo spadaju npr.:

PF – fenolna smola (fenoplast)      UP – poliesterska smola  
UF – uratna smola (aminoplast)      EP – epoksidna smola  
MF – melaminska smola      PUR – poliuretanska smola

S obzirom na broj polimera te dodatak još i drugih organskih ili anorganskih tvari dijelimo plaste na sljedeće skupine:

1. *Homogeni plasti* sastoje se iz samo jednog polimera. Mogu biti u amorfnom, kristaliničnom ili (kristalno) miješanom stanju. Udio kristalne tvari u cjelokupnoj tvari (mješavini amorfne i kristalinične tvari) određuje »stupanj kristalizacije« od koje ovise svojstva tvari.

2. *Heterogeni plasti* sastoje se od polimera i još jedne ili više kemijski različitih tvari koje su s polimerom vezane kemijski ili fizikalno. Ovamo se ubrajaju i međusobno miješani polimeri.

3. *Ukručeni plasti* sastoje se od polimera i još jedne ili više kemijski različitih tvari koje mogu biti organske ili anorganske te se većim dijelom osjetno razlikuju od polimera. Tvari su međusobno vezane fizikalno (rjetko kemijski). To su punilima ukruženi plasti.

Kao punila koja se dodaju u tekućim plastima dolaze u obzir u prvom redu:

staklena vuna i predivo  
kamenno brašno  
tinjac  
azbestna vlakna i vrpce  
drveno brašno  
celuloza  
pamućna vlakna i tkanine  
umjetna svila.

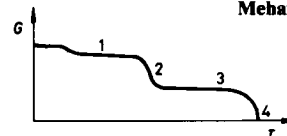
Svim vrstama plasta mogu se dodati svakakvi dodaci, npr. boje.

S obzirom na izbor jednog ili više međusobno miješanih polimera, kojima možemo dodati brojne druge tvari, dobivaju se plasti veoma raznovrsnih svojstava, prilagođenih zahtjevima upotrebe.

Plasti se (pre)oblikuju raznim tehnološkim postupcima (lijevanjem, prešanjem, istiskavanjem, zavarivanjem, ispuhivanjem, izvlačenjem, predenjem itd.) u:

- poluproizvode (cijevi, ploče, folije),
  - dijelove strojeva i aparata (kućišta, strojni elementi),
  - pjene, tvrde i meke (ulošci za blazine pokućstva, spužve za čišćenje, podne obloge),
  - vlakna (za predivo u tekstilnoj industriji)
- ili se upotrebljavaju kao pomoćna sredstva:
- lakove (za zaštitne i/ili ukrasne predmete),
  - ljepljiva (za keramiku, kovine, drvo, papir).

## Mehanička stanja plasta



Mehanička stanja plasta su ovisna o temperaturi. Ovu ovisnost pregledno prikazuje dijagram modula smika  $G$  pri raznim temperaturama  $T$ .

U dijagramu se razabiru sljedeća područja stanja:

– *Tvrdoelastično područje* (1) obuhvaća niske temperature. U tom su području plasti (umjetne tvari) tvrdi i krhki pa je za njih karakteristična ograničena elastična deformacija velikog modula elastičnosti ( $E = 200 \dots 4000 \text{ N/mm}^2$ ), koji pada s povišenjem temperature.

Stoga uzevši kod plasta ne postoji čista elastična deformacija, jer se dodatno uvijek javlja – u ovisnosti o vremenu, temperaturi i opterećenju – i viskoelastičan udio preoblikovanja.

Modul smika se u tom području malo mijenja s temperaturom ( $G = 10^2 \dots 10^4 \text{ N/mm}^2$ ).

– *Područje smekšavanja* (2) obuhvaća temperature pri kojima je već omogućeno pomicanje molekula (koje u tvrdoelastičnom području – kad su molekule još »smrznute« – nije bilo moguće).

U području smekšavanja prelaze plasti iz krhkoga u žilavo stanje.

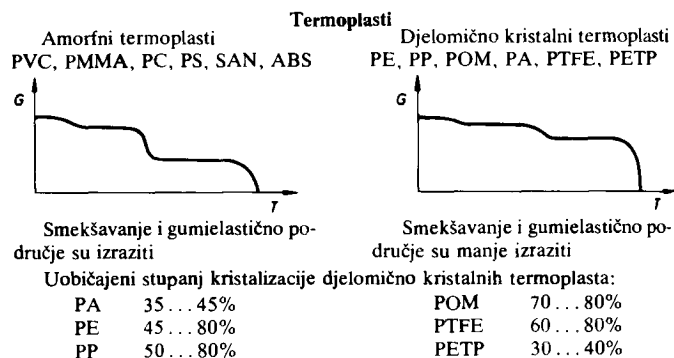
– *Gumelastično područje* (3) rasprostire se od područja smekšavanja do taljenja plasta. Za to je područje karakteristična vrlo velika elastična deformacija uz mali modul elastičnosti ( $E = 2 \dots 600 \text{ N/mm}^2$ ).

Modul smika je u tom području neznatno ovisan o temperaturi ( $G = 0,1 \dots 100 \text{ N/mm}^2$ ).

Smekšavanje i gumelastično područje se javljaju samo pri amorfnim tvarima. Pri kristalnim tvarima, tvrdoelastično stanje seže sve do područja taljenja; pri djelomično kristalnim tvarima, smekšavanje i gumelastično područje su ovisni o stupnju kristalizacije.

– *Područje taljenja* (4) se pri amorfnim tvarima izražava postupnim prijelazom tvari iz gumelastičnog stanja kroz plastično stanje (s izrazitim tečenjem tvari) do potpunog taljenja. Pri djelomično kristalnim tvarima se taljenje zbiva u užem temperaturnom području, a još izrazitije je talište pri kristalnim tvarima.

\*



#### Mehanička svojstva termoplasta

Termoplast	Oznaka	Modul elast. kN/mm <sup>2</sup>	Čvrstoća vlačna N/mm <sup>2</sup>	nasavij. N/mm <sup>2</sup>	Zarezna žilavost kJ/m <sup>2</sup>	Tvrdoća (kugl.) N/mm <sup>2</sup>
polietilen	PE – HD – LD	0,7 ... 1,4 0,2 ... 0,5	18 ... 35 8 ... 23	36 –	– –	40 ... 65 13 ... 20
polipropilen	PP	1,1 ... 1,3	21 ... 37	43	3 ... 17	36 ... 37
polivinilklorid	PVC tvrdi meki	1,0 ... 3,5 –	50 ... 75 10 ... 25*	110 –	2 ... 50 –	75 ... 155 –
polistiren	PS	3,2 ... 3,3	45 ... 65	90	2 ... 3	120 ... 130
stirenakril-nitril	SAN	3,6	70 ... 85	100	2 ... 3	130 ... 140
akrilnitril-butadienstiren	ABS	1,9 ... 2,7	32 ... 45	75	7 ... 20	80 ... 120
polimetilmetakrilat	PMMA	2,7 ... 3,2	50 ... 77	105	2 ... 6	180 ... 200
polioksi-metilen	POM	2,8 ... 3,2	62 ... 70	110	3 ... 9	150 ... 170
politetrafluoretilen	PTFE	0,41	25 ... 36	18	13 ... 15	27 ... 35
poliamid	PA 6	1,4	70 ... 85	27	8 ... 16	75
	PA 66	2,0	77 ... 84	50	15 ... 20	100
	PA 11	1,0	56	–	30 ... 40	75
	PA 12	1,6	56 ... 65	–	10 ... 20	75
polikarbonat	PC	2,1 ... 2,4	56 ... 67	100	20 ... 30	110
polietilen-tereftalat	PETP	2,4	39	80	4 ... 5	–
celulozni acetat	CA	2,2	28**	44	15	50
celul. acetbutirat	CAB	1,6	26**	38	30 ... 35	35 ... 43

\* Postotno produljenje > 400%. – \*\* Naprezanje tečenja  $R_{p\ 0,2}$ .

#### Toplinska svojstva i upotreba termoplasta

Oznaka	Ispit. po Vicatu °C	Područje tališta °C	Temper. rastez. 10 <sup>-4</sup> K <sup>-1</sup>	Topl. vodljiv. W/(m. K)	Upotreba
PE – HD – LD	70 ... 75 < 40	125 ... 135 110 ... 150	2 2,5	0,50 0,35	Cijevi, profili, ploče, folije, pjene, vlakna. Prešani dijelovi otporni na vodu, lužine, blage kiseline.
PP	95	157 ... 170	1,6	0,22	
PVC tvrdi meki	70 ... 90 40 ... 60		0,8 1,5	0,16 0,13	Cijevi, profili, folije, pjene. Dijelovi kem. apar. (pumpe).
PS	86 ... 91		0,7	0,17	Kućišta i dijelovi kućnih aparata, uredske tehnike, vozila (karoserije), čamaca.
SAN	100 ... 110		0,7	0,15	
ABS	90 ... 105		1,0	–	
PMMA	40 ... 108		0,7	0,19	Čisti bezbojni dijelovi (pleksi-staklo) ili obojeni. Habanju podlož. dijelovi. Klizni ležaji, zupčanici. Patentni zatvarači.
POM	173		0,9	0,22	
PTFE	50 ... 60		1,6	0,24	Brtve gibljivih dijelova. Ležaji (bez maziva).
PA – 6 – 66 – 11 – 12		220 225 ... 265 – 172 ... 180	0,8 0,9 0,9 1,1	0,23 0,27 0,23 0,30	Dijelovi otporni na habanje, udarce i dinamičko opterećenje. Kućišta, klizni ležaji, zupčanici.
PC	145 ... 150	220 ... 260	0,7	0,21	Ploče, folije. Providna kućišta.
PETP	80	255 ... 258	0,8	0,24	Prozirne folije, čvrste i žilave.
CA	74 ... 110		1,0	0,22	Cijevi, profili, ploče, folije (celofan). Češljevi, naočari, igračke. (Požarna opasnost!)
CAB	65 ... 111		1,2	0,21	

#### Ukručeni termoplasti

Ukrućivanjem termoplasta se osjetno mijenjaju njihova mehanička svojstva: gustoća se povećava, čvrstoća jako raste, rastezljivost se veoma smanjuje. U vezi s tim promjenama mijenjaju se i druga mehanička svojstva.

Primjeri mehaničkih svojstava nekih termoplasta, ukrućenih staklenim vlaknima ( $sv \approx 30\%$ ) (zaokružene prosječne vrijednosti):

Termoplast	PP	PP + sv	SAN	SAN + sv	POM	POM + sv
Gustoća kg/m <sup>3</sup>	906	1114	1080	1360	1410	1560
Čvrstoća N/mm <sup>2</sup>	29	71	75	110	66	130
Post. produlj. %	600	6	4	2	45	3

Termoplast	PA	PA + sv	PC	PC + sv	PETP	PETP + sv
Gustoća kg/m <sup>3</sup>	1135	1400	1200	1520	1330	1690
Čvrstoća N/mm <sup>2</sup>	75	180	65	100	39	193
Post. produlj. %	30	3	100	3	225	2

**Trajna čvrstoća termoplasta**  
Čvrstoća termoplasta vrlo je ovisna o trajanju opterećenja pa se s opterećenjem izrazito smanjuje.

**Vremenska statička čvrstoća termoplasta**

Trajanje opterećenja min	Vremenska statička čvrstoća N/mm <sup>2</sup>			
	PE	PVC	PS	ABS
10 <sup>-6</sup>	60	210	90	135
10 <sup>-3</sup>	35	90	65	80
1	20	60	45	45
10 <sup>3</sup>	15	40	30	25
10 <sup>6</sup>	10	35	25	20
10 <sup>9</sup>	8	32	22	18

Naprezanja u termoplastu s vremenom popuštaju (relaksacija).

Prvotno se naprezanje uz konstantnu deformaciju smanjuje (što valja uzeti u obzir u stanovitim slučajevima, npr. pri brtvama).

Uz konstantno opterećenje deformacija raste – javlja se puzanje materijala, koje je ovisno o veličini opterećenja i njegovom trajanju (stoga treba pri projektiranju odabrati takvo opterećenje dijelova, pri kojem je – s obzirom na puženje – za određeno trajanje osigurana njihova funkcionalnost).

**Trajna dinamička čvrstoća termoplasta**

Termoplast	PE	SAN	PA 6	PC
Broj titraja	10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup>
Trajna dinamička čvrstoća N/mm <sup>2</sup>	17	20	30	6

**Vremenska dinamička čvrstoća polivinilklorida PVC**

Broj titraja	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>
Vremen. dinam. čvrst. N/mm <sup>2</sup>	28	17	10	5

**Klizavost**

Termoplasti posjeduju dobre klizne sposobnosti za ležaje i vodila (u kombinaciji kovine i umjetne tvari). Mana je u maloj toplinskoj vodljivosti termoplasta, a time je i smanjena sposobnost odvođenja topline trenja.

Umjetna tvar	Koeficijent trenja		Dozvoljeni pritisak N/mm <sup>2</sup>
	bez podmazivanja	s podmazivanjem	
PE	0,18 ... 0,25	0,04 ... 0,07	10
PA	0,08 ... 0,25	0,01 ... 0,08	19
PA z MoS <sub>2</sub>	0,03 ... 0,14	0,01 ... 0,03	20

**Ovisnost vlačne čvrstoće termoplasta o temperaturi**

Termoplast	Vlačna čvrstoća N/mm <sup>2</sup>								
	pri temperaturi °C								
	-50	-25	0	25	50	75	100	125	150
PE	59	49	39	30	20	14	10	8	
PVC		88	75	59	38				
PS	83	76	69	62	49	34			
PC	88	80	72	64	58	52	40	27	12

**Temperaturna upotrebljivost umjetne tvari (u °C)**

PE	-100 ... 85	POM	-100 ... 100
PP	-30 ... 110	PTFE	-100 ... 165
PVC	-45 ... 80	PA	-100 ... 145
PS	-100 ... 80	PC	-100 ... 120
PMMA	-100 ... 70	PETP	-100 ... 100

**Kemijska postojanost termoplasta**

Termoplast	Otpornost* prema					
	vodi	slanoj otop.	kiselinama	bazama	oksidaciji	rastapalima
PE	+	+	+	+	(-)	(+)
PP	+	+	+	+	-	(+)
PVC	+	+	(+)	(+)	(-)	-
PS	+	+	+	+	(-)	-
SAN	+	+	o	+	-	-
ABS	+	+	o	+	-	-
PMMA	o	+	o	o	(-)	-
POM	+	+	-	o	-	(o)
PTFE	+	+	+	+	***	+
PA	o	o	-	o	-	(o)
PC	+	+	(-)	-	-	(-)
PETP	+	+	o	-	-	(o)

\* + – velika otpornost

o – mala otpornost

- – nedovoljna otpornost

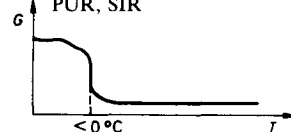
\*\* PTFE je negorljiv.

U zagradama su označena odstupanja od vrijednosti određene otpornosti.

**Starenje** obuhvaća sve promjene u sastavu tvari što ih izazivaju mehanička opterećenja, više temperature, zračenje, električna struja, kemijske tvari itd.

**Kemijsko raspadanje** termoplasta koje pospješuju uzročnici starenja mogu trajati više desetljeća.

Tipični elasti:  
prirodni kaučuk s 1...10% S,  
PUR, SIR



Gumielastično područje počinje  
već pri temperaturi pod 0 °C

Mehanička svojstva elasta

Modul elastičnosti  $E \approx 700 \dots 1000 \text{ N/mm}^2$ .

Elasti		Gustoća kg/m <sup>3</sup>	Čvrstoća N/mm <sup>2</sup>		Postot. produlj. %	Temperatura upotrebe °C
kaučuk	oznaka		neutvr.	utvr.		
prirodni –	NR	930	22	28	600	– 45... 85
poliuretanski – (meki)	PUR	1260	20	32	450	– 100... 50
stiren-butadienski –	SBR	940	5	25	500	– 35... 110
butadienski –	BR	940	2	18	450	– 70... 100
butilni –	IIR	930	5	21	600	– 30... 120
akrilnitril-butadienski –	NBR	1000	6	25	450	– 20... 110
silikonski –	SIR	1250	1	10	250	– 100... 200

**Prirodni kaučuk NR** ima odlične elastične sposobnosti i vrlo dobru udarnu žilavost. Postojan je u vodi i kiselinama; manje postojan u mineralnim uljima i mazivima. (Plaševi kotača za teretnjake, gumene opruge, ležaji, brtve.)

**Poliuretanski kaučuk PUR** vanredno je otporan prema habanju, dobro upotrebljiv samo do temperature 50 °C. Postojan je u mineralnim uljima, ali nepostojan u vrućoj vodi. (Valjni koluti, ležajne blazinice, brtve, amortizeri.)

**Stirenbutadienski kaučuk SBR** (buna) veoma je otporan prema habanju i većim temperaturnim opterećenjima; pri dinamičkom opterećenju se jako zagrijava. (Plaševi točkova za osobna vozila, brtve, gipke cijevi, profili, trake.)

**Butadienski kaučuk BR** (buna CB) vrlo je otporan prema habanju pa se zato upotrebljava za vozni sloj plaševa kotača.

**Butilni kaučuk IIR** vrlo je otporan na vremenske uplive i starenje te vrlo malo propušta plinove. (Zračnice kotača za vozila, gibljive cijevi.)

**Akrlnitrilbutadienski kaučuk NBR** (perbunan) postojan je u mineralnim uljima, mastima i tekućim gorivima, ali nepostojan u kloriranim ugljikovodicima. (Gibljive cijevi za benzin, membrane.)

**Silikonski kaučuk SIR** je izvanredno otporan na temperaturu. Postojan je u ulju i mastima, ali neotporan prema vrućoj vodi, ugljikovodicima, lužinama i kiselinama. (Brtve prehr. uređaja, transportne trake, električne izolacije.)

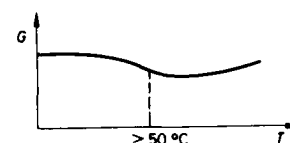
#### Elasti

Tipični termoelasti:  
prirodni kaučuk s više od 10% S



Gumielastično područje počinje  
već pri temperaturama do 20 °C

#### Duroplasti



Duroplasti su amorfni (kristalnih područja nema).

Temperatura smekšavanja (koja nije izrazita) leži nad 50 °C.

Taljenja nema jer duroplasti prije raspadnu.

#### Mehanička svojstva duroplasta

Duroplasti		Gust. kg/m <sup>3</sup>	Modul elast. N/mm <sup>2</sup>	Čvrstoća		Zarez. žilav. kJ/m <sup>2</sup>	Temper. upotrebe °C
smola	oznaka			vlač.	(na savij.)		
fenolna – (fenoplast)	PF	1400	700	25	70	1,5	< 125
uratna – (aminoplast)	UF	1500	–	30	80	1,5	< 100
melaminska –	MF	1500	900	30	80	1,5	< 120
poliesterska –	UP	1200	3500	45	85	15	< 200
epoksidna –	EP	1200	3700	55	105	12	< 80
poliuretanska – (tvrda)	PUR	1500	–	85	170	25	< 130

#### Mehanička i toplinska svojstva ukrućenih duroplasta

Svi duroplasti, ukrućeni punilima, mehanički su znatno poboljšani.

Duroplast	Dodatak stakla (pletivo) %	Gust. kg/m <sup>3</sup>	Modul elast. N/mm <sup>2</sup>	vlačna N/mm <sup>2</sup>	Čvrstoća na savij. N/mm <sup>2</sup>	tlačna N/mm <sup>2</sup>	Temper. rastez. 10 <sup>-6</sup> K	Topl. vodljiv. W/(m.K)
UP	25	1350	5000	70	120	120	35	0,15
	50	1600	10000	200	220	160	18	0,24
	65	1800	19000	300	350	280	15	0,26
	65*	1800	28000	500	550	400	12	0,26
EP	50	1600	10000	220	280	220	18	0,24
	65	1800	18000	350	400	300	15	0,26
	65*	1800	30000	700	800	600	12	0,26

\* Uzdužni smjer pletiva.

**Fenolna smola (fenoplast PF)** upotrebljava se za manje opterećene predmete. (Armature, obloge kočnica, lopatična kola, izolacijski dijelovi – bakelit.)

**Uratna smola (aminoplast) UF** služi za malo opterećene predmete (sanitarnu tehniku, električne instalacije). U vezi sa prehranom je neupotrebljiva!

**Melaminska smola MF** namijenjena je za predmete s većim opterećenjem, npr. za dekorativne ploče (ultrapas).

**Poliesterska smola UP** polimerizira se s ukrućivačem. (Cijevi, profili, posude, dijelovi pokućva, dijelovi vozila, čamci, letjelice.)

**Epoksidna smola EP** se također polimerizira s ukrućivačem. Upotrebljava se za dijelove s većim zahtjevima. Ima natprosječnu adhezijsku sposobnost (araldit).

**Poliuretanska smola PUR** je u prvom redu elektrotehnički materijal.

### Posebni proizvodi od plastu

#### Pjenasti plasti

Oni se proizvode posebnim tehnološkim postupkom (pjenušanjem plastu u žilavo-tekućem stanju). Karakteristični su za njih mala gustoća (5 ... 400 kg/m<sup>3</sup>) i sastav ćelija.

Sastav ćelija je ili s otvorenim ćelijama (s neposrednim prelazom plinova i tekućina) ili sa zatvorenim ćelijama (pri kojima je prelaz plinova i tekućina moguć jedino difuzijom).

Pjenasti plasti mogu biti krhko-tvrđi (lome se), žilavo tvrdi (pod tlakom se dijelom deformiraju) i meko-elastični.

#### Mehanička i toplinska svojstva pjenastih plastu

Pjenasti plast	Gustoća kg/m <sup>3</sup>	Čvrstoća		Toplin. vodljivost W/(m. K)	Temperatura upotrebe °C
		vlačna N/mm <sup>2</sup>	ilačna N/mm <sup>2</sup>		
meko-tvrđi: PF	40 ... 100	0,1 ... 0,4	0,2 ... 0,9	0,025	< 130
UF	5 ... 15	—	0,01 ... 0,05	0,03	< 90
žilavo tvrdi: PS	15 ... 30	0,1 ... 0,5	0,06 ... 0,25	0,032	70 ... 80
	30 ... 35	> 0,5	> 0,15	0,033	80 ... 85
	40 ... 60	> 0,5	> 0,5	0,033	80 ... 85
	50 ... 130	0,7 ... 1,6	0,3 ... 1,1	0,038	< 60
PVC	20 ... 100	0,2 ... 1,1	0,1 ... 0,9	0,021	< 80
meko-elastični:	25 ... 40	0,1 ... 0,2	—	0,036	< 100
PE*	30 ... 70	0,3 ... 0,6	—	0,045	-70 ... 85
	100 ... 200	0,8 ... 2,0	—	0,05	-70 ... 110
PVC*	50 ... 70	0,3	—	0,036	-60 ... 50
	100	0,5	—	0,041	-60 ... 50
PUR**	20 ... 45	0,15	—	0,045	-40 ... 100

\* Pretežno zatvorene ćelije. — \*\* Pretežno otvorene ćelije.

#### Vlaknasti plasti

Vlaknasti plasti (sintetička vuna) proizvode se od odgovarajućih vrsta plastu i to iz njihove taline ili rastopine (suhim ili vlažnim postupkom).

Za proizvodnju vlakana dolaze u obzir u prvom redu:

- polietilen, polipropilen — za vrpce, mreže (ribarske, plivaju na vodi)
- polistiren — za vlakna promjera ≥ 10 μm
- vinilni (ko)polimeri — za kemijski otporne proizvode (filteri, zaštita)
- akrilnitrilni polimeri — za odjevne predmete (dralon, orlon ...)
- poliamidi — za odjevne predmete (perlon, najlon ...)
- poliuretani — za elastične odjevne predmete (čarape, ku-paće gaćice)
- politereftalni kiseli ester — za odjevne predmete (diolen, trevira ...), često miješano vunom i pamukom, za tehn. upotrebu (remenje, transportne trake itd.)

### ELEMENTI STROJEVA

#### Standardni brojevi

(JUS A.A0.001 – 1983)

Za brojčane vrijednosti različitih veličina (duljina, napon itd.) upotrebljavamo standardne brojeve (prema Renardu, prijedlog ISO).

Standardni brojevi su zaokružene vrijednosti članova geometrijskih redova sa stupnjevima

$$\sqrt[3]{10}, \sqrt[10]{10}, \sqrt[20]{10}, \sqrt[40]{10} \text{ ili } \sqrt[10]{10}$$

Razvrstani su u osnovne redove R 5, R 10, R 20 i R 40 te izuzetni red R 80. Njihove brojčane vrijednosti za decimalni interval od 1 do 10 vide se u tablici (desno).

Ograničenje reda označujemo — ako je potrebno — graničnim članom u zagradi, npr.

R 5 (16 ... ) R 10 (... 400)  
R 20 (2,5 ... 5)

Izvedeni redovi nastaju ako se iz nekog osnovnog ili izuzetnog reda standardnih brojeva uzme svaki drugi, treći, ... n-ti član, npr.:

R 10/3 (... 80 ...) je red koji sadrži svaki treći član iz osnovnog reda R 10, ali mora sadržavati standardni broj 80.

Osnovni redovi imaju prednost pred izuzetnim ili izvedenim redovima.

Ako je upotreba standardnih brojeva potpuno isključena, upotrebljavaju se prilagođeni brojevi:

1,05 2,1 2,4 3,5 4,8  
1,1 2,2 2,6 3,6 5,5  
1,2 2,25 3,2 3,8 7,0  
1,3 2,35 3,4 4,2

Osnovni redovi				Izuzetni red	
R 5	R 10	R 20	R 40	R 80	
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,03
			1,06	1,06	1,09
		1,12	1,12	1,12	1,15
			1,18	1,18	1,22
	1,25	1,25	1,25	1,25	1,28
			1,32	1,32	1,36
		1,40	1,40	1,40	1,45
			1,50	1,50	1,55
1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,65
			1,70	1,70	1,75
		1,80	1,80	1,80	1,85
			1,90	1,90	1,95
	2,00	2,00	2,00	2,00	2,06
			2,12	2,12	2,18
		2,24	2,24	2,24	2,30
			2,36	2,36	2,43
2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,58
			2,65	2,65	2,72
		2,80	2,80	2,80	2,90
			3,00	3,00	3,07
	3,15	3,15	3,15	3,15	3,25
			3,35	3,35	3,45
		3,55	3,55	3,55	3,65
			3,75	3,75	3,87
4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,12
			4,25	4,25	4,37
		4,50	4,50	4,50	4,62
			4,75	4,75	4,87
	5,00	5,00	5,00	5,00	5,15
			5,30	5,30	5,45
		5,60	5,60	5,60	5,80
			6,00	6,00	6,15
6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,50
			6,70	6,70	6,90
		7,10	7,10	7,10	7,30
			7,50	7,50	7,75
	8,00	8,00	8,00	8,00	8,25
			8,50	8,50	8,75
		9,00	9,00	9,00	9,25
			9,50	9,50	9,75
10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00



## Standardne duljinske

0,010 ... 1 mm				1 ... 10 mm			
R 5	R 10	R 20*	iz. vr.**	R 5	R 10	R 40*	iz. vr.**
0,0100	0,0100	0,0100		1,00	1,00	1,00	
		0,0112 0,011				1,06 1,05	
	0,0125	0,0125 0,012				1,12 1,1	
		0,0140				1,18 1,15	
0,0160	0,0160	0,0160	0,015		1,25	1,25 1,2	
		0,0180				1,32 1,3	
	0,0200	0,0200				1,40	
		0,0224 0,022				1,50	
0,0250	0,0250	0,0250		1,60	1,60	1,60	
		0,0280				1,70	
	0,0315	0,0315 0,032	0,030			1,80	
		0,0355 0,036	0,035			1,90	
0,0400	0,0400	0,0400			2,00	2,00	
		0,0450				2,12 2,1	
	0,0500	0,0500				2,24 2,2	
		0,0560	0,055			2,36 2,35	2,4
0,0630	0,0630	0,0630	0,060	2,50	2,50	2,50	
		0,0710	0,070			2,65	2,6
	0,0800	0,0800				2,80	
		0,0900				3,00	
0,100	0,100	0,100			3,15	3,15 3,2	
		0,112 0,11				3,35 3,4	
	0,125	0,125 0,12				3,55 3,6	3,5
		0,140				3,75 3,8	
0,160	0,160	0,160	0,15	4,00	4,00	4,00	
		0,180				4,25 4,2	
	0,200	0,200				4,50	
		0,224 0,22				4,75 4,8	
0,250	0,250	0,250			5,00	5,00	
		0,280				5,30	
	0,315	0,315 0,32	0,30			5,60	5,5
		0,355 0,36	0,35			6,00	
0,400	0,400	0,400		6,30	6,30	6,30	6,0
		0,450				6,70	6,5
	0,500	0,500				7,10	7,0
		0,560	0,55			7,50	
0,630	0,630	0,630	0,60		8,00	8,00	
		0,710	0,70			8,50	
	0,800	0,800				9,00	
		0,900				9,50	
1,000	1,000	1,000		10,00	10,00	10,00	

\* Brojevi desno su prilagođeni brojevi. — \*\* »iz. vr.« = izuzetne vrijednosti.

## mjere u mm (JUS A.A0.010 — 1959)

10 ... 100 mm				100 ... 1000 mm			
R 5	R 10	R 40*	iz. vr.**	R 5	R 10	R 40*	
10	10	10		100	100	100	
		10,6 10,5				106 105	
		11,2 11				112 110	
		11,8 11,5				118 115	
	12,5	12,5 12			125	125 120	
		13,2 13				132 130	
		14				140	
		15				150	
16	16	16		160	160	160	
		17				170	
		18				180	
		19				190	
	20	20			200	200	
		21,2 21				212 210	
		22,4 22				224 220	
		23,6 23,5	24			236 235	
25	25	25		250	250	250	
		26,5	26			265	
		28				280	
		30				300	
	31,5	31,5 32			315	315 320	
		33,5 34				335 340	
		35,5 36	35			355 360	
		37,5 38				375 380	
40	40	40		400	400	400	
		42,5 42				425 420	
		45				450	
		47,5 48				475 480	
	50	50			500	500	
		53				530	
		56	55			560	
		60				600	
60	63	63		630	630	630	
		67	65			670	
		71	70			710	
		75				750	
	80	80			800	800	
		85				850	
		90				900	
		95				950	
100	100	100		1000	1000	1000	

\* Brojevi desno su prilagođeni brojevi. — \*\* »iz. vr.« = izuzetne vrijednosti.

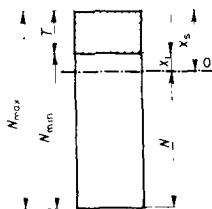
## DOSJEDANJE STROJNIH DIJELOVA

Sustav dosjedanja ISO međunarodno je općenito uveden, a u nas i standardiziran.

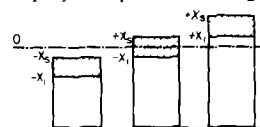
**Tolerancije mjera** prema ISO (JUS M.A1.110/111/112 – 1968)

### a) Osnovni pojmovi

Nazivna mjera $N$	mjera koju unosimo u crteže. Obično je to zaokružena mjera (vidi standardne duljine na str. 484 i 485).
Stvarna mjera $N_d$	mjera, koju određujemo mjerenjem na izrađenom predmetu. U toj je mjeri uključena i netočnost mjerenja
Granična mjera	najveća ili najmanja mjera koju još dopuštamo
Najveća mjera $N_{\max}$	veća od obiju graničnih mjera
Najmanja mjera $N_{\min}$	manja od obiju graničnih mjera
Gornje odstupanje $x_s$	razlika između najveće i nazivne mjere ( $N_{\max} - N$ )
Donje odstupanje $x_i$	razlika između najmanje i nazivne mjere ( $N_{\min} - N$ )
Tolerancija mjere $T$	razlika između najveće i najmanje mjere ( $T = N_{\max} - N_{\min}$ )
Polje tolerancije	sve mjere u okviru tolerancije
Nul-linija (0)	crta u grafički prikazanom tolerancijskom polju, koja odgovara nazivnoj mjeri



Tolerancijsko polje može se rasprostirati s obje strane nul-linije, a može cijelo biti ispod nul-linije ili iznad nje (vidi donju sliku). Prema tome može gornje odstupanje biti pozitivno, a donje negativno, ili pak mogu oba odstupanja biti pozitivna ili negativna.



Temperatura pri mjerenju: 20 °C.

### b) Osnovne tolerancije

Tolerancije su podijeljene u 18 osnovnih redova. Mjerimo ih međunarodnom jedinicom tolerancije  $i$ , koja ovisi o nazivnoj mjeri  $N$ , a određena je brojčanom jednakšbom

$$i = 0,45 \sqrt[3]{N} + 0,001 N$$

u kojoj mjerimo nazivnu mjeru  $N$  u mm, a mjeru tolerancije  $i$  u  $\mu\text{m}$ .

Red tolerancije	Tolerancija	Red tolerancije	Tolerancija	Red tolerancije	Tolerancija
IT 01	$0,3 + 0,008 N$	IT 5	$7 i$	IT 11	$100 i$
IT 0	$0,5 + 0,012 N$	IT 6	$10 i$	IT 12	$160 i$
IT 1	$0,8 + 0,020 N$	IT 7	$16 i$	IT 13	$250 i$
IT 2	—*	IT 8	$25 i$	IT 14	$400 i$
IT 3	—*	IT 9	$40 i$	IT 15	$640 i$
IT 4	—*	IT 10	$64 i$	IT 16	$1000 i$

\* Vrijednosti za redove tolerancija IT 2, IT 3 i IT 4 su geometrijski stupnjevane između redova IT 1 i IT 5.

Upotreba osnovnih tolerancija:

IT 01...IT 6 — uglavnom za preciznu mehaniku i mjerila,  
IT 5...IT 11 — uglavnom za dosjede elemenata strojeva,  
IT 12...IT 16 — za veće tolerancije pri obradi.

### c) Položaj tolerancijskog polja

označen je s obzirom na nul-liniju slovima, i to

za vanjske mjere (rukavce) — malim slovima:

a b c d e e f f g g h j ( $j_s$ ) k m n p r s t u v x y z za zb zc

za unutarnje mjere (provrtne) — velikim slovima:

A B C C D D E E F F G G H J ( $J_s$ ) K M N P R S T U V X Y Z ZA ZB ZC.

Tolerancijska polja a do h leže ispod nul-linije (polje h se dotiče nul-linije).

Polje j seže s obje strane nul-linije, dok su polja k do zc iznad nje.

Tolerancijska polja A do H leže iznad nul-linije (polje H se dotiče nul-linije).

Polje J seže s obje strane nul-linije, dok su polja K do ZC ispod nje.

### d) Oznake tolerancijskih polja

Tolerancijska polja označujemo slovom (oznaka položaja tolerancijskog polja) i karakterističnom brojkom reda tolerancije, npr.

H 7 — znači tolerancijsko polje za provrt koje se rasprostire od nul-linije navise za vrijednost IT 7 (= 16  $i$ ).

Sustav dosjedanja ISO obuhvaća tolerancijska polja u svim položajima od a do zc i od A do ZC, te svako sa svim osnovnim tolerancijama od IT 01 do IT 16. Međutim, s obzirom na potrebu da broj mjerila bude što manji, upotrebljavamo u praksi samo nekoliko najprikladnijih tolerancijskih polja.

Na str. 488 do 491 dane su vrijednosti onih tolerancijskih polja za provrte i rukavce koje, prema iskustvu u strojarstvu, većinom svuda zadovoljavaju (a odgovaraju 1. i 2. stupnju prednosti dopuštenih dosjedanja prema JUS M.A1.200/201/202/203 – 1968).

Tolerancije rukavaca ( $\mu\text{m}$ )

Nazivna mjera (mm)	a 11	c 11	d 9	e 8	f 7	g 6	h 6	h 8	h 9	h 11
...3	— 270 — 330	— 60 — 120	— 20 — 45	— 14 — 28	— 6 — 16	— 2 — 8	0 — 6	0 — 14	0 — 25	0 — 60
3)...6	— 270 — 345	— 70 — 145	— 30 — 60	— 20 — 38	— 10 — 22	— 4 — 12	0 — 8	0 — 18	0 — 30	0 — 75
6)...10	— 280 — 370	— 80 — 170	— 40 — 76	— 25 — 47	— 13 — 28	— 5 — 14	0 — 9	0 — 22	0 — 36	0 — 90
10)...18	— 290 — 400	— 95 — 205	— 50 — 93	— 32 — 59	— 16 — 34	— 6 — 17	0 — 11	0 — 27	0 — 43	0 — 110
18)...30	— 300 — 430	— 110 — 240	— 65 — 117	— 40 — 73	— 20 — 41	— 7 — 20	0 — 13	0 — 33	0 — 52	0 — 130
30)...40	— 310 — 470	— 120 — 280	— 80 — 142	— 50 — 89	— 25 — 50	— 9 — 25	0 — 16	0 — 39	0 — 62	0 — 160
40)...50	— 320 — 480	— 130 — 290	— 100 — 174	— 60 — 106	— 30 — 60	— 10 — 29	0 — 19	0 — 46	0 — 74	0 — 190
50)...65	— 340 — 530	— 140 — 330	— 110 — 174	— 60 — 106	— 30 — 60	— 10 — 29	0 — 19	0 — 46	0 — 74	0 — 190
65)...80	— 360 — 550	— 150 — 340	— 120 — 200	— 72 — 126	— 36 — 71	— 12 — 34	0 — 22	0 — 54	0 — 87	0 — 220
80)...100	— 380 — 600	— 170 — 390	— 145 — 245	— 85 — 148	— 43 — 83	— 14 — 39	0 — 25	0 — 63	0 — 100	0 — 250
100)...120	— 410 — 630	— 180 — 400	— 150 — 250	— 90 — 150	— 45 — 90	— 15 — 45	0 — 30	0 — 75	0 — 120	0 — 300
120)...140	— 460 — 710	— 200 — 450	— 170 — 270	— 100 — 170	— 50 — 90	— 15 — 45	0 — 30	0 — 75	0 — 120	0 — 300
140)...160	— 520 — 770	— 210 — 460	— 180 — 280	— 110 — 180	— 56 — 108	— 17 — 49	0 — 32	0 — 81	0 — 130	0 — 320
160)...180	— 580 — 830	— 230 — 480	— 190 — 290	— 110 — 190	— 56 — 108	— 17 — 49	0 — 32	0 — 81	0 — 130	0 — 320
180)...200	— 660 — 950	— 240 — 530	— 200 — 300	— 120 — 200	— 120 — 200	— 120 — 200	0 — 32	0 — 81	0 — 130	0 — 320
200)...225	— 740 — 1030	— 260 — 550	— 210 — 310	— 125 — 205	— 62 — 110	— 18 — 54	0 — 36	0 — 89	0 — 140	0 — 360
225)...250	— 820 — 1110	— 280 — 570	— 220 — 320	— 130 — 210	— 65 — 115	— 19 — 57	0 — 39	0 — 93	0 — 150	0 — 390
250)...280	— 920 — 1240	— 300 — 620	— 230 — 330	— 135 — 215	— 68 — 118	— 20 — 60	0 — 40	0 — 97	0 — 155	0 — 400
280)...315	— 1050 — 1370	— 330 — 650	— 240 — 340	— 140 — 220	— 70 — 120	— 21 — 62	0 — 42	0 — 100	0 — 160	0 — 420
315)...355	— 1200 — 1560	— 360 — 720	— 250 — 350	— 145 — 225	— 72 — 122	— 21 — 62	0 — 42	0 — 100	0 — 160	0 — 420
355)...400	— 1350 — 1710	— 400 — 760	— 260 — 360	— 150 — 230	— 75 — 125	— 22 — 65	0 — 45	0 — 105	0 — 165	0 — 450
400)...450	— 1500 — 1900	— 440 — 840	— 270 — 370	— 155 — 235	— 78 — 128	— 23 — 68	0 — 48	0 — 110	0 — 170	0 — 480
450)...500	— 1650 — 2050	— 480 — 880	— 280 — 380	— 160 — 240	— 80 — 130	— 24 — 70	0 — 50	0 — 115	0 — 175	0 — 500

(JUS M.A1.150...158 — 1968)

Nazivna mjera (mm)	j 6	k 6	n 6	r 6	s 6	u 8	x 8
...3	+ 4 — 2	+ 6 0	+ 10 + 4	+ 16 + 10	+ 20 + 14	+ 32 + 18	+ 34 + 20
3)...6	+ 6 — 2	+ 9 + 1	+ 16 + 8	+ 23 + 15	+ 27 + 19	+ 41 + 23	+ 46 + 28
6)...10	+ 7 — 2	+ 10 + 1	+ 19 + 10	+ 28 + 19	+ 32 + 23	+ 50 + 28	+ 56 + 34
10)...14	+ 8 — 3	+ 12 + 1	+ 23 + 12	+ 34 + 23	+ 39 + 28	+ 60 + 33	+ 67+40 + 72+45
14)...18	+ 9 — 4	+ 15 + 2	+ 28 + 15	+ 41 + 28	+ 48 + 35	+ 74+41 + 81+48	+ 87+54 + 97+64
18)...24	+ 11 — 5	+ 18 + 2	+ 33 + 17	+ 50 + 34	+ 59 + 43	+ 99 + 60	+ 119 + 80
24)...30	+ 12 — 7	+ 21 + 2	+ 39 + 20	+ 60 + 41	+ 72 + 53	+ 133 + 87	+ 168 + 122
30)...40	+ 13 — 9	+ 25 + 3	+ 45 + 23	+ 73 + 51	+ 93 + 71	+ 178 + 124	+ 232 + 178
40)...50	+ 14 — 11	+ 28 + 3	+ 52 + 27	+ 88 + 63	+ 117 + 92	+ 233 + 170	+ 311 + 248
50)...65	+ 16 — 13	+ 33 + 4	+ 60 + 31	+ 90 + 65	+ 125 + 100	+ 253 + 190	+ 343 + 280
65)...80	+ 18 — 18	+ 40 + 4	+ 73 + 37	+ 93 + 68	+ 133 + 108	+ 273 + 210	+ 373 + 310
80)...100	+ 20 — 20	+ 45 + 5	+ 80 + 40	+ 106 + 77	+ 151 + 122	+ 308 + 236	+ 422 + 350
100)...120	+ 22 — 22	+ 48 + 6	+ 85 + 45	+ 109 + 80	+ 159 + 130	+ 330 + 258	+ 457 + 385
120)...140	+ 24 — 24	+ 50 + 7	+ 90 + 50	+ 113 + 84	+ 169 + 140	+ 356 + 284	+ 497 + 425
140)...160	+ 26 — 26	+ 52 + 8	+ 95 + 55	+ 126 + 94	+ 190 + 158	+ 396 + 315	+ 536 + 475
160)...180	+ 28 — 28	+ 54 + 9	+ 100 + 60	+ 130 + 98	+ 202 + 170	+ 431 + 350	+ 606 + 525
180)...200	+ 30 — 30	+ 56 + 10	+ 105 + 65	+ 144 + 108	+ 226 + 190	+ 479 + 390	+ 679 + 590
200)...225	+ 32 — 32	+ 58 + 11	+ 110 + 70	+ 150 + 114	+ 244 + 208	+ 524 + 435	+ 749 + 660
225)...250	+ 34 — 34	+ 60 + 12	+ 115 + 75	+ 166 + 126	+ 272 + 232	+ 587 + 490	+ 837 + 740
250)...280	+ 36 — 36	+ 62 + 13	+ 120 + 80	+ 172 + 132	+ 292 + 252	+ 637 + 540	+ 917 + 820
280)...315	+ 38 — 38	+ 64 + 14	+ 125 + 85	+ 177 + 137	+ 297 + 257	+ 642 + 545	+ 922 + 825
315)...355	+ 40 — 40	+ 66 + 15	+ 130 + 90	+ 182 + 142	+ 302 + 262	+ 647 + 550	+ 927 + 830
355)...400	+ 42 — 42	+ 68 + 16	+ 135 + 95	+ 187 + 147	+ 307 + 267	+ 652 + 555	+ 932 + 835
400)...450	+ 44 — 44	+ 70 + 17	+ 140 + 100	+ 192 + 152	+ 312 + 272	+ 657 + 560	+ 937 + 840
450)...500	+ 46 — 46	+ 72 + 18	+ 145 + 105	+ 197 + 157	+ 317 + 277	+ 662 + 565	+ 942 + 845

*Tolerancije provrta ( $\mu\text{m}$ )*

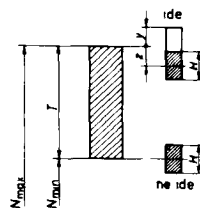
Nazivna mjera (mm)	A 11	C 11	D 10	E 9	F 8	G 7
...3	+ 330 + 270	+120 + 60	+ 60 + 20	+ 39 + 14	+ 20 + 6	+12 + 2
3)...6	+ 345 + 270	+145 + 70	+ 78 + 30	+ 50 + 20	+ 28 + 10	+16 + 4
6)...10	+ 370 + 280	+170 + 80	+ 98 + 40	+ 61 + 25	+ 35 + 13	+20 + 5
10)...18	+ 400 + 290	+205 + 95	+120 + 50	+ 75 + 32	+ 43 + 16	+24 + 6
18)...30	+ 430 + 300	+240 +110	+149 + 65	+ 92 + 40	+ 53 + 20	+28 + 7
30)...40	+ 470 + 310	+280 +120	+180 + 80	+112 + 50	+ 64 + 25	+34 + 9
40)...50	+ 480 + 320	+290 +130				
50)...65	+ 530 + 340	+330 +140	+220 +100	+134 + 60	+ 76 + 30	+40 +10
65)...80	+ 550 + 360	+340 +150				
80)...100	+ 600 + 380	+390 +170	+260 +120	+159 + 72	+ 90 + 36	+47 +12
100)...120	+ 630 + 410	+400 +180				
120)...140	+ 710 + 460	+450 +200	+305 +145	+185 + 85	+106 + 43	+54 +14
140)...160	+ 770 + 520	+460 +210				
160)...180	+ 830 + 580	+480 +230				
180)...200	+ 950 + 660	+530 +240				
200)...225	+1030 + 740	+550 +260	+355 +170	+215 +100	+122 + 50	+61 +15
225)...250	+1110 + 820	+570 +280				
250)...280	+1240 + 920	+620 +300	+400 +190	+240 +110	+137 + 56	+69 +17
280)...315	+1370 +1050	+650 +330				
315)...355	+1560 +1200	+720 +360	+440 +210	+265 +125	+151 + 62	+75 +18
355)...400	+1710 +1350	+760 +400				
400)...450	+1900 +1500	+840 +440	+480 +230	+290 +135	+165 + 68	+83 +20
450)...500	+2050 +1650	+880 +480				

(JUS M.A1.170...177 — 1968)

Nazivna mjera (mm)	H 6	H 7	H 8	H 9	H 11
...3	+ 6 0	+10 0	+14 0	+ 25 0	+ 60 0
3)...6	+ 8 0	+12 0	+18 0	+ 30 0	+ 75 0
6)...10	+ 9 0	+15 0	+22 0	+ 36 0	+ 90 0
10)...18	+11 0	+18 0	+27 0	+ 43 0	+110 0
18)...30	+13 0	+21 0	+33 0	+ 52 0	+130 0
30)...40	+16 0	+25 0	+39 0	+ 62 0	+160 0
40)...50					
50)...65	+19 0	+30 0	+46 0	+ 74 0	+190 0
65)...80					
80)...100	+22 0	+35 0	+54 0	+ 87 0	+220 0
100)...120					
120)...140	+25 0	+40 0	+63 0	+100 0	+250 0
140)...160					
160)...180					
180)...200					
200)...225	+29 0	+46 0	+72 0	+115 0	+290 0
225)...250					
250)...280	+32 0	+52 0	+81 0	+130 0	+320 0
280)...315					
315)...355	+36 0	+57 0	+89 0	+140 0	+360 0
355)...400					
400)...450	+40 0	+63 0	+97 0	+155 0	+400 0
450)...500					

### Tolerancije mjerila

Tolerancije mjerila za rukavce (JUS M.A1.310 – 1983)



$N_{max}$  — najveća mjera rukavca  
 $N_{min}$  — najmanja mjera rukavca  
 $T (= N_{max} - N_{min})$  — tolerancija mjere rukavca  
 $H$  — tolerancija izrade mjerila za rukavce  
 $z$  — položaj tolerancijskog polja za novo mjerilo  
 »ide« ispod najveće mjere  $N_{max}$   
 $y$  — najveće odstupanje istrošenog mjerila »ide« iznad najveće mjere  $N_{max}$   
 Mjerilo »ide« (dobro) mora ići preko rukavca.  
 Odstupanja tog mjerila — mjerena od najveće mjere rukavca  $N_{max}$  — iznose:  
 odstupanja novog mjerila  $-z \pm H/2$   
 gornje odstupanje istrošenog mjerila  $+y$

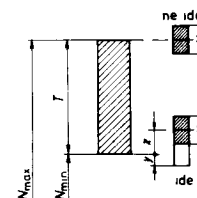
Mjerilo »ne ide« (odmetak) — označujemo ga crvenom bojom — ne smije ići preko rukavca. Odstupanja tog mjerila — mjerena od najmanje mjere rukavca  $N_{min}$  — iznose:  $\pm H/2$ .

Vrijednosti  $H$ ,  $z$  i  $y$  ( $\mu m$ ) mjerila za rukavce

Nazivna mjera mm	Vrijednosti	Red tolerancije IT				
		6	7	8	9	11
1)...3	$H$	2	2	3	3	4
	$z$	1,5	1,5	2	5	10
	$y$	1,5	1,5	3	0	0
3)...6	$H$	2,5	2,5	4	4	5
	$z$	2	2	3	6	12
	$y$	1,5	1,5	3	0	0
6)...10	$H$	2,5	2,5	4	4	6
	$z$	2	2	3	7	14
	$y$	1,5	1,5	3	0	0
10)...18	$H$	3	3	5	5	8
	$z$	2,5	2,5	4	8	16
	$y$	2	2	4	0	0
18)...30	$H$	4	4	6	6	9
	$z$	3	3	5	9	19
	$y$	3	3	4	0	0
30)...50	$H$	4	4	7	7	11
	$z$	3,5	3,5	6	11	22
	$y$	3	3	5	0	0
50)...80	$H$	5	5	8	8	13
	$z$	4	4	7	13	25
	$y$	3	3	5	0	0
80)...120	$H$	6	6	10	10	15
	$z$	5	5	8	15	28
	$y$	4	4	6	0	0
120)...180	$H$	8	8	12	12	18
	$z$	6	6	9	18	32
	$y$	4	4	6	0	0

Tolerancije mjerila za provrte (JUS M.A1.310 – 1983)

$N_{max}$  — najveća mjera provrta  
 $N_{min}$  — najmanja mjera provrta  
 $T (= N_{max} - N_{min})$  — tolerancija mjere provrta  
 $H$  — tolerancija izrade mjerila za provrt  
 $z$  — položaj tolerancijskog polja za novo mjerilo  
 »ide« iznad najmanje mjere  $N_{min}$   
 $y$  — najveće odstupanje istrošenog mjerila »ide« ispod najmanje mjere  $N_{min}$   
 Mjerilo »ide« (dobro) mora pristajati u provrt.  
 Odstupanja tog mjerila — mjerena od najmanje mjere provrta  $N_{min}$  — iznose:  
 odstupanja novog mjerila  $+z \pm H/2$   
 donje odstupanje istrošenog mjerila  $-y$



Mjerilo »ne ide« (odmetak) — označujemo ga crvenom bojom — ne smije pristajati u provrt. Odstupanja tog mjerila — mjerena od najveće mjere provrta  $N_{max}$  — iznose:  $\pm H/2$ .

Vrijednosti  $H$ ,  $z$  i  $y$  ( $\mu m$ ) mjerila za provrte

Nazivna mjera mm	Vrijednosti	Red tolerancije IT					
		6	7	8	9	10	11
1)...3	$H$	1,2	2	2	2	2	4
	$z$	1	1,5	2	5	5	10
	$y$	1	1,5	3	0	0	0
3)...6	$H$	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5	5
	$z$	1,5	2	3	6	6	12
	$y$	1	1,5	3	0	0	0
6)...10	$H$	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5	6
	$z$	1,5	2	3	7	7	14
	$y$	1	1,5	3	0	0	0
10)...18	$H$	2	3	3	3	3	8
	$z$	2	2,5	4	8	8	16
	$y$	1,5	2	4	0	0	0
18)...30	$H$	2,5	4	4	4	4	9
	$z$	2	3	5	9	9	19
	$y$	1,5	3	4	0	0	0
30)...50	$H$	2,5	4	4	4	4	11
	$z$	2,5	3,5	6	11	11	22
	$y$	2	3	5	0	0	0
50)...80	$H$	3	5	5	5	5	13
	$z$	2,5	4	7	13	13	25
	$y$	2	3	5	0	0	0
80)...120	$H$	4	6	6	6	6	15
	$z$	3	5	8	15	15	28
	$y$	3	4	6	0	0	0
120)...180	$H$	5	8	8	8	8	18
	$z$	4	6	9	18	18	32
	$y$	3	4	6	0	0	0

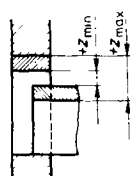
## Dosjedi (naližeganja)

### a) Osnovni pojmovi

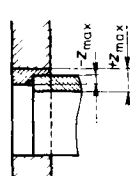
Dosjed	— oznaka međusobne podudarnosti dvaju strojnih dijelova, određena »zračnošću« ili »prisnošću«.
Zračnost (zazor) $z$	— razlika između unutarnje mjere većeg vanjskog dijela (npr. provrta) i vanjske mjere manjega unutarnjeg dijela (npr. rukavca).
Najveća zračnost $z_{\max}$	— razlika između najveće mjere vanjskog dijela i najmanje mjere unutarnjeg dijela.
Najmanja zračnost $z_{\min}$	— razlika između najmanje mjere vanjskog dijela i najveće mjere unutarnjeg dijela.
Prisnost (preklop) $-z$	— »negativna zračnost« — razlika između vanjske mjere većeg unutarnjeg dijela i unutarnje mjere manjega vanjskog dijela (prije sastavljanja obaju dijelova).
Najveća prisnost $-z_{\max}$	— razlika između najveće mjere unutarnjeg dijela i najmanje mjere vanjskog dijela.
Najmanja prisnost $-z_{\min}$	— razlika između najmanje mjere unutarnjeg dijela i najveće mjere vanjskog dijela.
Tolerancija dosjeda	— razlika između najveće i najmanje zračnosti (prisnosti). Jednaka je zbroju tolerancija vanjskog i unutarnjeg dijela.

### b) Vrste dosjeda

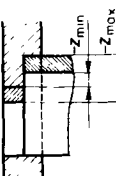
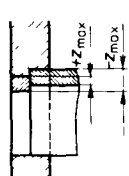
Labavi dosjed	— ima uvijek zračnost (+ $z$ ).
Prelazni dosjed	— ima — ovisno o stvarnoj mjeri obaju dijelova — zračnost (+ $z$ ) ili prisnost (— $z$ ).
Čvrsti ili prisni dosjed	— ima uvijek prisnost (— $z$ ).



Labavi dosjed



Prelazni dosjedi



Čvrsti dosjed

### c) Sustavi dosjeda

*Sustav jedinstvenog provrta* ima provrte s tolerancijskim poljem u položaju H. Dosjedi su u tom sustavu određeni položajem tolerancijskog polja rukavca a...zc, i to:

a...h — labavi dosjedi  
j...zc — prelazni i čvrsti dosjedi.

*Sustav jedinstvenog rukavca* ima rukavce s tolerancijskim poljem u položaju h. U tom su sustavu dosjedi određeni položajem tolerancijskog polja provrta A...ZC, i to

A...H — labavi dosjedi  
J...ZC — prelazni i čvrsti dosjedi.

### d) Izbor dosjeda

Prema preporuci ISO (JUS M.A1.200/201 — 1968) prednost imaju slijedeći dosjedi:

#### Prednosni dosjedi u sustavu jedinstvenog provrta

	1. prednost	2. prednost	3. prednost
H 6		— j6, k6	— g5, h5, j5, k5, m5, n5, p5, r5
H 7	— f6, h6, n6, r6	— g6, j6, k6, s6	— f6, m6, p6
H 8	— f7, h9, u8, x8	— d9, e8	— c9, f8, h8
H 9	— h9	— c11, h11	— d10, e9, f8, h8
H 11	— h9	— a11, c11, d9, h11	— b11, d11
H 12			— h12
H 13			— h13

#### Prednosni dosjedi u sustavu jedinstvenog rukavca

	1. prednost	2. prednost	3. prednost
h 5			— G6, H6, J6, K6, M6, N6, P6, R6
h 6	— F8, H7	— G7	— F7, J7, K7, M7, N7, P7, R7, S7
h 8	— F8, H8		— B9, C9, D9, E8, F7, H9
h 9	— C11, D10, E9, F8, H8	— H11	— H9
h 11	— C11, D10	— A11, H11	— B11, D9, D11, H9
h 12			— H12
h 13			— H13

Neki dosjedi s 3. prednosti, koji se preporučuju samo za ograničena područja promjera, nisu ovdje navedeni.

Tolerancije dosjeda s 1. i 2. prednosti, sabrane su na str. 496 do 499.

*Tolerancije dosjeda u sustavu jedinstvenog rukavca ( $\mu\text{m}$ )*

Nazivna mjera mm	A 11 h 11	C 11 h 11	D 10 h 11	C 11 h 9	D 10 h 9	E 9 h 9	F 8 h 9	F 8 h 8	F 8 h 6	G 7 h 6
1...3	+ 390 + 270	+ 180 + 60	+ 120 + 20	+ 145 + 60	+ 85 + 20	+ 64 + 14	+ 45 + 6	+ 34 + 6	+ 26 + 6	+ 18 + 2
3)...6	+ 420 + 270	+ 220 + 70	+ 153 + 30	+ 175 + 70	+ 108 + 30	+ 80 + 20	+ 58 + 10	+ 46 + 10	+ 36 + 10	+ 24 + 4
6)...10	+ 460 + 280	+ 260 + 80	+ 188 + 40	+ 206 + 80	+ 134 + 40	+ 97 + 25	+ 71 + 13	+ 57 + 13	+ 44 + 13	+ 29 + 5
10)...18	+ 510 + 290	+ 315 + 95	+ 230 + 50	+ 248 + 95	+ 163 + 50	+ 118 + 32	+ 86 + 16	+ 70 + 16	+ 54 + 16	+ 35 + 6
18)...30	+ 560 + 300	+ 370 + 110	+ 279 + 65	+ 292 + 110	+ 201 + 65	+ 144 + 40	+ 105 + 20	+ 86 + 20	+ 66 + 20	+ 41 + 7
30)...40	+ 630 + 310	+ 440 + 120	+ 340 + 80	+ 342 + 120	+ 242 + 80	+ 174 + 50	+ 126 + 25	+ 103 + 25	+ 80 + 25	+ 50 + 9
40)...50	+ 640 + 320	+ 450 + 130		+ 352 + 130						
50)...65	+ 720 + 340	+ 520 + 140	+ 410 + 100	+ 404 + 140	+ 294 + 100	+ 208 + 60	+ 150 + 30	+ 122 + 30	+ 95 + 30	+ 59 + 10
65)...80	+ 740 + 360	+ 530 + 150		+ 414 + 150						
80)...100	+ 820 + 380	+ 610 + 170	+ 480 + 120	+ 477 + 170	+ 347 + 120	+ 246 + 72	+ 177 + 36	+ 144 + 36	+ 112 + 36	+ 69 + 12
100)...120	+ 850 + 410	+ 620 + 180		+ 487 + 180						
120)...140	+ 960 + 460	+ 700 + 200		+ 550 + 200						
140)...160	+ 1020 + 520	+ 710 + 210	+ 555 + 145	+ 560 + 210	+ 405 + 145	+ 285 + 85	+ 206 + 43	+ 169 + 43	+ 131 + 43	+ 79 + 14
160)...180	+ 1080 + 580	+ 730 + 230		+ 580 + 230						
180)...200	+ 1240 + 660	+ 820 + 240		+ 645 + 240						
200)...225	+ 1320 + 740	+ 840 + 260	+ 645 + 170	+ 665 + 260	+ 470 + 170	+ 330 + 100	+ 237 + 50	+ 194 + 50	+ 151 + 50	+ 90 + 15
225)...250	+ 1400 + 820	+ 860 + 280		+ 685 + 280						
250)...280	+ 1560 + 920	+ 940 + 300	+ 720 + 190	+ 750 + 300	+ 530 + 190	+ 370 + 110	+ 267 + 56	+ 218 + 56	+ 169 + 56	+ 101 + 17
280)...315	+ 1690 + 1050	+ 970 + 330		+ 780 + 330						
315)...355	+ 1920 + 1200	+ 1080 + 360	+ 800 + 210	+ 860 + 360	+ 580 + 210	+ 405 + 125	+ 291 + 62	+ 240 + 62	+ 187 + 62	+ 111 + 18
355)...400	+ 2070 + 1350	+ 1120 + 400		+ 900 + 400						
400)...450	+ 2300 + 1500	+ 1240 + 440	+ 880 + 230	+ 995 + 440	+ 635 + 230	+ 445 + 135	+ 320 + 68	+ 262 + 68	+ 205 + 68	+ 123 + 20
450)...500	+ 2450 + 1650	+ 1280 + 480		+ 1035 + 480						

*Tolerancije dosjeda H — h ( $\mu\text{m}$ )*

Nazivna mjera mm	H 11 h 11	H 9 h 11	H 11 h 9	H 9 h 9	H 8 h 9	H 8 h 8	H 7 h 6
1...3	+120 0	+ 85 0	+ 50 0	+ 39 0	+ 28 0	+ 16 0	
3)...6	+150 0	+105 0	+ 60 0	+ 48 0	+ 36 0	+ 20 0	
6)...10	+180 0	+126 0	+ 72 0	+ 58 0	+ 44 0	+ 24 0	
10)...14	+220 0	+153 0	+ 86 0	+ 70 0	+ 54 0	+ 29 0	
14)...18							
18)...24	+260 0	+182 0	+104 0	+ 85 0	+ 66 0	+ 34 0	
24)...30							
30)...40	+320 0	+222 0	+124 0	+101 0	+ 78 0	+ 41 0	
40)...50							
50)...65	+380 0	+264 0	+148 0	+120 0	+ 92 0	+ 49 0	
65)...80							
80)...100	+440 0	+307 0	+174 0	+141 0	+108 0	+ 57 0	
100)...120							
120)...140							
140)...160	+500 0	+350 0	+200 0	+163 0	+126 0	+ 65 0	
160)...180							
180)...200							
200)...225	+580 0	+405 0	+230 0	+187 0	+144 0	+ 75 0	
225)...250							
250)...280	+640 0	+450 0	+260 0	+211 0	+162 0	+ 84 0	
280)...315							
315)...355	+720 0	+500 0	+280 0	+229 0	+178 0	+ 93 0	
355)...400							
400)...450	+800 0	+555 0	+310 0	+252 0	+194 0	+103 0	
450)...500							

Tolerancije dosjeda

Nazivna mjera mm	H 6 j 6	H 6 k 6	H 7 f 7	H 7 g 6	H 7 j 6	H 7 k 6	H 7 n 6	H 7 r 6	H 7 s 6
1...3	+ 8 - 4	+ 6 - 6	+ 26 + 6	+ 18 + 2	+ 12 - 4	+ 10 - 6	+ 6 - 10	0 - 16	- 4 - 20
3)...6	+ 10 - 6	+ 7 - 9	+ 34 + 10	+ 24 + 4	+ 14 - 6	+ 11 - 9	+ 4 - 16	- 3 - 23	- 7 - 27
6)...10	+ 11 - 7	+ 8 - 10	+ 43 + 13	+ 29 + 5	+ 17 - 7	+ 14 - 10	+ 5 - 19	- 4 - 28	- 8 - 32
10)...18	+ 14 - 8	+ 10 - 12	+ 52 + 16	+ 35 + 6	+ 21 - 8	+ 17 - 12	+ 6 - 23	- 5 - 34	- 10 - 39
18)...30	+ 17 - 9	+ 11 - 15	+ 62 + 20	+ 41 + 7	+ 25 - 9	+ 19 - 15	+ 6 - 28	- 7 - 41	- 14 - 48
30)...40	+ 21 - 11	+ 14 - 18	+ 75 + 25	+ 50 + 9	+ 30 - 11	+ 23 - 18	+ 8 - 33	- 9 - 50	- 18 - 59
40)...50									
50)...65	+ 26 - 12	+ 17 - 21	+ 90 + 30	+ 59 + 10	+ 37 - 12	+ 28 - 21	+ 10 - 39	- 11 - 60	- 23 - 72
65)...80								- 13 - 62	- 29 - 78
80)...100	+ 31 - 13	+ 19 - 25	+ 106 + 36	+ 9 + 12	+ 44 - 13	+ 32 - 25	+ 12 - 45	- 16 - 73	- 36 - 93
100)...120								- 19 - 76	- 44 - 101
120)...140								- 23 - 88	- 52 - 117
140)...160	+ 36 - 14	+ 22 - 28	+ 123 + 43	+ 79 + 14	+ 51 - 14	+ 37 - 28	+ 13 - 52	- 25 - 90	- 60 - 125
160)...180								- 28 - 93	- 68 - 133
180)...200								- 31 - 106	- 76 - 151
200)...225	+ 42 - 16	+ 25 - 33	+ 142 + 50	+ 90 + 15	+ 59 - 16	+ 42 - 33	+ 15 - 60	- 34 - 109	- 84 - 159
225)...250								- 38 - 113	- 94 - 169
250)...280	+ 48 - 16	+ 28 - 36	+ 160 + 56	+ 101 + 17	+ 68 - 16	+ 48 - 36	+ 18 - 66	- 42 - 126	- 106 - 190
280)...315								- 46 - 130	- 118 - 202
315)...355	+ 54 - 18	+ 32 - 40	+ 176 + 62	+ 111 + 18	+ 75 - 18	+ 53 - 40	+ 20 - 73	- 51 - 144	- 133 - 226
355)...400								- 57 - 150	- 151 - 244
400)...450	+ 60 - 20	+ 35 - 45	+ 194 + 68	+ 123 + 20	+ 83 - 20	+ 58 - 45	+ 23 - 80	- 63 - 166	- 169 - 272
450)...500								- 69 - 172	- 189 - 292

u sustavu jedinstvenog provrta (µm)

Nazivna mjera mm	H 11 a 11	H 11 c 11	H 11 d 9	H 9 c 11	H 8 d 9	H 8 e 8	H 8 f 7	H 8 u 8	H 8 x 8
1...3	+ 390 + 270	+ 180 + 60	+ 105 + 20	+ 145 + 60	+ 59 + 20	+ 42 + 14	+ 30 + 6		- 6 - 34
3)...6	+ 420 + 270	+ 220 + 70	+ 135 + 30	+ 175 + 70	+ 78 + 30	+ 56 + 20	+ 40 + 10		- 10 - 46
6)...10	+ 460 + 280	+ 260 + 80	+ 166 + 40	+ 206 + 80	+ 98 + 40	+ 69 + 25	+ 50 + 13		- 12 - 56
10)...14	+ 510 + 290	+ 315 + 95	+ 203 + 50	+ 248 + 95	+ 120 + 50	+ 86 + 32	+ 61 + 16		- 13/-67 - 18/-72
14)...18									
18)...24	+ 560 + 300	+ 370 + 110	+ 247 + 65	+ 292 + 110	+ 150 + 65	+ 106 + 40	+ 74 + 20	- 51/-81	- 21/-87 - 31/-97
24)...30									
30)...40	+ 630 + 310	+ 440 + 120	+ 342 + 120		+ 181 + 80	+ 128 + 50	+ 89 + 25	- 21 - 99	- 41 - 119
40)...50	+ 640 + 320	+ 450 + 130	+ 302 + 80	+ 352 + 130				- 31 - 109	- 58 - 136
50)...65	+ 720 + 340	+ 520 + 140		+ 404 + 140	+ 220 + 100	+ 152 + 60	+ 106 + 30	- 41 - 133	- 76 - 168
65)...80	+ 740 + 360	+ 530 + 150	+ 364 + 100	+ 414 + 150				- 56 - 148	- 100 - 192
80)...100	+ 820 + 380	+ 610 + 170	+ 477 + 170		+ 261 + 120	+ 180 + 72	+ 125 + 36	- 70 - 178	- 124 - 232
100)...120	+ 850 + 410	+ 620 + 180	+ 427 + 120	+ 487 + 180				- 90 - 198	- 156 - 264
120)...140	+ 960 + 460	+ 700 + 200		+ 550 + 200				- 107 - 233	- 185 - 311
140)...160	+ 1020 + 520	+ 710 + 210	+ 495 + 145	+ 560 + 210	+ 308 + 145	+ 211 + 85	+ 146 + 43	- 127 - 253	- 217 - 343
160)...180	+ 1080 + 580	+ 730 + 230		+ 580 + 230				- 147 - 273	- 247 - 373
180)...200	+ 1240 + 660	+ 820 + 240		+ 645 + 240				- 164 - 308	- 278 - 422
200)...225	+ 1320 + 740	+ 840 + 260	+ 575 + 170	+ 665 + 260	+ 357 + 170	+ 244 + 100	+ 168 + 50	- 186 - 330	- 313 - 457
225)...250	+ 1400 + 820	+ 860 + 280		+ 685 + 280				- 212 - 356	- 353 - 497
250)...280	+ 1560 + 920	+ 940 + 300		+ 750 + 300				- 234 - 396	- 394 - 556
280)...315	+ 1690 + 1050	+ 970 + 330	+ 640 + 190	+ 780 + 330	+ 401 + 190	+ 272 + 110	+ 189 + 56	- 269 - 431	- 444 - 606
315)...355	+ 1920 + 1200	+ 1080 + 360		+ 860 + 360				- 301 - 479	- 501 - 679
355)...400	+ 2070 + 1350	+ 1120 + 400	+ 710 + 210	+ 900 + 400	+ 439 + 210	+ 303 + 125	+ 208 + 62	- 346 - 524	
400)...450	+ 2300 + 1500	+ 1240 + 440		+ 995 + 440				- 393 - 587	
450)...500	+ 2450 + 1650	+ 1280 + 480	+ 785 + 230	+ 1035 + 480	+ 482 + 230	+ 329 + 135	+ 228 + 68	- 443 - 637	

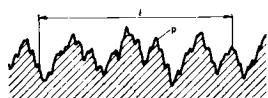


## POVRŠINSKA HRAPAVOST

(JUS M.A1.020/021 — 1964)

*Površinska hrapavost* su mikogeometrijske nepravilnosti na površini predmeta koje su mnogo puta manje od dimenzija promatranog dijela površine.

Pod pojam »hrapavost« ne svrstavamo makrogeometrijskih nepravilnosti površine kojih se dimenzije približuju duljinskoj mjeri promatrane površine ili je premašuju, npr. valovitost.



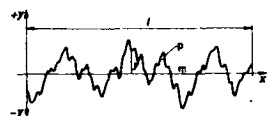
$p$  — profil je presjek promatrane površine presječen određenom ravninom

$l$  — referentna duljina je (dogovorena) duljina dijela profila izabranog za određivanje hrapavosti.

Referentne duljine  $l$  izabiremo prema vrsti i finoći obrade i mjernoj metodi:

Postupak obrade	Prikladna referentna duljina $l$ (mm)			
blanjanje	2,5	8	25	
glodanje, bušenje	0,8	2,5	8	
tokarenje, razvrtavanje	0,8	2,5		
brušenje	0,25	0,8	2,5	
honanje, lepanje	0,25	0,8		

### Sistem srednje linije



$m$  — srednja linija profila siječe profil  $p$  tako da je — u granicama referentne duljine  $l$  — zbroj kvadrata udaljenosti  $y$  svih točaka profila od srednje linije jednak minimumu.

Prosječno odstupanje profila  $R_a$  je srednja aritmetička udaljenost profila od srednje linije

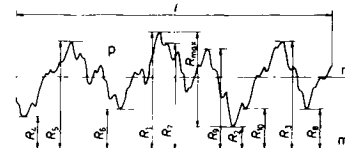
$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx$$

Približna vrijednost prosječnog odstupanja profila iznosi

$$R_a \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$

$y$  odn.  $y_i$  uzimamo u apsolutnim vrijednostima — bez obzira na predznak + ili —.

## Visine neravnina



$p$  — profil

$l$  — referentna duljina

$m$  — srednja linija profila

$m_z$  — paralela sa srednjom linijom koja ne siječe profil

Prosječna visina neravnina  $R_z$  (mjerena u 10 točaka) je razlika između srednjih aritmetičkih vrijednosti udaljenosti  $R$ , i to 5 najviših i 5 najnižih točaka profila — u granicama referentne duljine  $l$  — od bilo koje linije koja ne siječe profila, a paralelna je sa srednjom linijom

$$R_z = \frac{(R_1 + R_3 + \dots + R_9) - (R_2 + R_4 + \dots + R_{10})}{5}$$

Najveća visina neravnina  $R_{max}$  je razmak između dvaju pravaca, paralelnih sa srednjom linijom, koji dotiču — u granicama referentne duljine  $l$  — najviše odnosno najniže točke profila

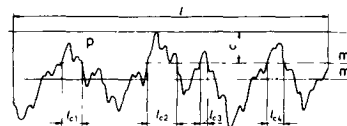
$$R_{max} = R_1 - R_2$$

Kao orijentacija služe izrazi:

$$R_z \approx 4 R_a$$

$$R_{max} \approx 1,6 R_z (\approx 6,4 R_a)$$

### Nošenje profila



$p$  — profil

$l$  — referentna duljina

$m$  — srednja linija profila

$m_c$  — paralela sa srednjom linijom, udaljena od najviše točke profila za razmak  $c$

Duljina nošenja profila  $l_n$  je zbroj odsječaka što ih — u granicama referentne duljine  $l$  — profil odsijeca na paraleli sa srednjom linijom, a koji su udaljeni od najviše točke profila za razmak  $c$

$$l_n = l_{c1} + l_{c2} + \dots + l_{cn}$$

Za razmak  $c$  preporučuju se vrijednosti ovisno o najvećoj visini neravnina  $R_{max}$ :

$R_{max}$ ( $\mu m$ )	... 1	1) ... 2,5	2,5) ... 4	4) ... 6
$c$ ( $\mu m$ )	0,1	0,25	0,6	1,6

### Postotak nošenja profila $p_n$

$$p_n = \frac{l_n}{l} 100 (\%)$$

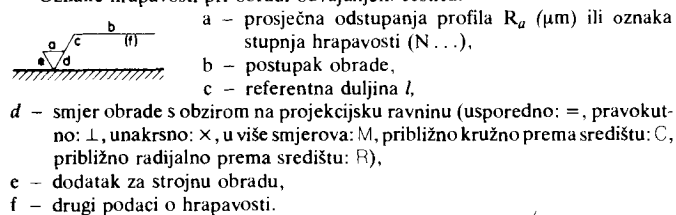
U strojogradnji postotak nošenja neka ne bude veći od 40%.

Stupanj površinske hrapavosti (JUS M.A0.065 – 1981) u ovisnosti o najvećem prosječnom odstupanju profila  $R_a$

$R_{a\max}$ $\mu\text{m}$	Stupanj hrapavosti	$R_{a\max}$ $\mu\text{m}$	Stupanj hrapavosti	$R_{a\max}$ $\mu\text{m}$	Stupanj hrapavosti
0,025	N 1	0,4	N 5	6,3	N 9
0,05	N 2	0,8	N 6	12,5	N 10
0,1	N 3	1,6	N 7	25	N 11
0,2	N 4	3,2	N 8	50	N 12

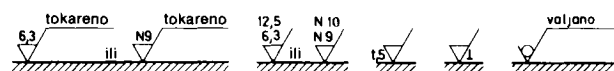
Oznake površinske hrapavosti u nacrtima (JUS M.A0.065 – 1981)

Oznake hrapavosti pri obradi odvajanjem čestica:



Oznaka hrapavosti bez obrade odvajanjem čestica:

Primjeri:



Odnos reda tolerancije i stupnja hrapavosti

(JUS M.A1.025 – 1981 in M.A0.065 – 1981)

Red tolerancije (ISO)	Stupanj hrapavosti				
	za nazivne mjere (mm)				
	... 3	3) ... 18	18) ... 80	80) ... 250	250) ...
IT 5	N 3	N 4	N 5	N 5	N 6
IT 6	N 4	N 5	N 5	N 6	N 6
IT 7	N 5	N 5	N 6	N 7	N 7
IT 8	N 5	N 6	N 7	N 7	N 8
IT 9	N 6	N 6	N 7	N 8	N 9
IT 10	N 7	N 7	N 8	N 9	N 9
IT 11	N 7	N 8	N 9	N 9	N 10
IT 12	N 8	N 8	N 9	N 10	N 11
IT 13	N 9	N 9	N 10	N 11	N 11
IT 14	N 10	N 10	N 11	N 11	N 12

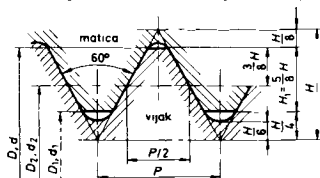
Postupak obrade u ovisnosti od stupnja hrapavosti

Postupak obrade	$R_a(\mu\text{m})$ 0,012	Razred hrapavosti N...												$R_a(\mu\text{m})$			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	100	200	400	800
Ručna obrada																	
– grubo turpijanje																	
– fino turpijanje																	
Lijevanje																	
– u pijesak																	
– u kokilu																	
– u školjku																	
Kovanje																	
– toplo, slobodno																	
– toplo u ukovnju																	
– hladno u ukovnju																	
Valjanje																	
– toplo																	
– hladno																	
Pjeskarenje																	
Tokarenje																	
– grubo																	
– fino																	
Blanjanje																	
– grubo																	
– fino																	
Glodanje																	
– grubo																	
– fino																	
Bušenje svrdlom																	
Razvrtavanje																	
Brušenje																	
– grubo																	
– fino																	
Poliranje																	
– mehaničko																	
– električno																	
Honanje, lepanje																	
»Superfiniš«																	
Obrada navoja																	
– rezanje																	
– brušenje																	
Obrada zubaca																	
– blanjanje																	
– glodanje																	
– brušenje																	

# NAVOJI

## Metarski navoji s trokutnim profilom ISO

Profil metarskih navoja ISO (JUS M.B0.010 — 1972)



Korak navoja:  $P$   
Teoretska dubina navoja

$$H = \frac{\sqrt{3}}{2} P = 0,866\,025\,P$$

Nosiva dubina navoja

$$H_1 = \frac{5}{8} H = 0,541\,266\,P$$

$d, d_1, d_2$  — promjeri unutarnjeg navoja (vijka)

$D, D_1, D_2$  — promjeri vanjskog navoja (matice)

$$d = D \quad d_1 = D_1 = d - 2\,H_1 \quad d_2 = D_2 = d - 3/4 \cdot H_2$$

Mjere u mm

$P$	$H$	$(5/8)\,H$	$(3/8)\,H$	$H/4$	$H/6$	$H/8$
0,2	0,173 2	0,108 3	0,065 0	0,043 3	0,028 9	0,021 7
0,25	0,216 5	0,135 3	0,081 2	0,054 1	0,036 1	0,027 1
0,3	0,259 8	0,162 4	0,097 4	0,065 0	0,043 3	0,032 5
0,35	0,303 1	0,189 4	0,113 7	0,075 8	0,050 5	0,037 9
0,4	0,346 4	0,216 5	0,129 9	0,086 6	0,057 7	0,043 3
0,45	0,389 7	0,243 6	0,146 1	0,097 4	0,065 0	0,048 7
0,5	0,433 0	0,270 6	0,162 4	0,108 3	0,072 2	0,054 1
0,6	0,519 6	0,324 8	0,194 9	0,129 9	0,086 6	0,065 0
0,7	0,606 2	0,378 9	0,227 3	0,151 6	0,101 0	0,075 8
0,75	0,649 5	0,406 0	0,243 6	0,162 4	0,108 3	0,081 2
0,8	0,692 8	0,433 0	0,259 8	0,173 2	0,115 5	0,086 6
1	0,866 0	0,541 3	0,324 8	0,216 5	0,144 3	0,108 3
1,25	1,082 5	0,676 6	0,405 9	0,270 6	0,180 4	0,135 3
1,5	1,299 0	0,811 9	0,487 1	0,324 8	0,216 5	0,162 4
1,75	1,515 5	0,947 2	0,568 3	0,378 9	0,252 6	0,189 4
2	1,732 1	1,082 5	0,649 5	0,433 0	0,288 7	0,216 5
2,5	2,165 1	1,353 2	0,811 9	0,541 3	0,360 8	0,270 6
3	2,598 1	1,623 8	0,974 3	0,649 5	0,433 0	0,324 8
3,5	3,031 1	1,894 4	1,136 7	0,757 8	0,505 2	0,378 9
4	3,464 1	2,165 1	1,299 0	0,866 0	0,577 4	0,433 0
4,5	3,897 1	2,435 7	1,461 4	0,974 3	0,649 5	0,487 1
5	4,330 1	2,706 3	1,623 8	1,082 5	0,721 7	0,541 3
5,5	4,763 1	2,977 0	1,786 2	1,190 8	0,793 9	0,595 4
6	5,196 2	3,247 6	1,948 6	1,299 0	0,866 0	0,649 5

## Metarski normalni navoji (JUS M.B0.012 — 1972)

Oznaka*	$P$ mm	$d = D$ mm	$d_2 = D_2$ mm	$d_1 = D_1$ mm	$A$ mm <sup>2</sup>
M 1	0,25	1	0,838	0,729	0,377
M 1,1	0,25	1,1	0,938	0,829	0,494
M 1,2	0,25	1,2	1,038	0,929	0,626
M 1,4	0,3	1,4	1,205	1,075	0,836
M 1,6	0,35	1,6	1,373	1,221	1,08
M 1,8	0,35	1,8	1,573	1,421	1,47
M 2	0,4	2	1,740	1,567	1,79
M 2,2	0,45	2,2	1,908	1,713	2,13
M 2,5	0,45	2,5	2,208	2,013	2,98
M 3	0,5	3	2,675	2,459	4,48
M 3,5	0,6	3,5	3,110	2,850	6,00
M 4	0,7	4	3,545	3,242	7,45
M 4,5	0,75	4,5	4,013	3,688	10,1
M 5	0,8	5	4,480	4,134	12,7
M 6	1	6	5,350	4,917	17,9
(M 7)	1	7	6,350	5,917	26,3
M 8	1,25	8	7,188	6,647	32,8
(M 9)	1,25	9	8,188	7,647	43,8
M 10	1,5	10	9,026	8,376	52,3
(M 11)	1,5	11	10,026	9,376	65,9
M 12	1,75	12	10,863	10,106	76,2
M 14	2	14	12,701	11,835	105
M 16	2	16	14,701	13,835	144
M 18	2,5	18	16,376	15,294	175
M 20	2,5	20	18,376	17,294	225
M 22	2,5	22	20,376	19,294	282
M 24	3	24	22,051	20,752	325
M 27	3	27	25,051	23,752	427
M 30	3,5	30	27,727	26,211	519
M 33	3,5	33	30,727	29,211	647
M 36	4	36	33,402	31,670	759
M 39	4	39	36,402	34,670	913
M 42	4,5	42	39,077	37,129	1045
M 45	4,5	45	42,077	40,129	1224
M 48	5	48	44,752	42,587	1377
M 52	5	52	48,752	46,587	1652
M 56	5,5	56	52,428	50,046	1905
M 60	5,5	60	56,428	54,046	2227
M 64	6	64	60,103	57,505	2520
M 68	6	68	64,103	61,505	2888

\* Deblje tiskane oznake su navoji koji u upotrebi imaju prvu prednost, a obično tiskane oznake su navoji koji imaju drugu prednost. Navoji u zgradama imaju treću prednost i valja ih upotrebljavati samo iznimno u prijeko potrebnim slučajevima.

## Metarski fini (sitni)

navoji (JUS M.B0.013 — 1972)

Oznaka <sup>1)</sup> $d (= D) \times P$ mm	$d_2 = D_2$ mm	$d_1 = D_1$ mm	Oznaka <sup>1)</sup> $d (= D) \times P$ mm	$d_2 = D_2$ mm	$d_1 = D_1$ mm	Oznaka <sup>1)</sup> $d (= D) \times P$ mm	$d_2 = D_2$ mm	$d_1 = D_1$ mm	Oznaka <sup>1)</sup> $d (= D) \times P$ mm	$d_2 = D_2$ mm	$d_1 = D_1$ mm
<b>M 1 × 0,2</b>	0,870	0,783	(M 15 × 1,5)	14,026	13,376	(M 35 × 1,5) <sup>4)</sup>	34,026	33,376	(M 58 × 4)	55,402	53,670
<b>M 1,1 × 0,2</b>	0,970	0,883	(M 15 × 1)	14,350	13,917	<b>M 36 × 3</b>	34,051	32,752	(M 58 × 3)	56,051	54,752
<b>M 1,2 × 0,2</b>	1,070	0,983	<b>M 16 × 1,5</b>	15,026	14,376	<b>M 36 × 2</b>	34,701	33,835	(M 58 × 2)	56,701	55,835
<b>M 1,4 × 0,2</b>	1,270	1,183	<b>M 16 × 1</b>	15,350	14,917	<b>M 36 × 1,5</b>	35,026	34,376	(M 58 × 1,5)	57,026	56,376
<b>M 1,6 × 0,2</b>	1,470	1,383	(M 17 × 1,5)	16,026	15,376	(M 38 × 1,5)	37,026	36,376	<b>M 60 × 4</b>	57,402	55,670
<b>M 1,8 × 0,2</b>	1,670	1,583	(M 17 × 1)	16,350	15,917	<b>M 39 × 3</b>	37,051	35,752	<b>M 60 × 3</b>	58,051	56,752
<b>M 2 × 0,25</b>	1,838	1,729	<b>M 18 × 2</b>	16,701	15,835	<b>M 39 × 2</b>	37,701	36,835	<b>M 60 × 2</b>	58,701	57,835
<b>M 2,2 × 0,25</b>	2,038	1,929	<b>M 18 × 1,5</b>	17,026	16,376	<b>M 39 × 1,5</b>	38,026	37,376	<b>M 60 × 1,5</b>	59,026	58,376
<b>M 2,5 × 0,35</b>	2,273	2,121	<b>M 18 × 1</b>	17,350	16,917	(M 40 × 3)	38,051	36,752	(M 62 × 4)	59,402	57,670
<b>M 3 × 0,35</b>	2,773	2,621	<b>M 20 × 2</b>	18,701	17,835	(M 40 × 2)	38,701	37,835	(M 62 × 3)	60,051	58,752
<b>M 3,5 × 0,35</b>	3,273	3,121	<b>M 20 × 1,5</b>	19,026	18,376	(M 40 × 1,5)	39,026	38,376	(M 62 × 2)	60,701	59,835
<b>M 4 × 0,5</b>	3,675	3,459	<b>M 20 × 1</b>	19,350	18,917	<b>M 42 × 4</b>	39,402	37,670	(M 62 × 1,5)	61,026	60,376
<b>M 4,5 × 0,5</b>	4,175	3,959	<b>M 22 × 2</b>	20,701	19,835	<b>M 42 × 3</b>	40,051	38,752	<b>M 64 × 4</b>	61,402	59,670
<b>M 5 × 0,5</b>	4,675	4,459	<b>M 22 × 1,5</b>	21,026	20,376	<b>M 42 × 2</b>	40,701	39,835	<b>M 64 × 3</b>	62,051	60,752
(M 5,5 × 0,5)	5,175	4,959	<b>M 22 × 1</b>	21,350	20,917	<b>M 42 × 1,5</b>	41,026	40,376	<b>M 64 × 2</b>	62,701	61,835
<b>M 6 × 0,75</b>	5,513	5,188	<b>M 24 × 2</b>	22,701	21,835	<b>M 45 × 4</b>	42,402	40,670	<b>M 64 × 1,5</b>	63,026	62,376
(M 7 × 0,75)	6,513	6,188	<b>M 24 × 1,5</b>	23,026	22,376	<b>M 45 × 3</b>	43,051	41,752	(M 65 × 4)	62,402	60,670
<b>M 8 × 1</b>	7,350	6,917	<b>M 24 × 1</b>	23,350	22,917	<b>M 45 × 2</b>	43,701	42,835	(M 65 × 3)	63,051	61,752
<b>M 8 × 0,75</b>	7,513	7,188	(M 25 × 2)	23,701	22,835	<b>M 45 × 1,5</b>	44,026	43,376	(M 65 × 2)	63,701	62,835
(M 9 × 1)	8,350	7,917	(M 25 × 1,5)	24,026	23,376	<b>M 48 × 4</b>	45,402	43,670	(M 65 × 1,5)	64,026	63,376
(M 9 × 0,75)	8,513	8,188	(M 25 × 1)	24,350	23,917	<b>M 48 × 3</b>	46,051	44,752	<b>M 68 × 4</b>	65,402	63,670
<b>M 10 × 1,25</b>	9,188	8,647	(M 26 × 1,5)	25,026	24,376	<b>M 48 × 2</b>	46,701	45,835	<b>M 68 × 3</b>	66,051	64,752
<b>M 10 × 1</b>	9,350	8,917	<b>M 27 × 2</b>	25,701	24,835	<b>M 48 × 1,5</b>	47,026	46,376	<b>M 68 × 2</b>	66,701	65,835
<b>M 10 × 0,75</b>	9,513	9,188	<b>M 27 × 1,5</b>	26,026	25,376	(M 50 × 3)	48,051	46,752	<b>M 68 × 1,5</b>	67,026	66,376
(M 11 × 1)	10,350	9,917	<b>M 27 × 1</b>	26,350	25,917	(M 50 × 2)	48,701	47,835	(M 70 × 6)	66,103	63,505
(M 11 × 0,75)	10,513	10,188	(M 28 × 2)	26,701	25,835	(M 50 × 1,5)	49,026	48,376	(M 70 × 4)	67,402	65,670
<b>M 12 × 1,5</b>	11,026	10,376	(M 28 × 1,5)	27,026	26,376	<b>M 52 × 4</b>	49,402	47,670	(M 70 × 3)	68,051	66,752
<b>M 12 × 1,25</b>	11,188	10,647	(M 28 × 1)	27,350	26,917	<b>M 52 × 3</b>	50,051	48,752	(M 70 × 2)	68,701	67,835
<b>M 12 × 1</b>	11,350	10,917	(M 30 × 3) <sup>3)</sup>	28,051	26,752	<b>M 52 × 2</b>	50,701	49,835	(M 70 × 1,5)	69,026	68,376
<b>M 14 × 1,5</b>	13,026	12,376	<b>M 30 × 2</b>	28,701	27,835	<b>M 52 × 1,5</b>	51,026	50,376	<b>M 72 × 6</b>	68,103	65,505
(M 14 × 1,25) <sup>2)</sup>	13,188	12,647	<b>M 30 × 1,5</b>	29,026	28,376	(M 55 × 4)	52,402	50,670	<b>M 72 × 4</b>	69,402	67,670
<b>M 14 × 1</b>	13,350	12,917	<b>M 30 × 1</b>	29,350	28,917	(M 55 × 3)	53,051	51,752	<b>M 72 × 3</b>	70,051	68,752
			(M 32 × 2)	30,701	29,835	(M 55 × 2)	53,701	52,835	<b>M 72 × 2</b>	70,701	69,835
			(M 32 × 1,5)	31,026	30,376	(M 55 × 1,5)	54,026	53,376	<b>M 72 × 1,5</b>	71,026	70,376
			(M 33 × 3) <sup>3)</sup>	31,051	29,752	<b>M 56 × 4</b>	53,402	51,670	(M 75 × 4)	72,402	70,670
			<b>M 33 × 2</b>	31,701	30,835	<b>M 56 × 3</b>	54,051	52,752	(M 75 × 3)	73,051	71,752
			<b>M 33 × 1,5</b>	32,026	31,376	<b>M 56 × 2</b>	54,701	53,835	(M 75 × 2)	73,701	72,835
						<b>M 56 × 1,5</b>	55,026	54,376	(M 75 × 1,5)	74,026	73,376

<sup>1)</sup> Vidi napomenu na str. 505! — <sup>2)</sup> Samo za svjeće motora s unutarnjim izgaranjem.  
<sup>3)</sup> Po mogućnosti ne upotrebljavati!

<sup>4)</sup> Samo za matice za učvršćivanje valjnih ležaja.

Oznaka* $d (= D) \times P$ mm	$d_2 = D_2$ mm	$d_1 = D_1$ mm	Oznaka* $d (= D) \times P$ mm	$d_2 = D_2$ mm	$d_1 = D_1$ mm	Oznaka* $d (= D) \times P$ mm	$d_2 = D_2$ mm	$d_1 = D_1$ mm	Oznaka* $d (= D) \times P$ mm	$d_2 = D_2$ mm	$d_1 = D_1$ mm
M 76 × 6	72,103	69,505	M 115 × 3	113,051	111,752	M 170 × 6	166,103	163,505	(M 230 × 6)	226,103	223,505
M 76 × 4	73,402	71,670	M 115 × 2	113,701	112,835	M 170 × 4	167,402	165,670	(M 230 × 4)	227,402	225,670
M 76 × 3	74,051	72,752	M 120 × 6	116,103	113,505	M 170 × 3	168,051	166,752	(M 230 × 3)	228,051	226,752
M 76 × 2	74,701	73,835	M 120 × 4	117,402	115,670	(M 175 × 6)	171,103	168,505	(M 235 × 6)	231,103	228,505
M 76 × 1,5	75,026	74,376	M 120 × 3	118,051	116,752	(M 175 × 4)	172,402	170,670	(M 235 × 4)	232,402	230,670
(M 78 × 2)	76,701	75,835	M 120 × 2	118,701	117,835	(M 175 × 3)	173,051	171,752	(M 235 × 3)	233,051	231,752
M 80 × 6	76,103	73,505	M 125 × 6	121,103	118,505	M 180 × 6	176,103	173,505	M 240 × 6	236,103	233,505
M 80 × 4	77,402	75,670	M 125 × 4	122,402	120,670	M 180 × 4	177,402	175,670	M 240 × 4	237,402	235,670
M 80 × 3	78,051	76,752	M 125 × 3	123,051	121,752	M 180 × 3	178,051	176,752	M 240 × 3	238,051	236,752
M 80 × 2	78,701	77,835	M 125 × 2	123,701	122,835	(M 185 × 6)	181,103	178,505	(M 245 × 6)	241,103	238,505
M 80 × 1,5	79,026	78,376	M 130 × 6	126,103	123,505	(M 185 × 4)	182,402	180,670	(M 245 × 4)	242,402	240,670
(M 82 × 2)	80,701	79,835	M 130 × 4	127,402	125,670	(M 185 × 3)	183,051	181,752	(M 245 × 3)	243,051	241,752
M 85 × 6	81,103	78,505	M 130 × 3	128,051	126,752	M 190 × 6	186,103	183,505	M 250 × 6	246,103	243,505
M 85 × 4	82,402	80,670	M 130 × 2	128,701	127,835	M 190 × 4	187,402	185,670	M 250 × 4	247,402	245,670
M 85 × 3	83,051	81,752	(M 135 × 6)	131,103	128,505	M 190 × 3	188,051	186,752	M 250 × 3	248,051	246,752
M 85 × 2	83,701	82,835	(M 135 × 4)	132,402	130,670	(M 195 × 6)	191,103	188,505	(M 255 × 6)	251,103	248,505
M 90 × 6	86,103	83,505	(M 135 × 3)	133,051	131,752	(M 195 × 4)	192,402	190,670	(M 255 × 4)	252,402	250,670
M 90 × 4	87,402	85,670	(M 135 × 2)	133,701	132,835	(M 195 × 3)	193,051	191,752	M 260 × 6	256,103	253,505
M 90 × 3	88,051	86,752	M 140 × 6	136,103	133,505	M 200 × 6	196,103	193,505	M 260 × 4	257,402	255,670
M 90 × 2	88,701	87,835	M 140 × 4	137,402	135,670	M 200 × 4	197,402	195,670	(M 265 × 6)	261,103	258,505
M 95 × 6	91,103	88,505	M 140 × 3	138,051	136,752	M 200 × 3	198,051	196,752	(M 265 × 4)	262,402	260,670
M 95 × 4	92,402	90,670	M 140 × 2	138,701	137,835	(M 205 × 6)	201,103	198,505	(M 270 × 6)	266,103	263,505
M 95 × 3	93,051	91,752	(M 145 × 6)	141,103	138,505	(M 205 × 4)	202,402	200,670	(M 270 × 4)	267,402	265,670
M 95 × 2	93,701	92,835	(M 145 × 4)	142,402	140,670	(M 205 × 3)	203,051	201,752	(M 275 × 6)	271,103	268,505
M 100 × 6	96,103	93,505	(M 145 × 3)	143,051	141,752	M 210 × 6	206,103	203,505	(M 275 × 4)	272,402	270,670
M 100 × 4	97,402	95,670	(M 145 × 2)	143,701	142,835	M 210 × 4	207,402	205,670	M 280 × 6	276,103	273,505
M 100 × 3	98,051	96,752	M 150 × 6	146,103	143,505	M 210 × 3	208,051	206,752	M 280 × 4	277,402	275,670
M 100 × 2	98,701	97,835	M 150 × 4	147,402	145,670	(M 215 × 6)	211,103	208,505	(M 285 × 6)	281,103	278,505
M 105 × 6	101,103	98,505	M 150 × 3	148,051	146,752	(M 215 × 4)	212,402	210,670	(M 285 × 4)	282,402	280,670
M 105 × 4	102,402	100,670	M 150 × 2	148,701	147,835	(M 215 × 3)	213,051	211,752	(M 290 × 6)	286,103	283,505
M 105 × 3	103,051	101,752	(M 155 × 6)	151,103	148,505	M 220 × 6	216,103	213,505	(M 290 × 4)	287,402	285,670
M 105 × 2	103,701	102,835	(M 155 × 4)	152,402	150,670	M 220 × 4	217,402	215,670	(M 295 × 6)	291,103	288,505
M 110 × 6	106,103	103,505	(M 155 × 3)	153,051	151,752	M 220 × 3	218,051	216,752	(M 295 × 4)	292,402	290,670
M 110 × 4	107,402	105,670	M 160 × 6	156,103	153,505	(M 225 × 6)	221,103	218,505	M 300 × 6	296,103	293,505
M 110 × 3	108,051	106,752	M 160 × 4	157,402	155,670	(M 225 × 4)	222,402	220,670	M 300 × 4	297,402	295,670
M 110 × 2	108,701	107,835	M 160 × 3	158,051	156,752	(M 225 × 3)	223,051	221,752			
M 115 × 6	111,103	108,505	(M 165 × 6)	161,103	158,505						
M 115 × 4	112,402	110,670	(M 165 × 4)	162,402	160,670						
			(M 165 × 3)	163,051	161,752						

\* Vidi napomenu na str. 505!

\* Vidi napomenu na str. 505!

**Tolerancije metarskih navoja (ISO)**  
(JUS M.B0.220 — 1967, 221 — 1974)

Nazivni promjeri navoja jesu promjeri profila navoja ISO (vidi str. 504 do 509). To su:

veliki nazivni promjeri  $d, D$  srednji nazivni promjeri  $d_2, D_2$   
mali nazivni promjeri  $d_1, D_1$

Malim slovima označujemo vanjski navoj (vijak), a velikima unutarnji navoj (maticu).

Stvarni promjeri navoja su promjeri koje određujemo mjerenjem izrađenog navoja, a sadrže netočnosti mjerenja.

Granični promjeri navoja su najveći i najmanji promjeri koje još dopuštamo.

Gornje odnosno donje odstupanje je razlika između najvećeg odnosno najmanjeg promjera i nazivnog promjera navoja.

Gornja odstupanja velikog, srednjeg i malog promjera navoja: Donja odstupanja velikog, srednjeg i malog promjera navoja:

vijka  $a_{\max} a_{2\max} a_{1\max}$  vijka  $a_{\min} a_{2\min} a_{1\min}$   
matice  $A_{\max} A_{2\max} A_{1\max}$  matice  $A_{\min} A_{2\min} A_{1\min}$

Tolerancija promjera navoja je razlika između gornjeg i donjeg odstupanja (odn. između najvećeg i najmanjeg promjera).

Tolerancija je određena veličinom i položajem s obzirom na nazivni promjer.

Veličine tolerancija su određene sa 7 stupnjeva, koje označujemo brojkama 3 do 9, od kojih upotrebljavamo:

za promjere	veličine tolerancija
$d$	4, 6, 8
$d_2, d_1$	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
$D_2, D_1$	4, 5, 6, 7, 8

Tolerancije velikoga promjera navoja matice  $D$  nisu propisane.

Položaj tolerancije s obzirom na nazivni promjer označujemo slovima. Određeno je:

5 položaja za navoje vijaka: e, g, h, k, p i 2 položaja za navoje matice: G, H

Ti su položaji tolerancija: e, g — ispod nazivnog promjera vijka, h — tik ispod nazivnog promjera vijka, k, p — iznad nazivnog promjera vijka, G — iznad nazivnog promjera matice, H — tik iznad nazivnog promjera matice.

Oznaka tolerancije je kombinacija oznaka za veličinu tolerancije i njezin položaj (npr. 6h).

Primjer oznake tolerancije:

- za metarski vijčani navoj M20 s tolerancijom 6h: M20 – 6h
- za isti navoj, ali s tolerancijom 4k za srednji promjer i 6h za veliki promjer: M20 – 4k 6h
- za metarski navoj M20 s tolerancijom 6H: M20 – 6H.

Nosiva duljina  $l$  (tj. duljina dodira između matice i vijka u smjeru osi) određena je korakom  $P$  i srednjim nazivnim promjerom vijka  $d$ .

Normalna nosiva duljina  $l_N$

$d$ mm	$P$ mm	$l_N^*$ mm	$d$ mm	$P$ mm	$l_N^*$ mm
0,99)... 1,4	0,2 0,25 0,3	0,5)... 1,4 0,6)... 1,7 0,7)... 2	11,2)... 22,4	2 2,5	8)... 24 10)... 30
1,4)... 2,8	0,2 0,25 0,35 0,4 0,45	0,5)... 1,5 0,6)... 1,9 0,8)... 2,6 1)... 3 1,3)... 3,8	22,4)... 45	1 1,5 2 3 3,5 4 4,5	4)... 12 6,3)... 19 8,5)... 25 12)... 36 15)... 45 18)... 53 21)... 63
2,8)... 5,6	0,35 0,5 0,6 0,7 0,75 0,8	1)... 3 1,5)... 4,5 1,7)... 5 2)... 6 2,2)... 6,7 2,5)... 7,5	45)... 90	1,5 2 3 4 5 5,5 6	7,5)... 22 9,5)... 28 15)... 45 19)... 56 24)... 71 28)... 85 32)... 95
5,6)... 11,2	0,75 1 1,25 1,5	2,4)... 7,1 3)... 9 4)... 12 5)... 15	90)... 180	2 3 4 6	12)... 36 18)... 53 24)... 71 36)... 106
11,2)... 22,4	1 1,25 1,5 1,75	3,8)... 11 4,5)... 13 5,6)... 16 6)... 18	180)... 355	3 4 6	20)... 60 26)... 80 40)... 118

\* Kratka nosiva duljina  $l_s < l_{N\min}$ , duga nosiva duljina  $l_L > l_{N\max}$ .

Preporučene tolerancije (ovisno o kvaliteti tolerancije i nosivoj duljini  $l$ )

Kvaliteta izrade navoja		Preporučene tolerancije					
		za navoj vijka			za navoj matice		
		Nosiva duljina			Nosiva duljina		
		$l_s$	$l_N$	$l_L$	$l_s$	$l_N$	$l_L$
fina	— bez labavosti — mala prisnost — veća prisnost	3h 4h 4k 6h* 3p 4h	4h 4k 6h* 3p 4h	5h 4h 4k 6h* 3p 4h	4H	5H	6H
srednja	— velika labavost — mala labavost — bez labavosti	6e 5g 6g 5h 6h	6e 6g 6h	7e 6e 7g 6g 7h 6h			
gruba	— mala labavost — bez labavosti	8g	8g	9g 8g			
					5G	6G	7G
					5H	6H	7H
						7G	8G
						7H	8H

\* Također 3k 4h.

Odstupanja (po JUS M.B0.230 – 1967 i M.B0.232 – 1974) za preporučene tolerancije uz nosivu duljinu  $l_N$  sabrana su na str. 512 do 518.

Tolerancije srednjega  
Gornje i donje

Nazivni pro- mjer $d$ mm	Korak $P$ mm	6e	8g	6g	Tolerancije 6h	4h	4k6h	3p4h
1,5) ... 2,8	0,2	—	—	— 17 — 67	0 — 50	0 — 32	—	—
	0,25	—	—	— 18 — 74	0 — 56	0 — 36	—	—
	0,35	—	—	— 19 — 82	0 — 63	0 — 40	—	—
	0,4	—	—	— 19 — 86	0 — 67	0 — 42	—	—
	0,45	—	—	— 20 — 91	0 — 71	0 — 45	—	—
	0,35	—	—	— 19 — 86	0 — 67	0 — 42	—	—
2,8) ... 5,6	0,5	— 50 — 125	—	— 20 — 95	0 — 75	0 — 48	+ 32 — 16	+ 68 + 30
	0,6	— 53 — 138	—	— 21 — 106	0 — 85	0 — 53	+ 39 — 14	+ 73 + 31
	0,7	— 56 — 146	—	— 22 — 112	0 — 90	0 — 56	+ 44 — 12	+ 77 + 32
	0,75	— 56 — 146	—	— 22 — 112	0 — 90	0 — 56	+ 44 — 12	+ 77 + 32
	0,8	— 60 — 155	— 24 — 174	— 24 — 119	0 — 95	0 — 60	+ 48 — 12	+ 82 + 34
	0,75	— 56 — 156	—	— 22 — 122	0 — 100	0 — 63	+ 51 — 12	+ 82 + 32
5,6) ... 11,2	1	— 60 — 172	— 26 — 206	— 26 — 138	0 — 112	0 — 71	+ 63 — 8	+ 92 + 36
	1,25	— 63 — 181	— 28 — 218	— 28 — 146	0 — 118	0 — 75	+ 70 — 5	+ 98 + 38
	1,5	— 67 — 199	— 32 — 244	— 32 — 164	0 — 132	0 — 85	+ 82 — 3	+ 109 + 42
	1	— 60 — 178	— 26 — 216	— 26 — 144	0 — 118	0 — 75	+ 75 — 0	+ 96 + 36
11,2) ... 22,4	1,25	— 63 — 195	— 28 — 240	— 28 — 160	0 — 132	0 — 85	+ 85 — 0	+ 105 + 38
	1,5	— 67 — 207	— 32 — 256	— 32 — 172	0 — 140	0 — 90	+ 90 — 0	+ 113 + 42
	1,75	— 71 — 221	— 34 — 270	— 34 — 184	0 — 150	0 — 95	+ 95 — 0	+ 119 + 44
	2	— 71 — 231	— 38 — 288	— 38 — 198	0 — 160	0 — 100	+ 100 — 0	+ 128 + 48
	2,5	— 80 — 250	— 42 — 307	— 42 — 212	0 — 170	0 — 106	+ 106 — 0	+ 137 + 52

promjera navoja vijka  $d_2$   
odstupanje  $a_{2\max}$  i  $a_{2\min}$  ( $\mu\text{m}$ )

Nazivni pro- mjer $d$ mm	Korak $P$ mm	6e	8g	6g	Tolerancije 6h	4h	4k6h	3p4h
22,4) ... 45	1	— 60 — 185	— 26 — 226	— 26 — 151	0 — 125	0 — 80	+ 80 — 0	+ 99 + 36
	1,5	— 67 — 217	— 32 — 268	— 32 — 182	0 — 150	0 — 95	+ 95 — 0	+ 117 + 42
	2	— 71 — 241	— 38 — 303	— 38 — 208	0 — 170	0 — 106	+ 106 — 0	+ 133 + 48
	3	— 85 — 285	— 48 — 363	— 48 — 248	0 — 200	0 — 125	+ 125 — 0	+ 158 + 58
	3,5	— 90 — 302	— 53 — 388	— 53 — 265	0 — 212	0 — 132	+ 132 — 0	+ 169 + 63
	4	— 95 — 319	— 60 — 415	— 60 — 284	0 — 224	0 — 140	+ 140 — 0	+ 182 + 70
	4,5	— 100 — 336	— 63 — 438	— 63 — 299	0 — 236	0 — 150	+ 150 — 0	+ 191 + 73
	1,5	— 67 — 227	— 32 — 282	— 32 — 192	0 — 160	0 — 100	+ 100 — 0	+ 122 + 42
	2	— 71 — 251	— 38 — 318	— 38 — 218	0 — 180	0 — 112	+ 112 — 0	+ 138 + 48
	3	— 85 — 297	— 48 — 383	— 48 — 260	0 — 212	0 — 132	+ 132 — 0	+ 164 + 58
45) ... 90	4	— 95 — 331	— 60 — 435	— 60 — 296	0 — 236	0 — 150	+ 150 — 0	+ 188 + 70
	5	— 106 — 356	— 71 — 471	— 71 — 321	0 — 250	0 — 160	+ 160 — 0	+ 206 + 81
	5,5	— 112 — 377	— 75 — 500	— 75 — 340	0 — 265	0 — 170	—	—
	6	— 118 — 398	— 80 — 530	— 80 — 360	0 — 280	0 — 180	—	—
	2	— 71 — 261	— 38 — 338	— 38 — 228	0 — 190	0 — 118	+ 118 — 0	+ 143 + 48
	3	— 85 — 309	— 48 — 403	— 48 — 272	0 — 224	0 — 140	+ 140 — 0	+ 170 + 58
90) ... 180	4	— 95 — 345	— 60 — 460	— 60 — 310	0 — 250	0 — 160	+ 160 — 0	+ 195 + 70
	6	— 118 — 418	— 80 — 555	— 80 — 380	0 — 300	0 — 190	—	—
	3	— 85 — 335	— 48 — 448	— 48 — 298	0 — 250	0 — 160	+ 160 — 0	+ 183 + 58
	4	— 95 — 375	— 60 — 510	— 60 — 340	0 — 280	0 — 180	+ 180 — 0	+ 210 + 70
180) ... 355	6	— 118 — 433	— 80 — 580	— 80 — 395	0 — 315	0 — 200	—	—

Tolerancije srednjega promjera navoja matice  $D_2$

Gornje odstupanje  $A_{2\max}$  ( $\mu\text{m}$ )

(Donje odstupanje  $A_{2\min}$  za sve tolerancije H je 0)

Nazivni promjer $D = d$ mm	Korak $P$ mm	Tolerancije				
		7G	6G	7H	6H	5H
1,5) ... 2,8	0,2	—	—	—	—	—
	0,25	—	—	—	—	+ 60
	0,35	—	+104 +19	—	+ 85	+ 67
	0,4	—	+109 +19	—	+ 90	+ 71
	0,45	—	+115 +20	—	+ 95	+ 75
	0,35	—	+109 +19	—	+ 90	+ 71
	0,5	+145 +20	+120 +20	+125	+100	+ 80
	0,6	+161 +21	+133 +21	+140	+112	+ 90
2,8) ... 5,6	0,7	+172 +22	+140 +22	+150	+118	+ 95
	0,75	+172 +22	+140 +22	+150	+118	+ 95
	0,8	+184 +24	+149 +24	+160	+125	+100
	0,75	+192 +22	+154 +22	+170	+132	+106
5,6) ... 11,2	1	+216 +26	+176 +26	+190	+150	+118
	1,25	+228 +28	+188 +28	+200	+160	+125
	1,5	+256 +32	+212 +32	+224	+180	+140
	1	+226 +26	+186 +26	+200	+160	+125
11,2) ... 22,4	1,25	+252 +28	+208 +28	+224	+180	+140
	1,5	+268 +32	+222 +32	+236	+190	+150
	1,75	+284 +34	+234 +34	+250	+200	+160
	2	+303 +38	+250 +38	+265	+212	+170
	2,5	+322 +42	+266 +42	+280	+224	+180
	1	+238 +26	+196 +26	+212	+170	+132
	1,5	+282 +32	+232 +32	+250	+200	+160
	2	+318 +38	+262 +38	+280	+224	+180
22,4) ... 45	3	+383 +48	+313 +48	+335	+265	+212
	3,5	+408 +53	+333 +53	+355	+280	+224
	4	+435 +60	+360 +60	+375	+300	+236
	4,5	+463 +63	+378 +63	+400	+315	+250
	1,5	+297 +32	+244 +32	+265	+212	+170
	2	+338 +38	+274 +38	+300	+236	+190
	3	+403 +48	+328 +48	+355	+280	+224
	4	+460 +60	+375 +60	+400	+315	+250
45) ... 90	5	+496 +71	+406 +71	+425	+335	+265
	5,5	+525 +75	+430 +75	+450	+355	+280
	6	+555 +80	+455 +80	+475	+375	+300
	2	+353 +38	+288 +38	+315	+250	+200
90) ... 180	3	+423 +48	+348 +48	+375	+300	+236
	4	+485 +60	+395 +60	+425	+335	+265
	6	+580 +80	+480 +80	+500	+400	+315
	3	+473 +48	+383 +48	+425	+335	+265
180) ... 355	4	+535 +60	+435 +60	+475	+375	+300
	6	+610 +80	+505 +80	+530	+425	+335

Tolerancije velikog promjera navoja vijka  $d$

Gornje i donje odstupanje  $a_{\max}$  i  $a_{\min}$  ( $\mu\text{m}$ )

Korak $P$ mm	Tolerancije						
	6e	8g	6g	6h	4h	4k6h	3p4h
0,2	—	—	—17 —73	0 —56	0 —36	0 —56	—
0,25	—	—	—18 —85	0 —67	0 —42	0 —67	—
0,35	—	—	—19 —104	0 —85	0 —53	0 —85	—53
0,4	—	—	—19 —114	0 —95	0 —60	0 —95	—60
0,45	—	—	—20 —120	0 —100	0 —63	0 —100	—63
0,5	—50 —156	—	—20 —126	0 —106	0 —67	0 —106	—67
0,6	—53 —178	—	—21 —146	0 —125	0 —80	0 —125	—80
0,7	—56 —196	—	—22 —162	0 —140	0 —90	0 —140	—90
0,75	—56 —196	—	—22 —162	0 —140	0 —90	0 —140	—90
0,8	—60 —210	—24 —260	—24 —174	0 —150	0 —95	0 —150	—95
1	—60 —240	—26 —306	—26 —206	0 —180	0 —112	0 —180	—112
1,25	—63 —275	—28 —363	—28 —240	0 —212	0 —132	0 —212	—132
1,5	—67 —303	—32 —407	—32 —268	0 —236	0 —150	0 —236	—150
1,75	—71 —336	—34 —459	—34 —299	0 —265	0 —170	0 —265	—170
2	—71 —351	—38 —488	—38 —318	0 —280	0 —180	0 —280	—180
2,5	—80 —415	—42 —572	—42 —377	0 —335	0 —212	0 —335	—212
3	—85 —460	—48 —648	—48 —423	0 —375	0 —236	0 —375	—236
3,5	—90 —515	—53 —723	—53 —478	0 —425	0 —265	0 —425	—265
4	—95 —570	—60 —810	—60 —535	0 —475	0 —300	0 —475	—300
4,5	—100 —600	—63 —863	—63 —563	0 —500	0 —315	0 —500	—315
5	—106 —636	—71 —921	—71 —601	0 —530	0 —335	0 —530	—335
5,5	—112 —672	—75 —975	—75 —635	0 —560	0 —355	0 —560	—355
6	—118 —718	—80 —1030	—80 —680	0 —600	0 —375	0 —600	—375



Tolerancije malog  
Gornje i donje

Nazivni pro- mjer $d$ mm	Korak $P$ mm	6e	8g	6g	6h	4h	4k6h	3p4h
1,5) ... 2,8	0,2	—	—	—46 —110	—29 —93	—29 —75	—	—
	0,25	—	—	—54 —128	—36 —110	—36 —90	—	—
	0,35	—	—	—70 —158	—51 —139	—51 —116	—	—
	0,4	—	—	—77 —173	—58 —154	—58 —129	—	—
	0,45	—	—	—85 —188	—65 —168	—65 —142	—	—
2,8) ... 5,6	0,35	—	—	—70 —162	—51 —143	—51 —118	—	—
	0,5	—122 —233	—	—92 —203	—72 —183	—72 —156	—124 —208	—78 —152
	0,6	—140 —268	—	—108 —236	—87 —215	—87 —183	—144 —240	—99 —184
	0,7	—157 —297	—	—123 —263	—101 —241	—101 —207	—163 —269	—119 —214
	0,75	—164 —308	—	—130 —274	—108 —252	—108 —218	—174 —284	—130 —229
	0,8	—176 —329	—140 —348	—140 —293	—116 —269	—116 —234	—185 —303	—139 —245
5,6) ... 11,2	0,75	—164 —318	—	—130 —284	—108 —262	—108 —225	—174 —291	—130 —234
	1	—204 —388	—170 —422	—170 —354	—144 —328	—144 —287	—224 —367	—180 —308
	1,25	—243 —451	—208 —488	—208 —416	—180 —388	—180 —345	—275 —440	—232 —382
	1,5	—284 —524	—249 —569	—249 —489	—217 —457	—217 —410	—327 —520	—282 —457
11,2) ... 22,4	1	—204 —394	—170 —432	—170 —360	—144 —334	—144 —291	—224 —371	—180 —312
	1,25	—243 —465	—208 —510	—208 —430	—180 —402	—180 —355	—275 —450	—232 —389
	1,5	—284 —532	—249 —581	—249 —497	—217 —465	—217 —415	—327 —525	—282 —461
	1,75	—324 —600	—287 —649	—287 —563	—253 —529	—253 —474	—378 —599	—334 —535
	2	—360 —664	—327 —721	—327 —631	—289 —593	—289 —533	—432 —676	—384 —608
	2,5	—441 —791	—403 —848	—403 —753	—361 —711	—361 —647	—540 —826	—488 —753

promjera navoja vijka  $d_1$   
odstupanje  $a_{1\max}$  i  $a_{1\min}$  ( $\mu\text{m}$ )

Nazivni pro- mjer $d$ mm	Korak $P$ mm	6e	8g	6g	6h	4h	4k6h	3p4h
22,4) ... 45	1	—204 —401	—170 —442	—170 —367	—144 —341	—144 —296	—224 —376	—180 —315
	1,5	—284 —542	—249 —593	—249 —507	—217 —475	—217 —420	—327 —530	—282 —465
	2	—360 —674	—327 —736	—327 —641	—289 —603	—289 —539	—432 —682	—384 —613
	3	—518 —934	—481 —1012	—481 —897	—433 —849	—433 —774	—648 —989	—590 —906
	3,5	—595 —1059	—558 —1145	—558 —1022	—505 —969	—505 —889	—756 —1140	—693 —1051
	4	—672 —1184	—637 —1280	—637 —1149	—577 —1089	—577 —1005	—864 —1292	—794 —1194
	4,5	—750 —1310	—713 —1412	—713 —1273	—650 —1210	—650 —1124	—972 —1446	—899 —1341
	1,5	—284 —552	—249 —607	—249 —517	—217 —485	—217 —425	—327 —535	—282 —470
	2	—360 —684	—327 —751	—327 —651	—289 —613	—289 —545	—432 —688	—384 —618
	3	—518 —946	—481 —1032	—481 —909	—433 —861	—433 —781	—648 —996	—590 —912
45) ... 90	4	—672 —1196	—637 —1300	—637 —1161	—577 —1101	—577 —1015	—864 —1302	—794 —1200
	5	—828 —1438	—793 —1553	—793 —1403	—722 —1332	—722 —1242	—1080 —1600	—999 —1484
	5,5	—906 —1567	—869 —1690	—869 —1530	—794 —1455	—794 —1360	—	—
	6	—984 —1696	—946 —1828	—946 —1658	—866 —1578	—866 —1478	—	—
90) ... 180	2	—360 —694	—327 —771	—327 —661	—289 —623	—289 —551	—432 —694	—384 —623
	3	—518 —958	—481 —1052	—481 —921	—433 —873	—433 —789	—648 —1004	—590 —918
	4	—672 —1210	—637 —1325	—637 —1175	—577 —1115	—577 —1025	—864 —1312	—794 —1207
	6	—984 —1716	—946 —1853	—946 —1678	—866 —1598	—866 —1488	—	—
	3	—518 —984	—481 —1097	—481 —947	—433 —899	—433 —809	—648 —1024	—590 —931
	4	—672 —1240	—637 —1375	—637 —1205	—577 —1145	—577 —1045	—864 —1332	—794 —1222
180) ... 355	6	—984 —1731	—946 —1878	—946 —1693	—866 —1613	—866 —1498	—	—

Tolerancije malog promjera navoja matice  $D_1$   
Gornje odstupanje  $A_{1\max}$  ( $\mu\text{m}$ )  
(Donje odstupanje  $A_{1\min}$  za sve tolerancije H je 0)

Korak $P$ mm	Tolerancije				
	7 G	6 G	7 H	6 H	5 H
0,2	—	—	—	—	—
0,25	—	—	—	—	+ 56
0,35	—	+119 +19	—	+100	+ 80
0,4	—	+131 +19	—	+112	+ 90
0,45	—	+145 +20	—	+125	+100
0,5	+200 +20	+160 +20	+180	+140	+112
0,6	+221 +21	+181 +21	+200	+160	+125
0,7	+246 +22	+202 +22	+224	+180	+140
0,75	+258 +22	+212 +22	+236	+190	+150
0,8	+274 +24	+224 +24	+250	+200	+160
1	+326 +26	+262 +26	+300	+236	+190
1,25	+363 +28	+293 +28	+335	+265	+212
1,5	+407 +32	+332 +32	+375	+300	+236
1,75	+459 +34	+369 +34	+425	+335	+265
2	+513 +38	+413 +38	+475	+375	+300
2,5	+602 +42	+492 +42	+560	+450	+355
3	+678 +48	+548 +48	+630	+500	+400
3,5	+763 +53	+613 +53	+710	+560	+450
4	+810 +60	+660 +60	+750	+600	+475
4,5	+913 +63	+733 +63	+850	+670	+530
5	+971 +71	+781 +71	+900	+710	+560
5,5	+1025 +75	+825 +75	+950	+750	+600
6	+1080 +80	+880 +80	+1000	+800	+630

Navojni dosjedi

Pod navojnim dosjedom razumijevamo međusobnu podudarnost vijka i matice.  
Zračnost (zazor) navojnog dosjeda je razlika između većeg promjera matice i manjeg promjera vijka.

Prisnost (preklop) navojnog dosjeda je razlika između manjeg promjera matice i većeg promjera vijka.

Tolerancija navojnog dosjeda je razlika između najveće i najmanje zračnosti (odnosno prisnosti) navojnog dosjeda.

Vrste navojnih dosjeda

Labavi navojni dosjedi: H/e, H/g

Npr. vijci i matice za opću upotrebu

— gruba kvaliteta 7H/8g — srednja kvaliteta 6H/6e, 6H/6g

— fina kvaliteta 5H/4h

Prelazni navojni dosjedi: H/h

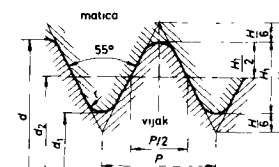
Čvrsti navojni dosjedi: H/k, H/p

Npr. za čvrsto (s prisnošću) pritegnute vijke i matice

— čvrsto pritezanje 6H/4k6h — vrlo čvrsto pritezanje 5H/3p4h

Cijevni navoji  
(JUS M.B0.056 — 1952)

Profil cijevnih navoja (Whitworthov)



Broj navoja na 25,4 mm:  $n$

Korak navoja (mm)  $P = 25,4/n$

Teoretska dubina navoja

$$H = 0,96049 P$$

Nosiva dubina navoja

$$H_1 = 0,64033 P$$

Zaobljenost

$$r = 0,13733 P$$

Veliki promjer navoja  $d$

Mali promjer navoja  $d_1 = d - 2 H_1$

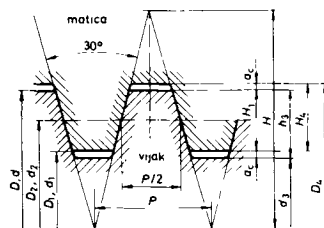
Srednji promjer navoja  $d_2 = d - H_1$

Oznaka*	$d$ mm	$n$	$P$ mm	Oznaka*	$d$ mm	$n$	$P$ mm
R 1/8	9,728	28	0,907	R 3 1/2	100,330	11	2,309
R 1/4	13,157	19	1,337	R 3 3/4	106,680	11	2,309
R 3/8	16,662	19	1,337	R 4	113,030	11	2,309
R 1/2	20,955	14	1,814	R 4 1/2	125,730	11	2,309
R 5/8	22,911	14	1,814	R 5	138,430	11	2,309
R 3/4	26,441	14	1,814	R 5 1/2	151,130	11	2,309
R 7/8	30,201	14	1,814	R 6	163,830	11	2,309
R 1	33,249	11	2,309	R 7	189,230	10	2,540
(R 1 1/8)	37,897	11	2,309	R 8	214,630	10	2,540
R 1 1/4	41,910	11	2,309	R 9	240,030	10	2,540
(R 1 3/8)	44,323	11	2,309	R 10	265,430	10	2,540
R 1 1/2	47,803	11	2,309	R 11	290,830	8	3,175
R 1 3/4	53,746	11	2,309	R 12	316,230	8	3,175
R 2	59,614	11	2,309	R 13	347,472	8	3,175
R 2 1/4	65,710	11	2,309	R 14	372,872	8	3,175
R 2 1/2	75,184	11	2,309	R 15	398,272	8	3,175
R 2 3/4	81,534	11	2,309	R 16	423,672	8	3,175
R 3	87,884	11	2,309	R 17	449,072	8	3,175
R 3 1/4	93,980	11	2,309	R 18	474,472	8	3,175

\* Oznaka (nazivni promjer) daje približan unutarnji promjer cijevi u (napuštenim) colima. — Treba se po mogućnosti kloniti dimenzija u zagradama.

**Trapezni navoji**  
(JUS M.B0.060 — 1977)

**Profil trapeznih navoja**



Korak navoja  $P$   
Dubina osnovnoga profila navoja  
(= nosiva dubina)  
 $H_1 = 0,5 P$   
Nazivna dubina navoja  
— vijka  $h_3 = H_1 + a_c$   
— matice  $H_4 = H_1 + a_c$   
Zračnost  $a_c$   
Zaobljenost  
— na tjemenu  $R_1$   
— u korijenu  $R_2$

**Mjere profila trapeznoga navoja (mm)**

$P$	$H_1$	$a_c$	$h_3 = H_4$	$R_{1max}$	$R_{2max}$	$P$	$H_1$	$a_c$	$h_3 = H_4$	$R_{1max}$	$R_{2max}$
1,5	0,75	0,15	0,9	0,075	0,15	14	7	1	8	0,5	1
2	1	0,25	1,25	0,125	0,25	16	8	1	9	0,5	1
3	1,5	0,25	1,75	0,125	0,25	18	9	1	10	0,5	1
4	2	0,25	2,25	0,125	0,25	20	10	1	11	0,5	1
5	2,5	0,25	2,75	0,125	0,25	22	11	1	12	0,5	1
6	3	0,5	3,5	0,25	0,5	24	12	1	13	0,5	1
7	3,5	0,5	4	0,25	0,5	28	14	1	15	0,5	1
8	4	0,5	4,5	0,25	0,5	32	16	1	17	0,5	1
9	4,5	0,5	5	0,25	0,5	36	18	1	19	0,5	1
10	5	0,5	5,5	0,25	0,5	40	20	1	21	0,5	1
12	6	0,5	6,5	0,25	0,5	44	22	1	23	0,5	1

Veliki promjer navoja — vijka  $d$  ( $= D$ )

— matice  $D_4 = d + 2a_c$

Mali promjer navoja — vijka  $d_3 = d - 2h_3$

— matice  $D_1 = d - 2H_1$  ( $= d_1$ )

Srednji promjer navoja  $d_2 = D_2 = d - H_1$

Presjek jezgre  $A = d_3^2 \pi / 4$

**Viševojni trapezni navoji**

Korak navoja  $P$   $n$ -vojnih navoja veći je  $n$ -puta od koraka jednojednog navoja, dok sve druge mjere ostaju nepromijenjene.

\*

Trapezne navoje upotrebljavamo posebno za radna vretena.  
Mjere standardiziranih trapeznih navoja su na str. 521 do 523.

**Trapezni navoji (JUS M.B0.061/062 — 1977)**

Oznaka*	$P$ mm	$d$ mm	$d_2 = D_2$ mm	$d_1$ mm	$D_1$ mm	$D_4$ mm	$A$ mm <sup>2</sup>
Tr 8 × 1,5	1,5	8	7,25	6,2	6,5	8,3	30,2
Tr 9 × 2	2	9	8	6,5	7	9,5	33,2
Tr 10 × 1,5	1,5	10	9,25	8,2	8,5	10,3	52,8
Tr 10 × 2	2	10	9	7,5	8	10,5	44,2
Tr 11 × 2	2	11	10	8,5	9	11,5	56,7
Tr 12 × 2	2	12	11	9,5	10	12,5	70,9
Tr 12 × 3	3	12	10,5	8,5	9	12,5	56,7
Tr 14 × 3	3	14	12,5	10,5	11	14,5	86,6
Tr 16 × 2	2	16	15	13,5	14	16,5	143
Tr 16 × 4	4	16	14	11,5	12	16,5	104
Tr 18 × 4	4	18	16	13,5	14	18,5	143
Tr 20 × 2	2	20	19	17,5	18	20,5	241
Tr 20 × 4	4	20	18	15,5	16	20,5	189
Tr 22 × 5	5	22	19,5	16,5	17	22,5	214
Tr 24 × 3	3	24	22,5	20,5	21	24,5	330
Tr 24 × 5	5	24	21,5	18,5	19	24,5	269
Tr 24 × 8	8	24	20	15	16	25	177
Tr 26 × 5	5	26	23,5	20,5	21	26,5	330
Tr 28 × 3	3	28	26,5	24,5	25	28,5	471
Tr 28 × 5	5	28	25,5	22,5	23	28,5	398
Tr 28 × 8	8	28	24	19	20	29	284
Tr 30 × 6	6	30	27	23	24	31	415
Tr 32 × 3	3	32	30,5	28,5	29	32,5	638
Tr 32 × 6	6	32	29	25	26	33	491
Tr 32 × 10	10	32	27	21	22	33	346
Tr 34 × 6	6	34	31	27	28	35	573
Tr 36 × 3	3	36	34,5	32,5	33	36,5	830
Tr 36 × 6	6	36	33	29	30	37	661
Tr 36 × 10	10	36	31	25	26	37	491
Tr 38 × 7	7	38	34,5	30	31	39	707
Tr 40 × 3	3	40	38,5	36,5	37	40,5	1046
Tr 40 × 7	7	40	36,5	32	33	41	804
Tr 40 × 10	10	40	35	29	30	41	661
Tr 42 × 7	7	42	38,5	34	35	43	908
Tr 44 × 3	3	44	42,5	40,5	41	44,5	1288
Tr 44 × 7	7	44	40,5	36	37	45	1018
Tr 44 × 10	10	44	38	31	32	45	755
Tr 46 × 8	8	46	42	37	38	47	1075

\* Uzeti su u obzir svi navoji prve prednosti (debelo tiskani), od navoja druge prednosti samo oni s prednosnim korakom.

*Trapezni navoji (nastavak)*

Oznaka*	P mm	d mm	d <sub>2</sub> = D <sub>2</sub> mm	d <sub>3</sub> mm	D <sub>1</sub> mm	D <sub>4</sub> mm	A mm <sup>2</sup>
Tr 48 × 3	3	48	46,5	44,5	45	48,5	1 555
Tr 48 × 8	8	48	44	39	40	49	1 195
Tr 48 × 12	12	48	42	35	36	49	962
Tr 50 × 8	8	50	46	41	42	51	1 320
Tr 52 × 3	3	52	50,5	48,5	49	52,5	1 847
Tr 52 × 8	8	52	48	43	44	53	1 452
Tr 52 × 12	12	52	46	39	40	53	1 195
Tr 55 × 9	9	55	50,5	45	46	56	1 590
Tr 60 × 3	3	60	58,5	56,5	57	60,5	2 507
Tr 60 × 9	9	60	55,5	50	51	61	1 963
Tr 60 × 14	14	60	53	44	46	62	1 521
Tr 65 × 10	10	65	60	54	55	66	2 290
Tr 70 × 4	4	70	68	65,5	66	70,5	3 370
Tr 70 × 10	10	70	65	59	60	71	2 734
Tr 70 × 16	16	70	62	52	54	72	2 124
Tr 75 × 10	10	75	70	64	65	76	3 217
Tr 80 × 4	4	80	78	75,5	76	80,5	4 477
Tr 80 × 10	10	80	75	69	70	81	3 739
Tr 80 × 16	16	80	72	62	64	82	3 019
Tr 85 × 12	12	85	79	72	73	86	4 072
Tr 90 × 4	4	90	88	85,5	86	90,5	5 741
Tr 90 × 12	12	90	84	77	78	91	4 657
Tr 90 × 18	18	90	81	70	72	92	3 848
Tr 95 × 12	12	95	89	82	83	96	5 281
Tr 100 × 4	4	100	98	95,5	96	100,5	7 163
Tr 100 × 12	12	100	94	87	88	101	5 945
Tr 100 × 20	20	100	90	78	80	102	4 778
(Tr 105 × 12)	12	105	99	92	93	106	6 648
Tr 110 × 12	12	110	104	97	98	111	7 390
(Tr 115 × 14)	14	115	108	99	101	117	7 698
Tr 120 × 6	6	120	117	113	114	121	10 029
Tr 120 × 14	14	120	113	104	106	122	8 495
Tr 120 × 22	22	120	109	96	98	122	7 238
(Tr 125 × 14)	14	125	118	109	111	127	9 331
Tr 130 × 14	14	130	123	114	116	132	10 207
(Tr 135 × 14)	14	135	128	119	121	137	11 122
Tr 140 × 6	6	140	137	133	134	141	13 893
Tr 140 × 14	14	140	133	124	126	142	12 076
Tr 140 × 24	24	140	128	114	116	142	10 207

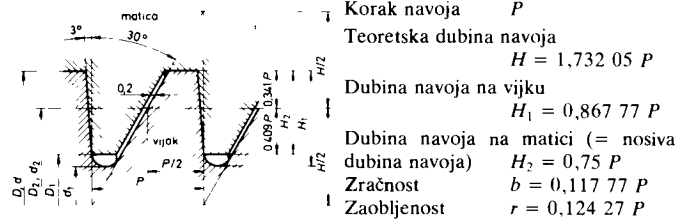
\* Uzeti su u obzir svi navoji prve prednosti (debelo tiskani), od navoja druge prednosti samo oni s prednosnim korakom.

Oznaka*	P mm	d mm	d <sub>2</sub> = D <sub>2</sub> mm	d <sub>3</sub> mm	D <sub>1</sub> mm	D <sub>4</sub> mm	A mm <sup>2</sup>
(Tr 145 × 14)	14	145	138	129	131	147	13 070
Tr 150 × 16	16	150	142	132	134	152	13 685
(Tr 155 × 16)	16	155	147	137	139	157	14 741
Tr 160 × 6	6	160	157	153	154	161	18 385
Tr 160 × 16	16	160	152	142	144	162	15 837
Tr 160 × 28	28	160	146	130	132	162	13 273
(Tr 165 × 16)	16	165	157	147	149	167	16 972
Tr 170 × 16	16	170	162	152	154	172	18 146
(Tr 175 × 16)	16	175	167	157	159	177	19 359
Tr 180 × 8	8	180	176	171	172	181	22 966
Tr 180 × 18	18	180	171	160	162	182	20 106
Tr 180 × 28	28	180	166	150	152	182	17 671
(Tr 185 × 18)	18	185	176	165	167	187	21 382
Tr 190 × 18	18	190	181	170	172	192	22 698
(Tr 195 × 18)	18	195	186	175	177	197	24 053
Tr 200 × 8	8	200	196	191	192	201	28 652
Tr 200 × 20	20	200	191	180	182	202	25 447
Tr 200 × 33	33	200	184	166	168	202	21 642
Tr 210 × 20	20	210	200	188	190	212	27 759
Tr 220 × 8	8	220	216	211	212	221	34 967
Tr 220 × 20	20	220	210	198	200	222	30 791
Tr 220 × 36	36	220	202	182	184	222	26 016
Tr 230 × 20	20	230	220	208	210	232	33 979
Tr 240 × 8	8	240	236	231	232	241	41 910
Tr 240 × 22	22	240	229	216	218	242	36 644
Tr 240 × 36	36	240	222	202	204	242	32 047
Tr 250 × 22	22	250	239	226	228	252	40 115
Tr 260 × 12	12	260	254	247	248	261	47 916
Tr 260 × 22	22	260	249	236	238	262	43 744
Tr 260 × 40	40	260	240	218	220	262	37 325
Tr 270 × 24	24	270	258	244	246	272	46 759
Tr 280 × 12	12	280	274	267	268	281	55 990
Tr 280 × 24	24	280	268	254	256	282	50 671
Tr 280 × 40	40	280	260	238	240	282	44 488
Tr 290 × 24	24	290	278	264	266	292	54 739
Tr 300 × 12	12	300	294	287	288	301	64 692
Tr 300 × 24	24	300	288	274	276	302	58 965
Tr 300 × 44	44	300	278	254	256	302	50 671

\* Uzeti su u obzir svi navoji prve prednosti (debelo tiskani), od navoja druge prednosti samo oni s prednosnim korakom.

**Pilasti navoji**  
(JUS M.B0.070 – 1981)

*Profil pilastih navoja*



*Mjere profila pilastog navoja (mm)*

P	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	b	r	P	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	b	r
2	1,736	1,5	0,236	0,249	16	13,884	12	1,884	1,988
3	2,603	2,25	0,353	0,373	18	15,620	13,5	2,120	2,237
4	3,471	3	0,471	0,497	20	17,355	15	2,355	2,485
5	4,339	3,75	0,589	0,621	22	19,091	16,5	2,591	2,734
6	5,207	4,5	0,707	0,746	24	20,826	18	2,826	2,982
7	6,074	5,25	0,824	0,870	26	22,562	19,5	3,062	3,231
8	6,942	6	0,942	0,994	28	24,298	21	3,298	3,480
9	7,810	6,75	1,060	1,118	32	27,769	24	3,769	3,977
10	8,678	7,5	1,178	1,243	36	31,240	27	4,240	4,474
12	10,413	9	1,413	1,491	40	34,711	30	4,711	4,971
14	12,149	10,5	1,649	1,740	44	38,182	33	5,182	5,468

Veliki promjer navoja – vijka  $d$

– matice  $D = d$

Mali promjer navoja – vijka  $d_1 = d - 2H_1$

– matice  $D_1 = D - 2H_2$

Srednji promjer  $d_2 = d + 1,050\ 14\ P - H$   
 $= D_1 - 0,913\ 96\ P + H$

Presjek jezgre  $A = d_1^2 \pi / 4$

*Viševojni pilasti navoji*

Korak navoja  $P$   $n$ -vojnih pilastih navoja veći je  $n$ -puta od koraka jednovojnog navoja, dok sve druge mjere navoja ostaju nepromijenjene.

\*

Pilasti navoj upotrebljavamo za vretena koja mnogo rade, a prenose velike sile, ali samo u jednom smislu.

Razlikujemo tri prednosna stupnja pilastog navoja: prvi je za običajnu upotrebu, drugi za posebne slučajeve, a treći još samo u starim konstrukcijama.

**Pilasti navoji prve prednosti**

Oznaka*	P mm	d mm	d <sub>1</sub> mm	d <sub>2</sub> mm	D mm	D <sub>1</sub> mm	A mm <sup>2</sup>
<b>S 10 × 2</b>	2	10	6,528	8,636	10	7	33,5
<b>S 12 × 2</b>	2	12	8,528	10,636	12	9	57,1
<b>S 12 × 3</b>	3	12	6,794	9,954	12	7,5	36,3
S 16 × 2	2	16	12,528	14,636	16	13	123
<b>S 16 × 4</b>	4	16	9,058	13,272	16	10	64,4
S 20 × 2	2	20	16,528	18,636	20	17	215
<b>S 20 × 4</b>	4	20	13,058	17,272	20	14	134
S 24 × 3	3	24	18,794	21,954	24	19,5	277
<b>S 24 × 5</b>	5	24	15,322	20,590	24	16,5	184
S 24 × 8	8	24	10,116	18,545	24	12	80,4
S 28 × 3	3	28	22,794	25,954	28	23,5	408
<b>S 28 × 5</b>	5	28	19,322	24,590	28	20,5	293
S 28 × 8	8	28	14,116	22,545	28	16	156
S 32 × 3	3	32	26,794	29,954	32	27,5	564
<b>S 32 × 6</b>	6	32	21,586	27,909	32	23	370
S 32 × 10	10	32	14,644	25,181	32	17	168
S 36 × 3	3	36	30,794	33,954	36	31,5	745
<b>S 36 × 6</b>	6	36	25,586	31,909	36	27	514
S 36 × 10	10	36	18,644	29,181	36	21	273
S 40 × 3	3	40	34,794	37,954	40	35,5	951
<b>S 40 × 7</b>	7	40	27,852	35,227	40	29,5	609
S 40 × 10	10	40	22,644	33,181	40	25	403
S 44 × 3	3	44	38,794	41,954	44	39,5	1 182
<b>S 44 × 7</b>	7	44	31,852	39,227	44	33,5	797
S 44 × 12	12	44	23,174	35,817	44	26	422
S 48 × 3	3	48	42,794	45,954	48	43,5	1 438
<b>S 48 × 8</b>	8	48	34,116	42,545	48	36	914
S 48 × 12	12	48	27,174	39,817	48	30	580
S 52 × 3	3	52	46,794	49,954	52	47,5	1 720
<b>S 52 × 8</b>	8	52	38,116	46,545	52	40	1 141
S 52 × 12	12	52	31,174	43,817	52	34	763
S 60 × 3	3	60	54,794	57,954	60	55,5	2 358
<b>S 60 × 9</b>	9	60	44,380	53,863	60	46,5	1 547
S 60 × 14	14	60	35,702	50,453	60	39	1 001
S 70 × 4	4	70	63,058	67,272	70	64	3 123
<b>S 70 × 10</b>	10	70	52,644	63,181	70	55	2 177
S 70 × 16	16	70	42,232	59,089	70	46	1 401

\* Upotrebljavati treba u prvom redu debelo označene navoje

Pilasti navoji prve prednosti (nastavak)

Oznaka*	P mm	d mm	d <sub>1</sub> mm	d <sub>2</sub> mm	D mm	D <sub>1</sub> mm	A mm <sup>2</sup>
S 80 × 4	4	80	73,058	77,272	80	74	4 192
<b>S 80 × 10</b>	10	80	62,644	73,181	80	65	3 082
S 80 × 16	16	80	52,232	69,089	80	56	2 143
S 90 × 4	4	90	83,058	87,272	90	84	5 418
<b>S 90 × 12</b>	12	90	69,174	81,817	90	72	3 758
S 90 × 18	18	90	58,760	77,726	90	63	2 712
S 100 × 4	4	100	93,058	97,272	100	94	6 801
<b>S 100 × 12</b>	12	100	79,174	91,817	100	82	4 923
S 100 × 20	20	100	65,290	86,362	100	70	3 348
S 120 × 6	6	120	109,586	115,909	120	111	9 432
<b>S 120 × 14</b>	14	120	95,702	110,453	120	99	7 193
S 120 × 22	22	120	81,818	104,998	120	87	5 258
S 140 × 6	6	140	129,586	135,909	140	131	13 189
<b>S 140 × 14</b>	14	140	115,702	130,453	140	119	10 514
S 140 × 24	24	140	98,348	123,634	140	104	7 597
S 160 × 6	6	160	149,586	155,909	160	151	17 574
<b>S 160 × 16</b>	16	160	132,232	149,089	160	136	13 733
S 160 × 28	28	160	111,404	140,907	160	118	9 747
S 180 × 8	8	180	166,116	174,545	180	168	21 673
<b>S 180 × 18</b>	18	180	148,760	167,726	180	153	17 381
S 180 × 28	28	180	131,404	160,907	180	138	13 562
S 200 × 8	8	200	186,116	194,545	200	188	27 206
<b>S 200 × 18</b>	18	200	168,760	187,726	200	173	22 368
S 200 × 32	32	200	144,462	178,179	200	152	16 391
S 220 × 8	8	220	206,116	214,545	220	208	33 367
<b>S 220 × 20</b>	20	220	185,290	206,362	220	190	26 965
S 220 × 36	36	220	157,520	195,451	220	166	19 488
S 240 × 8	8	240	226,116	234,545	240	228	40 156
<b>S 240 × 22</b>	22	240	201,818	224,998	240	207	31 990
S 240 × 36	36	240	177,520	215,451	240	186	24 751
S 260 × 12	12	260	239,174	251,817	260	242	44 928
<b>S 260 × 22</b>	22	260	221,818	244,998	260	227	38 644
S 260 × 40	40	260	190,578	232,724	260	200	28 526
S 280 × 12	12	280	259,174	271,817	280	262	52 756
<b>S 280 × 24</b>	24	280	238,348	263,634	280	244	44 618
S 280 × 40	40	280	210,578	252,724	280	220	34 827
S 300 × 12	12	300	279,174	291,817	300	282	61 213
<b>S 300 × 24</b>	24	300	258,348	283,634	300	264	52 420
S 300 × 44	44	300	223,636	269,996	300	234	39 280

\* Upotrebljavati treba u prvom redu debelo označene navoje

Pilasti navoji prve prednosti

Oznaka	P mm	d mm	d <sub>1</sub> mm	d <sub>2</sub> mm	D mm	D <sub>1</sub> mm	A mm <sup>2</sup>
S 340 × 12	12	340	319,174	331,817	340	322	80 010
S 340 × 44	44	340	263,636	309,996	340	274	54 588
S 380 × 12	12	380	359,174	371,817	380	362	101 321
S 420 × 18	18	420	388,760	407,726	420	393	118 701
S 460 × 18	18	460	428,760	447,726	460	433	144 384
S 500 × 18	18	500	468,760	487,726	500	473	172 580
S 540 × 24	24	540	498,348	523,634	540	504	195 053
S 580 × 24	24	580	538,348	563,634	580	544	227 622
S 620 × 24	24	620	578,348	603,634	620	584	262 704

Pilasti navoji druge prednosti\*

<b>S 14 × 2</b>	S 38 × 3	S 75 × 4	S 170 × 6	S 290 × 12
<b>S 14 × 3</b>	<b>S 38 × 7</b>	<b>S 75 × 10</b>	<b>S 170 × 16</b>	<b>S 290 × 24</b>
	S 38 × 10	S 75 × 16	S 170 × 28	S 290 × 44
S 18 × 2	S 42 × 3	S 85 × 4	S 190 × 8	S 320 × 12
<b>S 18 × 4</b>	<b>S 42 × 7</b>	<b>S 85 × 12</b>	<b>S 190 × 18</b>	
	S 42 × 10	S 85 × 18	S 190 × 32	S 320 × 44
S 22 × 3	S 46 × 3	S 95 × 4	S 210 × 8	S 360 × 12
<b>S 22 × 5</b>	<b>S 46 × 8</b>	<b>S 95 × 12</b>	<b>S 210 × 20</b>	
S 22 × 8	S 46 × 12	S 95 × 18	S 210 × 36	S 400 × 12
S 26 × 3	S 50 × 3	S 110 × 4	S 230 × 8	S 440 × 18
<b>S 26 × 5</b>	<b>S 50 × 8</b>	<b>S 110 × 12</b>	<b>S 230 × 20</b>	
S 26 × 8	S 50 × 12	S 110 × 20	S 230 × 36	S 480 × 18
S 30 × 3	S 55 × 3	S 130 × 6	S 250 × 12	S 520 × 24
<b>S 30 × 6</b>	<b>S 55 × 9</b>	<b>S 130 × 14</b>	<b>S 250 × 22</b>	
S 30 × 10	S 50 × 14	S 130 × 22	S 250 × 40	S 560 × 24
S 34 × 3	S 65 × 4	S 150 × 6	S 270 × 12	S 600 × 24
<b>S 34 × 6</b>	<b>S 65 × 10</b>	<b>S 150 × 16</b>	<b>S 270 × 24</b>	
S 34 × 10	S 65 × 16	S 150 × 24	S 270 × 40	S 640 × 24

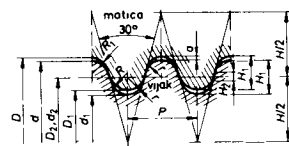
Pilasti navoji treće prednosti\*

S 105 × 4	S 125 × 6	S 145 × 6	S 165 × 6	S 185 × 8
<b>S 105 × 12</b>	<b>S 125 × 14</b>	<b>S 145 × 14</b>	<b>S 165 × 16</b>	<b>S 185 × 18</b>
S 105 × 20	S 125 × 22	S 145 × 24	S 165 × 28	S 185 × 32
S 115 × 6	S 135 × 6	S 155 × 6	S 175 × 8	S 195 × 8
<b>S 115 × 14</b>	<b>S 135 × 14</b>	<b>S 155 × 16</b>	<b>S 175 × 16</b>	<b>S 195 × 18</b>
S 115 × 22	S 135 × 24	S 155 × 24	S 175 × 28	S 195 × 32

\* Upotrebljavati treba u prvom redu debelo označene navoje

**Obli navoju**  
(JUS M.B0.081 — 1952)

Profil obli navoja



Broj navoja na 25,4 mm  $n$   
 Korak navoja (mm)  $P = 25,4/n$   
 Teoretska dubina navoja  $H = 1,866\ 03\ P$   
 Dubina navoja vijka i matice  $H_1 = 0,5\ P$   
 Nosiva dubina navoja  $H_2 = 0,083\ 50\ P$   
 Zračnost  $a = 0,05\ P$   
 Zaobljenost — vijka  $r = 0,238\ 51\ P$   
 — matice  $R = 0,255\ 97\ P$   
 $R_1 = 0,221\ 05\ P$

Mjere profila oblog navoja (mm)

$n$	$P$ mm	$H_1$ mm	$H_2$ mm	$r$ mm	$R$ mm	$R_1$ mm	$a$ mm
10	2,540	1,270	0,212	0,606	0,650	0,561	0,127 00
8	3,175	1,588	0,265	0,757	0,813	0,702	0,158 75
6	4,233	2,117	0,353	1,010	1,084	0,936	0,211 65
4	6,350	3,175	0,530	1,515	1,625	1,404	0,317 50

Veliki promjer navoja — vijka  $d$   
 — matice  $D = d + 2a$   
 Mali promjer navoja — vijka  $d_1 = d - 2H_1$   
 — matice  $D_1 = D - 2H_1$   
 Srednji promjer  $d_2 = d - H_1 = d_1 + H_1$   
 Presjek jezgre  $A = d_1^2 \pi / 4$

Obli normalni navoju (JUS M.B0.081 — 1952)

Oznaka	$n$	$P$ mm	$d$ mm	$d_1$ mm	$d_2$ mm	$D$ mm	$D_1$ mm	$A$ mm <sup>2</sup>
Rd 8 × 1/10	10	2,540	8	5,460	6,730	8,254	5,714	23,4
Rd 9 × 1/10	10	2,540	9	6,460	7,730	9,254	6,714	32,8
Rd 10 × 1/10	10	2,540	10	7,460	8,730	10,254	7,714	43,7
Rd 11 × 1/10	10	2,540	11	8,460	9,730	11,254	8,714	56,2
Rd 12 × 1/10	10	2,540	12	9,460	10,730	12,254	9,714	70,3
Rd 14 × 1/8	8	3,175	14	10,825	12,412	14,318	11,142	92,0
Rd 16 × 1/8	8	3,175	16	12,825	14,412	16,318	13,142	129
Rd 18 × 1/8	8	3,175	18	14,825	16,412	18,318	15,142	172
Rd 20 × 1/8	8	3,175	20	16,825	18,412	20,318	17,142	222
Rd 22 × 1/8	8	3,175	22	18,825	20,412	22,318	19,142	278
Rd 24 × 1/8	8	3,175	24	20,825	22,412	24,318	21,142	340
Rd 26 × 1/8	8	3,175	26	22,825	24,412	26,318	23,142	409
Rd 28 × 1/8	8	3,175	28	24,825	26,412	28,318	25,142	484
Rd 30 × 1/8	8	3,175	30	26,825	28,412	30,318	27,142	565
Rd 32 × 1/8	8	3,175	32	28,825	30,412	32,318	29,142	652
Rd 36 × 1/8	8	3,175	36	32,825	34,412	36,318	33,142	846
Rd 40 × 1/6	6	4,233	40	35,767	37,883	40,423	36,190	1 005
Rd 44 × 1/6	6	4,233	44	39,767	41,883	44,423	40,190	1 242
Rd 48 × 1/6	6	4,233	48	43,767	45,883	48,423	44,190	1 505
Rd 52 × 1/6	6	4,233	52	47,767	49,883	52,423	48,190	1 792

Obli normalni navoju (nastavak)

Oznaka	$n$	$P$ mm	$d$ mm	$d_1$ mm	$d_2$ mm	$D$ mm	$D_1$ mm	$A$ mm <sup>2</sup>
Rd 55 × 1/6	6	4,233	55	50,767	52,883	55,423	51,190	2 024
Rd 60 × 1/6	6	4,233	60	55,767	57,883	60,423	56,190	2 443
Rd 65 × 1/6	6	4,233	65	60,767	62,883	65,423	61,190	2 900
Rd 70 × 1/6	6	4,233	70	65,767	67,883	70,423	66,190	3 397
Rd 75 × 1/6	6	4,233	75	70,767	72,883	75,423	71,190	3 933
Rd 80 × 1/6	6	4,233	80	75,767	77,883	80,423	76,190	4 509
Rd 85 × 1/6	6	4,233	85	80,767	82,883	85,423	81,190	5 123
Rd 90 × 1/6	6	4,233	90	85,767	87,883	90,423	86,190	5 777
Rd 95 × 1/6	6	4,233	95	90,767	92,883	95,423	91,190	6 471
Rd 100 × 1/6	6	4,233	100	95,767	97,883	100,423	96,190	7 203
Rd 110 × 1/4	4	6,350	110	103,650	106,825	110,635	104,285	8 438
Rd 120 × 1/4	4	6,350	120	113,650	116,825	120,635	114,285	10 145
Rd 130 × 1/4	4	6,350	130	123,650	126,825	130,635	124,285	12 008
Rd 140 × 1/4	4	6,350	140	133,650	136,825	140,635	134,285	14 029
Rd 150 × 1/4	4	6,350	150	143,650	146,825	150,635	144,285	16 207
Rd 160 × 1/4	4	6,350	160	153,650	156,825	160,635	154,285	18 542
Rd 170 × 1/4	4	6,350	170	163,650	166,825	170,635	164,285	21 034
Rd 180 × 1/4	4	6,350	180	173,650	176,825	180,635	174,285	23 683
Rd 190 × 1/4	4	6,350	190	183,650	186,825	190,635	184,285	26 489
Rd 200 × 1/4	4	6,350	200	193,650	196,825	200,635	194,285	29 453

Obli grubi navoj za željeznička vozila (JUS M.B0.082 — 1952)

Profil se toga navoja razlikuje od profila normalnoga oblog navoja time što mu kut nosivih površina teoretskog profila iznosi 15° 56'.

Dimenzije grubog oblog navoja:

$P = 7\text{ mm}$ ,  $H_1 = 4,5\text{ mm}$ ,  $r = 1,65\text{ mm}$ ,  $R = 1,55\text{ mm}$ ,  $R_1 = 1,75\text{ mm}$

Oznaka	$d$ mm	$d_1$ mm	$d_2$ mm	$D$ mm	$D_1$ mm	$D_2$ mm	$A$ mm <sup>2</sup>
Rd 34 × 7	34	25	29,5	34,4	25,4	31,143	491
Rd 39 × 7	39	30	34,5	39,4	30,4	36,143	707
Rd 44 × 7	44	35	39,5	44,4	35,4	41,143	962
Rd 49 × 7	49	40	44,5	49,4	40,4	46,143	1 256
Rd 54 × 7	54	45	49,5	54,4	45,4	51,143	1 590
Rd 59 × 7	59	50	54,5	59,4	50,4	56,143	1 963
Rd 64 × 7	64	55	59,5	64,4	55,4	61,143	2 376
Rd 69 × 7	69	60	64,5	69,4	60,4	66,143	2 827
Rd 74 × 7	74	65	69,5	74,4	65,4	71,143	3 318
Rd 79 × 7	79	70	74,5	79,4	70,4	76,143	3 848

Obli navoj za željezničke spojke (JUS M.B0.083 — 1952)

Profil toga navoja u principu je isti kao u normalnoga oblog navoja s promjerom vijka 50 mm i korakom navoja 7 mm:

Oznaka: Rd 50 × 7 (odn. Rd 50 × 7 lijevi)

Dimenzije:

$P = 7\text{ mm}$   $r = 1,67\text{ mm}$   $d = 50\text{ mm}$   $D = 50,6\text{ mm}$

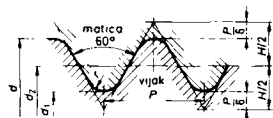
$H_1 = 3,5\text{ mm}$   $R = 1,635\text{ mm}$   $d_1 = 43\text{ mm}$   $D_1 = 43,6\text{ mm}$

$H_2 = 0,75\text{ mm}$   $R_1 = 1,704\text{ mm}$   $d_2 = 46,5\text{ mm}$   $D_2 = 47,3\text{ mm}$

( $D_2$  je srednji promjer matice.)

### Navoji za bicikle (JUS M.B0.95 — 1957)

#### Profil navoja

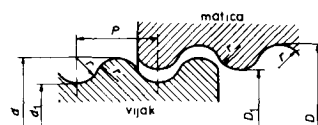


Broj navoja na 25,4 mm  $n$   
 Korak navoja (mm)  $P = 25,4/n$   
 Dubina navoja  $H_1 = 0,5327 P$   
 Zaobljenost  $r = P/6$   
 Veliki promjer  $d$   
 Srednji promjer  $d_2 = d - H_1$   
 Mali promjer  $d_1 = d - 2H_1$

Oznaka	$d$ mm	$n$	$P$ mm	$H_1$ mm	$r$ mm	$d_2$ mm	$d_1$ mm
Bi $7/8$	9,525	26	0,977	0,520	0,163	9,004	8,484
Bi 0,415	10,550	26	0,977	0,520	0,163	10,029	9,509
Bi $9/16$	14,288	20	1,270	0,677	0,212	13,611	12,934
Bi 1,29	32,766	24	1,058	0,564	0,176	32,202	31,638
Bi 1,37	34,798	24	1,058	0,564	0,176	34,234	33,670

### Edisonovi navoji (JUS M.B0.086 — 1952)

#### Profil navoja



Broj navoja na 25,4 mm  $n$   
 Korak navoja (mm)  $P = 25,4/n$   
 Zaobljenost  $r$   
 Veliki promjer vijka  $d$   
 Mali promjer vijka  $d_1$   
 Veliki promjer matice  $D$   
 Mali promjer matice  $D_1$

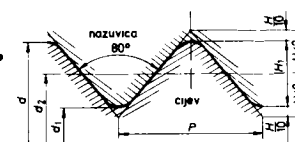
Oznaka	$n$	$P$ mm	$r$ mm	$d^*$ mm	$d_1^*$ mm	$D^*$ mm	$D_1^*$ mm
E 10	14	1,814	0,531	9,53	8,51	9,78	8,76
				9,36	8,34	9,61	8,59
E 14	9	2,822	0,822	13,89	12,29	14,16	12,56
				13,70	12,10	13,97	12,37
E 27	7	3,629	1,025	26,45	24,26	26,85	24,66
				26,15	23,96	26,55	24,36
E 33	6	4,233	1,187	33,05	30,45	33,55	30,95
				32,65	30,05	33,15	30,55
E 40	4	6,350	1,850	39,50	35,90	40,05	36,45
				39,05	35,45	39,60	36,00

\* Gornji i donji brojevi označuju granične vrijednosti.

### Navoji za oklopne cijevi

(JUS M.B0.090 — 1952)

#### Profil navoja



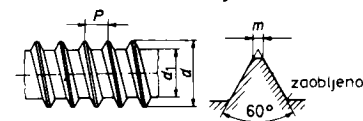
Broj navoja na 25,4 mm  $n$   
 Korak navoja (mm)  $P = 25,4/n$   
 Teoretska dubina navoja  $H = 0,595875 P$   
 Stvarna dubina navoja  $H_1 = 0,4767 P$   
 Zaobljenost  $r = 0,107 P$   
 Veliki promjer navoja  $d$   
 Mali promjer navoja  $d_1 = d - 2H_1$   
 Srednji promjer navoja  $d_2 = d - H_1$

Oznaka	$n$	$P$ mm	$d$ mm	$d_1$ mm	$d_2$ mm	$H_1$ mm	$r$ mm
Re 7	20	1,27	12,50	11,28	11,89	0,61	0,14
Re 9	18	1,41	15,20	13,86	14,53	0,67	0,15
Re 11	18	1,41	18,60	17,26	17,93	0,67	0,15
Re 13,5	18	1,41	20,40	19,06	19,73	0,67	0,15
Re 16	18	1,41	22,50	21,16	21,83	0,67	0,15
Re 21	16	1,588	28,30	26,78	27,54	0,76	0,17
Re 29	16	1,588	37,00	35,48	36,24	0,76	0,17
Re 36	16	1,588	47,00	45,48	46,24	0,76	0,17
Re 42	16	1,588	54,00	52,48	53,24	0,76	0,17
Re 48	16	1,588	59,30	57,78	58,54	0,76	0,17

### Navoji samoreznih vijaka

(JUS M.B0.100 — 1983)

#### Profil navoja



Veliki promjer  $d$   
 Mali promjer  $d_1$   
 Korak navoja  $P$   
 Širina vrha navoja  $m$

Oznaka	$d$ mm	$d_1$ mm	$P$ mm	$m$ mm	Oznaka	$d$ mm	$d_1$ mm	$P$ mm	$m$ mm
NI 2,2	2,2	1,6	0,79	0,1	NI 4,8	4,8	3,6	1,59	0,15
NI 2,9	2,9	2,2	1,06	0,1	NI 5,5	5,5	4,2	1,81	0,15
NI 3,5	3,5	2,6	1,27	0,1	NI 6,3	6,3	4,9	1,81	0,15
NI 3,9	3,9	2,9	1,34	0,1	NI 8	8	6,2	2,12	0,15
NI 4,2	4,2	3,1	1,41	0,1	NI 9,6	9,6	7,8	2,12	0,15



## DOPUŠTENA NAPREZANJA

U konstrukcijama se ne smiju pojaviti trajne plastične deformacije, već mora sva konstrukcija stalno ostati u području elastičnih deformacija. To znači, da dopuštena naprezanja u materijalu ne smiju prijeći granicu elastičnosti. No, zbog sigurnosti (u slučaju pojavljivanja nepredviđenih dodatnih opterećenja, npr. dinamičkih) materijal nećemo naprezati ni do granice elastičnosti. (Iznimke su posebni slučajevi, kada određenom plastičnom deformacijom postignemo djelomično ukrućivanje materijala.)

U praksi su uvedena dopuštena naprezanja, određena koeficijentom sigurnosti  $v$ , tj. omjerom (vlačne) čvrstoće i dopuštenog naprezanja materijala. Taj se koeficijent mijenja – prema zahtijevanoj sigurnosti – od 2 do 10.

Dopušteno naprezanje  $\sigma_{\text{dop}} = R_m/v$

Dopušteno naprezanje ovisi o osnovnim vrstama opterećenja pa razlikujemo dopuštena naprezanja:

na vlak	$\sigma_{\text{dop}}$
na tlak	$-\sigma_{\text{dop}}$
na savijanje	$\sigma_{\text{f dop}}$
na smik (tangencijalno)	$\tau_{\text{s dop}}$
na torziju (uvijanje)	$\tau_{\text{t dop}}$

Dopušteno naprezanje, dakako, veoma ovisi i o posebnim faktorima koji utječu na čvrstoću materijala, napose o koeficijentu oblika te o trajnom (statičkom i dinamičkom) opterećenju (str. 537 do 542).

Za određivanje dopuštenog naprezanja posebno je važno stanje materijala. Zdrav materijal mora biti homogen i ne smije imati unutarnjih grešaka (šupljina, mjehura, nakupina itd.), koje smanjuju nosive presjeka i mogu izazvati znatna zarezna naprezanja.

Osim toga, treba pri određivanju dopuštenog naprezanja uzeti u obzir još i druge okolnosti koje utječu na čvrstoću, kao što je na primjer smanjenje presjeka zbog gubitka materijala pri habanju, koroziji itd.

Za proračunavanje konstrukcijskih dijelova jednostavnih i iskušanih oblika, na koje djeluju potpuno poznata opterećenja, možemo upotrijebiti dopušteno naprezanje koje je iskustvom određeno za slične slučajeve. Tako postupamo u praksi pri proračunu jednostavnih strojnih elemenata uzimajući dopuštena naprezanja prema iskustvu (sabrana u tablicama na str. 533 do 535). Pri proračunu čeličnih konstrukcija uzimamo za njih posebna dopuštena naprezanja (vidi tablicu na str. 536).

Međutim, za sve novo oblikovane konstrukcijske dijelove, napose za komplicirane oblike i opterećenja, takav način proračunavanja nije više dovoljan. U takvim slučajevima treba čvrstoću i dopuštena naprezanja odrediti posebnim studijskim proračunima i ispitivanjima.

## Dopuštena naprezanja najvažnijih kovinskih materijala

U sljedećim tablicama znače:

- $R_{p0,2}$  – (dogovorno) naprezanje tečenja
- $R_m$  – čvrstoću na vlak,
- $\sigma_{\text{Df}}$  – trajnu dinamičku čvrstoću za savijanje (slučaj III),
- $\sigma_{\text{dop}}$  – dopušteno naprezanje na tlak, i to:
- I – pri mirnom opterećenju,
- II – pri kolebanju opterećenja između maksimalne vrijednosti i nule,
- III – pri kolebanju opterećenja između pozitivne i negativne maksimalne vrijednosti.

Sva naprezanja vrijede pri temperaturi okoline.

Oznaka po JUS	$R_{p0,2}$	$R_m$	$\sigma_{\text{Df}}$	I	II	III
N/mm <sup>2</sup>						

### Sivi lijev (JUS C.J2.020 – 1973) – neobrađen

SL 15	–	110 ... 180	60 ... 80	40 ... 55	30 ... 45	25 ... 30
SL 20	–	160 ... 230	75 ... 110	55 ... 70	45 ... 60	25 ... 40
SL 25	–	210 ... 280	100 ... 140	80 ... 100	60 ... 80	40 ... 60
SL 30	–	250 ... 300	110 ... 160	80 ... 110	65 ... 90	40 ... 70

### Temperovani lijev (JUS C.J2.021 – 1958)

BTeL 35	–	320 ... 360	110 ... 140	80 ... 110	50 ... 80	40 ... 50
BTeL 40	200 ... 240	380 ... 410	130 ... 170	90 ... 120	60 ... 90	45 ... 60
CTeL 35	–	350 ... 380	80 ... 110	70 ... 85	40 ... 60	30 ... 40
CTeL 38	200 ... 240	380 ... 400	100 ... 130	80 ... 100	50 ... 75	35 ... 50

### Čelični lijev (JUS C.J3.011 – 1973) – normalno žaren

ČL 0300	180 ... 230	380 ... 450	160 ... 190	100 ... 130	80 ... 110	50 ... 75
ČL 0400	220 ... 280	450 ... 520	180 ... 220	110 ... 160	90 ... 120	60 ... 85
ČL 0500	250 ... 320	520 ... 600	200 ... 240	130 ... 180	100 ... 130	70 ... 95
ČL 0600	280 ... 360	600 ... 700	220 ... 260	140 ... 200	110 ... 150	80 ... 110

### Opći konstrukcijski čelici (JUS C.B0.500 – 1970 i 1972) – normalno žareni

Č. 0261	200 ... 230	340 ... 420	160 ... 200	110 ... 130	90 ... 120	75 ... 95
Č. 0361	220 ... 250	370 ... 450	170 ... 200	120 ... 140	100 ... 130	80 ... 100
Č. 0461	240 ... 280	420 ... 500	190 ... 250	130 ... 150	110 ... 140	90 ... 110
Č. 0561	340 ... 420	520 ... 620	300 ... 350	180 ... 210	140 ... 180	110 ... 150
Č. 0545	280 ... 340	500 ... 600	220 ... 270	150 ... 180	120 ... 160	95 ... 120
Č. 0645	320 ... 380	600 ... 720	280 ... 330	180 ... 210	150 ... 185	105 ... 140
Č. 0745	340 ... 420	700 ... 850	300 ... 380	210 ... 250	160 ... 200	115 ... 170

*Dopuštena naprezanja najvažnijih*

Značenje oznaka naprezanja – vidi str. 533

Oznaka po JUS	$R_{p0,2}$	$R_m$	$\sigma_{Df}$	I	$\sigma_{dop}$ II	III
N/mm <sup>2</sup>						

Čelici za cementiranje (JUS C.B9.020 – 1974) – nakon kaljenja  
(Podaci vrijede za svojstva jezgre pri debljini ispitnog uzorka 15 do 40 mm)

Č. 1120	250... 300	420... 520	220... 280	110... 150	90... 120	70... 90
Č. 1121						
Č. 1220	300... 360	500... 650	250... 300	140... 170	120... 150	90... 110
Č. 1221						
Č. 4120	400... 600	600... 850	300... 360	200... 260	140... 200	120... 170
Č. 4320	600... 800	800... 1100	320... 400	300... 360	230... 320	150... 220
Č. 4321	700... 950	1000... 1300	350... 420	320... 420	260... 360	180... 240
Č. 4721	750... 950	1100... 1450	360... 460	320... 420	250... 350	160... 250
Č. 5420	650... 800	900... 1200	320... 420	300... 380	240... 330	160... 230
Č. 5421	800... 1000	1200... 1450	400... 480	340... 440	270... 370	190... 260

Čelici za poboljšanje (JUS C.B9.021 – 1974) – poboljšani

Č. 1330	300... 380	500... 650	220... 270	140... 170	120... 150	90... 115
Č. 1331						
Č. 1430	330... 450	550... 800	270... 320	170... 200	130... 170	100... 125
Č. 1431						
Č. 1530	360... 500	600... 850	300... 340	190... 220	150... 200	110... 150
Č. 1531						
Č. 1730	440... 600	700... 1000	340... 400	220... 260	170... 240	130... 170
Č. 1731						
Č. 3130	500... 650	750... 1000	360... 480	260... 330	200... 260	160... 230
Č. 4130	550... 800	800... 1050	400... 500	280... 350	220... 280	180... 250
Č. 4131	550... 800	800... 1100	400... 500	300... 360	230... 290	200... 250
Č. 4730	450... 700	700... 1050	320... 400	210... 270	150... 200	130... 180
Č. 4731	550... 800	800... 1100	380... 480	260... 330	200... 250	170... 230
Č. 4732	650... 900	950... 1200	460... 550	300... 380	230... 280	200... 260
Č. 4733	700... 950	1000... 1350	500... 580	320... 380	230... 280	210... 260
Č. 4734	800... 1100	1100... 1450	520... 650	320... 400	240... 300	220... 280
Č. 4830	650... 950	500... 1250	450... 580	310... 380	250... 300	200... 270
Č. 5430	650... 900	950... 1200	480... 580	300... 380	230... 280	200... 260
Č. 5431	700... 950	1000... 1350	500... 600	320... 380	240... 280	210... 260
Č. 5432	800... 1100	1100... 1450	520... 620	320... 400	250... 300	220... 280

*kovinskih materijala (nastavak)*

Sva naprezanja vrijede pri temperaturi okoline.

Oznaka po JUS*	$R_{p0,2}$	$R_m$	$\sigma_{Df}$	I	$\sigma_{dop}$ II	III
N/mm <sup>2</sup>						

Čelici za opruge (JUS C.B0.551 – 1984) – poboljšani

Č. 2133	1100... 1400	1300... 1500	550... 650	720... 880	420... 500	300... 380
Č. 4830	1200... 1600	1350... 1700	580... 700	750... 900	420... 520	320... 400

Aluminijske slitine za lijevanje (JUS C.C2.300 – 1983)

Al Si 12.01	70... 90	140... 200	60... 90	40... 70	30... 60	20... 40
Al Si 12.02	90... 110	150... 200	70... 100	40... 70	30... 60	20... 40
Al Si 6 Cu4.01	100... 150	160... 200	60... 90	40... 70	30... 60	20... 40
Al Si 6 Cu4.02	110... 160	170... 220	70... 100	40... 70	30... 60	20... 40
Al Mg 5 Si.01	90... 100	170... 250	60... 80	40... 70	30... 60	20... 40

Aluminijske slitine za gnječenje (JUS C.C2.100 – 1967)

Al Cu4 Si Mg <sub>u</sub>	80... 140	180... 220	80... 120	50... 90	40... 60	30... 40
	220... 320	280... 450	120... 180	90... 130	60... 90	50... 70
Al Si1 Mg <sub>u</sub>	50... 80	110... 150	50... 70	30... 50	20... 40	20... 30
	150... 210	170... 290	70... 130	60... 110	40... 70	30... 60
Al Mg2 <sub>m</sub>	70... 120	180... 220	70... 120	50... 80	30... 60	30... 50
	140... 180	230... 260	100... 170	70... 110	50... 70	40... 60

Čisti bakar (JUS C.D1.002 – 1972)

Cu – ljevan	70... 120	140... 200	40... 50	30... 40	20... 30	10... 20
– žaren	40... 80	200... 250	80... 110	30... 40	30... 50	20... 40
– vučen	300... 400	380... 440	100... 120	90... 120	40... 60	20... 40

Bakrene slitine za lijevanje (JUS C.D2.300/301 – 1982)

P.CuZn33Pb2.01	60... 80	150... 200	50... 70	20... 40	20... 30	20
K.CuZn40Pb.02	80... 150	250... 350	70... 100	30... 50	20... 40	20... 30

Bakrene slitine za gnječenje (JUS C.D2.100/101/102 – 1982)

CuZn39Pb2 <sub>t</sub>	100... 150	370... 480	130... 170	80... 90	60... 80	50... 60
	120... 160	510... 610	180... 220	120... 150	90... 110	70... 80
CuZn28 <sub>t</sub>	70... 100	250... 300	90... 120	50... 60	40... 50	30... 40
	210... 260	380... 460	140... 180	100... 130	70... 90	50... 60
CuZn10 <sub>m</sub>	70... 100	240... 290	80... 120	50... 60	40... 60	30... 50
	220... 280	350... 430	140... 180	110... 140	70... 90	50... 70
CuSn6	–	360... 420	120... 150	90... 120	70... 90	50... 70

\* Posebne oznake znače: m – meko, t – tvrdo, u – očvrstnuto, h – hladno očvrstnuto.

### Dopušteno naprezanje za čelične konstrukcije

#### Dopušteno naprezanje za kovinske dijelove

Sestavni dio konstrukcije		Dopuštena naprezanja na						Bočni pritisak* $p$	
		vlak $\sigma_{dop}$		tlak $-\sigma_{dop}$		smik $\tau_{dop}$			
		N/mm <sup>2</sup>							
		a	b	a	b	a	b	a	b
Nosaići	od Č.0000 Č.0370	120	120	120	120	96	96		
		140	160	140	160	112	128		
Zakovice u nosaićima	od Č.0246 od Č.0000					120	120	240	240
	od Č.0370					140	160	280	320
Vijci u nosaićima	od Č.0246 od Č.0000					96	96	240	240
	od Č.0370	85	85			112	128	280	320
Temeljni vijci	od Č.0000 Č.0370	85	85						
		100	110						
Dijelovi ležaja i zglobova	od Č.1430	200	220	200	220			950	1200
	ČL.0501	180	200	180	200			850	1000
	SL.15	45	50	100	110			500	600

\* Pod »bočnim pritiskom« podrazumijevamo pritisak zakovice ili vijka na dosjednu površinu provrta (rupe).

Vrijednosti u tablici vrijede pri temperaturi okoline 20°C, i to:

a) za opterećenje glavnim silama: vlastitom težinom, korisnom težinom težinom snijega;

b) za opterećenje koje se ne sastoji samo od glavnih sila (kao pod a), već i od dodatnih: sile vjetra, kočne sile, horizontalnih bočnih sila, sile zbog temperaturnog rastezanja.

Odlučan je onaj proračun opterećenja koji daje veće nosive presjeke.

\*

#### Dopušteno naprezanje za nekovinske materijale

Materijal		Modul elastičnosti $E$	Dopuštena naprezanja na			
			vlak $\sigma_{dop}$	tlak $-\sigma_{dop}$	savij. $\sigma_{f dop}$	smik $\tau_{s dop}$
			N/mm <sup>2</sup>			
Drvo						
hrast, bukva		14 000	10,5	7...12	8...14	1
	⊥	1 000	0,5	3	—	2,5
crnogorica		11 000	9	6...11	7...13	0,9
	⊥	550	0,3	2	—	1
Beton						
nearmiran		14 000 ... 36 000	—	1,5...8	—	—

### Utjecaj oblika predmeta

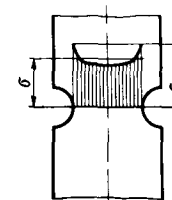
Kod predmeta, kojima se presjek znatno mijenja, nije razdioba naprezanja više jednolika po cijelom presjeku, već se na mjestima gdje se presjek mijenja (osobito kod naglih prijelaza), javlja znatno veće naprezanje  $\sigma_{max}$  koje može biti nekoliko puta veće od nazivnog naprezanja  $\sigma$ , koje zamišljamo da je jednoliko raspodijeljeno po cjelokupnom presjeku.

»Koeficijent oblika«  $\alpha_k$

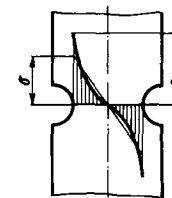
$$\alpha_k = \frac{\sigma_{max}}{\sigma} = 1 \dots 3 (\dots 10)$$

Koeficijent oblika  $\alpha_k$  praktički ovisi samo o načinu opterećenja i vanjskom obliku predmeta, a osobito o dubini zarez a i zakrivljenosti njegova tjemena, dakle općenito o oštroti zarez a. U običnim slučajevima koeficijent oblika dostiže vrijednost 3, a u posebnim slučajevima i do 10.

Veliki porast naprezanja zbog oblika doveo je nužno do opsežnih sistematskih ispitivanja »zarezne čvrstoće«.



Razdioba naprezanja pri vlaku



Razdioba naprezanja pri savijanju

#### Koeficijenti oblika $\alpha_k$ za najobičnije slučajeve

Oblik zarez a	Vrsta opterećenja	Nazivno naprezanje	$\frac{r}{D}$	Koeficijent oblika $\alpha_k$ za $h/D =$			
				0,025	0,05	0,1	0,2
	vlak	$\frac{4F}{\pi(D-2h)^2}$	0,01	2,1	2,4	2,6	2,64
			0,05	1,55	1,85	1,95	1,9
			0,1	1,38	1,55	1,7	1,58
			0,2	1,26	1,35	1,45	1,4
	savijanje	$\frac{32M_t}{\pi(D-2h)^3}$	0,01	2,0	2,22	2,3	2,2
			0,05	1,5	1,7	1,78	1,65
			0,1	1,32	1,43	1,48	1,42
			0,2	1,23	1,25	1,3	1,3
	torzija	$\frac{16T}{\pi(D-2h)^3}$	0,01	1,5	1,6	1,65	1,65
			0,05	1,22	1,35	1,4	1,3
			0,1	1,13	1,2	1,3	1,2
			0,2	1,1	1,13	1,12	1,1

Koeficijenti oblika  $\alpha_k$  za najobičnije slučajeve (nastavak)

Oblika zarez	Vrsta opterećenja	Nazivno naprezanje	$\frac{r}{a}$	Koeficijent oblika $\alpha_k$ za $h/a =$			
				0,025	0,05	0,1	0,2
	vlak	$\frac{F}{b(a-2h)}$	0,01	2,2	2,5	2,8	2,9
			0,05	1,65	1,95	2,1	2,15
			0,1	1,45	1,6	1,8	1,7
			0,2	1,35	1,45	1,55	1,5
	savijanje	$\frac{6M_t}{b(a-2h)^2}$	0,01	2,05	2,3	2,5	2,3
			0,05	1,55	1,8	1,85	1,8
			0,1	1,4	1,5	1,5	1,45
			0,2	1,25	1,3	1,3	1,28
	vlak	$\frac{F}{b(a-h)}$	0,025	1,8	2,0	2,15	2,18
			0,05	1,55	1,8	1,88	1,88
			0,1	1,32	1,55	1,6	1,6
			0,2	1,23	1,28	1,4	1,4
	savijanje	$\frac{6M_t}{b(a-h)^2}$	0,025	1,92	2,2	2,45	2,58
			0,05	1,6	1,95	2,15	2,25
			0,1	1,42	1,62	1,81	1,9
			0,2	1,31	1,43	1,52	1,6
	vlak	$\frac{F}{b(a-2h)}$	$= \frac{h}{a}$		2,15	2,1	2,03
	savijanje	$\frac{3M_th}{2b\left(\frac{a}{2}\right)^3 - h^3}$	$= \frac{h}{a}$		1,58	1,62	1,64

Pri mirnom opterećenju većina žilavih materijala nije posebno osjetljiva na zarezna naprezanja, tako da vršna opterećenja često ne treba ni uzimati u obzir pa možemo računati s nazivnim naprezanjem, koje zamišljamo da je jednoliko raspodijeljeno po cijelom presjeku.

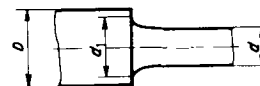
Osjetljivost čelika prema zareznom naprezanju je veća ako mu je granica plastičnosti viša, pa je tvrdi čelik mnogo osjetljiviji prema zarezima od mekoga.

Lijeivano željezo praktički nije osjetljivo prema zareznom naprezanju zbog svojih »unutarnjih zarez« (grafitni listići!).

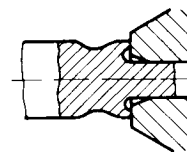
Zarezna se osjetljivost jako povećava ako opterećenje nije mirno, kao što je to npr. pri djelovanju udaraca. U tom slučaju govorimo o »dinamičkoj ili udarnoj zareznoj čvrstoći«.

Općenito se pri promjenljivom opterećenju znatno povećava osjetljivost za zarezna naprezanja, što nužno traži dublje istraživanje i studij o razdiobi naprezanja.

Da smanjimo zarezno naprezanje  $\sigma_{\max}$ , u konstrukcijama se dosljedno klonimo oštih zarez i prijelaza pa izvodimo što je moguće postupnije prijelaze:



– postupni prijelaz (paraboličnog ili bar kružnog oblika) od promjera  $d$  do promjera  $d_1$ ;



– rasterećeni prijelaz sa zaobljenom udubinom na predmetima gdje se ne može načiniti pristupni prijelaz.

Ne možemo li izbjeći oštri prijelaz, valja takvo mjesto pojačati većim dimenzijama ili upotrijebiti čvršći materijal, kako bismo uspješno spriječili zarezno djelovanje.

#### Utjecaj trajanja opterećenja

Pri opterećivanju do određenog naprezanja ne moraju se sve deformacije pojaviti odmah, već djelomice tek nakon dužeg vremena. Tu pojavu vremenskog zaostajanja deformacija iza opterećenja nazivamo *puženje materijala*.

Puženje sprečavamo tako da materijal opteretimo manje nego je to dopušteno za kratkotrajno opterećenje. Čvrstoća materijala dakle ovisi o trajanju opterećenja pa je ona to manja što opterećenje duže traje. Svakom trajanju opterećenja odgovara određena čvrstoća materijala, a nazivamo je *vremenskom statičkom čvrstoćom*.

Pri stanovitom manjem opterećenju puženje može prestati. Odgovarajuću čvrstoću materijala koja više ne ovisi o trajanju opterećenja nazivamo *trajnom statičkom čvrstoćom* (vidi str. 320).

#### Utjecaj promjenljivog opterećenja

Čvrstoća materijala znatno opada ako opterećenje nije jednoliko, već se neprestano mijenja (koleba; titra). To kolebanje opterećenja uzrokuje i kolebanje naprezanja u materijalu.

Pri promjenljivom naprezanju čvrstoća se smanjuje s povećanjem broja titraja. Pri vrlo velikom broju titraja čvrstoća se približava vrijednosti pri kojoj više ne ovisi o broju titraja. Nazivamo je »*dinamičkom čvrstoćom*« (vidi str. 321).

Dinamička čvrstoća ovisi o tome kako se kolebaju naprezanja. Najčešće određujemo »pulzirajuću (titranju) dinamičku čvrstoću«, pri kolebanju naprezanja od 0 do neke vrijednosti vlaka ili tlaka, i »njihajnu (kolebljivu) dinamičku čvrstoću«, pri kolebanju naprezanja između apsolutno jednakih vrijednosti vlaka i tlaka.

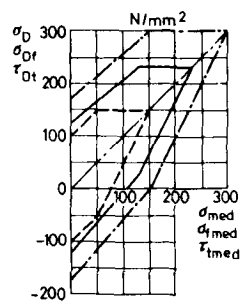
Dijagrami dinamičke čvrstoće (Smithovi dijagrami, str. 321) za neke konstrukcijske čelike sabrani su na str. 540 do 542.

### Dijagrami dinamičke čvrstoće

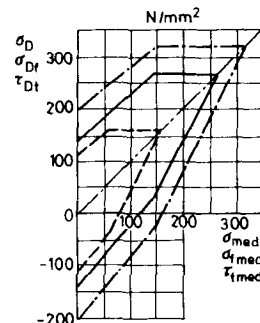
U dijagramima dinamičke čvrstoće nekih konstrukcijskih čelika označene krivulje predstavljaju

- $\sigma_D$  za vlak i tlak
- · - · -  $\sigma_{Df}$  za savijanje
- - -  $\tau_{Dt}$  za torziju

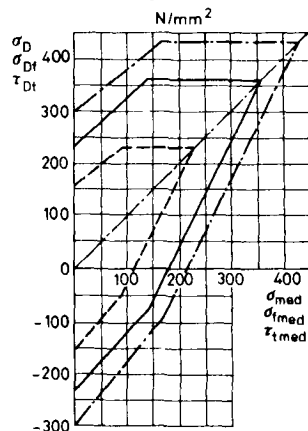
i to ovisno o srednjim naprezanjima  $\sigma_{med}$ ,  $\sigma_{fmed}$ ,  $\tau_{tmed}$ .  
Sva su naprezanja u dijagramima dana u  $N/mm^2$ .



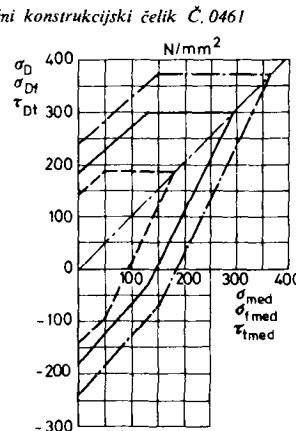
Obični konstrukcijski čelik Č. 0361



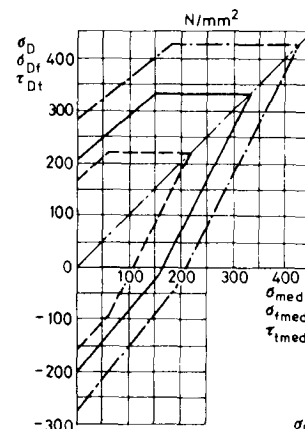
Obični konstrukcijski čelik Č. 0461



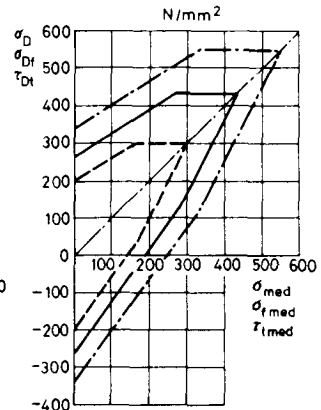
Obični konstrukcijski čelik Č. 0561



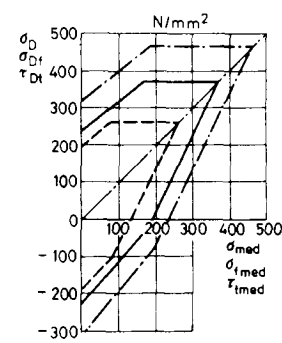
Konstrukcijski čelik Č. 0545



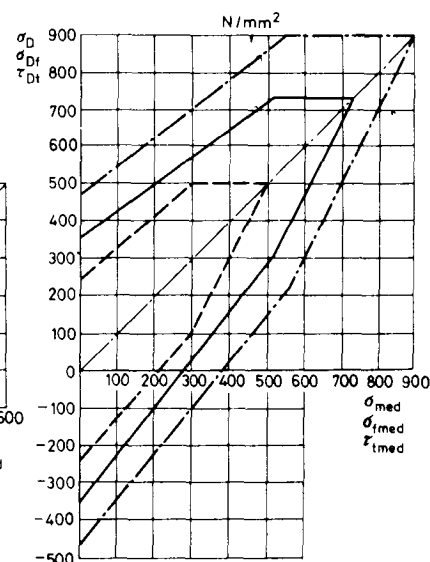
Konstrukcijski čelik Č. 0645



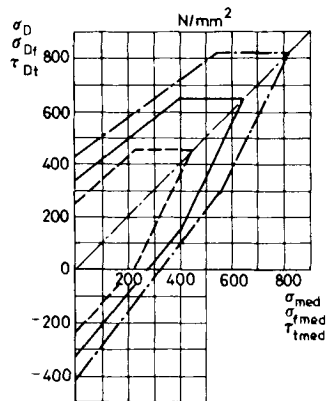
Nelegirani čelik za poboljšanje Č. 1530



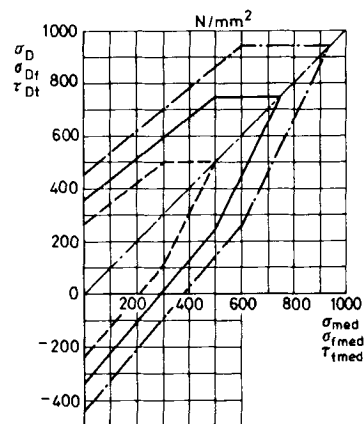
Konstrukcijski čelik Č. 0754



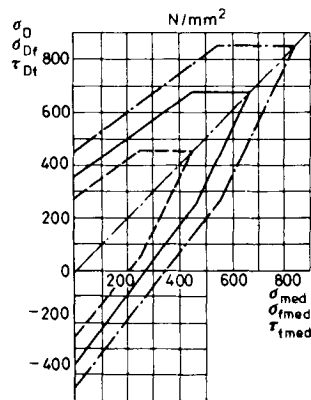
Malo legirani Mn-Si čelik za poboljšanje Č. 3130



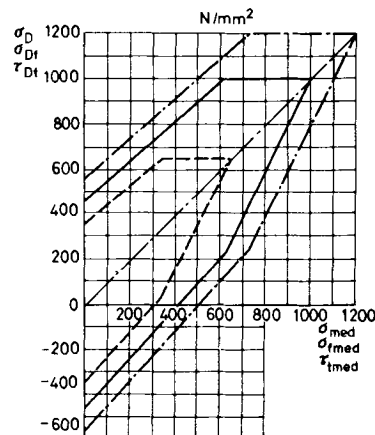
Legirani Cr-čelik za poboljšanje  
Č. 4130



Legirani Cr-V-čelik za poboljšanje  
Č. 4830



Legirani Cr-Mo-čelik za poboljšanje  
Č. 4731



Legirani Cr-Mo-V-čelik za poboljšanje  
Č. 4734

## NERASTAVLJIVI SPOJEVI

### Zakovični spojevi

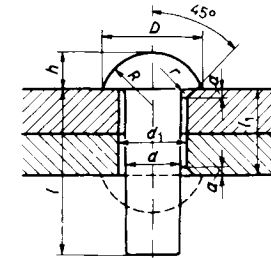
Zakovice s poluokruglom glavom

- za čelične konstrukcije (JUS M.B3.021 – 1984), (lijevi dio slike),
- za kotlove pod tlakom (desni dio slike).

Nazivni promjer (sirove) zakovice  $d_1$

Promjer zakovane zakovice  $d_1$   
Presjek zakovane zakovice  $A = d_1^2 \pi / 4$

Dimenzije zakovica se vidi u donjoj tablici. Duljina sirove zakovice  $l$  ovisi o ukupnoj debljini limova  $l_1$ .



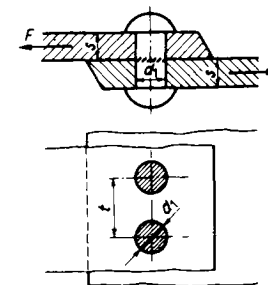
d mm	d <sub>1</sub> mm	Zakovice za čelične konstrukcije					Zakovice za kotlove pod tlakom					A mm <sup>2</sup>
		D mm	h mm	R mm	r mm		D mm	h mm	R mm	r mm	a mm	
10	11	16	6,5	8	0,4	18	7	9,5	1	1	1	95
13	14	21	8,5	11	0,6	23	9	12	1,5	1,5	1,5	154
16	17	26	10	13,5	0,8	30	12	15,5	2	2	2	227
19	20	30	12	15,5	0,8	35	14	18	2	2	2	314
22	23	35	14	18	1	40	16	20,5	2	2	2	415
25	26	40	16	20,5	1	45	18	23	2,5	2,5	2,5	531
28	29	45	18	23	1	50	20	25,5	3	3	3	661
31	32	50	20	25,5	1,5	55	22	28	3	3	3	804
34	35	55	22	28	1,5	60	24	30,5	3,5	3,5	3,5	962
37	38	60	24	30,5	1,5	67	26	34,5	4	4	4	1134

### Proračun zakovičnih spojeva

Zakovice računamo s obzirom na presjek  $A$  u zakovanom stanju, tj. prema promjeru rupe  $d_1$ , što je zakovica pri zakivanju gotovo sasvim ispunj.

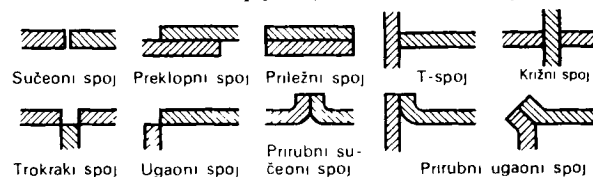
Sila  $F$ , koju može prenesti limena traka debljine  $s$  i širine, jednake razmaku  $t$  među zakovicama u redu, je

$F = (t - d_1)s \sigma_{\text{dop}} = A \tau_{\text{s dop}} = d_1 s p_{\text{dop}}$   
gdje su:  $\sigma_{\text{dop}}$  – dopušteno vlačno naprezanje zakovice,  $\tau_{\text{s dop}}$  – dopušteno smično naprezanje zakovice,  $p_{\text{dop}}$  – dopušteni bočni pritisak (između zakovice i lima).



## Zavari

### Oblici zavarenih spojeva (JUS C.T3.001 — 1971)



### Vrste šavova i njihovi znakovi (JUS C.T3.011 — 1980)

Naziv šava	Presjek	Znak	Naziv šava	Presjek	Znak
I-šav			Šav iz priruba		
V-šav		∇	Kutni šav		
Polovični V-šav		∇	Konasti šav		
Y-šav		Y	Točkasti šav		
Polovični Y-šav		Y	Kolutni šav		
U-šav		U			
Polovični U-šav		U			
X-šav		X			
Korijenski zavar					

Dopunske oznake za oblik površine šava:

ravna: — ispupčena: ∪ udubljena: ∪

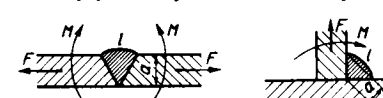
V-šav s ravnim tjemnom		X-šav s ispupčnim tjemnom	
Kutni šav s udubljenim tjemnom		U-šav s ravnim korijenskim zavarom	

### Označivanje zavara na nacrtima — strelicom

Prikaz	Označivanje
	nad crtom strelice, ako je tjeme zavora na strani strelice
	pod crtom strelice, ako je tjeme zavora na suprotnoj strani strelice
	kroz crtu strelice, ako je zavar na prekrivenim ploham spoja

### Proračun zavarenih spojeva

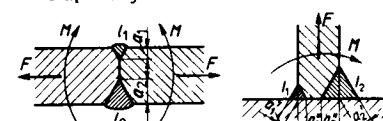
Naprezanja na vlak (tlak)  $\sigma$  zbog djelovanja sile  $F$  i naprezanje na savijanje  $\sigma_f$  zbog djelovanja momenta  $M$  iznose u osnovnim slučajevima zavarenih spojeva debljine zavora  $a$  i duljine  $l$ :



$$\sigma = \frac{F}{al}$$

$$\sigma_f = \frac{6M}{a^2l}$$

Naprezanja u dvostranim zavarima:



$$\sigma = \frac{F}{a_1 l_1 + a_2 l_2}$$

$$a_1 = a_1' + a_1''$$

$$a_2 = a_2' + a_2''$$

$$\sigma_f = \frac{M}{W}$$

gdje je  $W$  — moment otpora zavora.

Dopuštena naprezanja u zavaru  $\sigma_{dop\ zav}$  znatno su manja od normalnih dopuštenih naprezanja  $\sigma_{dop}$ :  $\sigma_{dop\ zav} = \alpha \sigma_{dop}$ .

Koeficijent zavarivanja  $\alpha$  veoma ovisi o statičkom i dinamičkom opterećenju, vrsti zavarenog spoja i izvedbi zavora. Njegove su vrijednosti približno u slijedećim granicama:

	Vlak (tlak)	Savijanje	Smik
Statičko opterećenje: sučeonni spoj	0,7...1,0	0,8...1,0	0,65
T-spoj	0,6...0,7	0,6...0,7	0,65
Dinamičko opterećenje: sučeonni spoj	0,5...0,9	0,6...0,9	0,6
T-spoj — jednostrani	0,2...0,6	0,1...0,3	0,4
— dvostrani	0,3...0,7	0,6...0,8	0,6

Pri običnoj izvedbi zavarenog spoja te se vrijednosti mogu smanjiti i do 50%.

### Lemljeni spojevi

O lemovima v. str. 414 i 415.

#### Proračun lemljenih spojeva

Lemljene spojeve računamo uglavnom na smik, iznimno na vlak. Sila  $F$ , koju prenosi lemljeni spoj opterećen na smik, iznosi

$$F = b/\tau_s$$

gdje su:  $b$  – širina spoja,  $l$  – duljina spoja.

Naprezanje  $\tau_s$  u spoju, opterećenom na smik, ne smije biti veće od dopuštenog naprezanja  $\tau_{s\text{ dop}}$

$$\tau_s \leq \tau_{s\text{ dop}}$$

Čvrstoća na smik je najveća pri debljini lemnog sloja 0,05...0,2 mm.

Meki lemovi pri opterećenju puze; njihova čvrstoća s vremenom jako popušta (npr. meki lem S.Sn 40 ima kratkotrajnu čvrstoću na smik 35 N/mm<sup>2</sup>, a nakon 10<sup>5</sup> h samo još 2 N/mm<sup>2</sup>). Čvrstoća mekih lemova veoma ovisi i o temperaturi (pa npr. pri 150 °C može iznositi još samo 15% od vrijednosti pri 20 °C).

Čvrstoća lemljenih spojeva mnogo ovisi također o dinamičkom opterećenju (npr. srebrni lem pri 10<sup>4</sup> titraja ima čvrstoću 210 N/mm<sup>2</sup>, a pri 10<sup>7</sup> titraja, samo još 170 N/mm<sup>2</sup>.)

### Lijepljeni spojevi

Lijepljeni se spojevi upotrebljavaju pri spajanju kovina i nekovina (drveta, umjetnih tvari, gume, stakla, porculana itd.). Za međusobno spajanje kovina dolazi u obzir lijepljenje naročito tamo gdje treba spriječiti gubitak svojstava, postignutih termičkom obradom (npr. kod termički obrađenog duralumina) ili kod vrlo tankih dijelova.

Kao ljepila se upotrebljavaju tvari na bazi umjetnih smola (trgovačka imena; araldit, reduks, bostik, metalon itd.). Pri njihovoj upotrebi treba se strogo pridržavati uputa proizvođača.

Čvrstoća lijepljenih spojeva posljedica je adhezije između ljepila i slijepljenog dijela (dok je značenje mehaničkog usidrenja mnogo manje). Deblji sloj ljepila ima manju čvrstoću (pri debljini 0,05 mm može iznositi npr. 38 N/mm<sup>2</sup>, a pri debljini 1 mm još samo 15 N/mm<sup>2</sup>).

Čvrstoća se lijepljenog spoja mnogo smanjuje pri višim temperaturama (ako npr. između –50 i +80 °C iznosi oko 25 N/mm<sup>2</sup>, pri +150 °C može se smanjiti na samo 2 N/mm<sup>2</sup>.)

Nadalje čvrstoća lijepljenog spoja mnogo ovisi o broju titraja (pa se može između 10<sup>3</sup> i 10<sup>8</sup> titraja smanjiti za 80%, a da pri 10<sup>9</sup> titraja još nije postignuta trajna dinamička čvrstoća).

### Stezni spojevi

Stezne spojeve dobivamo navlačenjem obruča unutarnjeg promjera  $d_2$  na rukavac većeg vanjskog promjera  $D_1$ , i to – obično – hlađenjem rukavca i zagrijavanjem obruča.

Relativna deformacija  $\epsilon$  rukavca i obruča (s obzirom na prvobitni promjer rukavca) iznosi

$$\epsilon = (D_1 - d_2)/D_1 = \Delta d/D_1$$

Pritisak  $p$  na plohi između rukavca i obruča u stegnutom stanju ovisi o dopuštenim napreznjima u rukavcu  $\sigma_{1\text{ dop}}$  i obruču  $\sigma_{2\text{ dop}}$ :

$$p \leq \sigma_{1\text{ dop}}[1 - (d_1/D_1)^2]/2 \quad p \leq \sigma_{2\text{ dop}}[1 - (d_2/D_2)^2]/2$$

Po Hookeovu zakonu vrijedi za rukavac i obruč

$$\frac{\epsilon}{p} = \frac{1}{E_1} \left[ \frac{1 + (d_1/D_1)^2}{1 - (d_1/D_1)^2} - \frac{1}{m_1} \right] + \frac{1}{E_2} \left[ \frac{1 + (d_2/D_2)^2}{1 - (d_2/D_2)^2} - \frac{1}{m_2} \right]$$

gdje su:  $E_1$  i  $E_2$  – moduli elastičnosti za rukavac i obruč,  $m_1$  i  $m_2$  – Poissonovi koeficijenti za rukavac i obruč.

#### Stezna deformacija

$$\Delta d = D_1 p (\epsilon/p)$$

Temperатурne razlike, potrebne pri navlačenju:

Hlađenje rukavca za temperaturnu razliku  $T_0 - T_1$  uzrokuje suženje rukavca za  $\Delta d_1$ , dok zagrijavanje obruča za temperaturnu razliku  $T_2 - T_0$  uzrokuje proširenje obruča za  $\Delta d_2$ :

$$\Delta d_1 = \alpha_1 D_1 (T_0 - T_1) \quad \Delta d_2 = \alpha_2 d_2 (T_2 - T_0)$$

gdje su:  $T_0$  – temperatura okoline,  $T_1$  – temperatura ohlađenog rukavca,  $T_2$  – temperatura zagrijanog obruča,  $\alpha_1$  i  $\alpha_2$  – koeficijenti temperaturnog rastezanja rukavca i obruča (v. str. 157).

Ukupna promjena promjera treba da je veća od tražene stezne deformacije

$$\Delta d_1 + \Delta d_2 > \Delta d$$

Prijenosna sila  $F$  steznog spoja je

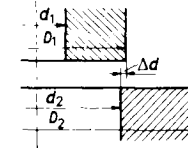
$$F = \mu D_1 \pi l p$$

gdje je  $l$  duljina korisne prijenosne površine rukavca.

Koeficijent trenja  $\mu$  na plohi između rukavca i obruča u stegnutom stanju iznosi 0,05...0,19 (za srednje tvrdi čelik oko 0,16).

Prijenosni moment  $M_1$  steznog spoja je

$$M_1 = (d_2/2) F$$





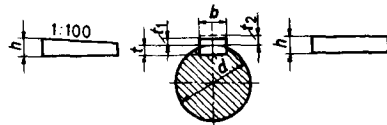
## RASTAVLJIVI SPOJEVI

### Spojevi klinovima

Razlikujemo klinove (s nagibom 1:100) i pera.

Klinovi

Pera



$d$  — promjer osovine  
 $b$  — širina  
 $h$  — visina } klina odn. pera  
 dubina utora:  
 $t$  — na osovini  
 $t_1$  — na glavini za klinove  
 $t_2$  — na glavini za pera

Osnovni standardizirani klinovi i pera prema JUS:

Klinovi (JUS M.C2.020 — 1957). — Plosnati klinovi (JUS M.C2.021 — 1957). — Pera, visoka (JUS M.C2.060 — 1957). — Pera, niska (JUS M.C2.061 — 1957).

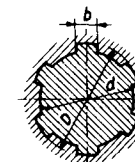
$d$ mm	$b$ mm	JUS M.C2.020					JUS M.C2.021					JUS M.C2.060					JUS M.C2.061				
		$h$ mm	$t$ mm	$t_1$ mm	$t_2$ mm	$t_3$ mm	$h$ mm	$t$ mm	$t_1$ mm	$t_2$ mm	$t_3$ mm	$h$ mm	$t$ mm	$t_1$ mm	$t_2$ mm	$t_3$ mm	$h$ mm	$t$ mm	$t_1$ mm	$t_2$ mm	$t_3$ mm
6) ... 8	2	2	1,1	0,6	1,1	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8) ... 10	3	3	1,7	1,0	1,7	1,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10) ... 12	4	4	2,4	1,3	2,4	1,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12) ... 17	5	5	2,9	1,8	2,9	2,2	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17) ... 22	6	6	3,5	2,1	3,5	2,6	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22) ... 30	8	7	4,1	2,4	4,1	3,0	5	1,3	3,2	3,1	2,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30) ... 38	10	8	4,7	2,8	4,7	3,4	6	1,8	3,7	3,7	2,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
38) ... 44	12	8	4,9	2,6	4,9	3,2	6	1,8	3,7	3,9	2,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
44) ... 50	14	9	5,5	2,9	5,5	3,6	6	1,4	4,0	4,0	2,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50) ... 58	16	10	6,2	3,2	6,2	3,9	7	1,9	4,5	4,7	2,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
58) ... 65	18	11	6,8	3,5	6,8	4,3	7	1,9	4,5	4,8	2,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
65) ... 75	20	12	7,4	3,9	7,4	4,7	8	1,9	5,5	5,4	2,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
75) ... 85	22	14	8,5	4,8	8,5	5,6	9	1,8	6,5	6,0	3,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
85) ... 95	25	14	8,7	4,6	8,7	5,4	9	1,9	6,4	6,2	2,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
95) ... 110	28	16	9,9	5,4	9,9	6,2	10	2,4	6,9	6,9	3,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
110) ... 130	32	18	11,1	6,1	11,1	7,1	11	2,3	7,9	7,6	3,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
130) ... 150	36	20	12,3	6,9	12,3	7,9	12	2,8	8,4	8,3	3,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
150) ... 170	40	22	13,5	7,7	13,5	8,7	14	4,0	9,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
170) ... 200	45	25	15,3	8,9	15,3	9,9	16	4,7	10,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
200) ... 230	50	28	17,0	10,1	17,0	11,2	18	5,2	11,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
230) ... 260	56	32	19,3	11,8	19,3	12,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
260) ... 290	63	32	19,6	11,5	19,6	12,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
290) ... 330	70	36	22,0	13,1	22,0	14,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
330) ... 380	80	40	24,6	14,5	24,6	15,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
380) ... 440	90	45	27,5	16,6	27,5	17,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
440) ... 500	100	50	30,4	18,7	30,4	19,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Za klinove i pera upotrebljavamo čelik čvrstoće  $R_m \geq 600 \text{ N/mm}^2$ .

## Utorni spojevi

Utorni spojevi s ravnim bokovima (JUS M.C1.410 — 1958)

Unutarnji promjer  $d$   
 Vanjski promjer  $D$   
 — za laku izvedbu  $D_1$   
 — za srednju izvedbu  $D_2$   
 Širina utora  $b$   
 Broj utora  $n$



$d$ mm	$D_1$ mm	$D_2$ mm	$b$ mm	$n$	$d$ mm	$D_1$ mm	$D_2$ mm	$b$ mm	$n$
11	—	14	3	6	42	46	48	8	8
13	—	16	3,5	6	46	50	54	9	8
16	—	20	4	6	52	58	60	10	8
18	—	22	5	6	56	62	65	10	8
21	—	25	5	6	62	68	72	12	8
23	26	28	6	6	72	78	82	12	10
26	30	32	6	6	82	88	92	12	10
28	32	34	7	6	92	98	102	14	10
32	36	38	6	8	102	108	112	16	10
36	40	42	7	8	112	120	125	18	10

### Svornjaci

### Spojevi svornjacima i zaticima

Standardizirani promjeri  $d$

3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	30
32	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100

Obradjeni { bez glave (JUS M.C3.040 — 1954)  $d = 3 \dots 100 \text{ mm}$

svornjaci { s malom glavom (JUS M.C3.020 — 1954)  $d = 3 \dots 100 \text{ mm}$

Poluobrađeni { s velikom glavom (JUS M.C3.021 — 1954)  $d = 6 \dots 100 \text{ mm}$

svornjaci { s malom glavom (JUS M.C3.022 — 1954)  $d = 5 \dots 100 \text{ mm}$

### Zatici

Standardizirani promjeri  $d$

0,6	0,8	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10	13	16	20	25	30	40	50
-----	-----	---	-----	---	-----	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----

### Cilindrični zatici

— u tolerancijskom polju h 8 (JUS M.C2.201 — 1952)  $d = 0,8 \dots 50 \text{ mm}$

— u tolerancijskom polju h 11 (JUS M.C2.202 — 1952)  $d = 0,8 \dots 50 \text{ mm}$

— u tolerancijskom polju m 6 (JUS M.C2.203 — 1952)  $d = 1 \dots 50 \text{ mm}$

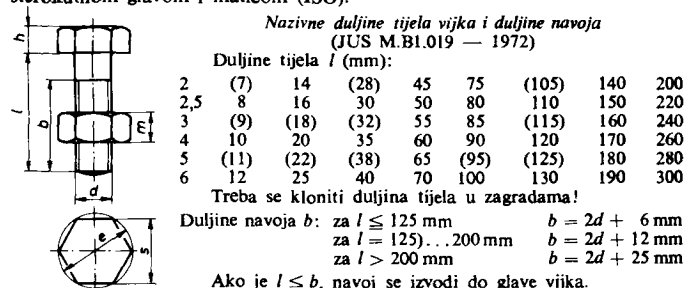
### Zakaljeni cilindrični zatici (60 HRC)

— u tolerancijskom polju m 6 (JUS M.C2.204 — 1952)  $d = 0,8 \dots 20 \text{ mm}$

Konični zatici (1:50), (promjer  $d$  mjeri se na užem kraju) (JUS M.C2.205 — 1952)  $d = 0,6 \dots 50 \text{ mm}$

### Vijčani spojevi

Standardiziranih vijaka i matica ima mnogo. Najobičniji su vijci sa šesterokutnom glavom i maticom (ISO).



Vijci sa šesterokutnom glavom — izrade C i B (JUS M.B1.050/051 — 1976)

Šesterokutne matice za opće svrhe (JUS M.B1.600 — 1965)

Materijal: čelik ili mjed — bez propisanih mehaničkih svojstava. Mjere u mm

Nazivni promjer $d$	Normalne duljine tijela $l$	Duljina navoja vijka*			Dimenzije glave vijka i matice			
		$l_1$	$l_2$	$l_3$	$h$	$m$	$s$	$e$
M 5	20...50	16	—	—	3,5	4	8	8,63
M 6	25...80	18	—	—	4	5	10	10,89
M 8	30...100	22	—	—	5,5	6,5	13	14,20
M 10	35...200	26	32	—	7	8	17	18,72
M 12	40...220	30	36	—	8	10	19	20,88
(M 14)	45...220	34	40	—	9	11	22	23,91
M 16	50...220	38	44	57	10	13	24	26,17
(M 18)	55...220	42	48	61	12	15	27	29,56
M 20	60...220	46	52	65	13	16	30	32,95
(M 22)	60...220	50	56	69	14	18	32	35,03
M 24	60...220	54	60	73	15	19	36	39,55
(M 27)	70...220	60	66	79	17	22	41	45,20
M 30	80...220	66	72	85	19	24	46	50,85
(M 33)	100...220	72	78	91	21	26	50	55,37
M 36	100...220	78	84	97	23	29	55	60,79
(M 39)	100...220	84	90	103	25	31	60	66,44
M 42	120...220	90	96	109	26	34	65	72,09
(M 45)	140...220	—	102	115	28	36	70	77,74
M 48	150...220	—	108	121	30	38	75	83,39
(M 52)	180...220	—	116	129	33	42	80	89,04

\* Prema JUS M.B1.019 — 1972:  $l_1 \leq 125$  mm,  $l_2 = 125$  mm,  $l_3 > 200$  mm.

Vijci sa šesterokutnom glavom izrade A: JUS M.B1.052 — 1976, s navojem do glave: JUS M.B1.053/055 — 1976, s finim navojem: JUS M.B1.057/060 — 1976.

### Kvalitetni vijci i matice (JUS M.B1.023 — 1983 i 028 — 1975)

Razred čvrstoće	Vijci				Matice		
	Naprez. tečenja $R_e$ N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Post. prod. $A, \%$	Tvrdoća	Razred čvrstoće	Čvrstoća N/mm <sup>2</sup>	Tvrdoća HV
4.6 4.8	240 320	400...550	25 14	110...170 HB	4 <sup>3)</sup>	400	302
5.6 5.8	300 400	500...700	20 10	140...215 HB	5 <sup>3)</sup>	500	302
6.6 6.8 6.9	360 480 540	600...800	16 8 12	170...245 HB	6 <sup>3)</sup>	600	302
8.8	640	800...1000	12	225...300 HV	8	800	302
10.9	900	1000...1200	9	280...370 HV	10	1000	353
12.9	1 080	1200...1400	8	330...440 HV	12 <sup>4)</sup>	1200	353
14.9	1 260	1400...1600	7	400...510 HV	14	1400	380

<sup>1)</sup> Nelegirani čelici ( $P \leq 0,06\%$ ,  $S \leq 0,07\%$ ) i čelici za automate ( $P \leq 0,12\%$ ,  $S \leq 0,34\%$ ,  $Pb \leq 0,35\%$ ).

<sup>2)</sup> Poboljšani čelici, nelegirani ( $C = 0,32 \dots 0,5\%$ ) i legirani ( $C = 0,19 \dots 0,52\%$ ).

Razred čvrstoće: 8.8 10.9 12.9 14.9  
 $Cr + Mo + Ni + V \geq 0 \dots 0,5 \quad 0 \dots 0,9 \quad 0,9 \dots 1,5 \quad 1,5 \dots 2,5$

<sup>3)</sup> Nelegirani čelici ( $C \leq 0,5\%$ ,  $P \leq 0,110\%$ ,  $S \leq 0,150\%$ ).

<sup>4)</sup> Mn — čelici ( $C \leq 0,58\%$ ,  $Mn \geq 0,30 \dots 0,45\%$ ).

### Preporučeni promjeri svrdla za rupe pred narezivanjem navoja (JUS M.B1.003 — 1972)

Oznaka navoja	Promjer svrdla mm	Oznaka navoja	Promjer svrdla mm	Oznaka navoja	Promjer svrdla mm	Oznaka navoja	Promjer svrdla mm
M 1	0,75	M 3,5	2,9	M 12	10,2	M 36	32
M 1,1	0,85	M 4	3,3	M 14	12	M 39	35
M 1,2	0,95	M 4,5	3,7	M 16	14	M 42	37,5
M 1,4	1,1	M 5	4,2	M 18	15,5	M 45	40,5
M 1,6	1,25	M 6	5	M 20	17,5	M 48	43
M 1,8	1,45	M 7	6	M 22	19,5	M 52	47
M 2	1,6	M 8	6,8	M 24	21	M 56	50,5
M 2,2	1,75	M 9	7,8	M 27	24		
M 2,5	2,05	M 10	8,5	M 30	26,5		
M 3	2,5	M 11	9,5	M 33	29,5		

Promjeri provrta za vijke s metarskim navojem  
(JUS M.B1.004 – 1986)

Oznaka navoja	Promjer provrta*			Oznaka navoja	Promjer provrta*			Oznaka navoja	Promjer provrta*		
	f	s	g		f	s	g		f	s	g
M 1	1.1	1.2	1.3	M 14	15	15.5	16.5	M 64	66	70	74
M 1.2	1.3	1.4	1.5	M 16	17	17.5	18.5	M 68	70	74	78
M 1.4	1.5	1.6	1.8	M 18	19	20	21	M 72	74	78	82
M 1.6	1.7	1.8	2	M 20	21	22	24	M 76	78	82	86
M 1.8	2.0	2.1	2.2	M 22	23	24	26	M 80	82	86	91
M 2	2.2	2.4	2.6	M 24	25	26	28	M 85	87	91	96
M 2.5	2.7	2.9	3.1	M 27	28	30	32	M 90	93	96	101
M 3	3.2	3.4	3.6	M 30	31	33	35	M 95	98	101	107
M 3.5	3.7	3.9	4.2	M 33	34	36	38	M 100	104	107	112
M 4	4.3	4.5	4.8	M 36	37	39	42	M 105	109	112	117
M 4.5	4.8	5	5.3	M 39	40	42	45	M 110	114	117	122
M 5	5.3	5.5	5.8	M 42	43	45	48	M 115	119	122	127
M 6	6.4	6.6	7	M 45	46	48	52	M 120	124	127	132
M 7	7.4	7.6	8	M 48	50	52	56	M 125	129	132	137
M 8	8.4	9	10	M 52	54	56	62	M 130	134	137	144
M 10	10.5	11	12	M 56	58	62	66	M 140	144	147	155
M 12	13	13.5	14.5	M 60	62	66	70	M 150	155	158	165

\* f – fina izrada (za finu mehaniku, precizne strojeve i alat); s – osrednja izrada (za opće strojarstvo); g – gruba izrada (za grube dijelove, lijevane rupe).

#### Proračun vijaka

##### a) Vijci za pričvršćivanje

Maksimalna sila  $F_{\max}$ , koje može prenositi vijak presjeka  $A$  (s promjerom jezgre navoja  $d_1$ ), iznosi  $F_{\max} \leq A \sigma_{\text{dop}}$   $A = d_1^2 \pi / 4$

Dopušteno naprezanje  $\sigma_{\text{dop}}$  za vijke određujemo obično ovisno o naprezanju tečenja  $R_e$  ( $R_{p0.2}$ )  $\sigma_{\text{dop}} \approx 0,3 R_e$

Za prednapregnute vijke uzimamo  $F_{\max} = (1,3 \dots 1,6) F$ , gdje je  $F$  vanjska sila, kojom opterećujemo vijak na vlak.

##### b) Vijci za prijenos gibanja (obično s trapeznim ili pilastim navojem)

Nosiva sila  $F$  određuje se – osim proračunom čvrstoće (kao pod a) – još i s obzirom na bočni pritisak  $p$  dodirnih ploha u navoju

$$F_{\max} \leq \frac{(d^2 - d_1^2) \pi}{4} p n$$

gdje su:  $d$  – vanjski promjer vijka;  $n$  – broj nosivih navoja.

Bočni pritisak  $p$  kod brončanih matica iznosi:

$$\begin{aligned} \text{za vijke od mekog čelika} \quad p &\leq 7,5 \text{ N/mm}^2 \\ \text{za vijke od tvrdog čelika} \quad p &\leq 16 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

## STROJNI DIJELOVI ZA PRIJENOS KRUŽNIH GIBANJA

### Osovine

Okrugle osovine promjera  $d$  mogu prenositi moment vrtnje  $T$

$$T = W_p \tau_{\text{dop}}$$

gdje je  $W_p$  – polarni moment otpora okrugle osovine

$$W_p = (\pi/16) d^3 \approx 0,2 d^3$$

a  $\tau_{\text{dop}}$  je dopušteno naprezanje na torziju.

Za osovine uzimamo čelik čvrstoće  $R_m = 420 \dots 700 \text{ N/mm}^2$ . Ako dodatni momenti savijanja nisu poznati, računamo s dopuštenim naprezanjem na torziju  $\tau_{\text{dop}}$  ovisno o promjeru osovine  $d$

$d$ (mm)	... 25	25 ... 50	50 ... 80	80 ...
$\tau_{\text{dop}}$ (N/mm <sup>2</sup> )	10	20	30	40

Ako su, međutim, momenti savijanja poznati, treba osovinu računati pomoću sastavljenih opterećenja (v. str. 122).

Za prijenos momenta vrtnje  $T$  treba promjer osovine  $d$  biti

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi} \cdot \frac{T}{\tau_{\text{dop}}}} \approx \sqrt[3]{\frac{5 T}{\tau_{\text{dop}}}}$$

Moment vrtnje možemo izraziti snagom  $P$ , koju osovina prenosi, i brzinom vrtnje osovine  $n$

$$T = \frac{P}{2\pi n}$$

### Remenski prijenos

Zbog trenja između remena i remenice sila  $F_1$  u vučnoj strani remena veća je od sile  $F_2$  u povratnoj strani

$$F_1 > F_2 \quad \frac{F_1 - F_c}{F_2 - F_c} = e^{\mu \alpha} \quad F_c = m_l v^2 = \rho A v^2$$

gdje su:  $e$  – baza prirodnih logaritama,  $\mu$  – koeficijent trenja,  $\alpha$  obuhvatni kut (rad) remena na remenici,  $F_c$  – sila u remenu zbog centrifugalne sile,  $m_l$  – duljinska masa remena (kg/m),  $\rho$  – gustoća remena,  $A$  – presjek remena,  $v$  – brzina remena.

Vrijednosti izraza  $e^{\mu \alpha}$

$\mu$	120°	140°	160°	$\alpha$	180°	200°	220°
0,2	1,52	1,63	1,75		1,88	2,01	2,16
0,4	2,31	2,66	3,06		3,51	4,04	4,65
0,6	3,51	4,33	5,34		6,59	8,12	10,0
0,8	5,34	7,06	9,34		12,4	16,3	21,6

Obodna sila  $F$

$$F = F_1 - F_2 = (F_1 - F_c)(e^{\mu\alpha} - 1)/e^{\mu\alpha} = (F_2 - F_c)(e^{\mu\alpha} - 1)$$

Snaga  $P$ , koju remen prenosi pri obodnoj brzini  $v = d\pi n$

$$P = Fv = (F_1 - F_2)d\pi n$$

Sila  $F_1$ , kojom je remen napregnut (u vučnom dijelu):

$$F_1 = (F_1 - F_2)e^{\mu\alpha}/(e^{\mu\alpha} - 1) + F_c = A\sigma_{\text{dop}}$$

gdje su:  $A$  – presjek remena,  $\sigma_{\text{dop}}$  – dopušteno naprezanje remena.

Prijenosni omjer  $i$  je omjer brzine vrtnje  $n_1$  pogonske remenice i brzine vrtnje  $n_2$  gonjene remenice:  $i = n_1/n_2$ .

a) Plosnati remeni

izrađuju se od kože, gume, tekstila, umjetnih masa itd.

Širine remena i remenica (JUS M.C1.231 – 1965)

Mjere u mm									
$b$	$b'$	$b$	$b'$	$b$	$b'$	$b$	$b'$	$b$	$b'$
16	20	50	63	100	112	180	200	315	355
20	25	63	71	112	125	200	224	355	400
25	32	71	80	125	140	224	250	400	450
32	40	80	90	140	160	250	280	450	500
40	50	90	100	160	180	280	315	500	560
								500	630

Promjeri remenica  $d$  (mm) (JUS M.C1.241 – 1965)

40	56	80	112	160	224	315	450	630	900	1250	1800
45	63	90	125	180	250	355	500	710	1000	1400	2000
50	71	100	140	200	280	400	560	800	1120	1600	

Izbočenost vijenca remenice  $h$  (JUS M.C1.242 – 1965). Mjere u mm

$d$	$h$	$d$	$h$	$d$	$h$
40 ... 112	0,3	160, 180	0,5	250, 280	0,8
125, 140	0,4	200, 224	0,6	315, 355	1,0

Izbočenost za  $d = 400 \dots 2000$  mm iznosi između 1 i 6 mm (ovisi i o širini remenice  $b'$ ).

Specifična snaga  $P/A$ , tj. prijenosna snaga remena  $P$  po jedinici presjeka  $A$ , ovisi o materijalu remena, obuhvatnom kutu  $\alpha$ , relativnoj debljini  $s/d$  ( $s$  = debljina remena,  $d$  = promjer remenice) i o obodnoj brzini  $v$ .

Specifična snaga  $P/A$  za plosnati kožni remen pri obuhvatnom kutu  $\alpha = 180^\circ$

$s/d$	$P/A$ (kW/mm <sup>2</sup> )								
	$v$ (m/s)								
	5	10	15	20	25	30	35	40	
1 : 400	0,013	0,025	0,036	0,047	0,056	0,063	0,065	0,063	
1 : 200	0,012	0,023	0,034	0,045	0,053	0,060	0,062	0,059	
1 : 100	0,011	0,021	0,032	0,042	0,049	0,055	0,057	0,053	
1 : 50	0,010	0,019	0,029	0,037	0,043	0,047	0,048	0,042	

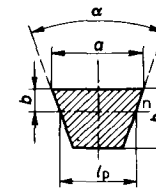
Prijenosni je omjer kod plosnatih remena:  $i \leq 5$ .

b) Beskonačni klinasti remeni

Profil klinastih remena je trapez širine (dulje) osnovice  $a$  i visine  $h$ , dok bočne stranice zatvaraju kut od  $40^\circ$ .

Normalni klinasti remeni (JUS G.E2.053 – 1964)

Oznaka profila	Dimenzije (mm)					$L_p$
	$a$	$h$	$b$	$l_p$		
Y	6	4	1,6	5,3	200 ...	1250
Z	10	6	2,4	8,5	400 ...	2800
A	13	8	3,1	11	560 ...	4000
B	17	11	4,1	14	800 ...	6300
C	22	14	5,6	19	1400 ...	9000
D	32	19	8,2	27	2240 ...	18000
E	38	25	9,7	32	3150 ...	18000



$n$  – neutralna os  
 $\alpha = 40^\circ \pm 1^\circ$

Uski klinasti remeni

Oznaka profila	Dimenzije (mm)					$L_p$
	$a$	$h$	$b$	$l_p$		
SPZ	9,7	8	2	8,5	630 ...	3550
SPA	12,7	10	2,75	11	800 ...	4500
SPB	16,3	13	3,5	14	1250 ...	8000
SPC	22	18	4,8	19	2000 ...	12500

Računske duljine  $L_p$  (mm) (JUS G.E2.053 – 1964)

200	355	630	1120	2000	3550	6300	11200
224	400	710	1250	2240	4000	7100	12500
250	450	800	1400	2500	4500	8000	14000
280	500	900	1600	2800	5000	9000	16000
315	560	1000	1800	3150	5600	10000	18000

Snaga  $P$ , što je prenosi klinasti remen, ovisi o obuhvatnom kutu  $\alpha$ , o najmanjem promjeru remenice  $d_{\text{min}}$  i o obodnoj brzini  $v$ .

Snaga  $P$  klinastog remena pri obuhvatnom kutu  $\alpha = 180^\circ$

Oznaka profila	$d_{\text{min}}$ mm	$P$ (kW)							
		$v$ (m/s)							
		2	4	6	10	14	18	22	26
Y	32	0,037	0,074	0,11	0,16	0,19	0,19	0,15	0,058
Z	63	0,14	0,27	0,41	0,64	0,81	0,88	0,88	0,74
A	90	0,27	0,55	0,81	1,25	1,6	1,9	2,0	1,9
B	125	0,51	0,96	1,4	2,3	2,9	3,4	3,5	3,3
C	210	0,89	1,75	2,6	4,1	5,3	6,1	6,4	5,9
D	345	1,7	3,3	4,8	7,7	10,0	11,5	12,1	11,2
E	490	2,6	5,2	7,7	11,9	15,4	18,1	18,9	17,5

Pri manjem obuhvatnom kutu  $\alpha$  valja vrijednosti za snagu  $P$  množiti s faktorom  $k$

$\alpha^\circ$	170	160	150	140	130	120	110	100	90
$k$	0,98	0,95	0,92	0,89	0,86	0,82	0,78	0,73	0,68

Prijenosni je omjer kod klinastih remena  $i \leq 10$  (...15).

### Lančani prijenos

Obodna sila  $F_0$  proizlazi iz snage što je prenosi lanac pri brzini  $v$ , odnosno iz momenta vrtnje  $T$  lančanika (lančanog zupčanika) i promjera njegove diobene kružnice  $d_0$

$$F_0 = \frac{P}{v} = \frac{2T}{d_0}$$

pri čemu brzina lanca, koja je jednaka obodnoj brzini na diobenom valjku, ovisi o brzini vrtnje  $n$

$$v = d_0 \pi n$$

U lancu djeluje još i komponenta centrifugalne sile

$$F_c = m_l v^2$$

gdje je  $m_l$  – duljinska masa lanca (kg/m).

Ukupna sila, kojom je opterećen lanac, iznosi

$$F = F_0 + F_c$$

Bočni pritisak  $p$  na dodirne plohe članaka  $A$

$$p = \frac{F}{A} < p_{\text{dop}}$$

Dopušteni bočni pritisak  $p_{\text{dop}}$  ovisi o brzini lanca  $v$ , a iznosi pri uobičajenim pogonskim prilikama:

$v$  (m/s) 0,1 0,5 1,0 1,5 2 3 4 5,5 7 9 12  
 $p$  (N/mm<sup>2</sup>) 3100 2800 2600 2400 2250 2050 1850 1600 1400 1250 1000

Lančani

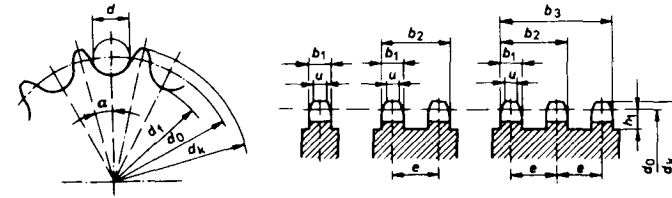
Promjer diobenog valjka  $d_0$

$$d_0 = \frac{h}{\sin \alpha} = hN \quad \alpha = \frac{180^\circ}{z}$$

gdje su:  $h$  – korak lanca;  $\alpha$  (°) – polovični kut među susjednim zupcima;  $z$  – broj zubaca lančanika.

Vrijednosti  $N$

$z$	$N$	$z$	$N$	$z$	$N$	$z$	$N$	$z$	$N$
6	2,0000	16	5,1258	26	8,2962	36	11,4737	46	14,6537
7	2,3048	17	5,4422	27	8,6138	37	11,7916	47	14,9717
8	2,6131	18	5,7588	28	8,9314	38	12,1096	48	15,2898
9	2,9238	19	6,0755	29	9,2491	39	12,4275	49	15,6079
10	3,2361	20	6,3925	30	9,5668	40	12,7455	50	15,9260
11	3,5495	21	6,7095	31	9,8845	41	13,0635	51	16,2441
12	3,8637	22	7,0267	32	10,2023	42	13,3815	52	16,5622
13	4,1786	23	7,3439	33	10,5201	43	13,6995	53	16,8803
14	4,4940	24	7,6613	34	10,8380	44	14,0176	54	17,1984
15	4,8097	25	7,9787	35	11,1558	45	14,3356	55	17,5166

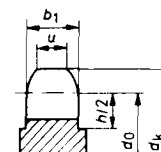


Tjemeni valjak  
 za  $z = 7 \dots 12$   $d_k = d_0 + (0,5 \dots 0,6)d$   
 za  $z = 13 \dots 25$   $d_k = d_0 + (0,6 \dots 0,7)d$   
 za  $z \geq 26$   $d_k = d_0 + (0,7 \dots 0,8)d$

Lančani za člankaste lance s valjcima

Lanac (mm)		Dimenzije lančanika (mm)				
$h$	$e$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$u$	$h_1 \text{ min}$
6	5,5	2,5	8	–	1,3	3,5
8	5,64	2,7	8,3	–	1,5	5
12,7	–	3	–	–	2	8
12,7	–	4,4	–	–	3	8
25,4	31,88	15,4	47	79	11	17
25,4	31,4	15,4	53	90,2	11	17
31,75	36,45	18	54,5	91	13	19
38,1	48,36	23	71,4	120	16	25
44,45	59,56	28	87,6	147	20	28
50,8	58,55	28	86,6	145	20	31
63,5	72,29	34	106	178	24	41
76,2	91,21	41	132	233	29	48

Lančani za člankaste lance s tuljcima i svornjacima



Tjemeni valjak lančanika:

– za lance s tuljcima  
 $d_k = d_0 + (0,8 \dots 1)d$

– za lance sa svornjacima  
 $d_k = d_0 + (3 \dots 4 \text{ mm})$

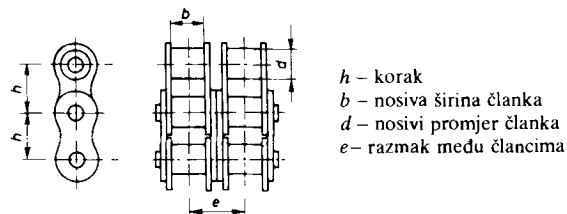
\*

$$b_1 \approx 0,9 b \quad u \approx 0,6 b$$

$b$  je nosiva širina lanca (vidi str. 558 i 559).

## Člankasti lanci

su lanci s valjcima, tuljcima i svornjacima.



Člankasti lanci s valjcima (JUS M.C1.820 – 1960), jedno-, dvo- i troredni

Dimenzije (mm)				Prekidna sila (kN)			Duljin. masa (kg/m)		
h	b	d	e	jedno-redni	dvo-redni	tro-redni	jedno-redni	dvo-redni	tro-redni
6	2,8	4	—	3	—	—	0,12	—	—
8	3	5	5,64	5	9	—	0,18	0,36	—
12,7	3,3	7,75	—	8	—	—	0,40	—	—
12,7	4,88	7,75	—	8	—	—	0,44	—	—
25,4	17,02	15,88	31,88	45	80	115	2,7	5,4	8
(30)	17,02	15,88	—	45	—	—	2,5	—	—
31,75	19,56	19,05	36,45	55	100	140	3,6	7,2	11
38,1	25,4	25,4	48,36	120	215	300	6,7	13,5	21
44,45	30,99	27,94	59,56	140	250	360	8,3	16,6	25
50,8	30,99	29,21	58,55	180	320	450	10,5	21	32
63,5	38,1	39,37	72,29	270	480	680	16	32	48
76,2	45,75	48,26	91,21	400	700	1000	25	50	75

Člankasti lanci s valjcima:

- za povećano opterećenje (JUS M.C1.821 – 1960)
- s dugim člancima (JUS M.C1.822 – 1960)
- za poljoprivredne strojeve (JUS M.C1.827 – 1967)

Člankasti lanci s tuljcima (JUS M.C1.830 – 1960) — jednoredni

Dimenzije (mm)			Prekidna sila (kN)	Dulj. masa (kg/m)	Dimenzije (mm)			Prekidna sila (kN)	Dulj. masa (kg/m)
h	b	d			h	b	d		
15	14	9	12,5	1,20	55	45	30	125	13,6
20	16	12	25	2,15	60	50	32	160	14,9
25	18	15	31,5	2,55	65	55	36	200	18,9
30	20	17	40	4,00	70	65	42	250	24,7
35	22	18	50	4,30	80	70	44	315	31,0
40	25	20	63	5,50	90	80	50	400	41,8
45	30	22	80	7,55	100	90	56	500	48,4
50	35	26	100	9,04					

Člankasti (Gallovi) lanci sa svornjacima (JUS M.C1.840/841-1960) — jednoredni

Dimenzije (mm)			Prekidna sila (kN)	Dulj. masa (kg/m)	Dimenzije (mm)			Prekidna sila (kN)	Dulj. masa (kg/m)
h	b	d			h	b	d		

### Laki lanci

20	8	7	2,5	0,26	50	20	11	40	2,76
25	12	5	5	0,35	60	22	12	60	3,14
35	15	8	12,5	0,69	70	25	14	80	3,31
40	18	10	25	1,25	80	30	17	100	4,50

### Teški lanci

3,5	2	2	0,75	0,07	45	30	17	100	6,4
6	4	3	1,25	0,16	50	35	22	150	10,6
8	6	3,5	1,5	0,25	55	40	24	200	15,5
10	8	4	2,5	0,40	60	45	26	250	18,0
15	12	5	5	0,70	70	50	32	375	33,5
20	15	8	12,5	1,10	80	60	36	500	38,2
25	18	10	25	1,75	90	70	40	750	53,0
30	20	11	40	3,4	100	80	45	1000	76,6
35	22	12	60	4,5	110	90	50	1250	90,0
40	25	14	80	4,7	120	100	55	1500	112

Broj članaka lanca x

$$x = 2 \frac{a}{h} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{h}{a} \left( \frac{z_2 - z_1}{2} \right)^2$$

pri čemu znače: a — razmak osi; h — korak lanca;  $z_1$  — broj zubaca malog lančanika;  $z_2$  — broj zubaca velikog lančanika.

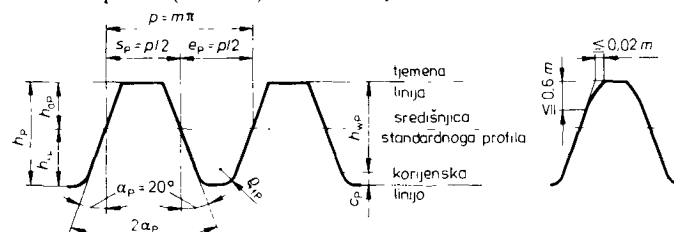
### Zupčani prijenos

Prijenosni omjer  $i$  je omjer brzine vrtnje pogonskog zupčanika  $n_1$  i gonjenog zupčanika  $n_2$ , odnosno broja zubaca gonjenog zupčanika  $z_2$  i malog pogonskog  $z_1$

$$i = n_1/n_2 = z_2/z_1$$

$i > 1$  – prijenos na manju brzinu;  $i < 1$  – prijenos na veću brzinu

Standardni profil evolventnih zupčanika (JUS M.C1.016 – 1958) – s novijim oznakama po ISO (DIN 876) osim oznaka po JUS:



Standardni profil koji treba upotrebljavati pri projektiranju i izradbi evolventnih čelnika (cilindričnih zupčanika)

Korekcija profila koju, u slučaju potrebe, treba izvesti samo na glavi zupca

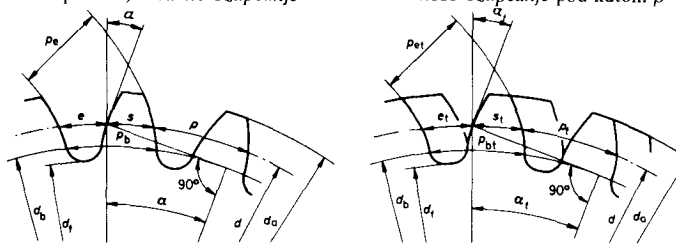
Veličina	Oznaka	
	ISO	JUS
standardni modul	$m = d/z$	$m_n$
korak	$p = m\pi$	$t_n$
visina zubnog vrha	$h_a = m$	$h_k$
visina zubnog korijena	$h_{fp} = m + c$	$h_f$
visina ravnoga dijela	$h_{wp} = 2m$	$h_n$
visina zaokružnja	$c_p = 0,17m; 0,25m; 0,3m$	$c_n m_n$
polumjer zaokružnja	$Q_{fp} = 0,25m; 0,38m; 0,45m$	$e_n$
visina zuba	$h_p = 2m + c$	$h$
kut nagiba	$\alpha_p = 20^\circ$	$\alpha_n$
bočni kut	$2\alpha_p$	–

Standardni moduli  $m$  (mm) po ISO (JUS M.C1.015 – 1965):

1 1,375 2 2,75 3,5 4,5 6 8 11 16 22 32 45  
1,125 1,5 2,25 3 (3,75) 5 (6,5) 9 12 18 25 36 50  
1,25 1,75 2,5 (3,25) 4 5,5 7 10 14 20 28 40

Upotrebljavati valja u prvom redu debelo tiskane vrijednosti modula (1. prednost), tanko tiskane u slučaju opravdanih razloga (2. prednost), a vrijednosti u zagradama samo iznimno (3. prednost).

Parovi čelnika (cilindričnih zupčanika) (JUS M.C1.012 – 1958) (s oznakama po ISO) ravno ozupčanje koso ozupčanje pod kutom  $\beta$



Veličine parova čelnika	ravno ozupčanje	koso ozupčanje
Modul	$m = m_n^*$	$m_t = m_n/\cos \beta$
Zahvatni kut	$\alpha = (\alpha_p = 20^\circ)$	$\alpha_t = \arctan(\tan \alpha_p/\cos \beta)$
Diobeni cilindar		
– promjer	$d = mz$	$d = m_t z = m_n z/\cos \beta$
– korak	$p = m\pi$	$p_t = m_t \pi = m_n \pi/\cos \beta$
– osnovni korak	$p_b = p \cos \alpha$	$p_{bt} = p_t \cos \alpha_t$
– korak među evolventnim bokovima	$p_e = p \cos \alpha = p_b$	$p_{et} = p_t \cos \alpha_t = p_{bt}$
Debljina zupca		
– pri vanjskom ozupčanju	$s = p/2 + 2xm \tan \alpha$	$s_t = p_t/2 + 2xm_t \tan \alpha_t$
– pri unut. ozupčanju	$s = p/2 - 2xm \tan \alpha$	$s_t = p_t/2 - 2xm_t \tan \alpha_t$
Širina međuzublja	$e = p - s$	$e_t = p_t - s_t$
Promjeri korijenskih cilindara		
– pri vanjskom ozupčanju	$d_{f1} = d_1 - 2(h_{fp} - x_1 m)$	$d_{f1} = d_1 - 2(h_{fp} - x_1 m_t)$
– za pogonski zupčanik	$d_{f2} = d_2 - 2(h_{fp} - x_2 m)$	$d_{f2} = d_2 - 2(h_{fp} - x_2 m_t)$
– za gonjeni zupčanik		
– pri unut. ozupčanju	$d_{f1} = d_1 - 2(h_{fp} - x_1 m)$	$d_{f1} = d_1 - 2(h_{fp} - x_1 m_t)$
– za pogonski zupčanik	$d_{f2} = d_2 + 2(h_{fp} + x_2 m)$	$d_{f2} = d_2 + 2(h_{fp} + x_2 m_t)$
– za gonjeni zupčanik	$d_b = d \cos \alpha$	$d_b = d \cos \alpha_t$
Promjeri osnovnih cilindara		
Promjeri tjemenskih cilindara		
– pri vanjskom ozupčanju	$d_{a1} = 2(a - 0,5 d_{f2} - c_2)$	$a = \text{razmak osi}$
– za pogonski zupčanik	$d_{a2} = 2(a - 0,5 d_{f1} - c_1)$	
– za gonjeni zupčanik		
– pri unut. ozupčanju	$d_{a1} = d_{f2} - 2(a + c_2)$	
– za pogonski zupčanik	$d_{a2} = d_{f1} + 2(a + c_1)$	
– za gonjeni zupčanik		
Promjeri kinematičkih cilindara		
– pri vanjskom ozupčanju	$d_{w1} = 2a/(i + 1)$	$a = \text{razmak osi}$
– za pogonski zupčanik	$d_{w2} = 2ai/(i + 1) = id_{w1}$	
– za gonjeni zupčanik		
– pri unut. ozupčanju	$d_{w1} = 2a/(i - 1)$	
– za pogonski zupčanik	$d_{w2} = 2ai/(i - 1) = id_{w1}$	
– za gonjeni zupčanik		

\*  $m_n$  – normalni modul (modul u normalnoj ravnini presjeka).

Pomak profila osnovne ozubnice izražava se umnoškom koeficijenta pomaka profila osnovne ozubnice  $x$  (koji je ovisan od broja zubaca i upadnog kuta  $\alpha$ ) i modula:

$$\begin{aligned} \text{pri ravnom ozupčanju: } & xm & (x_{\min} = 1 - 0,5 z \sin^2 \alpha) \\ \text{pri kosom ozupčanju: } & xm_t & (x_{\min} = 1 - 0,5 z \sin^2 \alpha_t) \end{aligned}$$

Pomakom profila osnovne ozubnice povećava se nosivost, sprečava podre-  
zivanje pri malom broju zubaca ( $z < 17$ ), a smanjuje relativna brzina klizanja.

#### Razmak osi

- pri ravnom ozupčanju  
– pri vanjskom ozupčanju:  
 $a = 0,5 m(z_1 + z_2) \cos \alpha / \cos \alpha_w$   
– pri unutarnjem ozupčanju:  
 $a = 0,5 m(z_2 - z_1) \cos \alpha / \cos \alpha_w$   
dok za pogonski zahvatni kut  $\alpha_w$  odn.  $\alpha_{wt}$  vrijedi:  
– pri vanjskom ozupčanju:  
 $\text{inv } \alpha_w = 2(x_1 + x_2)/(z_1 + z_2) \cdot \tan \alpha + \text{inv } \alpha$   
– pri unutarnjem ozupčanju:  
 $\text{inv } \alpha_w = 2(x_2 - x_1)/(z_2 - z_1) \cdot \tan \alpha + \text{inv } \alpha$

Vrijednost evolventne funkcije  $\text{inv } \alpha$  ( $= \tan \alpha - \alpha$ ) – vidi str. 33!

#### Mjerni broj zubaca

$$\begin{aligned} k &= \frac{z}{\pi} (\tan \alpha_x - \text{inv } \alpha) - \frac{2x \tan \alpha}{\pi} + 0,5 & k &= \frac{z}{\pi} \left( \frac{\tan \alpha_{xt}}{\cos^2 \beta_b} - \text{inv } \alpha_t \right) - \frac{2x \tan \alpha_t}{\pi} + 0,5 \end{aligned}$$

pri čemu je

$$\begin{aligned} \tan \alpha_x &= \sqrt{\tan^2 \alpha + \frac{4(x/z)(1 + x/z)}{\cos^2 \alpha}} & \tan \alpha_{xt} &= \sqrt{\tan^2 \alpha_t + \frac{4(x/z)(1 + x/z)}{\cos^2 \alpha_t}} \\ \sin \beta_b &= \sin \beta \cos \alpha_n & \text{pri čemu je } \alpha_n &= \alpha_p \end{aligned}$$

Mjerni broj zubaca  $k$  zaokružujemo na najbliži cijeli broj.

Ako je  $x = 0$ , dobivamo:

$$k = z\alpha/\pi + 0,5 \quad k = z(\alpha_t + \tan \alpha_t \cdot \tan^2 \beta_b)/\pi + 0,5$$

Mjera pomoću zubaca:

$$\begin{aligned} W &= m \cos \alpha [\pi(k - 0,5) + z \text{inv } \alpha + 2x \tan \alpha] & W &= m \cos \alpha_t [\pi(k - 0,5) + z \text{inv } \alpha_t + 2x \tan \alpha_t] \cdot \cos \beta_b \end{aligned}$$

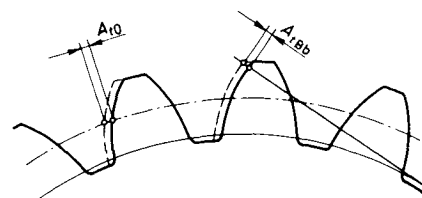
#### Tolerancije parova evolventnih čelnika (ISO)

(JUS M.C1.031 – 1966)

Za sve tolerancije parova čelnika s evolventnim zupcima predviđeno je 12 kvaliteta – osim za tolerancije razmaka osi, za koje je predviđeno 6 kvaliteta. Kvaliteta izražava stupanj točnosti, tj. odgovarajuću veličinu tolerancije.

Granična odstupanja koraka zubnog profila  $A_{t0}$  i dopušteni zbroj odstupanja koraka zubnog profila  $TT_{t0}$

Kvali- teta	$A_{t0}$		$TT_{t0}$ ( $\mu\text{m}$ )
	gornje $A_{t0,g}$ ( $\mu\text{m}$ )	donje $A_{t0,d}$ ( $\mu\text{m}$ )	
1	$0,66 \varphi_p + 0,80$	$A_{t0,d} = -A_{t0,g}$	$0,25 \sqrt{N} + 0,60$
2	$0,10 \varphi_p + 1,25$		$0,40 \sqrt{N} + 1,00$
3	$0,16 \varphi_p + 2,00$		$0,63 \sqrt{N} + 1,60$
4	$0,25 \varphi_p + 3,20$		$1,00 \sqrt{N} + 2,50$
5	$0,40 \varphi_p + 5,00$		$1,60 \sqrt{N} + 4,00$
6	$0,63 \varphi_p + 8,00$		$2,50 \sqrt{N} + 6,00$
7	$0,90 \varphi_p + 11,00$		$3,55 \sqrt{N} + 8,00$
8	$1,25 \varphi_p + 16,00$		$5,00 \sqrt{N} + 12,00$
9	$1,80 \varphi_p + 22,00$		$7,10 \sqrt{N} + 17,00$
10	$2,50 \varphi_p + 32,00$		$10,00 \sqrt{N} + 25,00$
11	$3,55 \varphi_p + 45,00$		$14,00 \sqrt{N} + 33,00$
12	$5,00 \varphi_p + 63,00$		$20,00 \sqrt{N} + 50,00$
	$\varphi_p = m_n + 0,25 \sqrt{d}$ $m_n$ (mm), $d$ (mm)		$N = 0,5 z m \pi$ $m$ (mm)



Granična odstupanja pri osnovnom koraku bokova zubaca

– za zupčanike s ravnim zupcima

$$A_{tBb,g} = A_{t0,g} \quad A_{tBb,d} = A_{t0,d}$$

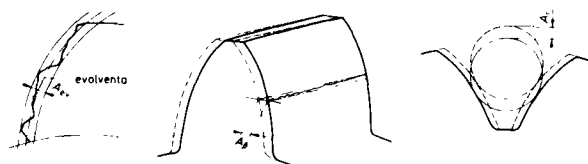
– za zupčanike s kosim zupcima

$$A_{tBb,g} = A_{t0,g} \cdot \cos \beta_0 \quad A_{tBb,d} = A_{t0,d} \cdot \cos \beta_0$$



Tolerancije profila  $T_{ev}$  i bočne linije zupca  $T_{\beta}$

Kvalitetni razred	$T_{ev}$ ( $\mu\text{m}$ )	$T_{\beta}$ ( $\mu\text{m}$ )
1	$0,06 \varphi_p + 2,00$	$0,315 \sqrt{b} + 1,60$
2	$0,10 \varphi_p + 2,50$	$0,40 \sqrt{b} + 2,00$
3	$0,16 \varphi_p + 3,00$	$0,50 \sqrt{b} + 2,50$
4	$0,25 \varphi_p + 4,00$	$0,63 \sqrt{b} + 3,00$
5	$0,40 \varphi_p + 5,00$	$0,80 \sqrt{b} + 4,00$
6	$0,63 \varphi_p + 6,30$	$1,00 \sqrt{b} + 5,00$
7	$1,00 \varphi_p + 8,00$	$1,25 \sqrt{b} + 6,00$
8	$1,60 \varphi_p + 10,00$	$2,00 \sqrt{b} + 10,00$
9	$2,50 \varphi_p + 16,00$	$3,15 \sqrt{b} + 16,00$
10	$4,00 \varphi_p + 25,00$	$5,00 \sqrt{b} + 25,00$
11	$6,30 \varphi_p + 40,00$	$8,00 \sqrt{b} + 40,00$
12	$10,00 \varphi_p + 63,00$	$12,50 \sqrt{b} + 63,00$
	$\varphi_t = m_n + 0,1 \sqrt{d}$ $m_n$ (mm), $d$ (mm)	$b$ (mm)



Tolerancije kružnog toka  $T_r$

Kvalitetni razred	$T_r$ ( $\mu\text{m}$ )	Kvalitetni razred	$T_r$ ( $\mu\text{m}$ )
1	$0,224 \varphi_p + 3,00$	7	$3,15 \varphi_p + 40,00$
2	$0,355 \varphi_p + 4,50$	8	$4,00 \varphi_p + 50,00$
3	$0,56 \varphi_p + 7,00$	9	$5,00 \varphi_p + 63,00$
4	$0,90 \varphi_p + 11,00$	10	$6,30 \varphi_p + 80,00$
5	$1,40 \varphi_p + 18,00$	11	$8,00 \varphi_p + 100,00$
6	$2,24 \varphi_p + 28,00$	12	$10,00 \varphi_p + 125,00$
	$\varphi_p = m_n + 0,25 \sqrt{d}$		$m_n$ (mm), $d$ (mm)

Tolerancije pri tangencijalnoj kontroli zahvatom

tj. pri kontroli zahvatom u etalonski zupčanik s konstantnim nazivnim razmakom osi. (Registriamo odstupanja stvarnog kuta rotacije gonjenog zupčanika.)

$A_i'$  – odstupanje s obzirom na 1 okretaj

$\Delta A_i'$  – odstupanje s obzirom na 1 korak

– tolerancija odstupanja  $T_i' = TT_{10} + T_{ev}$

– tolerancija porasta odstupanja  $\Delta T_i' = A_{10,g} + T_{ev}$

Tolerancije pri radijalnoj kontroli zahvatom

tj. pri kontroli zahvatom u etalonski zupčanik bez bočne zračnosti – što postizemo elastičnim radijalnim pritiskanjem zupčanika na etalonski zupčanik stalnom silom. (Registriamo odstupanja razmaka osi.)

$A_i''$  – odstupanje s obzirom na 1 okretaj

$\Delta A_i''$  – odstupanje s obzirom na 1 korak

Kvalitetni razred	$T_i''$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta T_i''$ ( $\mu\text{m}$ )
1	$0,32 \varphi_p + 4,00$	$0,16 \varphi_p + 2,00$
2	$0,50 \varphi_p + 6,00$	$0,224 \varphi_p + 3,00$
3	$0,80 \varphi_p + 10,00$	$0,32 \varphi_p + 4,00$
4	$1,25 \varphi_p + 16,00$	$0,45 \varphi_p + 6,00$
5	$2,00 \varphi_p + 25,00$	$0,56 \varphi_p + 9,00$
6	$3,20 \varphi_p + 40,00$	$0,90 \varphi_p + 12,00$
7	$4,50 \varphi_p + 56,00$	$1,25 \varphi_p + 16,00$
8	$5,60 \varphi_p + 71,00$	$1,80 \varphi_p + 22,00$
9	$7,10 \varphi_p + 90,00$	$2,24 \varphi_p + 28,00$
10	$9,00 \varphi_p + 112,00$	$2,80 \varphi_p + 36,00$
11	$11,20 \varphi_p + 140,00$	$3,55 \varphi_p + 45,00$
12	$14,00 \varphi_p + 180,00$	$4,50 \varphi_p + 56,00$
	$\varphi_p = m_n + 0,25 \sqrt{d}$	$m_n$ (mm), $d$ (mm)

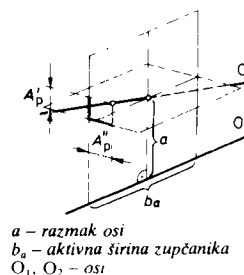
Tolerancija paralelnosti osi

Inklinacija osi  $A_p'$  je komponentno odstupanje paralelnosti osi u ravnini, koja je određena jednom osi i okomicom na nju do druge osi.

Dozvoljena inklinacija  $T_p' = T_{\beta}$

Devijacija osi  $A_o''$  je komponentno odstupanje paralelnosti osi u ravnini, koja je paralelna s jednom osi i okomita na inklinacijsku ravninu.

Dozvoljena devijacija  $T_p'' = T_{\beta}/2$



$a$  – razmak osi  
 $b_a$  – aktivna širina zupčanika  
 $O_1, O_2$  – osi

Tolerancije za mjeru pomoću zubaca označujemo dvama slovima iz niza j...r', od kojih označuje

prvo – gornje granično odstupanje  $A_{w,g}$

drugo – donje granično odstupanje  $A_{w,d}$

Odstupanja dobivamo tako da gornje granično odstupanje koraka  $A_{to,g}$  pomnožimo slijedećim koeficijentima:

niz	j	h	g	f	e	d	c	b	a
koeficijent	+1	0	-2	-4	-6	-8	-10	-12	-14
niz	z'	y'	x'	w'	v'	u'	t'	s'	r'
koeficijent	-18	-22	-26	-30	-34	-38	-42	-46	-50

Primjer označivanja kvalitete tolerancije za mjeru pomoću zubaca: npr. 5 fa.

Granična odstupanja razmaka osi

Odstupanje razmaka osi  $A_a$  je algebarska razlika između stvarnog i nazivnog razmaka osi.

Kvalitetni razred	Gornje odstupanje $A_{a,g}$ (μm)	Kvalitetni razred	Gornje odstupanje $A_{a,g}$ (μm)
1	0,5 IT 4	4	0,5 IT 8
2	0,5 IT 6	5	0,5 IT 9
3	0,5 IT 7	6	0,5 IT 11

Donje odstupanje:  $A_{a,d} = -A_{a,g}$

Kružna zračnost

– za zupčanike s ravnim zupcima

$$j_{\max} = -(A_{w1,d} + A_{w2,d})/\cos \alpha_w + 2A_{a,g} \tan \alpha_w$$

$$j_{\min} = -(A_{w1,g} + A_{w2,g})/\cos \alpha_{wt} + 2A_{a,d} \tan \alpha_{wt}$$

– za zupčanike s kosim zupcima

$$j_{\max} = -\frac{A_{w1,d} + A_{w2,d}}{\cos \alpha_{wt} \cos \beta_b} + 2A_{a,g} \tan \alpha_{wt}$$

$$j_{\min} = -\frac{A_{w1,g} + A_{w2,g}}{\cos \alpha_{wt} \cos \beta_b} + 2A_{a,d} \tan \alpha_{wt}$$

Da spriječimo interferenciju (istodobno prekrivanje) zubnih bokova, mora biti

$$j_{\min} > 2(T_{11}'' + T_{12}'') \tan \alpha_{wt}$$

Orijentacijske vrijednosti za kružnu zračnost u ovisnosti o standardnom modulu  $m_n$

$$j = k(m_n + 1) \quad m_n \text{ (mm)} \quad j \text{ (μm)}$$

pri čemu faktor  $k$  iznosi:

$k = 26 \dots 38$  – bez posebnih zahtjeva

$k = 18 \dots 32$  – za alatne strojeve

$k = 18 \dots 50$  – u automobilske industriji

Izbor kvaliteta tolerancije zupčanika

Kvalitet tolerancije zupčanika odabiremo s obzirom na upotrebu, obodnu brzinu i način obrade.

Izbor s obzirom na upotrebu

Upotreba	Kvalitet tolerancije											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
etalonski zupčanici												
precizni instrumenti												
precizni prigrani												
automobili												
kamioni												
opće strojarstvo												
grubi strojevi												

Izbor s obzirom na obodnu brzinu

Obodna brzina (m/s)	Kvalitet tolerancije											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
> 20												
20...6												
6...3												
< 3												

Izbor s obzirom na način obrade

Način obrade	Kvalitet tolerancije											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
brušenje												
brijanje												
precizno odvajanje čestica												
osrednje odvajanje čestica												
obično odvajanje čestica												

Razred površinske obrade (orijentacijski)

Standardni modul $m_n$ (mm)	Kvalitet tolerancije											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1...2												
2...4												
4...6	4	5		6								
6...8							7	8				
8...10									9	10		
10...16												
16...20												11

# **Proračun čvrstoće čelnika** (po DIN 3990)

Prvi proračun – za osnovu

Za poznati okretni moment na pogonskom zupčaniku  $T_1$  izračunavamo:  
– promjer diobene kružnice pogonskog zupčanika

$$d_1 \geq \sqrt{2 \frac{T_1}{b_k} \cdot \frac{i+1}{i} \cdot \frac{S_{Hmin}}{\sigma_{Hlim}}} Z_M \cdot Q_H$$

– modul

$$m \geq 2 \frac{T_1}{b_k d_1} \cdot \frac{S_{Fmin}}{\sigma_{Flim}} Y_F \cdot Q_F$$

gdje su:

$b_k$  – širina korisnog dijela boka zupca

$i$  – prijenosni omjer

$S_{Hmin}$  – najmanji koeficijent sigurnosti s obzirom na jamičenje ( $\geq \sqrt{1,4}$ )

$S_{Fmin}$  – najmanji koeficijent sigurnosti s obzirom na trajni lom ( $\geq 1,7$ )

$\sigma_{Hlim}$  – dinamička čvrstoća za bočni tlak (Hertzov tlak)

Materijal	Tvrd. HV	$\sigma_{Hlim}$ (N/mm <sup>2</sup> )
čelik za cementiranje	650...750	1450...1650
čelik za poboljšanje, nelegiran	140...200	500...610
legiran	200...400	1,25 HV + (245...355)
čelični lijev, legiran	200...400	1,10 HV + (210...310)

$\sigma_{Flim}$  – dinamička čvrstoća za naprezanje u korijenu zupca

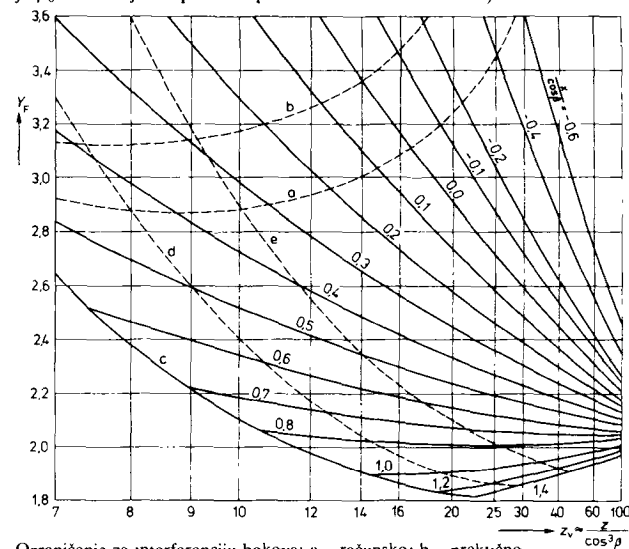
Materijal	Tvrd. HV	$\sigma_{Hlim}$ (N/mm <sup>2</sup> )
čelik za cementiranje	650...750	350...500
čelik za poboljšanje, nelegiran	140...200	0,67 HV + (55...115)
legiran	200...400	0,43 HV + (115...195)
čelični lijev, legiran	200...400	0,40 HV + (40...120)

$Z_M$  – karakteristika materijala

$$Z_M = \sqrt{\pi \left( \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right)}$$

Kombinacije materijala	$Z_M$ (√N/mm <sup>2</sup> )
čelik – čelik	268
čelik – čelični lijev	267
čelik – sivi lijev	234
čelik – bronca	219

$Y_F$  – koeficijent oblika zupca (ovisi o broju zubaca  $z$ , kutu nagiba bočne linije  $\beta_0$  i koeficijentu pomaka profila osnovne ozubnice  $x$ )



Ograničenje za interferenciju bokova: a – računsko; b – praktično

Ograničenje za šljasti vrh: c:  $s_k = 0$ ; d:  $s_k = 0,2 m_n$ ; e:  $s_k = 0,4 m_n$

$Q_H, Q_F$ – korekcijski faktori		Točno ozupčanje	Grubo ozupčanje
$Q_H = \frac{Q_{HA} Q_{HB}}{Q_{HD}}$	$Q_{HA}$	$> 1$	$> 1$
	$Q_{HB} \begin{cases} \beta = 0^\circ \\ \beta \approx 30^\circ \end{cases}$	$1,45 \dots 1,50$	$1,77$
	$Q_{HD}$	$1,20 \dots 1,30$	$1,77$
$Q_F = \frac{Q_{FA} Q_{FB}}{Q_{FD}}$	$Q_{FA} (\leq Q_{HA})$	$0,80 \dots 1,20$	$0,5 \dots 1$
	$Q_{FB}$	$> 1$	$> 1$
	$Q_{FD} \begin{cases} \rho_f \geq 0,25 m & (1.2) \\ \rho_f < 0,25 m & (1.3) \end{cases}$	$0,55 \dots 0,75$	$> 1$

<sup>1)</sup>  $\beta_0$  – kut nagiba bočne linije,  $\rho_f$  – zaobljenost u korijenu. – <sup>2)</sup> Ako u prijelaznim dijelovima bokova zupca nema zareza. – <sup>3)</sup> Ako su u prijelaznim dijelovima bokova zupca zarezi (npr. stepenica pri bušenju).

Kontrola podataka iz prvog proračuna

Koeficijenti sigurnosti moraju biti:

— s obzirom na jamičenje

$$S_H = \frac{d_{o1}}{\sqrt{2} \frac{T_1}{b_k} \cdot \frac{i+1}{i}} \cdot \frac{\sigma_{H \lim}}{Z_M} \cdot \frac{1}{Q_H'} > S_{H \min}$$

— s obzirom na trajni lom

$$S_F = \frac{m}{2 \frac{T_1}{b_k d_{o1}}} \cdot \frac{\sigma_F \lim}{Y_F} \cdot \frac{1}{Q_F'} > S_{F \min}$$

pri čemu su:

$$\frac{1}{Q_H'} = \frac{Z_v Z_R}{Z_H Z_e} \cdot \frac{K_L K_{H\alpha}}{\sqrt{K_I K_v K_{H\alpha} K_{H\beta}}} \\ \frac{1}{Q_F'} = \frac{Y_s}{Y_\beta Y_e} \cdot \frac{K_{Fx}}{K_I K_v K_{Fa} K_{F\beta}}$$

dok pojedini (bezdimenzijski) koeficijenti iznose:<sup>1)</sup>

$Z_v$  — koeficijent brzine ( $\approx 1$ )\*

$Z_R$  — koeficijent hrapavosti ( $= 0,8 \dots 1$ )\*

$Z_H$  — koeficijent oblika boka zupca

$$Z_H = \sqrt{\frac{\cos \beta_b}{\tan \alpha} \cdot \frac{1}{\cos \alpha}} \quad \begin{matrix} \alpha - \text{kut zahvata} \\ \beta_b - \text{kut zavojnice na osnovnom valjku} \end{matrix}$$

$Z_e$  — koeficijent zahvata

$$Z_e = \sqrt{\left[ \frac{4 - \varepsilon_p}{3} (1 - \varepsilon_q) + \frac{\varepsilon_q}{\varepsilon_p} \right] \cos \beta_b}$$

$$\varepsilon_p = \frac{z_1}{2} [\tan \alpha_{k1} + i \tan \alpha_{k2} - (i+1) \tan \alpha]$$

$$\tan \alpha_k = \sqrt{(d_k/d_b)^2 - 1} \quad \begin{matrix} d_k - \text{promjer tjemenog valjka} \\ d_b - \text{promjer osnovnog valjka} \\ b_A - \text{širina aktivnog dijela bokova zupca} \end{matrix}$$

$$\varepsilon_q = \frac{b_A \sin \beta_0}{m_n \pi}$$

$Y_s$  — koeficijent zarez ( $\approx 1$ )\*

$Y_\beta$  — koeficijent nagiba zupca  $Y_\beta = 1 - \beta_0/120 \geq 0,75$

$Y_e$  — koeficijent razdiobe sile  $Y_e = 1/\varepsilon_p$

<sup>1)</sup> Vrijednosti označene zvijezdicom \* samo su orijentacijske.

$K_L$  — koeficijent maziva ( $= 0,82 \dots 1,1$ )\*

$K_{H\alpha}$  — veličinski koeficijent ( $\approx 1$ )\*

$K_{Fx}$  — veličinski koeficijent ( $\approx 1$ )\*

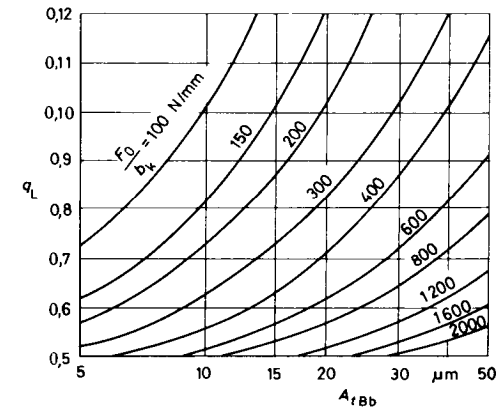
$K_I$  — koeficijent udarnog opterećenja

		Rad radnog stroja		
		jednoliki	nejednoliki	udarni
Rad pogonskog stroja	jednoliki	1,00	1,25	1,75
	nejednoliki	1,10	1,35	1,80
	udarni	1,25	1,50	1,85

$K_v$  — dinamički koeficijent ( $\approx 1$ )\*

$K_{H\alpha}$  — koeficijent razdiobe sile u ravni profila

$$K_{H\alpha} = 1 + 2(1/Z_e^2 - 1)(q_L - 0,5)$$



$K_{Fa}$  — koeficijent razdiobe sile u ravni profila

$$K_{Fa} = 1 + 2(\varepsilon_p - 1)(q_L - 0,5)$$

$K_{H\beta}$  — koeficijent razdiobe sile po širini zupca

$$K_{H\beta} = 1,5 b_k/b_A$$

$K_{F\beta}$  — koeficijent razdiobe sile po širini zupca

pri jednolikoj razdiobi opterećenja

$$K_{F\beta} \approx (1 + K_{H\beta})/2 \quad 1 < K_{H\beta} < 2$$

pri nejednolikoj razdiobi opterećenja

$$1 < K_{F\beta} \leq 0,75 K_{H\beta} \quad K_{H\beta} = 2 b_k/b_A$$

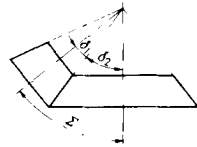
### Parovi stožnika (DIN 3971 – 1980)

Prijenosni omjer je

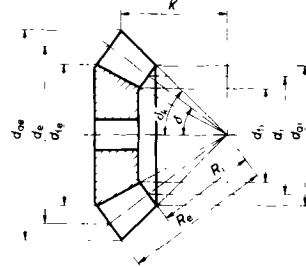
$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

gdje su:  $n_1$  i  $n_2$  – brzine vrtnje pogonskog i gonjenog zupčanika,  $z_1$  i  $z_2$  – brojevi zubaca pogonskog i gonjenog zupčanika.

Kutovi kinematičkih stožaca  $\delta_1$  i  $\delta_2$  ovise o prijenosnom omjeru  $i$  te o kutu među osima  $\Sigma = \delta_1 + \delta_2$ :



Mjere stožnika



$$\delta_1 = \arctan \frac{\sin \Sigma}{i + \cos \Sigma}$$

$$\delta_2 = \arctan \frac{i \sin \Sigma}{1 + i \cos \Sigma}$$

$$\frac{\sin \delta_2}{\sin \delta_1} = i = \frac{z_2}{z_1}$$

Promjeri kinematičkih kružnica:

$$\text{vanjski } d_c = 2 R_c \sin \delta$$

$$\text{nutarnji } d_i = 2 R_i \sin \delta$$

gdje su duljine izvodnice stošca:

$R_c$  – vanjska,  $R_i$  – unutarnja

$$R_c = \frac{d_c}{2 \sin \delta} = \frac{z m_{tc}}{2 \sin \delta}$$

Promjeri tjemernih kružnica:

$$d_{ac} = d_c + 2 h_{ac} \cos \delta$$

$$d_{ai} = d_i + 2 h_{ai} \cos \delta$$

Promjeri korijenskih kružnica:

$$d_{ic} = d_c - 2 h_{ic} \cos \delta$$

$$d_{ii} = d_i - 2 h_{ii} \cos \delta$$

$h_{ke}$  ( $h_{ic}$ ) i  $h_{ki}$  ( $h_{ii}$ ) su visine vrha (odn. korijena) zubaca za vanjske i unutarnje duljine izvodnice stošca.

Udaljenost vanjske tjemene kružnice

$$K = R_c \cos \delta - h_{ac} \sin \delta = d_c/2 \cdot \cot \delta - h_{ac} \sin \delta$$

Kut tjemnog stošca  $\delta_a = \delta + \vartheta_a$   $\vartheta_a = \arctan (h_{ac}/R_c)$

Kut podnožnog stošca  $\delta_f = \delta - \vartheta_f$   $\vartheta_f = \arctan (h_{ic}/R_c)$

Korak – kutni  $\tau = 2 \pi/z$   $\tau_1/\tau_2 = z_2/z_1 = i$

– lučni  $p_t = \tau d/2 = d \pi/z = m_t \pi$

Modul  $m_t = p_t/\pi = d/z$

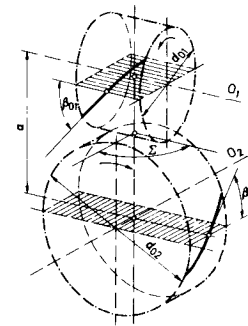
### Parovi hiperboloidnih zupčanika

Evolventni hiperboloidni parovi zupčanika

Prijenosni omjer je

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

gdje su:  $n_1$  i  $n_2$  – brzine vrtnje pogonskog i gonjenog zupčanika,  $z_1$  i  $z_2$  – brojevi zubaca pogonskog i gonjenog zupčanika.



Kut među osima iznosi

$$\Sigma = \beta_{01} + \beta_{02}$$

gdje su  $\beta_{01}$  i  $\beta_{02}$  – kutovi nagiba bočnih linija u pogonskog i gonjenog zupčanika.

Promjeri diobenih kružnica:

– pogonskog zupčanika

$$d_{01} = \frac{z_1 m_n}{2 \cos \beta_{01}}$$

– gonjenog zupčanika

$$d_{02} = \frac{z_2 m_n}{2 \cos \beta_{02}}$$

Za kut među osima  $\Sigma = \beta_{01} + \beta_{02} = 90^\circ$  iznose:

– razmak osi  $a$

$$a = \frac{d_{01} + d_{02}}{2} = \frac{m_n}{2} \left( \frac{z_1}{\cos \beta_{01}} + \frac{z_2}{\cos \beta_{02}} \right)$$

$$a = \frac{z_1 m_n}{2} \left( \frac{1}{\cos \beta_{01}} + \frac{i}{\sin \beta_{01}} \right)$$

– kutovi nagiba bočne linije  $\beta_{01}$  i  $\beta_{02}$

$$\left. \begin{matrix} \tan \beta_{01} \geq \sqrt[3]{i} \\ \beta_{02} = 90^\circ - \beta_{01} \end{matrix} \right\} \text{ ako je } \frac{1}{\cos \beta_{01}} + \frac{i}{\sin \beta_{01}} = \frac{2a}{z_1 m_n}$$

– razmak osi za prijenosni omjer  $i = 1$

$$a = \frac{z_1 m_n}{\sin 2\beta_{01}} (\sin \beta_{01} + \cos \beta_{01})$$

pri čemu je

$$\sin \beta_{01} = \frac{1}{2K^2} (1 + \sqrt{1 + 4K^2})$$

$$K = a/z_1 m_n$$

### Cilindrični pužni prijenos (ISO)

(DIN 3975 – 1976)

S obzirom na oblik bokova zubaca pužnog vijka, koji je ovisan o postupku obrade, razlikuju se parovi cilindričnog pužnog prijenosa ZA (oblika bokova A), ZN (oblika bokova N), Z1 (oblika bokova I) i ZK (oblika bokova K).

Prijenosni omjer je

$$i = n_1/n_2 = z_2/z_1$$

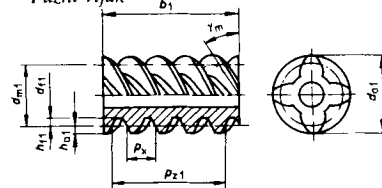
pri čemu su:  $n_1$  i  $n_2$  – brzine vrtnje pužnog vijka i pužnog kola,  $z_1$  i  $z_2$  – brojevi zubaca pužnog vijka i pužnog kola.

Kut među osima  $\Sigma$  je po volji; obično je  $\Sigma = 90^\circ$ .

Moduli  $m$  (mm):

1	1,25	1,5	2	2,5	3	4
5	6	8	10	12	16	20

Pužni vijak



Promjer središnjeg valjka  
 $d_{m1} = m q$

Pužna karakteristika $q$ :	1. prednost:	8	10	12	16	20
	2. prednost:	7	9	11	14	18

Kut središnje zavojnice

$$\gamma_m = \arctan(z_1/q) = \arctan(m z_1/d_{m1})$$

Oсни korak

$$p_x = m \pi$$

Debljina zupca (širina međuzublja) na središnjem valjku u ravni presjeka kroz os

$$s_{mx} = e_{mx} = m \pi/2$$

Korak zavojnice

$$p_{z1} = z_1 p_x = z_1 m \pi$$

Visina zupčanog vrha

$$h_{a1} = m$$

U posebnim slučajevima može visina vrha zupca biti nešto veća ili manja od  $m$ .

Visina korijena zupca

$$h_{f1} = m(1 + c_1)$$

pri čemu je  $c_1 = 0,1 \dots 0,3$  ( $c_1 \approx 0,2$ ).

Promjer tjemenog valjka

$$d_{a1} = d_{m1} + 2 h_{a1}$$

Promjer podnožnog valjka

$$d_{f1} = d_{m1} - 2 h_{f1}$$

Pužno kolo

Promjer diobene kružnice  $d_2 = z_2 m$

Korak  $p_2 = m \pi = d_2 \pi/z_2$

Promjer tjemenog valjka

$$d_{a2} = d_2 + 2 m(1 + x)$$

Promjer tjemenog valjka

$$d_{e2} = d_{a2} + m$$

Promjer anuloidne kružnice

$$r_K = a - (d_{a2}/2)$$

Promjer podnožne kružnice

$$d_{f2} = d_{a2} - 2 m(2 + c_2)$$

Visina zupca

$$h_2 = h_{a2} + h_{f2}$$

Visina zupčanog vrha

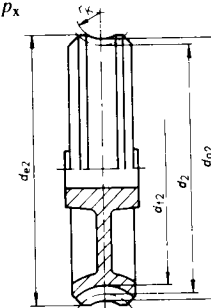
$$h_{a2} = m(1 + x)$$

Visina zupčanog korijena

$$h_{f2} = m(1 - x + c_2)$$

pri čemu su:  $c_2 = 0,1 \dots 0,3$  ( $c_2 \approx 0,2$ );  $x$  – koeficijent pomaka profila.

Razmak osi  $a = 0,5(d_{m1} + d_2) + x m$



Izbor veličina za pužni prijenos

Broj zubaca pužnog vijka  $z_1$  i mehanička korisnost  $\eta_m$  ovise o prijenosnom omjeru  $i$ :

$i$	5...10	10...15	15...30	> 30
$z_1$	4	3	2	1
$\eta_m$	0,78...0,90	0,75...0,88	0,65...0,85	0,55...0,80

Okretni moment na pužnom kolu  $T_2$  proizlazi iz okretnog momenta na pužnom vijku  $T_1$ , prijenosnog omjera  $i$  i mehaničke korisnosti  $\eta_m$

$$T_2 = i T_1 \eta_m$$

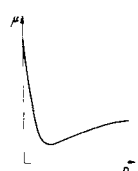
Modul procjenjujemo prema jednadžbi

$$m \approx 0,43 \sqrt[3]{\frac{T_2}{p z_2}} \quad \begin{matrix} m \text{ (mm)} \\ T_2 \text{ (N} \cdot \text{mm)} \\ p \text{ (N/mm}^2\text{)} \end{matrix}$$

pri čemu ocjenjujemo bočni pritisak s obzirom na materijal pužnog kola:

materijal	$p$ (N/mm <sup>2</sup> )
sivi lijev	2...3
bakrene slitine s kositrom	5...8
alumijske slitine	4...7

Promjer središnjeg valjka pužnog vijka  $d_m$  ocjenjujemo s obzirom na modul  $m$  i broj zubaca pužnog vijka  $z_1$ : za puni pužni vijak  $d_m \approx 2 m (1,4 + 2\sqrt{z_1})$  za navučeni pužni vijak  $d_m \approx 2 m (5,3 + 0,1 z_1)$  a zatim ga odabiremo s obzirom na  $d_m = m q$  (str. 574).



## LEŽAJI

### Klizni ležaji

U stanju mirovanja klizne se plohe rukavca i blazinice ležaja dodiruju neposredno. Zbog toga se u početku pogona pojavljuje »suho trenje« s razmjerno velikim koeficijentom trenja  $\mu = 0,1 \dots 0,2$ . U tom je stanju potrebno ulje utiskivati pod tlakom u ležaj.

Kako se brzina vrtnje  $n$  povećava, stvara se između rukavca i blazinice uljni film i podmazivanje prelazi postupno u hidrodinamičko, u kojem se koeficijent trenja snizuje na  $\mu = 0,005 \dots 0,01$  (a zatim s povećanjem brzine vrtnje opet raste).

Prosječni pritisak  $p_{med}$  u ležaju je

$$p_{med} = F/dl$$

gdje su:  $F$  – sila, koja djeluje okomito na ležaj,  $d$  – promjer rukavca,  $l$  – nosiva duljina rukavca:  $l = (0,5 \dots 1)d$ .

Prosječni pritisak  $p_{med}$  za različite materijale blazinica približno je u sljedećim granicama:

materijal	$p_{med}$ (N/mm <sup>2</sup> )	materijal	$p_{med}$ (N/mm <sup>2</sup> )
bijela kovina	5 ... 15	sivi lijev	$\leq 0,8$
olovna bronca	15 ... 35	guma (u vodi)	$\leq 0,4$

Relativna zračnost  $\psi$  u ležaju, potrebna za nastajanje uljnog filma, iznosi

$$\psi = (D - d)/d$$

gdje su:  $D$  – promjer blazinice,  $d$  – promjer rukavca.

Relativna zračnost  $\psi$  ovisi o prosječnom pritisku  $p_{med}$  i brzini vrtnje  $n$ . Vrijednosti relativne zračnosti vide se u sljedećoj tablici:

Brzina vrtnje $n$	Relativna zračnost $\psi$	
	malen $p_{med}$	velik $p_{med}$
malena	$(0,7 \dots 1,2) 10^{-3}$	$(0,3 \dots 0,6) 10^{-3}$
velika	$(2 \dots 3) 10^{-3}$	$(1,5 \dots 2,5) 10^{-3}$

Uzimajući u obzir različite koeficijente temperaturnog rastezanja, preporučljivo je odabrati sljedeće relativne zračnosti prema materijalu blazinice:

materijal	$\psi$	materijal	$\psi$
bijela kovina	$(0,5 \dots 1) 10^{-3}$	sinterovano željezo	$(1,5 \dots 2) 10^{-3}$
olovna bronca	$(1 \dots 1,5) 10^{-3}$	umjetne tvari	$(3 \dots 4) 10^{-3}$
alumijske slitine	$(2 \dots 3) 10^{-3}$		

### Toplina trenja

Toplinski tok  $\Phi$ , koji nastaje zbog trenja pri obodnoj brzini rukavca  $v$ , iznosi

$$\Phi = \mu F v,$$

a prelazi uglavnom na mazivo, zbog čega se mazivo mora hladiti.

## Valjni ležaji (ISO)

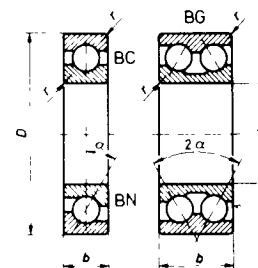
### Kuglični ležaji

Nizovi BC, BN i BG  
(JUS M.C3.601/611/621 – 1966)

Niz BC: jednoredni kuglični ležaji, obični ( $\alpha = 0$ , vidi str. 597)

Niz BN: jednoredni kuglični ležaji, s kosim dodirom

Niz BG: dvoredni kuglični ležaji, s kosim dodirom



### Jednoredni kuglični ležaji

Oznaka	Dimenzije (mm)		$r$	Nosivost (kN)	
	$d$	$D$		$C_0$	$C$
Niz BC 10					
10 BC 10	10	26	0,5	1,9	3,4
12	12	28	0,5	2,2	3,75
15	15	32	0,5	2,55	4,2
17 BC 10	17	35	0,5	2,85	4,5
20	20	42	1	4,5	6,95
25	25	47	1	5	7,5
30 BC 10	30	55	1,5	7	10
35	35	62	1,5	8,6	12
40	40	68	1,5	9,4	12,7
45 BC 10	45	75	1,5	12,4	16,3
50	50	80	1,5	13,3	17
55	55	90	2	17,3	22
60 BC 10	60	95	2	19,3	22,8
65	65	100	2	21,2	24
70	70	110	2	24,5	30
75 BC 10	75	115	2	26,6	31,5
80	80	125	2	32	37,5
85	85	130	2	34	39
90 BC 10	90	140	2,5	40	45,5
95	95	145	2,5	43	48
100	100	150	2,5	43	48
105 BC 10	105	160	3	56,5	57
110	110	170	3	59	64
120	120	180	3	62,5	67
Niz BC 02					
10 BC 02	10	30	1	1,98	3,4
12	12	32	1	3	5,3
15	15	35	1	3,6	5,85

Jednoredni kuglični ležaji (nastavak)

Oznaka	Dimenzije (mm)				Nosivost (kN)	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>C</i> <sub>0</sub>	<i>C</i>
<i>Niz BC 02</i>						
17 BC 02	17	40	12	1,5	4,4	7,2
20	20	47	14	1,5	6,55	9,8
25	25	52	15	1,5	7,1	10,4
30 BC 02	30	62	16	1,5	10	14,6
35	35	72	17	2	13,7	19,6
40	40	80	18	2	16	22,4
45 BC 02	45	85	19	2	18,3	25
50	50	90	20	2	21	27
55	55	100	21	2,5	26	32,5
60 BC 02	60	110	22	2,5	32	40
65	65	120	23	2,5	35,5	44
70	70	125	24	2,5	39	46,5
75 BC 02	75	130	25	2,5	42,5	50
80	80	140	26	3	45,5	55
85	85	150	28	3	55	63
90 BC 02	90	160	30	3	63	71
95	95	170	32	3,5	72	80
100	100	180	34	3,5	81,5	90
<i>Niz BC 03</i>						
10 BC 03	10	35	11	1	3,6	6,55
12	12	37	12	1,5	4,3	8
15	15	42	13	1,5	5,2	8,8
17 BC 03	17	47	14	1,5	6,3	10,4
20	20	52	15	2	7,65	12,5
25	25	62	17	2	10,4	16,6
30 BC 03	30	72	19	2	14,6	22
35	35	80	21	2,5	17,6	26
40	40	90	23	2,5	22	31,5
45 BC 03	45	100	25	2,5	30	40,5
50	50	110	27	3	35,5	47,5
55	55	120	29	3	42,5	54
60 BC 03	60	130	31	3,5	48	61
65	65	140	33	3,5	55	69,5
70	70	150	35	3,5	63	78
75 BC 03	75	160	37	3,5	72	85
80	80	170	39	3,5	80	93
85	85	180	41	4	88	102
90 BC 03	90	190	43	4	98	110
95	95	200	45	4	112	120
100	100	215	47	4	132	137
<i>Niz BC 04</i>						
17 BC 04	17	62	17	2	12,1	19,3
20	20	72	19	2	16,9	26
25	25	80	21	2,5	19,7	29
30	30	90	23	2,5	24,3	34,5

Jednoredni kuglični ležaji (nastavak)

Oznaka	Dimenzije (mm)				Nosivost (kN)	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>C</i> <sub>0</sub>	<i>C</i>
<i>Niz BC 04</i>						
35 BC 04	35	100	25	2,5	31,5	43
40	40	110	27	3	37,5	51,5
45	45	120	29	3	47	61,2
50 BC 04	50	130	31	3,5	53	70
55	55	140	33	3,5	63	79
60	60	150	35	3,5	71	86
65 BC 04	65	160	37	3,5	79,5	90
70	70	180	42	4	106	118
75	75	190	45	4	116	127
80 BC 04	80	200	48	4	127	137
85	85	210	52	5	138	143
90	90	225	54	5	148	153

Jednoredni kuglični ležaji s kosim dođirom

Oznaka	Dimen- zije (mm) <i>d, D, b</i>	Nosivost (kN) <i>C</i> <sub>0</sub> <i>C</i>		Oznaka	Dimen- zije (mm) <i>d, D, b</i>	Nosivost (kN) <i>C</i> <sub>0</sub> <i>C</i>	
		<i>C</i> <sub>0</sub>	<i>C</i>			<i>C</i> <sub>0</sub>	<i>C</i>
<i>Niz BN 02</i>				<i>Niz BN 03</i>			
15 BN 02	kao kod niza BC 02	4,15	6,2	17 BN 03	kao kod niza BC 03	7,8	11,8
17		5,3	7,65	20		9,3	13,7
20		7,35	10,4	25		14,3	19,6
25 BN 02		8,8	11,6	30 BN 03		19,3	25
30		12,7	16,3	35		23,2	30
35		17,3	21,6	40		29	35,5
40 BN 02		21,2	26	45 BN 03		39	46,5
45		24,5	29	50		45,5	54
50		26,5	30,5	55		54	62
55 BN 02		33,5	38	60 BN 03		62	69,5
60		41,5	45,5	65		72	78
65		49	51	70		83	88
70 BN 02		53	56	75 BN 03		93	96,5
75		57	58,5	80		104	106
80		64	65,5	85		116	116
85 BN 02	<i>d</i> = 105 <i>D</i> = 190 <i>b</i> = 36	73,5	72	90 BN 03	<i>d</i> = 110 <i>D</i> = 240 <i>b</i> = 50	129	127
90		86,5	85	95		143	137
95		100	95	100		170	156
100		106	102				
105 BN 02		120	112	105 BN 03		186	170
110 BN 02	<i>d</i> = 110 <i>D</i> = 200 <i>b</i> = 38	134	122	110 BN 03		216	190



**Dvoredni kuglični ležaji (s kosim dodirnom)**

Oznaka	Dimenzije (mm)				Nosivost (kN)	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>C</i> <sub>0</sub>	<i>C</i>
<i>Niz BG 32</i>						
10 BG 32	10	30	14,0	1	4,55	6,95
12	12	32	15,9	1	5,6	7,8
15	15	35	15,9	1	5,6	7,8
17 BG 32	17	40	17,5	1,5	8,5	11
20	20	47	20,6	1,5	11	15,3
25	25	52	20,6	1,5	13,7	17,3
30 BG 32	30	62	23,8	1,5	20,4	25
35	35	72	27,0	2	28	33,5
40	40	80	30,2	2	32,5	38
45 BG 32	45	85	30,2	2	37,5	42,5
50	50	90	30,2	2	43	47,5
55	55	100	33,3	2,5	49	54
60 BG 32	60	110	36,5	2,5	63	66,5
65	65	120	38,1	2,5	69,5	71
70	70	125	39,7	2,5	71	71
75 BG 32	75	130	41,3	2,5	80	78
80	80	140	44,4	3	96,5	95
85	85	150	49,2	3	106	102
90 BG 32	90	160	52,4	3	127	118
95	95	170	55,6	3,5	150	137
100	100	180	60,3	3,5	160	146
<i>Niz BG 33</i>						
15 BG 33	15	42	19,0	1,5	9,3	13,7
17	17	47	22,2	1,5	12,9	18,6
20	20	52	22,2	2	14	18,6
25 BG 33	25	62	25,4	2	20	26
30	30	72	30,2	2	27	34,5
35	35	80	34,9	2,5	36	43
40 BG 33	40	90	36,5	2,5	45,5	55
45	45	100	39,7	2,5	56	65,5
50	50	110	44,4	3	73	80
55 BG 33	55	120	49,2	3	80	86,5
60	60	130	54,0	3,5	96,5	100
65	65	140	58,7	3,5	112	114
70 BG 33	70	150	63,5	3,5	129	132
75	75	160	68,3	3,5	140	137
80	80	170	68,3	3,5	160	156
85 BG 33	85	180	73,0	4	180	173
90	90	190	73,0	4	212	196
95	95	200	77,8	4	240	216
100 BG 33	100	215	82,6	4	265	236
105	105	225	87,3	4	300	255
110	110	240	92,1	4	320	275

**Valjkasti ležaji**

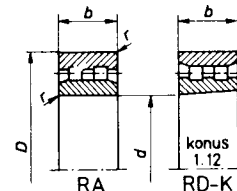
Nizovi RU, RN, RJ, RT, RA in RD-K  
(JUS M.C3.631/632/635/636/637/641/642 – 1966)

*Niz RU:* u oba smjera aksijalno pomični ležaji s vodećim vanjskim prstenom\*

*Niz RN:* u oba smjera aksijalno pomični ležaji s vodećim unutarnjim prstenom\*

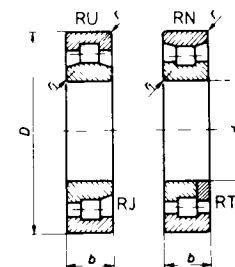
*Niz RJ:* u jednom smjeru aksijalno pomični ležaji s vodećim vanjskim prstenom\*

*Niz RT:* aksijalno nepomični ležaji\*



*Jednoredni valjkasti ležaji*

Oznaka	Dimenzije (mm)					Nosivost (kN)	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>r</i> <sub>1</sub>	<i>C</i> <sub>0</sub>	<i>C</i>
<i>Niz RU 10</i>							
25 RU 10	25	47	12	1	0,5	7,5	10
30	30	55	13	1,5	0,8	10,4	13,2
35	35	62	14	1,5	0,8	13,2	16
40 RU 10	40	68	15	1,5	1	15,3	18,6
45	45	75	16	1,5	1	18,6	22,4
50	50	80	16	1,5	1	21,2	24
55 RU 10	55	90	18	2	1,5	24	27,5
60	60	95	18	2	1,5	25	28,5
65	65	100	18	2	1,5	26,5	29
70 RU 10	70	110	20	2	1,5	37,5	42,5
75	75	115	20	2	1,5	39	44
80	80	125	22	2	1,5	47,5	53
85 RU 10	85	130	22	2	1,5	55	58,5
90	90	140	24	2,5	2	60	65,5
95	95	145	24	2,5	2	63	68
100 RU 10	100	150	24	2,5	2	65,5	69,5
110	110	170	28	3	2	93	102
120	120	180	28	3	2	102	110



*Niz RA:* u oba smjera aksijalno pomični dvoredni ležaji s vodećim vanjskim prstenom\*

*Niz RD-K:* u oba smjera aksijalno pomični dvoredni ležaji s vodećim unutarnjim prstenom i koničnom rupom\*

\* Za sve nizove je  $\alpha = 0$  (vidi str. 597).

Jednoredni valjkasti ležaji (nastavak)

Oznaka	Dimenzije (mm)					Nosivost (kN)	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>r</i> <sub>1</sub>	<i>C</i> <sub>0</sub>	<i>C</i>
<i>Niz RU 02</i>							
20 RU 02	20	47	14	1,5	1	8	11,8
25	25	52	15	1,5	1	9,65	13,2
30	30	62	16	1,5	1	12,9	17,6
35 RU 02	35	72	17	2	1	18,6	25,5
40	40	80	18	2	2	24,5	33,5
55	45	85	19	2	2	27	34,5
50 RU 02	50	90	20	2	2	29	36,5
55	55	100	21	2,5	2	34,5	44
60	60	110	22	2,5	2,5	41,5	53
65 RU 02	65	120	23	2,5	2,5	49	62
70	70	125	24	2,5	2,5	52	64
75	75	130	25	2,5	2,5	61	75
80 RU 02	80	140	26	3	3	69,5	85
85	85	150	28	3	3	80	98
90	90	160	30	3	3	93	118
95 RU 02	95	170	32	3,5	3,5	110	137
100	100	180	34	3,5	3,5	122	153
<i>Niz RU 03</i>							
20 RU 03	20	52	15	2	1	10,6	16,6
25	25	62	17	2	2	15	22,4
30	30	72	19	2	2	20,4	30
35 RU 03	35	80	21	2,5	2	25	36
40	40	90	23	2,5	2,5	32,5	45,5
45	45	100	25	2,5	2,5	40	58,5
50 RU 03	50	110	27	3	3	51	71
55	55	120	29	3	3	58,5	85
60	60	130	31	3,5	3,5	72	102
65 RU 03	65	140	33	3,5	3,5	81,5	114
70	70	150	35	3,5	3,5	90	125
75	75	160	37	3,5	3,5	108	158
80 RU 03	80	170	39	3,5	3,5	118	160
85	85	180	41	4	4	129	180
90	90	190	43	4	4	153	208
95 RU 03	95	200	45	4	4	166	224
100	100	215	47	4	4	193	260
110	110	240	50	4	4	220	300
120	120	260	55	4	4	270	355

Nizovi RN 02, RJ 02 i RT 02 imaju iste dimenzije i nosivosti po tablici kao niz RU 02.

Nizovi RN 03, RJ 03 i RT 03 imaju iste dimenzije i nosivosti po tablici kao niz RU 03.

Jednoredni valjkasti ležaji (nastavak)

Oznaka	Dimenzije (mm)					Nosivost (kN)	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>r</i> <sub>1</sub>	<i>C</i> <sub>0</sub>	<i>C</i>
<i>Niz RU 04</i>							
30 RU 04	30	90	23	2,5	2,5	32	51
35	35	100	25	2,5	2,5	41,5	63
40	40	110	27	3	3	53	80
45 RU 04	45	120	29	3	3	60	90
50	50	130	31	3,5	3,5	73,5	112
55	55	140	33	3,5	3,5	81,5	118
60 RU 04	60	150	35	3,5	3,5	98	143
65	65	160	37	3,5	3,5	108	156
70	70	180	42	4	4	137	200
75 RU 04	75	190	45	4	4	160	232
80	80	200	48	4	4	183	265
85	85	210	52	5	5	208	305
90 RU 04	90	225	54	5	5	232	345
95	95	240	55	5	5	255	365
100	100	250	58	5	5	285	405
110 RU 04	110	280	65	5	5	320	455
120	120	310	72	6	6	355	500
<i>Niz RU 22</i>							
25 RU 22	25	52	18	1,5	1	13,2	16,6
30	30	62	20	1,5	1	19	23,2
35	35	72	23	2	1	28,5	35,5
40 RU 22	40	80	23	2	2	34,5	41,5
45	45	85	23	2	2	37,5	44
50	50	90	23	2	2	40,5	45,5
55 RU 22	55	100	25	2,5	2	47,5	54
60	60	110	28	2,5	2,5	62	71
65	65	120	31	2,5	2,5	75	85
70 RU 22	70	125	31	2,5	2,5	80	90
75	75	130	31	2,5	2,5	86,5	96,5
80	80	140	33	3	3	102	114
85 RU 22	85	150	36	3	3	118	132
90	90	160	40	3	3	134	153
95	95	170	43	3,5	3,5	163	183
100 RU 22	100	180	46	3,5	3,5	186	204
110	110	200	53	3,5	3,5	224	255
120	120	215	58	3,5	3,5	265	300

Nizovi RN 04, RJ 04 i RT 04 imaju iste dimenzije i nosivosti po tablici kao niz RU 04.

Nizovi RJ 22 i RT 22 imaju iste dimenzije i nosivosti po tablici kao niz RU 22.

Jednoredni valjkasti ležaji (nastavak)

Oznaka	<i>d</i>	Dimenzije (mm)				Nosivost (kN)	
		<i>D</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>r</i> <sub>1</sub>	<i>C</i> <sub>0</sub>	<i>C</i>
Niz RU 23							
25 RU 23	25	62	24	2	2	23,2	31,5
30	30	72	27	2	2	28,5	37,5
35	35	80	31	2,5	2	34	44
40 RU 23	40	90	33	2,5	2,5	49	61
45	45	100	36	2,5	2,5	57	75
50	50	110	40	3	3	73,5	93
55 RU 23	55	120	43	3	3	83	108
60	60	130	46	3,5	3,5	106	132
65	65	140	48	3,5	3,5	110	143
70 RU 23	70	150	51	3,5	3,5	134	170
75	75	160	55	3,5	3,5	166	212
80	80	170	58	3,5	3,5	183	224
85 RU 23	85	180	60	4	4	196	245
90	90	190	64	4	4	220	270
95	95	200	67	4	4	255	310
100 RU 23	100	215	73	4	4	300	365
110	110	240	80	4	4	405	500
120	120	260	86	4	4	510	620
Niz RU 49							
10 RU 49	10	22	13	0,5		4,3	5,3
12	12	24	13	0,5		5,1	5,85
15	15	28	13	0,5		6,55	7,5
17 RU 49	17	30	13	0,5		6,55	7,5
20	20	37	17	0,5		12	13,7
22	22	39	17	0,5		12	13,7
25 RU 49	25	42	17	0,5		13,7	15
28	28	45	17	0,5		15,6	16,3
30	30	47	17	0,5		15,6	16,3
32 RU 49	32	52	20	1		22	24
35	35	55	20	1		24,5	26
40	40	62	22	1		31	32,5
45 RU 49	45	68	22	1		34,5	35,5
50	50	72	22	1		38	37,5
55	55	80	25	1,5		47,5	45,5
60 RU 49	60	85	25	1,5		52	49
65	65	90	25	1,5		56	51
70	70	100	30	1,5		78	73,5
75 RU 49	75	105	30	1,5		85	78
80	80	110	30	1,5		85	78
85	85	120	35	2		108	98
90 RU 49	90	125	35	2		116	104
95	95	130	35	2		116	104

Nizovi RU 23 i RT 23 imaju iste dimenzije i nosivosti po tablici kao niz RU 23.

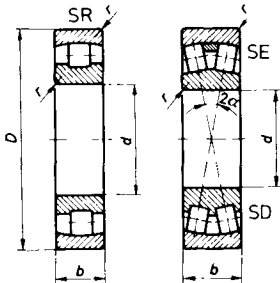
Dvoredni valjkasti ležaji

Oznaka	<i>d</i>	Dimenzije (mm)				Nosivost (kN)	
		<i>D</i>	<i>b</i>	<i>r</i>		<i>C</i> <sub>0</sub>	<i>C</i>
Niz RA 49							
100 RA 49	100	140	40	2		104	98
105	105	145	40	2		108	100
110	110	150	40	2		110	102
120 RA 49	120	165	45	2		137	125
130	130	180	50	2,5		166	153
140	140	190	50	2,5		176	160
150 RA 49	150	210	60	3		224	208
160	160	220	60	3		236	216
170	170	230	60	3		245	220
180 RA 49	180	250	69	3		305	285
190	190	260	69	3		325	290
200	200	280	80	3,5		390	365
220 RA 49	220	300	80	3,5		415	380
240	240	320	80	3,5		455	400
260	260	360	100	3,5		640	600
280 RA 49	280	380	100	3,5		680	620
300	300	420	118	4		900	830
320	320	440	118	4		915	850
Niz RD 30 K*							
30 RD 30 K	30	55	19	1,5		21,2	25
35	35	62	20	1,5		26,5	31
40	40	68	21	1,5		34,5	39
45 RD 30 K	45	75	23	1,5		42,5	46,5
50	50	80	23	1,5		46,5	49
55	55	90	26	2		57	62
60 RD 30 K	60	95	26	2		63	65,5
65	65	100	26	2		67	67
70	70	110	30	2		83	85
75 RD 30 K	75	115	30	2		86,5	88
80	80	125	34	2		102	106
85	85	130	34	2		110	110
90 RD 30 K	90	140	37	2,5		129	132
95	95	145	37	2,5		134	134
100	100	150	37	2,5		140	137
110 RD 30 K	110	170	45	3		200	208
120	120	180	46	3		216	216
130	130	200	52	3		275	275
140 RD 30 K	140	210	53	3		285	285
150	150	225	56	3,5		335	325
160	160	240	60	3,5		375	365

\* Niz RD 30 K ima koničnu rupu s konusom 1 : 12. Vrijednosti za unutarnji promjer *d* odnose se na užu stranu rupe.

### Bačvasti ležaji

Nizovi SR, SE in SD  
(JUS M.C3.651/655/657 — 1966)



Niz SR: jednoredni samopodesivi ležaji s radialnim dodirnom i vodečim nutarnjim prstenom ( $\alpha = 0$ , vidi str. 597)

Niz SE: dvoredni samopodesivi ležaji s kosim dodirnom i prstenastim uloškom

Niz SD: dvoredni samopodesivi ležaji s radialnim dodirnom i vodečim nutarnjim prstenom

Jednoredni bačvasti ležaji

Oznaka	Dimenzije (mm)				Nosivost (kN)	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>C</i> <sub>0</sub>	<i>C</i>
Niz SR 02						
25 SR 02	25	52	15	1,5	14,3	15
30	30	62	16	1,5	16,3	17,3
35	35	72	17	2	24,5	25
40 SR 02	40	80	18	2	30	30
45	45	85	19	2	32	32
50	50	90	20	2	38	37,5
55 SR 02	55	100	21	2,5	48	47,5
60	60	110	22	2,5	56	55
65	65	120	23	2,5	64	62
70 SR 02	70	125	24	2,5	73,5	71
75	75	130	25	2,5	78	75
80	80	140	26	3	90	85
85 SR 02	85	150	28	3	112	100
90	90	160	30	3	122	120
95	95	170	32	3,5	146	140
100 SR 02	100	180	34	3,5	160	156
110	110	200	38	3,5	208	196
120	120	215	40	3,5	228	216
130 SR 02	130	230	40	4	245	232
140	140	250	42	4	290	275
150	150	270	45	4	335	310

Jednoredni bačvasti ležaji (nastavak)

Oznaka	Dimenzije (mm)				Nosivost (kN)	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>C</i> <sub>0</sub>	<i>C</i>
Niz SR 03						
20 SR 03	20	52	15	2	14,6	16
25	25	62	17	2	20	21,6
30	30	72	19	2	28	30
35 SR 03	35	80	21	2,5	34,5	36,5
40	40	90	23	2,5	46,5	50
45	45	100	25	2,5	53	56
50 SR 03	50	110	27	3	68	71
55	55	120	29	3	78	81,5
60	60	130	31	3,5	96,5	100
65 SR 03	65	140	33	3,5	112	116
70	70	150	35	3,5	122	129
75	75	160	37	3,5	146	146
80 SR 03	80	170	39	3,5	163	166
85	85	180	41	4	183	186
90	90	190	43	4	204	212
95 SR 03	95	200	45	4	224	232
100	100	215	47	4	245	250
110	110	240	50	4	290	300
120 SR 03	120	260	55	4	345	355
130	130	280	58	5	400	400
140	140	300	62	5	475	475
150	150	320	65	5	530	540
Niz SR 04						
25 SR 04	25	80	21	2,5	34,5	36,5
30	30	90	23	2,5	46,5	48
35	35	100	25	2,5	53	58,5
40 SR 04	40	110	27	3	68	73,5
45	45	120	29	3	78	85
50	50	130	31	3,5	96,5	106
55 SR 04	55	140	33	3,5	112	120
60	60	150	35	3,5	122	129
65	65	160	37	3,5	146	150
70 SR 04	70	180	42	4	183	190
75	75	190	45	4	204	212
80	80	200	48	4	224	250
85 SR 04	85	210	52	5	255	280
90	90	230	54	5	270	310
95	95	240	55	5	290	335
100 SR 04	100	250	58	5	340	375
110	110	280	65	5	380	430

# Dvoredni bačvasti ležaji

Oznaka	d	Dimenzije (mm)			Nosivost (kN)	
		D	b	r	C <sub>0</sub>	C
Niz SE 13						
20 SE 13	20	52	15	2	19	28,4
25	25	62	17	2	27	30,5
30	30	72	19	2	38	43
35 SE 13	35	80	21	2,5	45	49
40	40	90	23	2,5	60	63
45	45	100	25	2,5	78	76,5
50 SE 13	50	110	27	3	83	88
55	55	120	29	3	98	104
60	60	130	31	3,5	114	118
65 SE 13	65	140	33	3,5	137	140
70	70	150	35	3,5	156	160
75	75	160	37	3,5	176	180
80 SE 13	80	170	39	3,5	196	196
85	85	180	41	4	220	220
90	90	190	43	4	245	240
95 SE 13	95	200	45	4	265	260
100	100	215	47	4	310	300
105	105	225	49	4	340	325
110	110	240	50	4	375	360

Prema JUS M.C3.655—1966 standardizirani su još i dvoredni bačvasti ležaji (samopodesivi):

niz SD 22:	d = 25 ... 200 mm
	D = 52 ... 360 mm
	b = 18 ... 98 mm
niz SD 23:	d = 40 ... 200 mm
	D = 90 ... 420 mm
	b = 33 ... 138 mm
niz SD 30:	d = 110 ... 400 mm
	D = 170 ... 600 mm
	b = 45 ... 148 mm
niz SD 31:	d = 110 ... 360 mm
	D = 180 ... 600 mm
	b = 56 ... 192 mm
niz SD 32:	d = 90 ... 500 mm
	D = 160 ... 920 mm
	b = 52,4 ... 336 mm
niz SD 40:	d = 120 ... 360 mm
	D = 180 ... 540 mm
	b = 60 ... 180 mm
niz SD 41:	d = 110 ... 300 mm
	D = 180 ... 500 mm
	b = 69 ... 200 mm

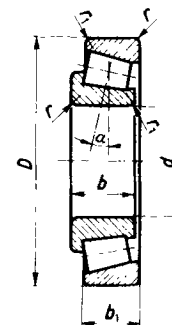
Standardi JUS za te ležaje ne propisuju nosivost C<sub>0</sub> i C.

# Stožasti ležaji

Niz KB  
(JUS M.C3.735 — 1966)

Niz KB:

Stožasti ležaji podnose velika sastavljena (radijalna i aksijalna) opterećenja. Vanjski i unutarnji prsten mogu se montirati posebice.



Oznaka	Dimenzije (mm)						Nosivost (kN)	
	d	D	b	b <sub>1</sub>	r	r <sub>1</sub>	C <sub>0</sub>	C
Niz KB 02								
20 KB 02	20	47	14	12	1,5	0,5	12,9	18,3
25	25	52	15	13	1,5	0,5	15,6	19
30	30	62	16	14	1,5	0,5	20,8	26
35 KB 02	35	72	17	15	2	0,8	26,5	32,5
40	40	80	18	16	2	0,8	31	38
45	45	85	19	16	2	0,8	36	42,5
50 KB 02	50	90	20	17	2	0,8	40,5	46,5
55	55	100	21	18	2,5	0,8	52	56
60	60	110	22	19	2,5	0,8	56	62
65 KB 02	65	120	23	20	2,5	0,8	65,5	73,5
70	70	125	24	21	2,5	0,8	71	78
75	75	130	25	22	2,5	0,8	81,5	85
80 KB 02	80	140	26	22	3	1	88	96,5
85	85	150	28	24	3	1	106	114
90	90	160	30	26	3	1	120	127
95 KB 02	95	170	32	27	3,5	1,2	132	137
100	100	180	34	29	3,5	1,2	156	160
105	105	190	36	30	3,5	1,2	170	176
110 KB 02	110	200	38	32	3,5	1,2	196	196
120	120	215	40	34	3,5	1,2	216	220
130	130	230	40	34	4	1,5	232	240
140 KB 02	140	250	42	36	4	1,5	280	280
150	150	270	45	38	4	1,5	325	310

Stožasti ležaji (nastavak)

Oznaka	Dimenzije (mm)						Nosivost (kN)	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>b</i> <sub>1</sub>	<i>r</i>	<i>r</i> <sub>1</sub>	<i>C</i> <sub>0</sub>	<i>C</i>
Niz KB 03								
20 KB 03	20	52	15	13	2	0,8	16	22,4
25	25	62	17	15	2	0,8	21,6	30
30	30	72	19	16	2	0,8	28,5	37,5
35 KB 03	35	80	21	18	2,5	0,8	37,5	48
40	40	90	23	20	2,5	0,8	45	56
45	45	100	25	22	2,5	0,8	57	68
50 KB 03	50	110	27	23	3	1	67	78
55	55	120	29	25	3	1	78	90
60	60	130	31	26	3,5	1,2	91,5	108
65 KB 03	65	140	33	28	3,5	1,2	108	125
70	70	150	35	30	3,5	1,2	122	140
75	75	160	37	31	3,5	1,2	137	156
80 KB 03	80	170	39	33	3,5	1,2	153	173
85	85	180	41	34	4	1,5	170	193
90	90	190	43	36	4	1,5	190	212
95 KB 03	95	200	45	38	4	1,5	228	250
100	100	215	47	39	4	1,5	255	275
105	105	225	49	41	4	1,5	270	290

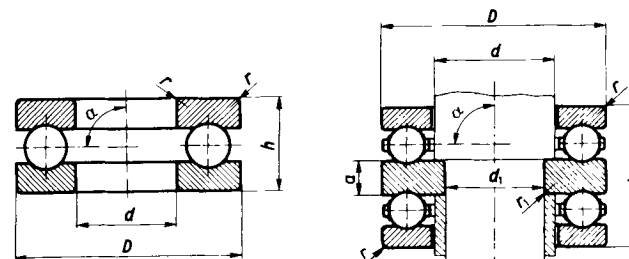
Oznaka	Širina (mm)		Nosivost (kN)		Oznaka	Širina (mm)		Nosivost (kN)	
	<i>b</i>	<i>b</i> <sub>1</sub>	<i>C</i> <sub>0</sub>	<i>C</i>		<i>b</i>	<i>b</i> <sub>1</sub>	<i>C</i> <sub>0</sub>	<i>C</i>
Niz KB 22*					Niz KB 23**				
30 KB 22	20	17	27,5	32	20 KB 23	21	18	22,8	29
35	23	19	36,5	43	25	24	20	32	40
40	23	19	40,5	47,5	30	27	23	43	52
45 KB 22	23	19	46,5	52	35 KB 23	31	23	54	64
50	23	19	48	53	40	33	27	67	75
55	25	21	63	67	45	36	30	81,5	90
60 KB 22	28	24	76,5	80	50 KB 23	40	33	102	110
65	31	27	93	98	55	43	35	120	127
70	31	27	93	98	60	46	37	140	146
75 KB 22	31	27	102	104	65 KB 23	48	39	160	170
80	33	28	116	120	70	51	42	183	190
85	36	30	137	137	75	55	45	212	216
90 KB 22	40	34	166	163	80 KB 23	58	48	236	240
95	43	37	186	186	85	60	49	275	275
100	46	39	212	208	90	64	53	315	315
105 KB 22	50	43	245	240	95 KB 23	67	55	345	345
110	53	46	275	260	100	73	60	405	390
120	58	50	340	305	105	77	63	450	430

\* Promjeri *d* i *D* te polumjeri *r* i *r*<sub>1</sub> isti su kao kod odgovarajućih veličina niza KB 02.

\*\* Promjeri *d* i *D* te polumjeri *r* i *r*<sub>1</sub> isti su kao kod odgovarajućih veličina niza KB 03.

Aksijalni kuglični ležaji

Nizovi TA i TDC (JUS M.C3.701/705 — 1966)



TA

Niz TA: jednoredni aksijalni kuglični ležaji (podnose aksijalna opterećenja u jednom smjeru).

TDC

Niz TDC: dvoredni aksijalni kuglični ležaji (podnose aksijalna opterećenja u oba smjera).

Jednoredni aksijalni kuglični ležaji

Oznaka	Dimenzije (mm)				Nosivosti (kN)	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>h</i>	<i>r</i>	<i>C</i> <sub>0</sub>	<i>C</i>
Niz TA 11						
10 TA 11	10	24	9	0,5	11,4	5,7
12	12	26	9	0,5	12,5	6,1
15	15	28	9	0,5	13,7	6,5
17 TA 11	17	30	9	0,5	16	7,2
20	20	35	10	0,5	22	9,65
25	25	42	11	1	29	12,2
30 TA 11	30	47	11	1	32,5	13,2
35	35	52	12	1	39	14,6
40	40	60	13	1	52	19,6
45 TA 11	45	65	14	1	57	20,8
50	50	70	14	1	62	22,4
55	55	78	16	1	76,5	27
60 TA 11	60	85	17	1,5	93	32
65	65	90	18	1,5	96,5	33,5
70	70	95	18	1,5	104	34,5
75 TA 11	75	100	19	1,5	112	36,5
80	80	105	19	1,5	116	37,5
85	85	110	19	1,5	125	39
90 TA 11	90	120	22	1,5	156	50
100	100	135	25	1,5	220	69,5
110	110	145	25	1,5	236	73,5

*Jednoredni aksijalni kuglični ležaji (nastavak)*

Oznaka	Dimenzije (mm)				Nosivost (kN)	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>h</i>	<i>r</i>	<i>C<sub>0</sub></i>	<i>C</i>
<i>Niz TA 12</i>						
10 TA 12	10	26	11	1	14	7,2
12	12	28	11	1	15,6	7,8
15	15	32	12	1	20,4	9,5
17 TA 12	17	35	12	1	22	10
20	20	40	14	1	31	14
25	25	47	15	1	41,5	18
30 TA 12	30	52	16	1	48	19,6
35	35	62	18	1,5	64	26,5
40	40	68	19	1,5	76,5	30,5
45 TA 12	45	73	20	1,5	86,5	32,5
50	50	78	22	1,5	91,5	34,5
55	55	90	25	1,5	132	49
60 TA 12	60	95	26	1,5	146	53
65	65	100	27	1,5	156	55
70	70	105	27	1,5	163	57
75 TA 12	75	110	27	1,5	173	58,5
80	80	115	28	1,5	180	61
85	85	125	31	1,5	220	72
90 TA 12	90	135	35	2	270	86,5
100	100	150	38	2	340	108
110	110	160	38	2	375	114
<i>Niz TA 13</i>						
25 TA 13	25	52	18	1,5	51	22,8
30	30	60	21	1,5	65,5	28
35	35	68	24	1,5	86,5	36
40 TA 13	40	78	26	1,5	112	45
45	45	85	28	1,5	134	53
50	50	95	31	2	166	63
55 TA 13	55	105	35	2	204	76,5
60	60	110	35	2	220	81,5
65	65	115	36	2	236	85
70 TA 13	70	125	40	2	280	98
75	75	135	44	2,5	325	112
80	80	140	44	2,5	355	116
85 TA 13	85	150	49	2,5	405	132
90	90	155	50	2,5	405	132
100	100	170	55	2,5	490	156
110 TA 13	110	190	63	3	585	180
120	120	210	70	3,5	720	216
130	130	225	75	3,5	780	232
140 TA 13	140	240	80	3,5	930	260
150	150	250	80	3,5	1000	270
160	160	270	87	4	1200	320

*Jednoredni aksijalni kuglični ležaji (nastavak)*

Oznaka	Dimenzije (mm)				Nosivost (kN)	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>h</i>	<i>r</i>	<i>C<sub>0</sub></i>	<i>C</i>
<i>Niz TA 14</i>						
25 TA 14	25	60	24	1,5	73,5	33,5
30	30	70	28	1,5	104	44
35	35	80	32	2	127	53
40 TA 14	40	90	36	2	170	68
45	45	100	39	2	200	78
50	50	110	43	2,5	250	95
55 TA 14	55	120	48	2,5	300	108
60	60	130	51	2,5	360	127
65	65	140	56	3	405	140
70 TA 14	70	150	60	3	455	153
75	75	160	65	3	510	170
80	80	170	68	3,5	560	183
85 TA 14	85	180	72	3,5	620	196
90	90	190	77	3,5	680	212
100	100	210	85	4	880	260
110 TA 14	110	230	95	4	1020	290
120	120	250	102	5	1100	310
130	130	270	110	5	1460	380
140 TA 14	140	280	112	5	1460	380
150	150	300	120	5	1630	415
160	160	320	130	6	2000	480

*Jednoredni aksijalni kuglični ležaji (nastavak)*

Oznaka	Dimenzije (mm)							Nosivost (kN)	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>h</i>	<i>r</i>			<i>C<sub>0</sub></i>	<i>C</i>	
<i>Niz TDC 22</i>									
15 TDC 22	15	10	32	22	5	1	0,5	20,4	9,5
20	20	15	40	26	6	1	0,5	31	14
25	25	20	47	28	7	1	0,5	41,5	18
30 TDC 22	30	25	52	29	7	1	0,5	48	19,6
35	35	30	62	34	8	1,5	0,5	64	26,5
40	40	30	66	36	9	1,5	1	76,5	30,5
45 TDC 22	45	35	73	37	9	1,5	1	86,5	32,5
50	50	40	78	39	9	1,5	1	91,5	34,5
55	55	45	90	45	10	1,5	1	132	49
60 TDC 22	60	50	95	46	10	1,5	1	146	53
65	65	55	100	47	10	1,5	1	156	55
70	70	55	105	47	10	1,5	1,5	163	57
75 TDC 22	75	60	110	47	10	1,5	1,5	173	58,5
80	80	65	115	48	10	1,5	1,5	180	61
85	85	70	125	55	12	1,5	1,5	220	72

Dvoredni aksijalni kuglični ležaji (nastavak)

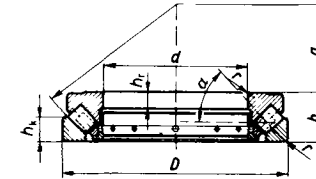
Oznaka	Dimenzije (mm)							Nosivost (kN)	
	<i>d</i>	<i>d</i> <sub>i</sub>	<i>D</i>	<i>h</i>	<i>a</i>	<i>r</i>	<i>r</i> <sub>i</sub>	<i>C</i> <sub>0</sub>	<i>C</i>
<i>Niz TDC 22</i>									
90 TDC 22	90	75	135	62	14	2	1,5	270	86,5
100	100	85	150	67	15	2	1,5	340	108
110	110	95	160	67	15	2	1,5	375	114
120 TDC 22	120	100	170	68	15	2	2	390	118
130	130	110	190	80	18	2,5	2	510	150
140	140	120	200	81	18	2,5	2	540	156
<i>Niz TDC 23</i>									
25 TDC 23	25	20	52	34	8	1,5	0,5	51	22,8
30	30	25	60	38	9	1,5	0,5	65,5	28
35	35	30	68	44	10	1,5	0,5	86,5	36
40 TDC 23	40	30	78	49	12	1,5	1	112	45
45	45	35	85	52	12	1,5	1	134	53
50	50	40	95	58	14	2	1	166	63
55 TDC 23	55	45	105	64	15	2	1	204	76,5
60	60	50	110	64	15	2	1	220	81,5
65	65	55	115	65	15	2	1	236	85
70 TDC 23	70	55	125	72	16	2	1,5	280	98
75	75	60	135	79	18	2,5	1,5	325	112
80	80	65	140	79	18	2,5	1,5	355	116
85 TDC 23	85	70	150	87	19	2,5	1,5	405	132
90	90	75	155	88	19	2,5	1,5	405	132
100	100	85	170	97	21	2,5	1,5	490	156
110 TDC 23	110	95	190	110	24	3	1,5	585	180
120	120	100	210	123	27	3,5	2	720	216
130	130	110	225	130	30	3,5	2	780	232
140 TDC 23	140	120	240	140	31	3,5	2	930	260
150	150	130	250	140	31	3,5	2	1 000	275
160	160	140	270	153	33	4	2	1 200	320
<i>Niz TDC 24</i>									
25 TDC 24	25	15	60	45	11	1,5	1	73,5	33,5
30	30	20	70	52	12	1,5	1	104	44
35	35	25	80	59	14	2	1	127	53
40 TDC 24	40	30	90	65	15	2	1	170	68
45	45	35	100	72	17	2	1	200	78
50	50	40	110	78	18	2,5	1	255	95
55 TDC 24	55	45	120	87	20	2,5	1	300	108
60	60	50	130	93	21	2,5	1	360	127
65	65	50	140	101	23	3	1,5	405	140
70 TDC 24	70	55	150	107	24	3	1,5	455	153
75	75	60	160	115	26	3	1,5	510	170
80	80	65	170	120	27	3,5	1,5	560	183
85 TDC 24	85	65	180	128	29	3,5	2	620	196
90	90	70	190	135	30	3,5	2	680	212
100	100	80	210	150	33	4	2	880	260

Aksijalni bačvasti ležaji

Nizovi TS i TSA  
(JUS M.C3.711/715 — 1966)

*Niz TS*: samopodesivi aksijalni ležaji s nesimetričnim bačvastim valjčićima.

*Niz TSA*: samopodesivi aksijalni ležaji sa simetričnim bačvastim valjčićima.



Oznaka	Dimenzije (mm)							Nosivost (kN)	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>h</i>	<i>h</i> <sub>r</sub>	<i>h</i> <sub>k</sub>	<i>a</i>	<i>r</i>	<i>C</i> <sub>0</sub>	<i>C</i>
<i>Niz TS 92</i>									
200 TS 92	200	280	48	15	24	108	3	1 140	425
220	220	300	48	15	24	117	3	1 250	430
240	240	340	60	19	30	130	3,5	1 800	630
260 TS 92	260	360	60	19	30	139	3,5	1 860	640
280	280	380	60	19	30	150	3,5	2 000	680
300	300	420	73	21	38	162	4	2 450	850
320 TS 92	320	440	73	21	38	172	4	2 600	880
340	340	460	73	21	38	183	4	2 700	915
360	360	500	85	25	38	194	5	3 250	1 160
380 TS 92	380	520	85	27	42	202	5	3 800	1 270
400	400	540	85	27	42	212	5	4 050	1 320
420	420	580	95	30	46	225	6	4 900	1 600
440 TS 92	440	600	95	30	46	235	6	5 000	1 660
460	460	620	95	30	46	245	6	5 200	1 660
480	480	650	103	33	55	259	6	5 700	1 900
500	500	670	103	33	55	268	6	6 000	1 930
<i>Niz TS 93</i>									
100 TS 93	100	170	42	14	20,8	58	2,5	585	280
110	110	190	48	16	23	64	3	750	345
120	120	210	54	18	26	70	3,5	950	430
130 TS 93	130	225	58	19	28	76	3,5	1 080	490
140	140	240	60	20	29	82	3,5	1 250	550
150	150	250	60	20	29	87	3,5	1 290	570
160 TS 93	160	270	67	23	32	92	4	1 500	655
170	170	280	67	23	32	96	4	1 560	670
180	180	300	73	25	35	103	4	1 860	800
190	190	320	78	27	38	110	5	2 160	930
200 TS 93	200	340	85	29	41	116	5	2 550	1 060
220	220	360	85	29	41	125	5	2 650	1 080
240	240	380	85	29	41	135	5	2 800	1 120
260	260	420	95	32	45	148	6	3 600	1 460



**Aksijalni bačvasti ležaji (nastavak)**

Oznaka	Dimenzije (mm)							Nosivost (kN)	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>h</i>	<i>h<sub>r</sub></i>	<i>h<sub>k</sub></i>	<i>a</i>	<i>r</i>	<i>C<sub>0</sub></i>	<i>C</i>
<i>Niz TS 93</i>									
280 TS 93	280	440	95	32	46	158	6	3 750	1 500
300	300	480	109	37	50	168	6	4 500	1 800
320	320	500	109	37	53	180	6	4 750	1 830
340 TS 93	340	540	122	41	59	192	6	5 600	2 200
360	360	560	122	41	59	202	6	5 850	2 240
380	380	600	132	44	63	216	8	7 100	2 700
400 TS 93	400	620	132	44	64	225	8	7 350	2 800
420	420	650	140	48	68	235	8	7 650	2 900
440	440	680	145	49	70	245	8	8 500	3 250
460 TS 93	460	710	150	51	72	257	8	9 500	3 550
480	480	730	150	51	72	270	8	9 650	3 600
500	500	750	150	51	74	280	8	10 200	3 650
<i>Niz TS 94</i>									
60 TS 94	60	130	42	15	20	38	2,5	404	232
65	65	140	45	16	21	42	3	520	275
70	70	150	48	17	23	44	3	570	300
75 TS 94	75	160	51	18	24	47	3	670	345
80	80	170	54	19	26	50	3,5	720	375
85	85	180	58	21	28	54	3,5	830	425
90 TS 94	90	190	60	22	29	56	3,5	965	490
100	100	210	67	24	32	62	4	1 160	585
110	110	230	73	26	35	69	4	1 370	680
120 TS 94	120	250	78	29	37	74	5	1 600	780
130	130	270	85	31	41	81	5	1 860	915
140	140	280	85	31	41	86	5	2 000	950
150 TS 94	150	300	90	32	44	92	5	2 280	1 080
160	160	320	95	34	45	99	6	2 600	1 220
170	170	340	103	37	50	104	6	2 900	1 370
180 TS 94	180	360	109	39	52	110	6	3 250	1 530
190	190	380	115	41	55	117	6	3 600	1 660
200	200	400	122	43	59	122	6	4 050	1 860
220	220	420	122	43	59	132	8	4 250	1 900
240 TS 94	240	440	122	43	59	142	8	4 500	1 960
260	260	480	132	48	64	154	8	5 500	2 360
280	280	520	145	52	68	166	8	6 400	2 800
300	300	540	145	52	70	175	8	6 400	2 800

Standardizirani su (JUS M.C3.715 — 1966) još i slijedeći nizovi aksijalnih bačvastih ležaja:

*niz TSA 92:*  $d = 240 \dots 500$  mm,  $D = 340 \dots 670$  mm,  
*niz TSA 93:*  $d = 120 \dots 500$  mm,  $D = 210 \dots 750$  mm,  
*niz TSA 94:*  $d = 60 \dots 300$  mm,  $D = 130 \dots 540$  mm.

Standardi JUS za te nizove ležaja ne propisuju nosivosti  $C_0$  i  $C$ .

**Nosivost valjnih ležaja (prema ISO)**

Statička nosivost ležaja (JUS M.C3.851 — 1963).

Statička nosivost je nosivost u mirovanju, tj. ono radijalno odn. aksijalno (centrično) opterećenje radijalnih odnosno aksijalnih ležaja pri kojem nastaje ukupna plastična deformacija od  $10^{-4}$  promjera valjnog tijela.

Proračun statičke nosivosti (JUS M.C3.853...856 — 1965).

Statička nosivost  $C_0$  za pojedine vrste ležaja dana je u tablicama (str. 577 do 596)

Ekvivalentno statičko opterećenje  $F_0$  ovisno je o radijalnom opterećenju  $F_r$  i aksijalnom opterećenju  $F_a$ .

a) Ekvivalentno statičko opterećenje za radijalne ležaje

— pri čistom radijalnom opterećenju ( $F_a = 0$ )

$$F_0 = F_r$$

— uz istodobno radijalno i aksijalno opterećenje — uzimamo veću od slijedećih dviju vrijednosti

$$F_0 = X_0 F_r + Y_0 F_a \quad F_0 = F_r$$

Vrijednosti za  $X_0$  i  $Y_0$  iznose:

Vrsta radijalnog ležaja	Jednoredni ležaji		Dvoredni ležaji	
	$X_0$	$Y_0$	$X_0$	$Y_0$
Kuglični ležaji s radijalnim dodirom	0,6	0,5	0,6	0,5
Kuglični ležaji s kosim dodirom				
$\alpha = 20^\circ$	0,5	0,42	1	0,84
$\alpha = 25^\circ$	0,5	0,38	1	0,76
$\alpha = 30^\circ$	0,5	0,33	1	0,66
$\alpha = 35^\circ$	0,5	0,29	1	0,58
$\alpha = 40^\circ$	0,5	0,26	1	0,52
Samopodesivi kuglični ležaji	0,5	0,22 cot $\alpha$	1	0,44 cot $\alpha$
Valjkasti ležaji	0,5	0,22 cot $\alpha$	1	0,44 cot $\alpha$

b) Ekvivalentno statičko opterećenje za aksijalne ležaje

— istodobno aksijalno i radijalno opterećenje\*

$$F_0 = F_a + 2,3 F_r \tan \alpha$$

(Za jednoredne aksijalne ležaje ta jednadžba više ne vrijedi točno ako je  $F_r > 0,44 F_a \cot \alpha$ .)

\*

Statička nosivost  $C_0$  ne smije biti manja od ekvivalentnog statičkog opterećenja  $F_0$

$$C_0 \geq F_0$$

\*  $\alpha$  je kut dodira (kut između dodirne osi i okomice na os ležajnog provrta).

# Dinamička nosivost ležaja (JUS M.C3.852 — 1963)

Trajnost valjnog ležaja određena je brojem okretaja (ili satima rada uz konstantnu brzinu vrtnje) pri kojem se pojavljuju prvi znakovi umora materijala.

Nazivno trajanje skupine jednakih ležaja je onaj broj okretaja (ili sati rada uz konstantnu brzinu vrtnje) što ga dostigne ili premaši 90% ležaja iz te skupine prije pojave prvih znakova umora materijala.

Dinamička nosivost radijalnog odn. aksijalnog ležaja je čisto radijalno odn. aksijalno konstantno opterećenje kojim možemo opteretiti skupinu jednakih ležaja s nazivnim trajanjem od  $10^6$  okretaja.

Proračun dinamičke nosivosti (JUS M.C3.857/858/859/860 — 1964).

Dinamička nosivost  $C$  za pojedine vrste ležaja dana je u tablicama (str. 577 do 596).

a) Ekvivalentno dinamičko opterećenje  $F$  pri radijalnom opterećenju  $F_r$  i aksijalnom opterećenju  $F_a$  — za aksijalne ležaje

$$F = V \cdot XF_r + YF_a$$

pri čemu faktor  $V$  iznosi:

Vrsta radijalnog ležaja	Unutarnji prsten se okreće	
	se okreće	miruje
kuglični ležaji		
— s radijalnim dodirom	1	1,2
— s kosim dodirom	1	1,2
— samopodesivi	1	1
— jednoredni s radijalnim dodirom, rastavljivi	1	1
valjkasti ležaji	1	1,2

## Vrijednosti $X$ i $Y$ za radijalne kuglične ležaje s radijalnim dodirom

$\frac{F_a}{C_o}$	$e$	Jednoredni ležaji		Dvoredni ležaji			
		$F_a/VF_r > e$		$F_a/VF_r \leq e$		$F_a/VF_r > e$	
		$X$	$Y$	$X$	$Y$	$X$	$Y$
0,014	0,19	0,56	2,30	1	0	0,56	2,30
0,028	0,22		1,99				1,99
0,056	0,26		1,71				1,71
0,084	0,28		1,55				1,55
0,11	0,30		1,45				1,45
0,17	0,34		1,31				1,31
0,28	0,38		1,15				1,15
0,42	0,42		1,04				1,04
0,56	0,44		1,00				1,00

Za rastavljive jednoredne radijalne kuglične ležaje s radijalnim dodirom vrijedi

$$F_a/VF_r > 0,2 \begin{cases} X = 0,50 \\ Y = 2,5 \end{cases}$$

Vrijednosti  $X$  i  $Y$  za radijalne kuglične ležaje s kosim dodirom

$\alpha$	$i \frac{F_a^*}{C_o}$	$e$	Jednoredni ležaji		Dvoredni ležaji			
			$F_a/VF_r > e$		$F_a/VF_r \leq e$		$F_a/VF_r > e$	
			$X$	$Y$	$X$	$Y$	$X$	$Y$
5°	0,014	0,23	Za $e$ , $X$ i $Y$ vrijednosti su iste kao kod kugličnih ležaja s radijalnim dodirom (str. 598)	1	1	0,78	0,78	3,74
	0,028	0,26						3,23
	0,056	0,30						2,78
	0,085	0,34						2,52
	0,11	0,36						2,36
	0,17	0,40						2,13
	0,28	0,45						1,87
	0,42	0,50						1,69
10°	0,56	0,52						1,63
	0,014	0,29	0,46	1	1	0,75	0,75	3,06
	0,029	0,32						2,78
	0,057	0,36						2,47
	0,086	0,38						2,29
	0,11	0,40						2,18
	0,17	0,44						2,00
	0,29	0,49						1,79
	0,43	0,54						1,64
15°	0,57	0,54						1,63
	0,015	0,38	0,44	1	1	0,72	0,72	2,39
	0,029	0,40						2,28
	0,058	0,43						2,11
	0,087	0,46						2,00
	0,12	0,47						1,93
	0,17	0,50						1,82
	0,29	0,55						1,66
	0,44	0,56						1,63
20°	0,58	0,56						1,63
	0,57	0,57	0,43	1	1	0,70	0,70	1,63
	0,68	0,68						1,41
	0,80	0,80						1,24
	0,95	0,95						1,07
	1,14	1,14						0,93

\*  $i$  — broj redova kuglica u jednom ležaju.

Vrijednosti  $X$  i  $Y$  za samopodesive radijalne ležaje

Vrsta radijalnog ležaja	$F_a/V F_r \leq 1,5 \tan \alpha$		$F_a/V F_r > 1,5 \tan \alpha$	
	$X$	$Y$	$X$	$Y$
Samopodesivi kuglični ležaji				
— jednoredni	—	—	0,40	$0,4 \cot \alpha$
— dvoredni	1	$0,42 \cot \alpha$	0,65	$0,65 \cot \alpha$
Samopodesivi valjkasti ležaji				
— jednoredni	1	0	0,4	$0,4 \cot \alpha$
— dvoredni	1	$0,45 \cot \alpha$	0,67	$0,67 \cot \alpha$

Za  $\alpha = 0^\circ$ :  $F_a = 0$ ,  $X = 1$ b) Ekvivalentno dinamičko opterećenje  $F$  pri radijalnom opterećenju  $F_r$  i aksijalnom opterećenju  $F_a$  – za aksijalne ležaje

$$F = X F_r + Y F_a$$

Vrijednosti  $X$  i  $Y$ 

Vrsta aksijalnog ležaja	$e$	Jednosmj. ležaji		Dvosmjerni ležaji			
		$F_a/F_r > e$		$F_a/F_r \leq e$		$F_a/F_r > e$	
		$X$	$Y$	$X$	$Y$	$X$	$Y$
Kuglični ležaji s kosim dodirom							
$\alpha = 45^\circ$	1,25	0,66	1	1,18	0,59	0,66	1
$\alpha = 60^\circ$	2,17	0,92	1	1,90	0,54	0,92	1
$\alpha = 75^\circ$	4,67	1,66	1	3,89	0,52	1,66	1
Samopodesivi valjkasti ležaji	$1,5 \tan \alpha$	$\tan \alpha$	1	$1,5 \tan \alpha$	0,67	$\tan \alpha$	1

Za  $\alpha = 90^\circ$ :  $F_r = 0$ ,  $Y = 1$ 

\*

Trajnost ležaja  $L$  ovisi o dinamičkoj nosivosti  $C$  i ekvivalentnom opterećenju  $F$  te iznosi

$$L = \left( \frac{C}{F} \right)^m \quad (10^6 \text{ okretaja})$$

pri čemu je eksponent  $m$ :za kuglične ležaje  $m = 3$ za valjkaste ležaje  $m = 10/3$ 

## MAZIVA

S obzirom na izvor maziva razlikujemo slijedeće vrste:

*Mineralna ulja* se najčešće upotrebljavaju kao maziva u tehnici. Dobivamo ih destilacijom iz sirovog zemnog ulja (nafte). Većinu destilata treba još i rafinirati. Rafinirani su skuplji, no ujedno i trajniji te imaju dobru mazivost ako nisu previše rafinirani.

*Biljna i životinjska ulja* (koštano, ricinusovo, repičino ulje) veoma su masna pa bolje mažu od mineralnih, ali se pri upotrebi pretvaraju djelomice u smolu i razgrađuju. Stoga se vrlo rijetko upotrebljavaju posve sama.

*Zamašćena (kompaundirana) ulja* mješavina su mineralnih i biljnih ili životinjskih ulja. Zato je njihova mazivost osobito dobra, ali brže stare nego čista mineralna ulja.

*Mineralna ulja s dodacima (aditivima)* imaju bolja svojstva od čistih mineralnih. Dodaci služe za poboljšanje mazivosti i viskoznosti, sprječavaju auto-oksidaciju, koroziju, pjenjenje i rđanje, te omogućuju detergentno djelovanje i mazanje pri visokom tlaku. Tzv. »detergenti-disperzanti« osobito su potrebni za motorna ulja, jer sprječavaju nakupljanje taloga i izgorjelih čestica u motoru.

Neka se sintetska ulja (silikoni i sl.) sve više primjenjuju u suvremenoj tehnici zbog specijalnih svojstava.

*Masti* (za strojeve i valjne ležaje) su smjese sapuna i mineralnih ulja. Uglavnom razlikujemo litijeve i natrijeve masti; poznat je, međutim, cio niz posebnih masti izrađenih npr. na osnovu aluminijeva ili drugog sapuna. Natrijeve masti tvore s vodom emulziju pa izdrže više temperature.

\*

Kvalitet maziva i mazivost prosuđujemo s obzirom na ovlaživanje i prijanjanje na kovinske površine i otpornost prema starenju. Pri izboru maziva za određenu svrhu odlučna su fizikalna i kemijska svojstva: gustoća, viskoznost, plamište, krutište, kaplište, neutralizacijski broj i druga.

*Gustoća* pri  $15^\circ\text{C}$  gotovo je za sva ulja manja od  $1000 \text{ kg/m}^3$ . Kvalitetna stabilna ulja na parafinskoj osnovi imaju gustoću oko  $870 \text{ kg/m}^3$ , naftna imaju nešto veću, a ulja s asfaltnom osnovom još veću gustoću. Sintetska ulja iz ugljenog katrana dosežu gustoću  $1100 \dots 1200 \text{ kg/m}^3$ . Općenito su gustoća i viskoznost tim manje što ugljikovodici, od kojih je sastavljeno dotično mineralno ulje, sadrže više vodika.

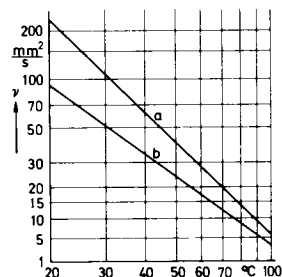


Diagram ovisnosti viskoznosti  $\nu$  o temperaturi  $T$   
a — poluteško (srednje) ulje,  
b — lako ulje.

Viskoznost je najvažniji podatak pri izboru ulja za određenu svrhu.

Mjere za viskoznost (kinematičku) – vidi str. 65. Viskoznost veoma ovisi o temperaturi te se s porastom temperature znatno smanjuje.

Za ležaje s velikom brzinom vrtnje i malim opterećenjem potrebno je ulje manje viskoznosti. Za veća opterećenja i pri višim pogonskim temperaturama (npr. u vrućim prostorijama) potrebno je ulje veće viskoznosti, a za promjenljive pogonske prilike potrebno je ulje s blago položenom krivuljom viskoznosti. Te osnovne upute treba uskladiti s uvjetima koji, svi zajedno, odlučuju o konačnom izboru najpravičnijeg maziva.

**Plamište** je temperatura pri kojoj se uljne pare prvi put zapale kad im se približavamo s otvorenim plamenom. Ako ulje nastavi dalje samo gorjeti, dosegli smo **gorište**, koje je 30 do 40 stupnjeva više od plamišta. Plamište moramo uzeti u obzir samo ako su pogonske temperature blizu plamišta. Ono veoma ovisi o tlaku; pri povećanom tlaku (npr. u kompresorima) plamište je znatno više, dok je pri sniženom tlaku (npr. u vakuum-pumpama) znatno niže.

**Kaplište** je temperatura na kojoj se pojavi prva kaplja tekuće masti kad se ona zagrijava u određenoj posudi. Mnoge se masti razgrađuju već mnogo prije nego su dosegle kaplište, pa zato ono mora biti znatno više od pogonske temperature ležaja.

**Krutište** je temperatura pri kojoj ulje više ne teče. Tim ocjenjujemo upotrebljivost ulja pri niskim temperaturama.

**Penetracija** je mjera za tvrdoću masti (tj. dubina do koje se, uz propisane uvjete, u uzorak masti utisne stožac određenih dimenzija).

**Neutralizacijski broj.** Zbog upotrebe ulja pri višim temperaturama i katalitičkog djelovanja kovina u prisustvu kisika iz zraka, u mineralnim se i zamašćenim uljima stvaraju nakon dužeg vremena slobodne organske kiseline, pa ulje »stari«. Neutralizacijski broj jest broj mg kalijeva hidroksida (KOH) koji je potreban da se neutraliziraju slobodne organske kiseline u 1 g ulja.

★

Budući da laboratorijska ispitivanja spomenutih fizikalnih i kemijskih karakteristika nisu uvijek dovoljna za ocjenu radnih svojstava, uvedena su i ispitivanja za specijalna maziva i neposredno na strojevima, a osobito na motorima s nutarnjim izgaranjem. Ispituju se odnosno ocjenjuju slijedeća svojstva: sposobnost prljanja i debljina sloja maziva na ploham, oksidacijska stabilnost, detergentnost i dr. Te metode obično nisu standardizirane.

#### Ležajna, vretenska, osovinska i cirkulacijska ulja

Vrsta	Oznaka	Viskoznost mm <sup>2</sup> /s	Krutište 0 °C maks.	Plamište °C min.
<i>Ležajno ulje – destilat (JUS B.H3.313 ... 316 – 1956)</i>				
		pri 50 °C		
lako	LD – 30	21 ... 38	–5	140
srednje	LD – 45	40 ... 52	–5	150
poluteško	LD – 60	55 ... 75	0	160
teško	LD – 100	80 ... 110	0	170
<i>Vretensko ulje (JUS B.H3.3000/301 – 1956) – za protočno mazanje</i>				
		pri 20 °C		
lako	VL	20 ... 45	–15	130
teško	VT	60 ... 85	–15	130
<i>Vretensko ulje – destilat (JUS B.H3.310/311 – 1956) – za protočno mazanje</i>				
lako				
teško				
<i>Osovinsko ulje (JUS B.H3.321/323 – 1956) – za osovine tračničkih vozila</i>				
		pri 50 °C		
lako	OL	45 ... 60	–15	150
teško	OT	90 ... 110	0	160
<i>Cirkulacijsko ulje (JUS B.H3.230 – 1973) – za optočno mazanje</i>				
		pri 50 °C		
super super lako	CP 2	1,6	–40	80
super lako	CP 3	3	–30	90
ekstra ekstra lako	CP 7	7	–20	110
ekstra lako	CP 9	9	–20	140
posebno lako	CP 14	14	–16	160
vrlo lako	CP 20	20	–15	165
lako	CP 27	27	–15	170
srednje	CP 37	37	–10	180
teško	CP 50	50	–10	200
vrlo teško	CP 75	75	–10	200
osobito teško	CP 100	100	–5	210
ekstra teško	CP 150	150	–5	215
ekstra ekstra teško	CP 215	215	–5	220
super teško	CP 300	300	–5	230
super super teško	CP 425	425	–5	230

### Ulje za visoki tlak, zupčanike i zupčane prigone

Oznaka	-17,8 °C	Viskoznost mm <sup>2</sup> /s 50 °C	98,9 °C	Krutište 0 °C maks.	Plamište °C min.
<i>Ulje za visoki tlak (JUS B.H3.211 ... 215 — 1962)</i>					
UVP — 75 <sup>1)</sup>	3 268	22 ... 29		—20	150
UVP — 80 <sup>1)</sup>		53 ... 76	8,5 ... 12	—15	165
UVP — 90 <sup>2)</sup>		91 ... 190	14,2 ... 25,1	—12	180
UVP — 140 <sup>2)</sup>			25,1 ... 42,9	—10	200
UVP — 250 <sup>3)</sup>			42,9	0	220
<i>Ulje za otvorene zupčanike (JUS B.H3.270 ... 272 — 1955)</i>					
OZ 5			33	—	190
OZ 10			72	—	190
OZ 15			125	—	190
<i>Ulje za zatvorene zupčane prigone (JUS B.H3.319 — 1973)</i>					
ZU 40		40		—25	180
ZU 55		55		—20	190
ZU 80		80		—18	200
ZU 110		110		—15	210
ZU 150		150		—12	220
ZU 190		190		—12	230
ZU 230		230		—10	235
ZU 305		305		— 5	240
ZU 455		455		— 5	240
<i>Ulje za mehaničke prigone motornih vozila (JUS B.H3.302/303 — 1973)</i>					
MP 4 — 80	< 23 000	9 ... 11,5		—20	170
MP 4 — 90	—	16,8 ... 19,2		—15	190
MP 4 — 140	—	25,5 ... 31,5		— 8	210
MP 5 — 75	< 3 300	> 4,2		—	150
MP 5 — 80	< 11 000	9 ... 11,5	(—25)		160
MP 5 — 90	< 76 000	16,8 ... 19,2	(—18)		180
MP 5 — 140	—	25,5 ... 31,5	(— 7)		200

<sup>1)</sup> — za zupčane prigone, <sup>2)</sup> — za mjenjače i diferencijale, <sup>3)</sup> — za pužne prigone.

### Hidrauličko, kompresorsko, turbinsko i cilindarsko ulje

Vrsta	Oznaka	Viskoznost mm <sup>2</sup> /s	Krutište °C maks.	Plamište °C min.
<i>Hidrauličko ulje (JUS B.H3.120 ... 128 — 1963) za uljno-hidrauličke naprave</i>				
		pri 50 °C		
ekstra ekstra lako	HU-EEL	10 ... 12	—35	81
ekstra lako	HU-EL	12 ... 14	—30	100
vrlo lako	HU-VL	17 ... 21	—25	160
lako	HU-L	30 ... 34	—20	200
srednje	HU-S	38 ... 42	—15	210
teško	HU-T	49 ... 53	—10	220
vrlo teško	HU-VT	61 ... 75	—10	230
posebno teško	HU-NT	80 ... 95	—10	240
<i>Kompresorsko ulje (JUS B.H3.151 ... 156 — 1962) — za stapne i rotacijske kompresore</i>				
		pri 50 °C		
lako	KU-L	35 ... 50	—20	175
srednje	KU-S	52 ... 72	—15	185
teško	KU-T	75 ... 105	—10	195
vrlo teško	KU-VT	110 ... 140	— 5	215
posebno teško	KU-NT	150 ... 200	— 5	230
ekstra teško	KU-ET	220 ... 270	— 5	250
<i>Ulje za rashladne kompresore (JUS B.H3.141 ... 144 — 1962) — za kompresore za NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, freone i sl.</i>				
		pri 50 °C		
vrlo lako	KH-VL	10 ... 17	—40	135
lako	KH-L	18 ... 26	—35	160
srednje	KH-S	26 ... 36	—25	180
teško	KH-T	36 ... 50	—20	200
<i>Turbinsko ulje (JUS B.H3.210 — 1976) — za vodne, parne i plinske turbine</i>				
		pri 50 °C		
vrlo lako	TU-VL	16 ... 24	—10	180
lako	TU-L	25 ... 33	— 8	190
srednje	TU-S	34 ... 42	— 8	210
teško	TU-T	44 ... 52	— 8	220
<i>Cilindarsko ulje (JUS B.H3.341 — 1956, 382 — 1970) — za parne cilindre</i>				
		pri 100 °C		
za zasićenu paru	CU 250	30 ... 52	+ 5	250
za pregrijanu paru	CU 300	44 ... 55	+ 5	310

**Motorao ulje**  
(JUS B.H3.129/139/149/169 — 1974)

*Razdioba mineralnih motornih ulja po kvaliteti*

Klasifikaciju API su (1970/71) zajednički izdali: API (American Petroleum Institute) i ASTM (American Society for Testing Materials)

Kvalitet po JUS	Klasifikacija API*	Karakteristika ulja	Upotreba
<b>A</b>	SB	inhibirano	laki } benzinski
<b>B</b>	SD	inhibirano, detergentno	teži } motori
<b>C</b>	CC	jače detergentno	laki } dizel-
<b>D</b>	CD	jako detergentno	teži } motori

\* Klasifikacija API poznaje još i kvalitete: SA, SC i SE (od SA do SE s porastom dodatka) te CA i CB (od CA do CD za povećani stupanj kompresije motora).

Motorno ulje za dvotaktne benzinske motore je ulje s dodacima, a upotrebljava se pomiješano s benzinom.

*Razdioba po viskoznosti*

Po SAE (Society of Automotive Engineers) motorna su ulja podijeljena u gradacije po viskoznosti (pri čemu nisu uzeti u obzir ni kvalitet ulja, ni ovisnost njegove viskoznosti o temperaturi).

Gradacija po SAE	Viskoznost mm <sup>2</sup> /s		Krutište °C maks.	Plamište °C min.
	—17,8 °C	98,9 °C		
<i>Zimska ulja</i>				
<b>SAE 10 Z</b>	2400	5,4 ... 7,3	—25	200
<b>SAE 20 Z</b>	9600	7,3 ... 9,6	—20	205
<i>Ljetna ulja</i>				
<b>SAE 20</b>	—	7,3 ... 9,6	—20	205
<b>SAE 30</b>	—	9,6 ... 12,9	—15	220
<b>SAE 40</b>	—	12,9 ... 16,8	—10	230
<b>SAE 50</b>	—	16,8 ... 22,7	—10	240

»Svesezonska ulja« obuhvaćaju viskoznošću više gradacija. (Ulje koje odgovara gradacijama SAE 10 Z i SAE 30, označeno je sa SAE 10 Z—30).

**Vazelinsko, izolacijsko ulje i ulje za obradu**

Vrsta	Oznaka	Viskoznost mm <sup>2</sup> /s	Krutište °C maks.	Plamište °C min.
-------	--------	-------------------------------	-------------------	------------------

*Vazelinsko ulje, tehničko* (JUS B.H3.160 ... 163 — 1958) — za precizne instrumente i lake radilice

<b>vrlo lako</b>	<b>VZT-VL</b>	pri 20 °C 20 ... 37	—25	120
		pri 50 °C		
<b>lako</b>	<b>VZT-L</b>	12 ... 17	—20	120
<b>srednje</b>	<b>VZT-S</b>	18 ... 25	—15	140
<b>teško</b>	<b>VZT-T</b>	26 ... 42	—15	160

*Izolacijsko ulje* (JUS B.H3.561/562 — 1970)

<b>za transformatore</b>	<b>IU-T</b>	pri —30 °C 1800	pri 20 °C 30	—45	130
		pri —15 °C	pri 20 °C		
<b>za sklopke</b>	<b>IU-P</b>	800	40	—30	140

Dielektrična čvrstoća izolacijskih ulja IU-T i IU-P iznosi: za neprerađeno ulje 30 kV, za prerađeno ulje 50 kV.

*Ulja i tekućine za obradu* — za hlađenje i mazanje alata pri odvajanju čestica s kovina

**Neemulgirajuća ulja** (JUS B.H3.526 — 1973)

<b>neaktivna ulja</b>	{	<b>N 5</b> <b>N 10</b> <b>NEP</b> <b>NVEP</b>	pri 50 °C 3,0 ... 6,5 6,5 ... 12 12 ... 37,5 12 ... 37,5	—20 —20 —10 —10	90 100 140 160
<b>aktivna ulja</b>	{	<b>A 10</b> <b>A 25</b> <b>VA</b>	6,5 ... 12 12 ... 37,5 12 ... 37,5	—20 —10 —10	100 140 140

Emulgirajuća ulja i sintetične tekućine (JUS B.H3.536 — 1974) — za emulzije s vodom u omjeru ulje/voda = 1 : 10 ... 1 : 40 (1 : 60), otopine u vodi u omjeru koncentrat/voda = 1 : 50 ... 1 : 1000.

Masti za mazanje					
Vrsta	Oznaka	Viskoznost mm <sup>2</sup> /s 50 °C	Penetracija (po gnje- čenju)	Krutište °C maks.	Kaplište °C min.
<i>Masti za otvorene zupčanike (JUS B.H3.273/274 — 1955)</i>					
teška	OZ-20	—	310 ... 340	—	—
vrlo teška	OZ-41	—	290 ... 310	—	—
<i>Masti za visoki tlak i temperaturu — za klizne i valjne ležaje pri povišenim temperaturama i tlakovima (JUS B.H3.624 — 1974)</i>					
vrlo meka	MVP-1	—	310 ... 340	—	175
meke	MVP-2	—	265 ... 295	—	180
srednja	MVP-3	—	220 ... 250	—	185
<i>— za visoke temperature (JUS B.H3.644/648 — 1965)</i>					
tvrda	MVT-4	—	175 ... 205	—	160
briketna	MVT-B	—	< 80	—	180
<i>Masti na osnovi Li-sapuna (JUS B.H3.634 — 1974) — za više namjena</i>					
vrlo meka	VM-1	> 40	310 ... 340	—15	175
meke	VM-2	> 40	265 ... 295	—15	180
srednja	VM-3	> 40	220 ... 250	—15	185
<i>Masti na osnovi Na-sapuna (JUS B.H3.645 — 1974) — za valjne ležaje</i>					
meke	MKL-2	> 35	265 ... 295	—15	140
srednja	MKL-3	> 35	220 ... 250	—15	150
<i>Grafitirana mast (JUS B.H3.661 — 1970)</i>					
srednja	LMG-3	> 37	200 ... 250	—15	95
Sadrži: 2 ... 4 % grafit, 8 % pepela, 2 % vode.					
<i>Masti s molibdenovim disulfidom MoS<sub>2</sub> (JUS B.H3.666 — 1976)</i>					
—	MMo-1	> 40	310 ... 340	—15	175
—	MMo-2	> 40	265 ... 295	—15	180
Sadrži: > 3 % MoS <sub>2</sub> .					
<i>Antikorozijski vazelin (JUS B.H3.681 — 1977)</i>					
—	AV-55	—	200 ... 325	—	55
—	AV-65	—	90 ... 150	—	65
—	AV-75	—	30 ... 80	—	75

Izbor maziva *		
Mjesto i način podmazivanja	Pogonski uvjeti	Maziva po JUS
	$t$ — temperatura (°C) $n$ — brzina vrtnje (okr./min)	
<b>Ležaji</b>		
<i>Klizni ležaji</i>		
— podmazivanje uljem, ručno ili mazalicama	$n < 50$ $n = 50 \dots 200$ $n = 200 \dots 700$	LD 100 LD 60 LD 45
— podmazivanje uljem, cirkulacijsko ili prstenom	$t > 0^{\circ}\text{C}$ : $n < 50$ $n = 50 \dots 200$ $n = 200 \dots 700$ $n = 700 \dots 1500$ $n = 1500 \dots 3000$ $n > 3000$ $t < 0^{\circ}\text{C}$	CP-100 CP-75 CP-50 CP-37 CP-20 CP-7 KH-S
— podmazivanje mašću	$t < 60^{\circ}\text{C}$ : mazalicama tlačno $t > 60^{\circ}\text{C}$	LMG-3 MVP-2 MKL-3
<i>Valjni ležaji</i>		
— podmazivanje uljem	$t = -25 \dots 40^{\circ}\text{C}$ $t = 0 \dots 60^{\circ}\text{C}$ : $n < 700$ $n = 700 \dots 3000$ $n > 3000$ $t = 60 \dots 90^{\circ}\text{C}$ : $n < 700^{\circ}\text{C}$ $n = 700 \dots 3000$ $n > 3000$ $t > 90^{\circ}\text{C}$ : $n < 700$ $n = 700 \dots 3000$ $n > 3000$	KH-T CP-37 CP-20 CP-7 CP-100 CP-37 CP-20 CP-300 CP-215 CP-75
— podmazivanje mašću	$t = -20 \dots 125^{\circ}\text{C}$ : normalno opterećenje veliko opterećenje	VM-3 MVP-3

\* Navedene su upute informativne. U pojedinim slučajevima, a napose pri većim zahtjevima, valja uzeti u obzir upute proizvođača stroja ili uređaja i proizvođača maziva.

## Izbor maziva

Mjesto i način podmazivanja	Pogonski uvjeti	Maziva po JUS
	$t$ — temperatura (°C) $n$ — brzina vrtnje pogonskog zupčanika (okr./min) $P$ — prenesena snaga (kW)	
Zupčani prijenosi Zatvoreni zupčanci	$t = -20 \dots 20^\circ\text{C}$ : veliko opterećenje manje opterećenje $t = 0 \dots 70^\circ\text{C}$ : $n < 350$ : $P < 18$ $P = 18 \dots 65$ $P > 65$ $n = 350 \dots 1000$ : $P < 11$ $P = 11 \dots 50$ $P > 50$	ZU-80 ZU-40  ZU-55 ZU-80 ZU-190  ZU-40 ZU-55 ZU-80
— podmazivanje cirkulacijsko	$n < 350$ : $P < 18$ $P = 18 \dots 65$ $P > 65$ $n = 350 \dots 1000$ : $P < 11$ $P = 11 \dots 50$ $P > 50$	ZU-55 ZU-80 ZU-190  ZU-40 ZU-55 ZU-80
— podmazivanje u uljnoj kupelji	$n < 350$ : $P < 18$ $P = 18 \dots 65$ $P > 65$ $n = 350 \dots 1000$ : $P < 11$ $P = 11 \dots 50$ $P > 50$	ZU-80 ZU-190 ZU-305  ZU-55 ZU-80 ZU-190
— podmazivanje cirkulacijsko ili u uljnoj kupelji	$n = 1000 \dots 2500$ : $P < 7$ $P = 7 \dots 37$ $P > 37$ $n = 2500 \dots 5000$ : $P < 4$ $P = 4 \dots 15$ $P > 15$	ZU-40 ZU-55 ZU-80  CP-20 ZU-40 ZU-55 OZ 15
Otvoreni zupčanci Pužni prijenosi	$t < 60^\circ\text{C}$ $t$ — normalne — niske	MP4-140 MP4-80
Lanci i užad Gallovi lanci	$t$ — normalne — niske	MP4-90 KH-T
Čelična užad	$t$ — normalne i niske	OZ 5

## (nastavak)

Mjesto i način podmazivanja	Pogonski uvjeti	Maziva po JUS
	$t$ — temperatura (°C) $n$ — brzina vrtnje (okr./min) $P_1$ — snaga po cilindru (kW)	
Vodne turbine Potporni ležaji — sa čvrstim potpornim prstenom	$t < 50^\circ\text{C}$ srednja i velika opterećenja, mala i srednja brzina $t < 60^\circ\text{C}$ : opterećenje $< 3,5 \text{ N/mm}^2$ mala opterećenja, velika brzina	TU-T  TU-S  TU-S
— s pomičnim segmentima	$t < 15^\circ\text{C}$ mala i srednja opterećenja	LMG-3
Horizontalni potporni i grebenasti ležaji	servomotor u osovini	CP-300
Svornjaci statorkih lopatica, vodivi podvodni ležaji	servomotor u glavini	TU-S
Glavine Kaplanovih turbina	$n > 3000$ $n = 1500 \dots 3000$	TU-VL TU-S
Parne turbine Ležaji	Temperatura pare: $t_p < 320^\circ\text{C}$ $t_p < 260^\circ\text{C}$	CU-300 CU 250
Stapni parni strojevi Cilindri	$P_1 < 120 \text{ kW}$ $P_1 > 120 \text{ kW}$	D-SAE 30 D-SAE 40
Dizel-motori (stabilni) Vertikalni motori — cilindri i ležaji	$P_1 < 40 \text{ kW}$ $P_1 > 40 \text{ kW}$	D-SAE 20Z D-SAE 30
Horizontalni motori — cilindri i ležaji	$t$ — normalne $t$ — normalne — niske	TU-S TU-S KH-L
Regulatori Protočni regulatori Tlačni regulatori	$t > 10^\circ\text{C}$ $t < 10^\circ\text{C}$	KU-T KU-S
Stapni kompresori za regulatore		



Izbor maziva (nastavak)

Mjesto i način podmazivanja	Pogonski uvjeti	Maziva po JUS
	$t$ — konačna temperatura kompresije (°C) $p$ — tlak (bar)	
Hidraulički strojevi	normalno opterećenje normalno opterećenje veliko opterećenje	HU-VL HU-S HU-VT
Stapne pumpe		
Rotacijske pumpe		
Stapni kompresori	$p < 6$ bar: vani — zimi — ljeti unutra	KU-L KU-S KU-S
Cilindri i brtve		
— mali jednostepeni zračni kompresor		
— višestepeni kompresor za zrak, N <sub>2</sub> , CO, NH <sub>3</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> i sl.	$p < 100$ bar: $t < 140$ °C $t < 160$ °C $t < 190$ °C $t > 190$ °C	KU-T KU-NT KU-ET
— kompresori za koksni ili rasvjetni plin	$t < 140$ °C $t > 140$ °C	KU-S KU-T
— kompresori za metan, propan, butan	$t < 140$ °C	KU-T
— kompresori za vlažni zrak ili plin	$t < 135$ °C $t > 135$ °C	KU-S KU-VT
— rashladni kompresori za NH <sub>3</sub> i CO <sub>2</sub> za freon i CH <sub>3</sub> Cl za SO <sub>2</sub>		KH-S KH-T KH-T
Ležaji i pogonski mehanizam		
— cirkulacijsko podmazivanje		CP-75
— tlačno podmazivanje		CP-50
Rotacijski kompresori		
Jednostepeni	$p < 2,5$ bar $t < 140$ °C $p > 2,5$ bar: $t < 180$ °C $t > 180$ °C	KU-S KU-VT KU-ET
Dvostepeni	$p < 8$ bar $t < 140$ °C $p > 8$ bar: $t < 180$ °C $t > 180$ °C	KU-S KU-VT KU-ET
Alatni strojevi		
Vodila	malo opterećenje veliko opterećenje	LD-30 LD-60

TEHNOLOGIJA

Lijevanje

Modeli po kojima se izrađuju kalupi za lijevanje dijele se na:

— *Višekratno upotrebive modele* koje izrađujemo od kovine (čelik, sivi lijev, aluminij, mjed itd.), plastu, drveta ili sadre. Moraju biti dijeljivi i s kosim bočnim plohamu da ih nakon kalupljenja možemo izvući iz pješanog kalupa.

Jezgrenici su modeli za izradu pješanih jezgara.

— *Jednokratno upotrebivi modeli* izrađuju se od voska (kojega po konačnoj izradi pješanog kalupa istalimo zagrijavanjem) ili od plastu (UF ili pjenastoga PS koji se dodirom s vrućom talinom ispare).

Osnova za izradu modela je konstrukcijski nacrt. Pri dimenzioniranju modela valja uzeti u obzir kontrakciju lijeva pri skrućivanju i ohlađivanju. Stoga su dimenzije modela za nadmjeru povećane s obzirom na konstrukcijski nacrt.

Nadmjere lijevova (JUS K.H5.050 – 1959)

Lijev	Nadmjera %		Lijev	Nadmjera %	
	manji odljevci	veći odljevci		manji odljevci	veći odljevci
sivi lijev	1,0	0,75	lijevana bronca	1,5	1,3
			lijevana Al bronca	2,1	1,8
nodularni lijev					
— nežareni	2,0	1,5	lijevana mjed	1,7	1,5
— žareni	0,5	0,3	cinčani lijev	1,5	1,2
temperovani lijev			alumijski lijev	1,2	1,0
— nežareni	2,0	2,0	— Al-Mg lijev	1,5	1,3
— bijeli, žareni	1,6	—	— Al-Cu-Mg lijev		
— crni, žareni	0,5	0,5			
čelični lijev	2,0	1,8	magnezijski lijev	1,4	1,3
lijevani Mn čelici	2,3	2,3	bijela kovina	0,5	—

Na plohamu, koje će biti obrađene, treba na modelu dodati za obradu:

Najveća dimenzija odljevka mm	Dodatak za obradu* u mm					
	sivog lijeva		za odljevke od čeličnog lijeva		neželjeznih kovina	
	I	II	I	II	I	II
... 200	2...3	3...5	3...4	6...7	2...2	3...4
200)... 300	2...3	5...6	3...4	7...9	2...2	4...5
300)... 500	3...4	6...8	4...5	9...12	3...3	5...6
500)... 800	3...5	7...9	4...7	10...13	3...4	5...7
800)... 1200	4...6	8...10	6...9	12...15	4...5	6...8
1200)... 1800	5...7	9...11	7...10	14...16	4...5	7...9
1800)... 2600	6...8	10...12	9...12	15...18	5...6	8...10
2600)... 3800	—	11...14	—	16...21	—	9...11
3800)... 5400	—	12...16	—	18...24	—	10...13
5400)...	—	14...18	—	24...30	—	12...16

\* I — pri masovnoj izradi odljevaka, II — pri pojedinačnoj izradi

Zbog veće preglednosti pri izradi kalupa i upozorenje za koji je lijev predviđen pojedini model (nadmjere!) označuju se pojedine plohe na modelima posebnim bojama.

#### Boje modela

Površine modela i jezgrenika	L i j e v					
	sivi	nodularni	temperovani	čelični	lake kovine	teške kovine
površine na kojima ostaju odljevci neobrađeni	crveno	ljubičasto	sivo	modro	zeleno	žuto
površine na kojima će se odljevci obraditi	žute crte*	žute crte*	žute crte*	žute crte*	žute crte*	crvene crte*
mjesta za rashladne ploče i uložene trnove	modro	crveno	crveno	crveno	crveno	modro
sastavi dijeljenih modela	crni rub					
jezgreni oslonci	crno					

\* Manje se plohe oboje tom bojom u cjelini.

Modeli nisu potrebni pri posebnom načinu lijevanja (tlačnom, kokilnom, centrifugalnom, kontinuiranom itd.).

Kalupi su pomoćno sredstvo u kojima se uljevna kovinska talina hladi i namjestiti na najvišim mjestima modela odušnike, koji mogu također preuzeti ulogu pojila. Pijesak u kalupu valja na mjestima probosti (zračnici), kako bi pri ulijevanju nastalim plinovima olakšali izlaz.

Pri dijeljenom okviru za kalup moramo gornji dio čvrsto spojiti s donjim dijelom, da se ne bi dignuo zbog hidrostatskog uzgona. Da uzgon u talini ne bi skrivio ili srušio jezgre, učvršćujemo ih osloncima i opteretimo utezima.

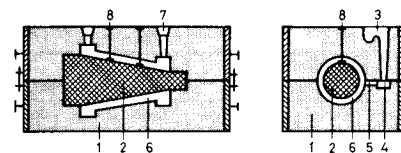
– *Kalupe za jednokratnu upotrebu*, koje izradujemo nabijanjem ljevačkog pijeska.

Ljevački pijesak sastoji se pretežno od kremenih zrnaca ( $\text{SiO}_2$ ), ima visoko talište ( $1720^\circ\text{C}$ ) te postaje gnjecav tek povrh  $1600^\circ\text{C}$ . Debljina zrna kreće se između  $0,06 \dots 0,5 \text{ mm}$  (u ovisnosti od tražene glatkoće ploha odljevka i njegove veličine). Kremenova zrna sama su sipka. Vežemo ih dodatkom veziva. Najoubičajenije vezivo je glina ( $2 \dots 30\%$ ) uz dodatak vlage ( $5 \dots 15\%$ ). Po količini gline u ljevačkom pijesku razlikujemo suhi, polumasni i masni pijesak. Suhi pijesak ima najveću propustivost za plinove, ali manju čvrstoću. Upotrebjavamo ga npr. za jezgre (do  $5\%$  gline). Polumasni pijesak upotrebljavamo za svježije kalupe, a masni – najveće čvrstoće – za sušene kalupe. Osim posebnih vrsta anorganskih veziva (gline s određenim mješavinom  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{SiO}_2$  uz dodatke K, Mg i sl.) upotrebljavamo i organska veziva (uljna, škrobna, od plastu – PF, UF i sl.), naročito pri izradi jezgara i ljevačkih maski (za velike serije malih odljevaka – po Croningu).

Kalupljenje može biti ručno (pri pojedinačnoj izradi odljevaka i pri velikim odljercima) ili strojno (pri masovnoj izradi manjih odljevaka).

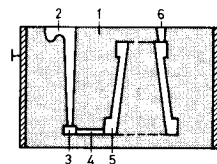
#### Pješčani kalupi

Dijeljeni kalup za model za višekratnu upotrebu:



- 1 – kalup
- 2 – jezgra
- 3 – ulijevak
- 4 – razvodnik
- 5 – privodnik
- 6 – odljevak
- 7 – pojilo
- 8 – jezgreni oslonac

Kalup za model (od plastu) za jednokratnu upotrebu:



- 1 – kalup
- 2 – ulijevak
- 3 – razvodnik
- 4 – privodnik
- 5 – odljevak
- 6 – pojilo (odušnik)

U pojilu (koje mora biti dovoljno veliko pri punim, debelim odljercima) mora se talina održati tekućom (toplinskom izolacijom ili dodatnim zagrijavanjem) sve do skrućenja odljevka, da bi se sprečilo stvaranje lunkera u odljevku.

Za odvod zraka valja namjestiti na najvišim mjestima modela odušnike, koji mogu također preuzeti ulogu pojila. Pijesak u kalupu valja na mjestima probosti (zračnici), kako bi pri ulijevanju nastalim plinovima olakšali izlaz.

Pri dijeljenom okviru za kalup moramo gornji dio čvrsto spojiti s donjim dijelom, da se ne bi dignuo zbog hidrostatskog uzgona. Da uzgon u talini ne bi skrivio ili srušio jezgre, učvršćujemo ih osloncima i opteretimo utezima.

– *Kalupi za višekratnu upotrebu* izraduju se od kovina, grafita ili keramike.

Kokile su kovinski kalupi (obično od čelika ili sivog lijeva) pomoću kojih je moguće izraditi vrlo točne odljevke (s toler.  $\pm 0,3 \dots \pm 0,05 \text{ mm}$ ). U potpunim kokilama su i jezgre kovinske, u dijeljenim kokilama su jezgre od pijeska.

Talina se ulijeva u kokile otvorenim mlazom.

Zbog više cijene upotrebljavamo kokile pri masovnoj izradi odljevaka. Zbog velikih temperaturnih opterećenja je njihova primjena ograničena na izradu odljevaka od slitina nižeg tališta (Sn, Zn, Pb – Al, Mg, mjedi).

Centrifugalno lijevanje, pri kojem se talina zbog rotacije kokile sabere uz vanjsku njenu stijenku, prikladno je za izradu lijevanih koluta i cijevi.

Pri kontinuiranom lijevanju se kovinska talina ulijeva u obostrano otvorenu kokilu (zatvorenu samo pri početku postupka). Talina se u kokili skrućuje toliko, da nastane dovoljno čvrsta vanjska kora, koja omogućuje izvlačenje odljevka. Postupak je prikladan za kontinuirano lijevanje punih ili šupljih profila (u duljinama koje ograničava samo vanjski uređaj radnih prostorija).

Dozvoljeno odstupanje pri dimenzijama neobrad. odljevaka od sivog i čeličnog lijeva

Preporučene smjernice (pri dimenzijama bez propisanih tolerancija i za odljeve u pješčane kalupe). — Mjere u mm.

Nazivna mjera	Sivi lijev				Čelični lijev					
	kalupljenje*		kalupljenje*		kalupljenje*		kalupljenje*			
	ručno		strojno		ručno		strojno			
	vel.	deblj.	vel.	deblj.	vel.	deblj.	vel.	deblj.		
... 6	+ 2 —1,5	± 1,5	± 1	± 1	+ 3 —2	± 3	+ 3 —2	± 2		
6)... 10		± 2,5		± 2		± 4				
10)... 18		± 3,5		± 2 —1,5		± 2,5		± 5 ± 7	+ 4 —2	± 3
30)... 50				± 2,5		± 7				
50)... 80	+ 3 —2	± 4,5	± 3,5	± 3,5	+ 5 —3	± 8	+ 4 —2	± 4		
80)... 120		± 2,5 —1,5		± 2,5		± 9		± 5 —3	± 5	
120)... 180				± 2,5		± 11		± 5 —3		
180)... 250		+ 4 —3		± 3 —2		± 3 —2		± 3,5	± 8 —4	± 12
250)... 315	± 9 —4		± 13		+ 8 —4		± 7			
315)... 400	± 10 — 5		± 15						± 8 —4	± 7
400)... 500	± 6 —4		± 4,5 —2,5		± 4,5		± 4,5		± 16	± 16
500)... 630	+ 7 —5	± 5 —3	± 5 —3	± 5 —3	± 11 — 6	± 12 — 6	+ 9 —5	± 11 — 6		
630)... 800					± 12 — 6					
800)... 1000					± 13 — 7					
1000)... 1250					± 15 — 8					
1250)... 1600	± 10 — 7	± 6 —4	± 6 —4	± 6 —4	± 16 — 8	± 14 — 7	± 14 — 7	± 14 — 7		
1600)... 2000	± 13 — 9	± 8 —5	± 8 —5	± 8 —5	± 18 — 9					
2000)... 2500					± 20 —10					

\* vel. — odstupanje pri veličini odljevka (promjer, širina, duljina); deblj. — odstupanje pri debljini stijenki.

Dozvoljena odstupanja pri dimenzijama za neobrađene odljeve neželjeznih kovina

Preporučene smjernice (pri dimenzijama bez propisanih tolerancija i za odljeve u pješčanim kalupima). — Mjere u mm.

Nazivna mjera	Odljevci teških kovina				Odljevci lakih kovina			
	kalupljenje		kalupljenje		kalupljenje		kalupljenje	
	ručno	strojno	ručno	strojno	ručno	strojno	ručno	strojno
	vel.	deblj.	vel.	deblj.	dij.	jez.	dij.	jez.
... 6		± 1,5			± 1	± 1,2	± 1,6	± 0,6
6) ... 10	± 1,5	+2 —1,5	± 1,5	+2 —1,5	± 1,5 —1	± 1,6	± 2,3	± 1,2
10) ... 18					± 2	± 3	± 1,8	± 2,2
18) ... 30					± 2	jedn.	sast.	jedn.
30) ... 50	± 2,5	+3,5 —2,5	± 2	+2,5 —2	± 1	± 1,6	± 0,8	± 1
50) ... 80					± 1,2	± 1,9	± 0,9	± 1,2
80) ... 120					± 1,4	± 2,2	± 1,1	± 1,4
120) ... 180	± 3,5	+5 —4	± 3		± 1,6	± 2,5	± 1,2	± 1,6
180) ... 250					± 1,8	± 2,9	± 1,4	± 1,8
250) ... 315					± 2	± 3,2	± 1,6	± 2
315) ... 400	± 4		± 3,5		± 2,2	± 3,6	± 1,8	± 2,2

Oznake za odstupanja:  
vel. — za veličinu odljevka; deblj. — za debljinu stijenki; dij. — pri dijetlenom kalupu; jez. — za kalupe s jezgrama; jedn. — pri jednodijelnim kalupima; sast. — pri sastavljenim kalupima.

#### Čišćenje odljevaka

Postupak čišćenja odljevaka:

- istresanje pijeska obavlja se ručno ili strojno (vibratorima);
  - grubim čišćenjem odstranjuje se sav pijesak i to ručno i/ili strojno (pneumatskim dlijetima, u okretnim bubnjevima, pjeskaranjem kremenovim ili čeličnim zrnjem — pneumatski ili mehaničkim bacačima, vodenim mlazom — 25 ... 150 bar);
  - priljevci (uljevci i pojila) odstranjuju se piljenjem, plamenim ili lučnim rezanjem, brusnom pločom;
  - brušenjem se poravnavaju neravnosti ploha po odstranjenju priljevaka i sl.
- Eventualne greške odljevaka popravljaju se isjecanjem ili zavarivanjem.

## Plastična obrada

Plastična obrada – preoblikovanje – je radni postupak u kojem krutom kovinskom materijalu (sirovom odljevku ili već prije preoblikovanom poluproizvodu, npr. limu) plastičnom (trajnom) deformacijom promijenimo oblik, pri čem se ujedno promijeni i struktura materijala.

Preoblikovanje se zbiva u području prisilnog tečenja kovine ili slitine. S obzirom na temperaturu preoblikovanja razlikujemo:

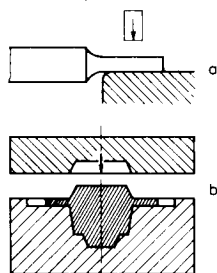
- preoblikovanje u hladnom, tj. pod temperaturom rekristalizacije, pri čem materijal očvršne (povećavaju se čvrstoća i tvrdoća uz smanjenje rastegljivosti),
- preoblikovanje u toplom, tj. nad temperaturom rekristalizacije, pri čem materijal ne očvršne, jer se pritom nastala naprezanja usput gube.

Porastom deformacije rastu i naprezanja u materijalu. Pri prevelikoj deformaciji materijal se kida. Stoga je veličina deformacije pri preoblikovanju ograničena. Naprezanja, koja nastaju zbog očvršćivanja pri preoblikovanju u hladnom, mogu se žarenjem odstraniti, nakon čega se materijal može dalje preoblikovati. Na taj način možemo postepenim preoblikovanjem i međuzarenjem postići vrlo velike deformacije materijala.

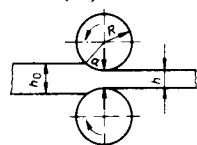
Značajna je brzina deformacije. Pri malenoj brzini deformacije materijal će se prognječiti do u dubinu presjeka, pri velikoj brzini stići će deformacija samo do manjih dubina.

Najznačajniji su primjeri preoblikovanja:

### Kovanje



### Valjanje



Kvalitetne dijelove kompliciranih oblika i s velikim razlikama presjeka izrađujemo najjednostavnije kovanjem valjanih profila (štapova, traka) u otkovke. Kujemo obično u toplom. Pri kovanju u hladnom materijal jako očvršne, a tada su moguće samo male deformacije.

Slobodno kovanje (a) – ručno ili strojno – sastoji se iz velikog broja udaraca, a upotrebljava se pri pojedinačnoj izradi i pri velikim otkovcima.

Kovanje u kalupu (b) sastoji se iz manjeg broja udaraca, daje točnije dimenzije otkovka, a upotrebljava se pri masovnoj izradi.

Pri valjanju lima ili profila među dvama valjcima smanjujemo debljinu izratka za razliku  $\Delta h$  ( $= h_0 - h$ ) koja je ovisna od promjera valjaka  $2R$  i koeficijenta trenja  $\mu$

$$\Delta h \leq 2R(1 - \cos \alpha) = 2R(1 - 1/\sqrt{\mu^2 + 1})$$

Fino valjanje (>glačanje<) je fina obrada tokarenih ili brušenih kovinskih ploha plastičnom deformacijom pri kojoj površinski sloj jako očvršne.

### Utiskivanje

Utiskivanje patrice (utisnog alata pozitivnoga oblika) u materijal izrađujemo razne gravure ili udubine (negativnog oblika).

### Istiskivanje

Hladnim istiskivanjem materijala kroz matricu (istosmjerno – a, b) ili protiv patrice (protusmjerno – c) oblikujemo štapove, profile, cijevi (u prvom redu od Sn, Pb, Zn, Al, Cu i sl.).

### Vučenje (kalibriranje)

Vučenjem odvaljaka kroz matrice (a, b) ili valjke (c) dobivamo vučene profile i žicu.

### Duboko izvlačenje

Duboko izvlačimo lim iz pripremljenih odrezaka (platina odn. kružno izrezanih rondela) – pri jednostavnim proizvodima u jednom stupnju, pri kompliciranijim u više stupnjeva.

### Savijanje

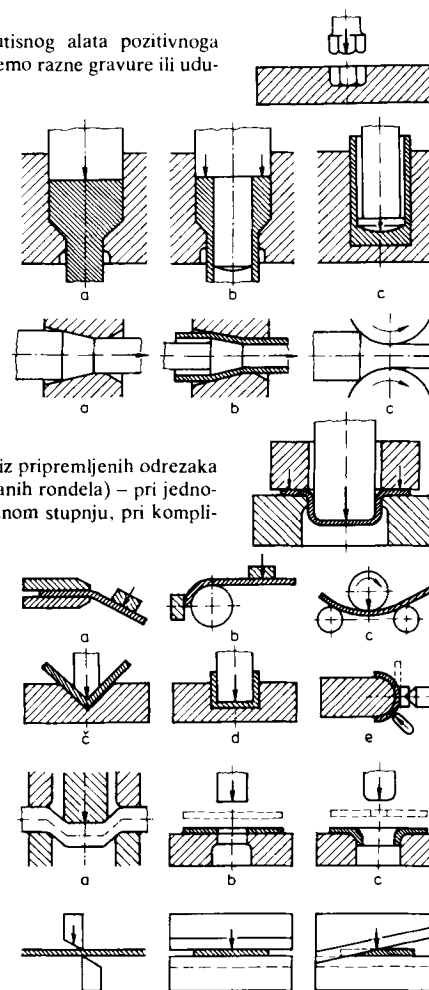
Savijamo u prvom redu lim i trake i to: slobodno (a, b), pomoću valjaka (c), u kalupima (č, d) ili postepenim razvlačenjem preko modela (e).

### Smično preoblikovanje

Smično preoblikovanje upotrebljavamo npr. za savijanje štapa u koljenčastu osovinu (a), stvaranje rupa u limu – čistih (b) ili s prirubom (c).

### Odreživanje

Odreživanje je postupak pri kojem smičnim opterećenjem odvajamo čestice izratka.



### Oblikovanje plastu

Veći je dio oblikovanih proizvoda i poluproizvoda od plastu – termoplast; od duroplaste ih je manje.

Termoplaste možemo lijevati (težinskim ili centrifugalnim postupkom), no mnogo više ih oblikujemo tlačnim lijevanjem u kokilama (proizvode kabastog oblika) ili istiskivanjem kroz sapnice (profile, cijevi, ploče). Dodatnim razvlačenjem izrađuju se folije (debljine 0,02...0,3 mm).

Duroplaste lijevamo ili prešamo u kalupima (tlakom 150...1000 bar pri temperaturama alata 140...180 °C).

Primarni oblik plastu za prerađu su prašak i zrnje.

Pri tlačnom lijevu i istiskivanju materijal se potiskuje pužnim vijkom ili klipom, a za prešanje upotrebljavaju se preše (tijeskovni) i to: ručne (50...800 kN), mehaničke (400...1500 kN) ili hidrauličke (150...10000 kN).

### SINTEROVANJE

Sinterovanjem spajamo materijale (kompozite) iz komponenata koji se drugim tehnološkim metodama ne daju spajati (ili veoma teško).

Mješavinu komponenata u obliku prašine (veličine zrna 1...500 µm) ponajprije stisnemo (hladno ili vruće) velikim tlakom (1...10 kbar) u konačni oblik, da bi ih nato pri visokim temperaturama sinterovali (difuzijski stopili).

Temperature sinterovanja su: za bakrene slitine 600...800 °C, za željezne slitine 1000...1300 °C, za karbidne tvrde metale 1400...1600 °C, za Mo, W, Ta i sl. 2000...2900 °C.

Veličinom zrna komponenata, tlakom pri tlačenju i temperaturom sinterovanja utičemo na poroznost sastavljenoga materijala:

volumenski udio pora	upotreba
do 60%	– filteri
do 30%	– klizni ležaji
15...20%	– strojni dijelovi
do 5%	– vrlo čvrsti strojni dijelovi

Primjeri upotrebe:

- karbidni tvrdi metali: sinterovanje tvrdih i krhkih volframovih, molibdenovih ili tantalovih karbida žilavim vezivom, npr. kobaltom;
- »dijamantne kovine«: sinterovanje dijamantnog zrnja (ili drugih tvrdih tvari, npr. korunda) kovinskim vezivom;
- slitine komponenata vrlo raznolikih tališta: sinterovanje kovina razmjerno visokog tališta (Fe, Ni, Co) s kovinama vrlo niskih tališta (Zn, Cd, Pb);
- slitine za filtere i klizne ležaje: sinterovanje kovina i kovinskih spojeva željene poroznosti (kod ležaja valja pore napojiti uljem);
- slitine za četkice kolektorskih električnih strojeva: sinterovanje grafita (klizavost) i bakra (vodljivost);
- slitine za električne kontakte: sinterovanje volframa ili molibdena (tvrdoća) s bakrom ili srebrom (vodljivost).

### ZAVARIVANJE KOVINA

#### Zavarivanje pritiskom (JUS C.T3.001 — 1971)

1. **Kovačko zavarivanje.** Dijelove zagrijemo u peći do bijelog žara, dezoksidiramo površine (npr. boraksom) te ih zavarimo udarcima čekićem.

2. **Plameno zavarivanje pritiskom.** Dijelove zagrijemo plamenom te ih zavarimo pritiskom.

3. **Aluminotermijsko zavarivanje pritiskom.** Dijelove zagrijemo toplinom egzotermne reakcije aluminija s oksidom kovine, koja se zavaruje, te ih zavarimo jakim pritiskom u prešama.

4. **Čeono zavarivanje električnim otporom**

a) *Zavarivanje pritiskom* je postupak u kojem propuštamo jaku električnu struju kroz oba dijela što ih zavarujemo, a koji su u stalnom dodiru. Na mjestu dodira stvara se Jouleova toplota pa se dodirno mjesto jako ugrije. Kad se postigne temperatura zavarivanja, oba dijela zavarimo jakim pritiskom.

b) *Zavarivanje iskrenjem* je postupak pri kojem propuštamo električnu struju kroz oba dijela što ih zavarujemo, a koji se izmjenično dotiču i razmiču, tako da se pojavi iskrenje zbog kojega se dodirno mjesto jako zagrije. Kad se dostigne temperatura zavarivanja, oba dijela zavarimo jakim pritiskom.

5. **Preklopno zavarivanje električnim otporom**

a) *Točkasto zavarivanje* je zavarivanje dvaju dijelova stisnutih između dva pritiskivača, kroz koje dovodimo električnu struju. Dodirno se mjesto obaju dijelova ugrije Jouleovom toplinom te se zavari pod pritiskom. To ponavlja se na limu u stanovitim razmacima — po točkama.

b) *Kolutno zavarivanje* srodno je točkastom zavarivanju, ali su pritiskivači izvedeni u obliku koluta koji valjanjem po dijelovima što ih treba zavariti daju neprekidno zavar.

c) *Bradavičasto zavarivanje* je točkasto zavarivanje na pojedinim posebno ispupčenim mjestima lima (bradavicama) kroz koja prelazi električna struja.

6. **Indukcijsko zavarivanje.** Dijelove zagrijemo visokofrekventnom strujom te ih zavarimo pritiskom.

7. **Zavarivanje trenjem.** Dijelove zagrijemo trenjem između dodirnih ploha mirujućeg i rotirajućeg dijela te ih zavarimo pritiskom.

8. **Hladno zavarivanje.** Dijelove dovedemo do tjesnog dodira te ih jako stisnemo. Pri tom se pojavljuje međusobno prodiranje elementarnih čestica iz jednog dijela u drugi pa se oni kovinski spoje.

9. **Zavarivanje ultrazvukom.** Dijelovi se zagriju toplinom trenja zbog ultrazvučnog titranja, a zatim ih zavarimo pritiskom.

10. **Zavarivanje difuzijom** je spajanje kovina u krutom stanju u određen čas pri odgovarajućoj temperaturi i umjerenom pritisku. Uvjet za uspješan difuzijski proces je vrlo čista dodirna površina, a katkada i zaštitna atmosfera.

11. **Zavarivanje eksplozijom** je spajanje dvaju dijelova pritiskom što ga stvara sila eksplozije.

#### Zavarivanje taljenjem (JUS C.T3.001 — 1971)

1. Ljevačko zavarivanje upotrebljavamo uglavnom za popravak pokvarenih odljevaka. Pokvareni dio, ugrađen u poseban kalup, prelijevamo taljevinom dok se mjesto kvara ne zatali.

2. Aluminotermijsko zavarivanje taljenjem. Termitni prašak, smjesa aluminija i željeznog oksida u prahu, izgara pri visokoj temperaturi uz oksidaciju aluminija i oslobađanje željeza iz željeznog oksida. Rastaljenim se željezom zavaruju čelični dijelovi.

3. Zavarivanje plamenom. Za stvaranje plamena služe acetilen, rasvjetni plin, vodik ili teški ugljikovodici (benzen, teški benzin) s kisikom ili zrakom. Najbolji plamen daje acetilen s kisikom. Kao dodatni materijal služe žice za zavarivanje koje talimo u plamenu.

4. Lučno zavarivanje kovinskom elektrodom

Plameni luk nastaje između kovinske elektrode i predmeta koji zavarujemo. Ako se elektroda tali, služi još i kao dodatni materijal. Kovinske elektrode koje se ne tale (volfram), služe samo za stvaranje električnog luka, a ako je potreban dodatni materijal, dobiva se taljenjem dodatne žice u plamenom luku.

a) *Lučno zavarivanje u slobodnoj atmosferi*

- golom elektrodom
- elektrodom s plaštem
- elektrodom s jezgrom
- položenom elektrodom

b) *Lučno zavarivanje u zaštitnoj atmosferi*

- u inertnom plinu (Ar, He itd.)
- volframovom (»tungsten«) elektrodom (postupak TIG)
- kovinskom (»metal«) elektrodom (postupak MIG)
- u ugljičnom dioksidu (CO<sub>2</sub>)
- kovinskom elektrodom (postupak MAG — CO<sub>2</sub>)
- u vodenoj pari ili smjesi zaštitnih plinova
- pod zaštitnim prahom (postupak EPP)
- pod zaštitom vodika atomiziranjem (disocijacijom vodikovih molekula i njihovim ponovnim spajanjem, što povišuje temperaturu na mjestu zavarivanja).

5. Lučno zavarivanje ugljenom elektrodom

Plameni luk nastaje između dviju ugljenih elektroda ili između elektrode i predmeta koji zavarujemo. Po potrebi dodajemo — žicom za zavarivanje — još i dodatni materijal. Postupak se može obavljati u slobodnoj ili zaštitnoj atmosferi, a upotrebljava se za tanke limove i za kutne zavare.

6. Zavarivanje pod troskom

Proces počinje kao kod postupka EPP. Kad se skupi dovoljno troske koja pokriva rastaljenu kovinu, ugasi se plameni luk, a dodatnu žicu, koju primičemo, talimo Jouleovom toplinom što se razvija pri prolasku električne struje kroz trosku.

#### 7. Posebni postupci zavarivanja

a) *Zavarivanje elektronskim snopom*

Kinetička se energija ubrzanih elektrona pri udaru u kovinu pretvara u toplinu kojom talimo materijal.

b) *Zavarivanje plazmom*

Kovinu talimo toplinskom energijom plazmenog luka. (Plazma nastaje disocijacijom i ionizacijom plina.) Rastaljenu kovinu štitimo zaštitnim plinom.

c) *Zavarivanje laserom*

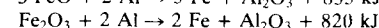
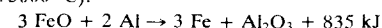
Kovinu talimo usmjerivanjem laserskog snopa na mjesto zavarivanja. Ne može se zavarivati neprekinuto, već samo u točkama. Mogu se zavarivati vrlo sitni predmeti.

#### Aluminotermijsko zavarivanje

Aluminotermijsko zavarivanje je postupak zavarivanja kemijskom energijom koja se oslobađa pri eksotermijskoj reakciji među aluminijem i željeznim oksidima.

Reakcijska smjesa — termit — sastoji se od jednog dijela aluminijskog praška i triju dijelova željeznih oksida (okujina) — kao eksotermijskog dijela smjese — te sitnih čeličnih otpadaka i legiranih dodataka — za dodatnu kovinsku masu.

Pri eksotermijskoj reakciji (redoks) termita reducira aluminij željezne okside te i sam oksidira, pri čem se oslobađa znatna toplina (temperatura dostiže 2800...3000 °C):



Postupak je prikladan za zavarivanje teških strojnih dijelova, tračnica i sl.

#### Otporno zavarivanje

Za zavarivanje potrebna toplina stvara se u dodiru među dijelovima koje treba zavariti kao Jouleova toplina

$$Q = UIt = I^2 R t$$

gdje su:  $U$  — napon,  $I$  — struja,  $R$  — električni otpor i  $t$  — vrijeme.

U međusobnom dodiru obaju dijelova može se postići temperatura 1260...1480 °C, što je dovoljno da se materijal pod pritiskom zavariva.

Debljina pojedinog lima mm	Promjer elektrode mm	Debljina pojedinog lima mm	Pritisak elektrode N	
			čisti lim	oksidirani lim
0,1...0,3	5	0,5	400	800
0,4...1,0	6...8	2	500	1000
1,2...2,0	8...10	3	800	1500
3	10...12	4	1200	1900
		5	1500	2400
		6	1900	2900
iznad 3	12...15	6	2300	3500

### Zavarivanje plamenom

Žice za zavarivanje plamenom (JUS C.H3.051 – 1981)

Za zavarivanje plamenom čelika upotrebljavamo čelične žice koje se označuju dvostrukom oznakom i to:

- općom oznakom P– i
- dodatnom oznakom s tri simbola koji označuju mehanička svojstva žice i to (redom): vlačnu čvrstoću  $R_m$  u N/mm<sup>2</sup>, postotno produljenje  $A$  u % i prekidnu energiju (udarnu žilavost)  $KV$  u J:

Čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Simbol	Postotno produljenje $A$ %	Simbol	Prekidna energija $KV$ J	Simbol
–	O	–	O	–	–
340	Z	14	Z	30	Z
340	Y	–	–	–	–
400	1	14	1	30	1
430	2	18	2	60	2
470	3	22	3	90	3
510	4	26	4	120	4
550	5	30	5	150	5
590	6	–	–	–	–

Primjer:

svojstva žice:  $R_m = 480$  N/mm<sup>2</sup>,  $A = 29\%$ ,  $KV = 100$  J  
oznaka: P-343

Promjeri žica: (1,0) (1,6) 2,0 2,5 3,15 4,0 5,0 6,3 mm.

Duljina žica: u komadima od 1000 mm, u svicima do mase 40 kg.

### Zavarivanje acetilenskim plamenom

Debljina predmeta mm	Kisik		Acetilen potrošak l/h	Brzina zavarivanja m/h	
	pretlak bar	potrošak l/h		čelik	lake kov.
0,2...0,5	0,5	50	50	10...12	12...15
0,5...1	0,75	85	75	7...10	8...12
1...2	1	165	150	6...8	7...9
2...4	1,25	325	300	5...7	4...8
4...6	1,5	500	475	4...6	4...6
6...9	1,75	750	700	3...5	2...3
9...14	1,75	1200	1100	2...3,5	1...2
14...20	2	1700	1600	1,5...2,5	0,6...1,2
20...30	2,25	2500	2350	1...2	–
30...50	2,25	3500	3300	0,7...0,9	–
50...70	3	4750	4500	0,5...0,7	–
70...100	3,5	7350	7000	0,3...0,5	–

### Zavarivanje vodikovim plamenom

Debljina predmeta mm	Kisik		Potrošak vodika l/h	Brzina zavarivanja m/h
	pretlak bar	potrošak l/h		
0,2...0,5	0,75	35	140	7...10
0,5...1	1	75	300	6...9
1...2	1	150	675	4...7
2...4	1,25	300	1350	3...5
4...6	1,5	500	2250	2...3,5

### Zavarivanje plamenom rasvjetnog plina

Debljina predmeta mm	Kisik		Potrošak ras- vjetnog plina l/h	Brzina zavarivanja m/h
	pretlak bar	potrošak l/h		
0,2...0,5	1	80	200	4...7
0,5...1	1,25	130	350	2...5
1...2	1,5	270	600	1,5...3
2...3,5	1,75	500	1200	1...2

### Rezanje kovina

Rezanje kovina plamenom (»autogeno«) upotrebljava se za čelik, pri čemu se iskorištava toplina izgaranja (oksidacijska) željeza. Upotrebljavamo gotovo sam kisik.

Posebno se lako plamenom reže nelegirani ili slabo legirani meki čelik  $C < 0,3\%$ , pri tvrdem čeliku  $C > 0,5\%$  je rezanjem plamenom moguće jedino dodatnim zagrijavanjem. Rezanje plamenom legiranih čelika ovisno je od pojedinih legiranih komponenata.

Različiti posebni postupci rezanja plamenom omogućuju rezanje i u slučajevima kad običan postupak nije upotrebljiv.

### Rezanje plamenom nelegiranih čelika

Debljina predmeta mm	Kisik		Potrošak acetilena l/m	Brzina rezanja m/h
	pretlak bar	potrošak l/m		
5	2,0	65	13,0	22
10	3,0	120	20,0	19,5
20	4,0	215	22,5	16
50	5,0	580	57,0	11
100	7,5	1240	111,0	7,5
150	9,0	2180	155,0	6
200	10,0	3125	190,0	5
300	13,0	5650	258,0	3,75

Sivi lijev, bakar i lake kovine režemo protaljivanjem plamenom ili elektrodom (rezne površine nisu osobito čiste).

### Elektrolučno zavarivanje

Za elektrozavarivanje čelika upotrebljavaju se čelične elektrode. S obzirom na vanjštinu razlikujemo – gole elektrode,  
– elektrode s jezgrom,  
– elektrode s plaštem (obložene).

Obložene elektrode za ručno zavarivanje nelegiranih ili slabo legiranih čelika s malo ugljika (JUS C.H3.011 – 1982)

Oznaku elektrode sastavljaju:

- opća oznaka,
- oznaka mehaničkih svojstava,
- oznaka tipa plašta,
- oznaka iskoristivosti,
- oznaka položaja zavarivanja,
- oznaka vrste struje.

1) Opća oznaka elektrode je: E

2) Oznaka mehaničkih svojstava:

Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postotno produljenje $A$ % min.	Temperatura koja odgovara udarnoj žilavosti $KV = 28 J$ °C	Oznaka
430 ... 510	–	–	430
	20	+ 20	431
	22	0	432
	24	– 20	433
	24	– 30	434
510 ... 610	24	– 40	435
	–	–	510
	18	+ 20	511
	18	0	512
	20	– 20	513
	20	– 30	514
	20	– 40	515

3) Oznaka vrste plašta

Vrsta plašta	Oznaka	Vrsta plašta	Oznaka
kiseo	A	oksidan	O
kiseo – rutilan	AR	rutilan – osrednje debeo (TiO <sub>2</sub> )	R
bazičan	B	rutilan – debeo	RR
celulozan	C	ostale vrste	S

4) Iskoristivost (JUS C.H3.020 – 1982) je omjer kovinske mase rastaljene dodatne tvari i ukupne mase (jezgre i plašta) ispitivane elektrode. Oznaka iskoristivosti navodi se samo u slučaju, ako je njena vrijednost veća od 105% i to uvijek zaokruženo na pune desetice, tj.:

110 – 120 – 130 – 140 itd.

5) Oznaka položaja zavarivanja:

Položaj pri zavarivanju	Oznaka
svi položaji	1
svi položaji osim okomito prema dolje	2
svi sučelni i kutni položaji u horizontalnom i horizontalno okomitom položaju	3
svi sučelni i kutni spojevi u horizontalnom položaju	4
svi položaji u koritastom položaju	5

6) Oznaka vrste struje

Istosmjerna struja preporučeni polaritet	Izmjenična struja nazivni napon praznog hoda	Oznaka
+		0
+ ili –	50 V	1
–		2
+		3
+ ili –	70 V	4
–		5
+		6
+ ili –	90 V	7
–		8
+		9

Tablica vrijedi za elektrode promjera  $d \geq 2,5$  mm. Pri manjim je promjerima potreban viši napon praznog hoda.

7) Za bazične elektrode (B) označuje se i količina vodika u čistoj kovini zavora:

Količina vodika u ml u 100 g čiste kovine zavora ml/100 g	Oznaka
3 ... 5	H
1 ... 3	2 H
1	3 H

Primjeri za oznake elektroda:

– Oplaštena elektroda s rutilnim plaštem osrednje debljine, vlačne čvrstoće  $R_m$  iznad 500 N/mm<sup>2</sup>, postot. produljenja  $A$  iznad 23% i udarne žilavosti  $KV$  iznad 71 J pri +20 °C i iznad 20 J pri –20 °C, za zavarivanje u svim položajima izmjeničnom strujom i s naponom praznog hoda 50 V ili istosmjernom strujom na pozitivnom polu:

oznaka elektrode: E 43 2 R 13

– Oplaštena elektroda s bazičnim plaštem, vlačne čvrstoće  $R_m$  iznad 560 N/mm<sup>2</sup>, postot. produljenja  $A$  iznad 22% i udarne žilavosti  $KV$  iznad 47 J pri –20 °C, iskoristivosti 158%, za zavarivanje u svim položajima osim okomito prema dolje pomoću istosmjerne struje, uz količinu vodika u čistoj kovini zavora 1 ... 2 ml/100 g:

oznaka elektrode: E 51 3 B 160 20 2H



*Elektrode s plaštem za ručno zavarivanje sivog lijeva*  
(JUS C.H3.016 – 1984)

Oznaku elektroda tvore:

- opća oznaka
- oznaka kemijskog sastava
- oznaka vrste plašta
- oznaka položaja zavarivanja i vrsta struje.

1) Opća oznaka elektrode: E.

2) Oznaka kemijskog sastava:

Vrsta elektrode skupina	karakteristični sastav* u %	Vrsta slitine čiste kovine zavara	Oznaka elektrode
na osnovi željeza	Fe + 3,4 C; 2,9 Si	sivi lijev	FeC 1
	Fe + 0,15 C; 0,03 Si	sivi lijev, legiran iz plašta čelik	FeC 2
na osnovi nikla	Fe + 53 Ni; 4,0 Si	slitina nikla i željeza	NiFe
	55 Ni; 40 Cu; 4,5 Fe	slitina nikla i bakra	NiCu 1
	65 Ni; 30 Cu; 4,5 Fe		NiCu 2
	85 Ni; 8 Fe; 4,0 Si		Ni
na osnovi bakra	Cu + 10 Al	aluminijaska bronca	CuAl
	Cu + 5 Sn	kositrena bronca	CuSn 1
	Cu + 8 Sn		CuSn 2

\* Navedene su zaokružene prosječne vrijednosti karakterističnih sastavina. Podroban kemijski sastav svih navedenih elektroda vidljiv je u standardu JUS C.H3.016 – 1984.

3) Oznaka vrste plašta:

Vrsta plašta	Oznaka
bazičan	B
grafitan	G
bazičan s grafitom	BG
na osnovi soli i celuloze	S
ostale vrste	V

4) Oznaka položaja zavarivanja i vrsta struje

Ovdje vrijede jednake oznake kao kod elektroda za zavarivanje čelika – vidi str. 627 (pod 5 i 6).

Primjer oznake elektrode:

Elektroda s plaštem sa čistom kovinom zavara FeNi (55/45%), s grafitnim plaštem, samo za horizontalni položaj zavarivanja istosmjernom strujom na pozitivnom polu ili izmjeničnom strujom pri naponu praznog hoda 75 V:

oznaka elektrode: E (NiFe) G 49

*Potrebna jakost struje*

Gole elektrode, elektrode s tankim plaštem i elektrode s jezgrom		Elektrode s debelim plaštem	
promjer mm	jakost struje A	promjer mm	jakost struje A
2	50 ... 70	2	50 ... 80
3	90 ... 130	2,5	60 ... 110
4	140 ... 190	3,25	90 ... 160
5	190 ... 250	4	130 ... 200
6	240 ... 330	5	180 ... 260
		6	230 ... 350

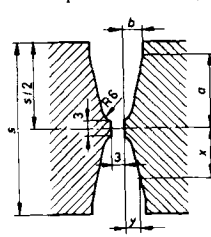
*Priprema čelika za zavarivanje (neki slučajevi)*

Slika	Debljina lima s mm	Razmak limova b mm	Promjeri elektrode mm	
			gole, s tankim plaštem, s jezgrom	s debelim plaštem
	1	0	2	2
	1,5	0,5	2	2
	2	1	2	2,5
	3	2	3	3,25
	4	2	4	4
	5	2	4	4
	6	1,5	4, 5	3,25, 4
	8	2	4, 5	3,25, 4, 5
	10	2	4, 5	3,25, 4, 5
	12	2	4, 5	3,25, 4, 5
	14	2	4, 5	4, 5, 6
	16	2	4, 5	4, 5, 6
	12	1,5	4, 5	3,25, 4, 5
	14	1,5	4, 5	3,25, 4, 5
	16	1,5	4, 5	3,25, 4, 5
	18	1,5	4, 5	4, 5, 6
	20	2	4, 5	4, 5, 6
	25	2	4, 5	—

*Priprema rubova za zavarivanje čelika pri većim debljinama*

Skica	Debljina lima s mm	Dubina otvora		Kut otvora	
		a mm	b mm	α °	β °
	50	30	20	60	60
	60	36	24	60	60
	70	42	28	50	60
	80	48	32	50	60
	90	54	36	50	50
	100	60	40	50	50
	110	66	44	45	50
	120	72	48	45	50

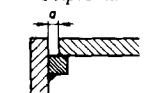
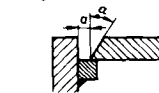
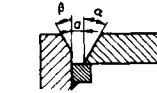
Priprema rubova za zavarivanje za dvostruki U-zavar kod debelih ploča:



Debljina ploča <i>s</i> mm	Otvor utora		Oblik utora	
	<i>a</i> mm	<i>b</i> mm	<i>x</i> mm	<i>y</i> mm
140	60	16	20	8
			30	10
			40	12
			50	14
160	70	18	60	16
			70*	18*

Samo kod debljine ploča *s* = 160 mm.

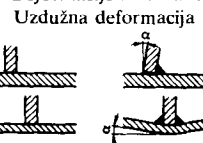
Priprema čeličnih ploča za čelične konstrukcije

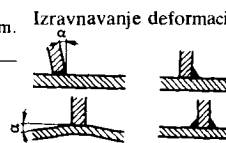




<i>s</i> mm	<i>a</i> mm	<i>s</i> mm	<i>a</i> mm	$\alpha^\circ$	<i>s</i> mm	<i>a</i> mm	$\alpha^\circ$	$\beta^\circ$
5	2	8	2...3	30	15	3	30	30
6	2...3	10	3	35	18	3	30	35
		12	3	35				

Deformacije konstrukcija zbog skupljanja zavora

Uzdružna deformacija



Zavar $\Delta a$ mm	Kut deform. $\alpha^\circ$	Izravnavanje deformacija
5	1	
7	3	
9	7	
12.5	13	

Upotrebljivost najznačajnijih postupka zavarivanja i rezanja plamenom

Način zavarivanja	Debljina mm		
	za materijal		
	čelik	lake kovine	ostale kovine
čelno iskrenjem	(0,2...40000 mm <sup>2</sup> )	(do 10000 mm <sup>2</sup> )	Cu, mjed (do 500 mm <sup>2</sup> )
točkasto	2 × 12	2 × 5	Cu slit. 2 × 2
kolutno	0,1...2,5	0,1...1,5	Cu slit. 0,1...1,2
plamenom	1...40	2...40	Cu 2...30,
elektrolučno			
- s kovinskom elektr.	1...40 (...100)	2...25	Cu 2...30
- s ugljenom elektr.	1...40	2...12	Cu 2...15, Pb 2...8
- u argonu	-	1...20	-
- u vodik	1...40	-	Cu slit. 1...10
- pod praškom	5...100	-	-
rezanje plamenom	0,5...500 (...1000)	-	-

## Zavarivanje plastu

Od plastu prikladni su za zavarivanje termoplasti i elasti, dok se duroplastu ne mogu zavarivati.

Plasti se zavaruju vrućim plinom (zrakom, dušikom), vrućim alatom, visokofrekventnom strujom, trenjem itd.

## LEMLJENJE

Lemljenje (lotanje) je spajanje kovinskih dijelova pomoću lema kao dodatnog materijala. Pri lemljenju se lem rastali, dok se spajani dijelovi samo zagriju:

- do temperature pod talištem lema uz neposredno zagrijavanje lema (lemilom ili plamenikom),
- do temperature nad talištem lema pri posrednom zagrijavanju lema (umetnutog) putem ugrianih spajanih dijelova.

Dodirne plohe spajanih dijelova čiste se mehanički, kemijski i pomoćnim sredstvima.

## Meko lemljenje

Za meko lemljenje čelika i neželjeznih kovina upotrebljavaju se:

- meki lem (vidi str. 414),
- pomoćna sredstva: cinični klorid  $ZnCl_2$  (sa solnom kiselinom HCl), salmijak  $NH_4Cl$ , kolofonij.

## Tvrdo lemljenje

Za tvrdo lemljenje čelika i neželjeznih kovina potrebni su:

- tvrdi lem, bakreni ili mjeđeni (str. 414) ili srebrni lem (str. 415),
- pomoćna sredstva: borni spojevi (npr. boraks  $Na_2B_4O_7 \cdot 10 H_2O$ ) s dodacima fluorida, fosfata, silikata i sl.

Za lemljenje aluminija upotrebljavaju se posebni lemovi (str. 415), dok su talila fluoridi i kloridi lakih kovina (Li, Be).

## LJEPLJENJE KOVINA

Ljepila za ljepljenje kovina:

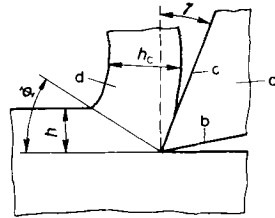
- anorganska ljeplila (mineralnih, keramičkih ili staklastih sastavina) su postojanja pri višim temperaturama, ali su krhka,
- organska ljeplila (od naravnih ili umjetnih spojeva ugljikovodika, npr. epoksidne smole) vezuju fizikalno ili kemijski, žilavi su, no postojana su samo pri nižim temperaturama (do oko 150 °C).

Jednokomponentna ljeplila su pripremljena kao pasta s prikladnim rastapalom, koje pri ljepljenju ishlapi, ili su suho umetnuta među spajanje plohe te lijepe pri dovođenju topline.

Pri dvokomponentnim ljeplima djeluje na ljeplilo (kao pastu ili tekućinu) tik pred ljepljenjem primješani otvrdivač koji izaziva polimerizaciju ljeplila, a time i njegovo očvršćivanje.

## OBRADA KOVINA ODVAJANJEM ČESTICA

### Osnovi



a – alat  
b – stražnja ploha  
c – prednja ploha  
d – strugotina

Pri obradi materijala odvajanjem čestica nastaje strugotina debljine  $h_c$ , koja je veća od debljine rezanja  $h$ .

Faktor sabijanja iznosi

$$\Theta_h = h_c/h = \cos(\bar{\Phi} - \gamma)/\sin \varphi > 1$$

gdje znače:  $\varphi$  – kut rezanja i  $\gamma$  – prednji kut alata.

$$\varphi = \arctan [\cos \gamma / (\Theta_h - \sin \gamma)]$$

Za  $\gamma = 0^\circ$  je  $\varphi = \arctan [1/\Theta_h]$

Faktor sabijanja ovisi o brzini rezanja  $v_c$ .

\*

Strugotina klizi po prednjoj plohi brzinom  $v_r$ , koja ovisi o brzini rezanja  $v_c$ , kutu rezanja  $\varphi$  i prednjem kutu  $\gamma$

$$v_r = v_c \sin \varphi / \cos(\varphi - \gamma) = v_c / \Theta_h$$

Brzina deformacije materijala u ravlini rezanja iznosi

$$v_s = v_c \cos \gamma / \cos(\varphi - \gamma)$$

Pri obradi žilavih i mekih materijala redovno nastaje neprekinuta (tekuća) strugotina, dok je strugotina pri obradi krhkih materijala izlomljena i rastrgana. Neprekinuta strugotina nastaje ako materijal može postići neki minimalni stupanj deformacije.

\*

Najveći se dio energije utrošen na oštirci alata za odvajanje strugotine pretvara u toplinu. Toplina nastaje:

- zbog kidanja atomskih veza u obrađivanom materijalu (u području rezanja),
- zbog trenja između alata (na stražnjoj plohi) i izratka te između alata (na prednjoj plohi) i strugotine.

Nastali toplinski tok iznosi

$$\Phi = A v_c k_c$$

gdje su:  $A$  – presjek odvojenog materijala;  $v_c$  – brzina rezanja;  $k_c$  – specifična sila rezanja (sila po jedinici površine).

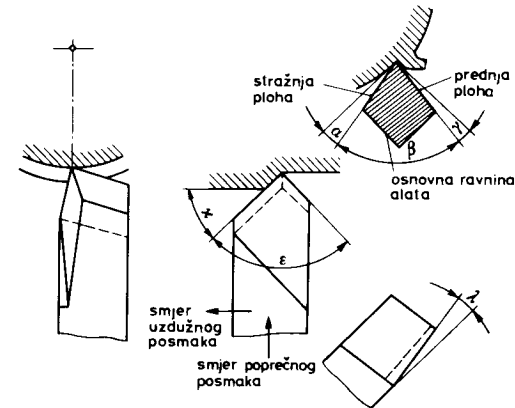
Toplinski tok koji zagrijava strugotinu iznosi

$$\Phi' = \Delta T \cdot A v_c \varrho c < \Phi$$

gdje su:  $\Delta T = (T_2 - T_1)$  – temperaturna razlika između temperature strugotine  $T_2$  i temperature materijala  $T_1$ ,  $\varrho$  – gustoća;  $c$  – spec. topl. kapac. materijala.

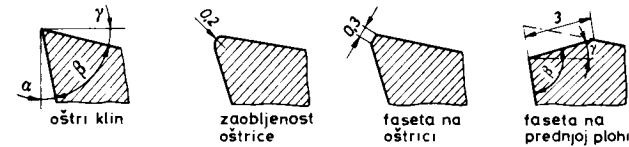
## Geometrija oštrice

### Kutovi alata

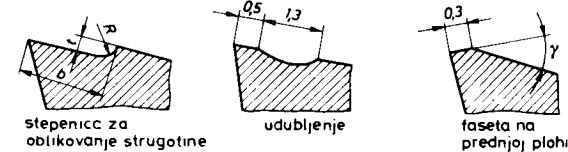


$\alpha$  – stražnji (slobodni) kut     $\gamma$  – prednji (radni) kut     $\varepsilon$  – vršni kut  
 $\beta$  – kut klina     $\kappa$  – postavni kut     $\lambda$  – kut nagiba

### Oblici oštrice

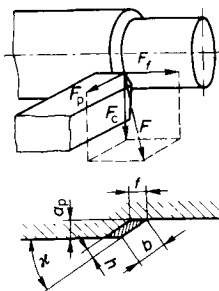


Pojačanje klina zaobljenjem, fasetom na oštirci ili fasetom na prednjoj plohi



Odvodjenje strugotine olakšavamo stepenicom, udubljenjem ili fasetom na prednjoj plohi

## Tokarenje



Sila rezanja alata  $F$ , koja mora svladati otpor rezanja materijala, rastavlja se u tri komponente:

- posmičnu silu  $F_t$
- odzivnu silu  $F_p$
- glavnu silu  $F_c$

$$F = \sqrt{F_t^2 + F_p^2 + F_c^2}$$

Glavna sila  $F_c$  iznosi

$$F_c = k_{c1 \times 1} b h (h_s/h)^{c_c}$$

$$b = a / \sin \alpha$$

$$h = f \sin \alpha$$

gdje znače:  $k_{c1 \times 1}$  – specifičnu silu rezanja,  $b$  – širinu rezanja,  $h$  – geometrijsku debljinu strugotine,  $h_s$  – standardnu debljinu strugotine 1 mm,  $a_p$  – dubinu rezanja,  $f$  – posmak,  $\alpha$  – postavni kut;  $c_c$  eksponent debljine, ovisan o materijalu.

Specifična sila rezanja  $k_{c1 \times 1}$  i eksponent  $c_c$

Obradivani materijal	$k_{c1 \times 1}$ N/mm <sup>2</sup>	$c_c$	Obradivani materijal	$k_{c1 \times 1}$ N/mm <sup>2</sup>	$c_c$
čelik					
Č.0545	1990	0,26	sivi lijev		
Č.0645	2110	0,17	SL 25	1160	0,26
Č.0745	2260	0,30	tvrdi lijev	2060	0,19
Č.1531	2220	0,14	bronca	1780	0,17
Č.1731	2130	0,18	mjed	780	0,18
Č.4320	2100	0,26	Al – slitine	640	0,25
Č.5421	2260	0,30	Mg – slitine	280	0,19
Č.4731	2240	0,21			
Č.4732	2500	0,26			

Za određivanje posmične sile  $F_t$  i odzivne sile  $F_p$  često upotrebljavamo omjer koji vrijedi za postavni kut  $\alpha = 45^\circ$ :

$$F_t : F_p : F_c = 1 : 2 : 5$$

Uz drukčiji postavni kut  $\alpha'$ , glavna sila  $F_c'$  iznosi

$$F_c' = F_c \left( \frac{\sin 45^\circ}{\sin \alpha'} \right)^{c_c}$$

## Kutovi oštice i brzine rezanja pri tokarenju čelika alatom od tvrdog metala

Obradivani materijal		Vrsta reza <sup>1)</sup>	Nož				Brzina rezanja $v_{c240}^{4)}$ m/min					
vrsta	čvrstoća N/mm <sup>2</sup>		tvrdi me- tal <sup>2)</sup>	prednji kut i kut nagiba ( <sup>o</sup> ) <sup>3)</sup>			pri posmaku $f$ (mm/okr.)					
				$\gamma$	$\gamma_f$	$\lambda$	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	
čelični lijev	< 520	m v	P 10 P 30	8 6	— —5	0...4 5...10	135 —	110 —	95 40	80 32	— 27	
	520...700	m v	P 10 P 30	6 6	— —5	0...4 5...10	110 —	90 —	75 30	65 25	— 22	
	> 700	m v	P 10 P 30	6 6	— —7	0...4 5...10	70 —	60 —	50 20	45 17	— 14	
	meki čelik	< 500	m v	P 10 P 30	15 12	— —3	0...4 5...10	250 —	210 —	180 85	150 70	— 60
		polutvrdi čelik	500...700	m v	P 10 P 30	12 10	— —3	0...4 5...10	220 —	185 —	155 65	130 55
	tvrdi čelik		700...1000	m v	P 10 P 30	10 8	— —3	4...6 5...10	165 —	135 —	110 45	85 35
legirani čelik		1000...1400	m v	P 10 P 30	6 6	0 —7	0...4 5...10	85 —	65 —	55 22	45 18	— 14
	1400...1800	m s	K 10 K 10	4 4	—3 —7	0...4 5...10	—	30	25	15	—	
Mn tvrdi čelični lijev	—	m s	K 10 K 10	0 0	— —5	0...4 5...10	—	18	15	—	—	
Mn tvrdi čelik kovani	—	m s	P 20 P 20	4 4	— —5	0...4 5...10	—	18	15	—	—	
nerđajući čelik lijevani	600...700	m s	K 10 K 10	6 6	— —5	0...4 5...10	30	25	20	15	—	
nerđajući čelik kovani	600...700	m s	P 10 P 20	12 12	— 0	0...4 5...10	80 —	65 40	50 30	45 25	— —	
alatni čelik	1500...1800	m s	K 10 K 10	0 0	— —5	3...5 3...5	23	18	15	12	—	

<sup>1)</sup> m – mali presjek, neprekinuti rez s dubinom rezanja do 3 mm i posmakom do 0,3 mm; s – srednji presjek, prekinuti rez s dubinom rezanja do 6 mm i posmakom do 0,6 mm; v – veliki presjek, prekinuti rez s dubinom rezanja do 10 mm i posmakom do 1,5 mm.

<sup>2)</sup> Vrste tvrdih metala – vidi str. 390.

<sup>3)</sup> Kutovi na alatu – vidi str. 633.  $\gamma_f$  je kut fasete na prednjoj plohi, široke od 0,5 do dva posmaka.  $\alpha = 8^\circ$ . Kut fasete na stražnjoj plohi  $\alpha_f = 6^\circ$ .

<sup>4)</sup>  $v_{c240}$  – brzina rezanja za postojanost  $T = 240$  min. Za drukčiju postojanost alata vrijede ovi omjeri brzina rezanja:

$$v_{c60} : v_{c240} : v_{c480} = 1,26 : 1 : 0,89$$

Kutovi oštrice i brzine rezanja pri tokarenju lijevanog željeza i neželjeznih kovina alatom od tvrdog metala

Obradivani materijal		Vrsta reza <sup>1)</sup>	Nož					Brzina rezanja $v_c^{4)}$ m/min				
vrsta	tvrdoća HB		tvrdoća metal <sup>2)</sup>	stražnji, prednji i nagibni kut ( $^\circ$ ) <sup>3)</sup>				pri posmaku $f$ (mm/okr.)				
				$\alpha$	$\alpha_f$	$\gamma$	$\lambda$	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6
sivi lijev	...200	m v	K 20 K 20	7 7	5 5	6 6	0...4 5...7	75	70	65	50	45
	200...250	m v	K 10 K 10	7 7	5 5	6 5	0...4 5...7	45	40	35	30	27
sivi lijev legirani	250...400	m v	K 10 K 10	6 6	4 4	0 0	0...4 5...7	23	21	20	18	16
bijeli tempero- vani lijev	—	m v	K 10 P 20	7 7	5 5	6 5	0...4 5...7	65 70	55 60	45 50	40 45	— —
crni tempero- vani lijev	—	m v	K 10 K 10	7 7	5 5	6 0	0...4 5...7	45	40	35	28	—
bakar, mjed	35...40	m s	K 20	12	10	≈ 15	—5	150...300	120...200			
mjed, bronca	45...85	m s	K 20	10	8	≈ 12	0	150...400	120...250			
	85...200	m s	K 20	8	6	≈ 8	0...3	200...400	150...250			
aluminij, Al-slitine	...60	m s	K 20	10	8	≈ 28	0	...2300	...1500			
Al-slitine	60...110	m s	K 20 K 10	8	6	≈ 16	0	250...700	150...500			
Al-slitine < 13,5% Si	—	m s	K 10	8	6	≈ 11	0	100...500	80...150			
Al-slitine > 13,5% Si	—	m s	K 05	8	6	≈ 8	0	70...120	50...90			

<sup>1)</sup> m – mali presjek, jednoliki rez s dubinom rezanja do 3 mm i posmakom do 0,3 mm; s – osrednji presjek, mali prekidi reza s dubinom rezanja do 6 mm i posmakom do 0,6 mm; v – veliki presjek, tvrda mjesta ili prekidi reza s dubinom rezanja do 10 mm i posmakom do 1,5 mm.

<sup>2)</sup> Vrste tvrdih metala – vidi str. 390.

<sup>3)</sup> Kutovi oštrice noža – vidi str. 633. –  $\alpha_f$  je kut fasete na stražnjoj plohi oštrice. (Faseta pod kutom  $\gamma_f$  na prednjoj plohi nije potrebna.)

<sup>4)</sup> Navedene brzine rezanja  $v_c$  vrijede za sivi i temperovani lijev kao brzine rezanja  $v_{c240}$  pri postojanosti  $T = 240$  min. Za drukčiju postojanost alata vrijede ovi omjeri brzina rezanja:

$$v_{c60} : v_{c240} : v_{c480} = 1,5 : 1 : 0,85$$

## Blanjanje i dubljenje

Pri blanjanju se giba stol s izratkom pravocrtno prema suportu s nožem; pri dubljenju (horizontalnom ili okomitom) giba se suport s nožem pravocrtno prema stolu s izratkom. Pri gibanju stola odn. noža za dubljenje razlikujemo:

- radni hod pri gibanju napred – nož reže
- povratni hod pri gibanju natrag – nož ne reže.

Prosječna brzina gibanja stola odn. noža za dubljenje iznosi

$$v_m = 2 v_d v_p / (v_d + v_p)$$

gdje su:  $v_d$  – brzina rezanja pri radnom hodu,  $v_p$  – brzina pri povratnom hodu. Glavna sila rezanja (pri blanjanju ili dubljenju) iznosi

$$F_c = k_{c1 \times 1} b (h_s / h)^{c_c} \quad b = a / \sin \alpha \quad h = f \sin \alpha$$

gdje su:  $k_{c1 \times 1}$  – specifična sila rezanja,  $b$  – širina rezanja,  $h$  – debljina rezanja,  $h_s$  – standardna debljina rezanja 1 mm,  $a$  – dubina rezanja,  $f$  – posmak (pri dvojnomo hodu),  $\alpha$  – postavni kut,  $c_c$  – eksponent debljine ovisan o materijalu.

Za specifičnu silu rezanja  $k_{c1 \times 1}$  i eksponent  $c_c$  valja odabrati iste vrijednosti kao pri tokarenju (vidi str. 634).

Kutovi na noževima od tvrdog metala ili brzoreznog čelika i brzine rezanja pri blanjanju ili dubljenju čelika i sivog lijeva

Obradivani materijal		Nož		Brzina rezanja $v_{c240}$ m/min <sup>1)</sup>		
vrsta	čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup> tvrdoća HB	reznj <sup>1)</sup> materijal	kutovi ( $^\circ$ ) <sup>2)</sup>		pri posm. $f$ mm	
			$\gamma$	$\gamma_f$	0,5	1,0
meki čelik	400...500	P 40	15...20	0...-5	60	48
		h. j.	12	—	28	23
polutvrđi čelik	500...800	P 40	12...15	-5...-10	55	45
		h. j.	8...10	—	21	17
tvrđi čelik	750...900	P 40	10...20	0...-5	40	35
		h. j.	8	—	14	11
sivi lijev	140...180 HB	K 20	15...20	0...-5	50	40
		h. j.	4	—	25	18
sivi lijev	200...220 HB	K 20	10...15	-5...-10	55	45
		h. j.	4	—	32	26

<sup>1)</sup> Vrste tvrdih metala (P 40, K 20) – vidi str. 390! »h. j.« brzorezni čelik vrhunskog kvaliteta – vidi str. 383!

<sup>2)</sup> Kut nagiba  $\lambda = -6...-15^\circ$

<sup>3)</sup>  $v_{c240}$  je brzina rezanja pri postojanosti alata  $T = 240$  min. Uz drugu postojanost alata vrijede odnosi brzina rezanja:

$$\begin{aligned} \text{pri obradi čelika} \quad v_{c60} : v_{c240} : v_{c480} &= 1,26 : 1 : 0,84 \\ \text{pri obradi sivog lijeva} \quad v_{c60} : v_{c240} : v_{c480} &= 1,5 : 1 : 0,85 \end{aligned}$$

### Bušenje i razvrtavanje

Vijačno svrdlo\* reže s dvije oštrice. Prostorna krivulja po kojoj su smještene oštrice je zavojnica.

Kut uspona zavojnice i vršni kut svrdla ovise o materijalu koji treba obraditi.

Obradivani materijal	Kut uspona $\lambda(^{\circ})$	Vršni kut $\varphi(^{\circ})$
čelik – čvrstoće $R_m < 700 \text{ N/mm}^2$	30	118
– čvrstoće $R_m > 700 \text{ N/mm}^2$	25	118
– za poboljšanje, legirani	35...40	118
sivi lijev	30	118
bakar, bronca	40	140
mjed	18...20	130
Al – slitine	40...45	140
Mg – slitine	40...45	100

#### Presjek odreska

- za jednu oštricu  $A_1 = df_d/2 = df/4$
- za obje oštrice  $A = df_z = df/2$

pri čem su:  $d$  – promjer svrdla,  $f_z$  – posmak za oštricu,  $f$  – posmak (za 1 okretaj svrdla).

#### Sila rezanja za oštrice

$$F_{cz} = df_z k_c/2 = df k_c/4$$

gdje je  $k_c$  specifična sila rezanja (za jedinicu presjeka).

Obradivani materijal	$k_c \text{ (N/mm}^2\text{)}$					
	pri $f \text{ (mm/okr.)}$					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
čelik $R_m > 900 \text{ N/mm}^2$	5000	4600	4300	4000	3750	3500
Č.0745	4000	3700	3450	3200	3000	2850
Č.0645	3700	3450	3200	3000	2850	2700
Č.0545	3300	3050	2850	2650	2500	2350
Č.0245	2700	2450	2250	2050	1900	1750
sivi lijev, tvrdi	2100	1900	1700	1500	1350	1200
meki	1700	1500	1300	1150	1000	900
bakar, bronca	1800	1600	1400	1250	1100	1000
Al – slitine	1350	1150	1000	850	750	650
Mg – slitine	900	750	650	550	475	400

\* Naziv »spiralno« svrdlo, kako se često naziva, nije ispravan.

### Bušenje svrdlima od brzoreznog čelika

Obradivani materijal	Brzina rezanja $v_c$ m/min	Brzina vrtnje $n$ i posmak $f$	Promjer svrdla $d \text{ (mm)}$					
			6,3	10	16	25	40	63
čelik 500 N/mm <sup>2</sup>	35,5	$n \text{ okr./min}$ $f \text{ mm/okr.}$	1800 0,16	1120 0,20	710 0,25	450 0,32	280 0,40	180 0,50
čelik 700 N/mm <sup>2</sup>	22,4	$n \text{ okr./min}$ $f \text{ mm/okr.}$	1120 0,10	710 0,12	450 0,16	280 0,20	180 0,25	112 0,32
legirani čelik	11,2	$n \text{ okr./min}$ $f \text{ mm/okr.}$	560 0,08	355 0,10	224 0,12	140 0,16	90 0,20	56 0,25
sivi lijev do SL 20	28,0	$n \text{ okr./min}$ $f \text{ mm/okr.}$	1400 0,18	900 0,22	560 0,28	355 0,36	224 0,45	140 0,56
sivi lijev do SL 25	18,0	$n \text{ okr./min}$ $f \text{ mm/okr.}$	900 0,14	560 0,18	355 0,22	224 0,28	140 0,36	90 0,45

### Razvrtavanje razvrtalima od brzoreznog čelika

Obradivani materijal	Brzina rezanja $v_c$ m/min	Brzina vrtnje $n$ i posmak $f$	Promjer razvrtala* $d \text{ (mm)}$					
			6,3	10	16	25	40	63
čelik do 700 N/mm <sup>2</sup>	7,0	$n \text{ okr./min}$ $f \text{ mm/okr.}$	355 0,45	224 0,56	140 0,71	90 0,90	56 1,10	35,5 1,40
čelik iznad 700 N/mm <sup>2</sup>	2,24	$n \text{ okr./min}$ $f \text{ mm/okr.}$	112 0,20	71 0,25	45 0,31	28 0,40	18 0,50	11,2 0,63
sivi lijev do 200 HB	11,2	$n \text{ okr./min}$ $f \text{ mm/okr.}$	560 0,80	355 0,90	224 1,00	140 1,12	90 1,25	56 1,40
sivi lijev iznad 200 HB	5,6	$n \text{ okr./min}$ $f \text{ mm/okr.}$	280 0,45	180 0,56	112 0,71	71 0,90	45 1,10	28 1,40
bakar i bakrene slitine	14,0	$n \text{ okr./min}$ $f \text{ mm/okr.}$	710 0,80	450 0,90	280 1,00	180 1,12	112 1,25	71 1,40
lake kovine	22,5	$n \text{ okr./min}$ $f \text{ mm/okr.}$	1120 0,80	710 0,90	450 1,00	280 1,12	180 1,25	112 1,40

\* Odstupanje od promjera: –0,2 mm za promjere 6,3 i 10 mm  
–0,3 mm za promjere 16 i 25 mm  
–0,4 mm za promjere 40 i 63 mm

**Rezanje navoja na tokarilicama (i revolverskim tokarilicama) alatom od brzoreznog čelika**

Obradivani materijal	Brzina rezanja $v_c$ (m/min)					
	ureznici i nareznice	automatska navojna glava				tokarski ili navoj. nož
		korak navoja $P$ (mm)				
		6...4,5	4...3	2,5...1,75	1,5...1	
sivi lijev	2...5	2...3	2,5...4	3...4,5	4...5	9...12
temperovani lijev	2...5	3...6	4...8	6...10	8...12	9...12
čelični lijev	2...5	1,5...3	2...4	3...5	4...6	9...12
čelik						
340 N/mm <sup>2</sup>	3...9	4...5	4...8	5...10	6...12	14...18
420 N/mm <sup>2</sup>	3...7	4...5	4...8	5...10	6...12	12...16
500 N/mm <sup>2</sup>	2...5	2...3	3...4	4...5	4...6	10...14
600 N/mm <sup>2</sup>	2...4	2...3	3...4	4...5	4...6	9...12
CrNi, CrMo	1...3	1...2	1...3	1,5...3,5	2...4	8...10
bronca	2...5	2...3,5	2,5...4	3...4,5	3,5...5	6...8
crveni lijev	3...8	4...6	5...8	6...9	8...12	12...14
mjed	4...12	4...8	6...10	8...12	10...20	25...34
Al-slitine	20	25	25	25	25	30...40
Mg-slitine	30	30	40	40	40	40

#### Piljenje kovina

##### Piljenje okvirnim pilama

Čvrstoća obradivanog materijala N/mm <sup>2</sup>	Brzina rezanja $v_c$ m/min		Broj hodova (dvojnih) u min		
			pri hodu pile (mm)		
	srednja	najveća	140	150	160
700 ... 700	30	47	108	98	93
700 ... 1000	20	32	73	67	63
1000 ... 1300	14	22	50	47	43

##### Piljenje tračnim pilama

Obradivani materijal	Brzina rezanja $v_c$ m/min	Obradivani materijal	Brzina rezanja $v_c$ m/min
sivi lijev*	20 ... 30	bakar	80
konstrukcijski čelik	60	mjed, crveni lijev	100
alatni čelik	20 ... 30	lake kovine	400 ... 1200

\* Prijevci s grubom, tvrdom korom.

##### Piljenje kružnim pilama

Obradivani materijal	Hladno rezanje		Vruće rezanje	
	brzina rezanja $v_c$ m/min	brzina posmaka $v_f$ mm/min	brzina rezanja $v_c$ m/min	brzina posmaka $v_f$ mm/min
sivi lijev	15 ... 45	20 ... 55		
čelik	30 ... 55	35 ... 60		
mjed, bronca	100 ... 200	100 ... 300	... 6000	50 ... 250
lake kovine	400 ... 600	100 ... 300		

#### Glodanje

Glodanje povezuje kružno gibanje glodala (brzina rezanja) i pravocrtno gibanje izratka (posmak). Glodanje može biti obodno ili čeon.

Pri obodnom glodanju razlikujemo protusmjerno glodanje (glodanje protivno smjeru posmaka) i istosmjerno glodanje (glodanje u smjeru posmaka).

Brzina rezanja iznosi  $v_c = d \pi n$

gdje su:  $d$  – promjer glodala,  $n$  – brzina vrtnje trna glodala.

Posmak za svaki zubac glodala

$$f_z = f/z_1 n$$

gdje znače:  $f$  – brzinu posmaka,  $z_1$  – broj zubaca glodala.

Prosječna glavna sila pri glodanju

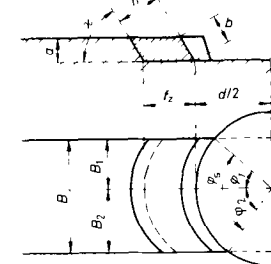
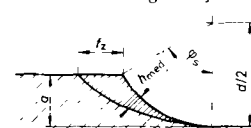
$$F_{zmed} = b h_{med} k_{c1 \times 1} (h_s/h_{med})^{c_1} \cdot z_1$$

gdje su:  $k_{c1 \times 1}$  – specifična sila rezanja,  $b$  – geometrijska širina strugotine,  $h_{med}$  – prosječna geometrijska debljina strugotine,  $h_s$  – standardna debljina strugotine 1 mm,  $z$  – eksponent debljine, ovisan o materijalu,  $z_1$  – prosječni broj zubiju glodala koji režu u zoni kuta  $\phi_s$  (rad).

$$z_1 = z_f \phi_s / 2\pi \quad \phi_s = \pi / 180^\circ \cdot \varphi_s^\circ$$

#### Čeono glodanje

##### Obodno glodanje



$$b = B$$

$$h_{med} = 2 a s_2 / \varphi_s d$$

$$\varphi_s = \arccos(1 - 2a/d)$$

$a$  – dubina glodanja

$d$  – promjer glodala

$B$  – širina obradivane plohe

$$b = a / \sin \alpha$$

$$h_{med} = s_2 \sin \alpha / d \cdot (B_1/\varphi_1 + B_2/\varphi_2)$$

$$\varphi_1 = \arcsin(2B_1/d) \quad \varphi_2 = \arcsin(2B_2/d)$$

Obradivani materijal	$k_{c1 \times 1}$ N/mm <sup>2</sup>	$c_c$	Obradivani materijal	$k_{c1 \times 1}$ N/mm <sup>2</sup>	$c_c$
čelik Č.0545	2050	0,26	čelik Č.4320	2200	0,26
Č.0645	2200	0,17	Č.5421	2300	0,30
Č.0745	2200	0,20	Č.4731	2300	0,21
Č.1531	2300	0,14	Č.4732	2600	0,26
Č.1731	2200	0,18	sivi lijev	1050	0,26
			tvrdi lijev	2100	0,19

Smjernice za broj zubaca na glodalu od brzoreznog čelika (za obradu normalnih materijala)

Glodalo	Broj zubaca glodala											
	za promjer glodala (mm)											
	20	30	40	50	60	75	90	110	130	150	200	
za duge rupe	2	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
vretenasto	6	6	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
valjkasto	—	—	6	6	6	6	8	8	10	10	—	—
valjkasto-čono	—	—	8	8	8	10	12	12	14	16	—	—
kutno čono	—	—	10	12	14	16	18	20	22	24	—	—
pločasto	—	—	—	8	8	10	12	12	14	16	18	—
— ravno ozupčano	—	—	—	10	10	12	14	14	16	18	20	—
— križno ozupčano	—	—	—	10	10	12	14	14	16	18	20	—
profilno, zatokareno	—	—	8	10	10	10	12	14	16	18	—	—
odvaljno	—	—	12	10	10	9	9	9	8	8	—	—
za uture T	8	10	12	12	—	—	—	—	—	—	—	—
za navoje	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
— ravno ozupčano	8	12	14	16	18	20	—	—	—	—	—	—
— vijčano ozupčano	—	10	12	14	16	18	—	—	—	—	—	—
pilasto	—	—	—	34	40	44	50	52	56	64	—	—
glodalne glave (s noževima)	—	—	—	—	—	—	8	10	10	12	—	—

Općenito je za obradu žilavih i tvrdih materijala potrebno više zubaca, a za lake kovine manje nego za normalne materijale.

Smjernice za kutove na glodalima od brzoreznog čelika i glodalnim glavama s noževima od tvrdih metala

( $\alpha$  — stražnji kut,  $\gamma$  — prednji kut,  $\lambda$  — kut nagiba)

Obradivani materijal	Glodala od brzoreznog čelika												Glodalne glave s noževima od tvrdog metala		
	vretenasta			valjkasta			pločasta — križno ozupčana			glave s noževima			glave s noževima od tvrdog metala		
	$\alpha$	$\gamma$	$\lambda$	$\alpha$	$\gamma$	$\lambda$	$\alpha$	$\gamma$	$\lambda$	$\alpha$	$\gamma$	$\lambda$	$\alpha$	$\gamma$	$\lambda$
sivi lijev	7	12	30	6	12	40	6	12	15	6	15	12	5	12	0
tvrdi lijev	4	8	15	4	8	30	3	6	10	3	5	5	3	8	—5
temperni lijev	6	12	30	5	12	40	5	12	20	5	12	12	4	10	+5
čelični lijev	6	10	30	5	12	40	5	10	20	5	10	7	4	10	+5
čelik															
600 N/mm <sup>2</sup>	8	15	30	7	15	45	7	15	20	7	15	15	6	15	+10
900 N/mm <sup>2</sup>	7	10	20	6	12	40	6	12	15	6	10	20	4	10	+5
1000 N/mm <sup>2</sup>	6	6	15	5	8	35	5	7	10	5	6	7	3	6	+5
bakar	6	12	45	6	20	45	6	15	20	6	25	15	6	15	+20
mjed	6	12	35	6	15	45	6	15	20	6	8	12	4	12	+12
bronca	6	10	30	5	12	40	6	12	15	6	15	12	3	10	—5
Al-slitine	10	25	40	8	25	50	8	25	30	8	25	20	8	25	+30
Mg-slitine	10	25	40	8	25	50	8	25	30	8	30	25	8	25	+30

Brzine rezanja  $v_c$  (m/min) pri protusmjernom glodanju

Obradivani materijal	Glodala od brzoreznog čelika				Glodalne glave s noževima od tvrdog met.
	vretenasta	valjkasta, pločasta	valjkasto-čono	glave s noževima	
sivi lijev	—	—	—	—	—
SL 20	16...25	14...20	16...22	17...25	60...100
SL 25	10...16	10...16	12...17	12...18	30...50
čelični lijev	—	—	—	—	—
ČL 0500	14...22	12...18	14...20	15...22	60...100
čelik	—	—	—	—	—
500 N/mm <sup>2</sup>	18...28	16...24	18...28	20...30	120...200
600 N/mm <sup>2</sup>	18...28	16...24	18...28	18...28	100...160
700 N/mm <sup>2</sup>	17...25	15...20	17...23	16...24	80...120
Č. 1530	18...26	16...22	18...25	18...28	100...160
Č. 4730	14...20	12...18	14...20	15...22	60...100
Č. 4732	12...20	11...18	12...20	14...22	40...70
bakar	30...50	30...50	40...50	40...60	100...200
mjed	40...60	30...50	40...60	50...70	150...200
bronca (Sn)	30...40	25...40	40...50	40...60	100...150
aluminij	300...400	250...300	300...400	400...500	800...1000
alumin. slitine	200...250	140...180	200...250	300...400	600...800
magnez. slitine	300...400	300...400	400...500	400...500	800...1000

Posmaci za svaki zubac glodala  $f_z$  (mm/zubac) pri protusmjernom glodanju

Obradivani materijal	Glodala od brzoreznog čelika					Glodalne glave s noževima od tvrdog met.
	vretenasta	pločasta	valjkasta	valjkasto-čono	glave s noževima	
sivi lijev	—	—	—	—	—	—
SL 20	0,05	0,07	0,2	0,25	0,3	0,1
SL 25	0,02	0,05	0,1	0,15	0,1	0,05
čelični lijev	—	—	—	—	—	—
ČL 0500	0,04	0,06	0,15	0,2	0,2	0,08
čelik	—	—	—	—	—	—
500 N/mm <sup>2</sup>	0,05	0,07	0,2	0,25	0,3	0,1
600 N/mm <sup>2</sup>	0,05	0,06	0,15	0,2	0,3	0,1
700 N/mm <sup>2</sup>	0,03	0,06	0,1	0,15	0,2	0,08
Č. 1530	0,03	0,07	0,2	0,2	0,3	0,1
Č. 4730	0,03	0,06	0,1	0,15	0,2	0,08
Č. 4732	0,02	0,05	0,08	0,1	0,15	0,06
bakar	0,05	0,1	0,2	0,25	0,3	0,12
mjed	0,05	0,07	0,2	0,25	0,3	0,12
bronca (Sn)	0,04	0,06	0,15	0,2	0,2	0,1
aluminij	0,05	0,07	0,15	0,2	0,2	0,1
alumin. slitine	0,03	0,06	0,15	0,15	0,15	0,07
magnez. slitine	0,04	0,07	0,1	0,15	0,1	0,06



### Brušenje

Osnovni su načini brušenja:

- po obliku izratka: vanjsko kružno brušenje, nutarnje brušenje i plosno brušenje
- po obliku brusa: profilno brušenje.

Brus je sastavljen od zrnaca brusnog sredstva različite veličine koja su međusobno spojena vezivom. Brus je određen geometrijskim oblikom i dimenzijama, brusnim sredstvom, kvalitetom zrna, vezivom, tvrdoćom i strukturom.

*Brzina brušenja (rezanja)  $v_c$*  je zbroj obodne brzine brusa  $v_b$  i brzine posmaka  $v_f$  (pri kružnom ili plosnom brušenju)

$$v_c = v_b + v_f \quad v_b = d_b \pi n_b$$

gdje znače:  $d_b$  – promjer brusa (brus na mehanički pogon ili brusno kolo naziva se još i točiljem ili točilom),  $n_b$  – brzinu vrtnje brusa.

*Posmična brzina vrtnje izratka* (pri kružnom brušenju  $v_f = v_o$ ) iznosi

$$v_o = d_o \pi n_o$$

gdje su:  $d_o$  – promjer izratka,  $n_o$  – brzina vrtnje izratka.

O posmičnoj brzini vrtnje izratka uvelike ovisi kvaliteta brušenja i trošnje brusa.

#### Najvažnija sredstva za brušenje

Materijal	Kem. sastav	Tvrdoća (Mohs)	Upotreba
smirak	60...65% $Al_2O_3$	8	meki čelik, temper. lijev
korund			
naravni	90...96% $Al_2O_3$	9	žilavi čelici
normalni	95...98% $Al_2O_3$	9	tvrdi čelici, čelični lijev
plemeniti	nad 99% $Al_2O_3$	9	tvrdi čelici, brušenje alata
silicijev karbid	SiC (krist.)	> 9	sivi lijev, tvrdi lijev, tvrdi metal, meke kovine, ugljen, staklo, kamenština
borov karbid	$B_4C$ (krist.)	> 9	tvrdi metali
dijamant	C (krist.)	10	tvrdi metali, staklo, kamenština

*Veličina brusnog zrna* određena je brojem očica sita za zrna na duljini 25 mm, a finog zrna i praha ispiranjem i otpuhivanjem.

Kvaliteta zrna	Oznaka zrna	Kvaliteta zrna	Oznaka zrna
vrlo grub	8 10 12	fin	70 80 90 100 120
grub	14 16 20 24	vrlo fin	150 180 200 220 240
osrednji	30 36 46 50 60	prah	280 320 400 500 600

Smjernice za izbor veličine zrna:

prvo brušenje	20...36
konačno brušenje	46...80
fino brušenje	100...200
najfinije brušenje	220...600

*Veziva (ljepila) za brusove su:*

mineralna (magnezitna, silikatna),  
keramička – za jako pečene brusove (vrlo prikladne poroznosti),  
vegetabilna (guma, ulje, šelak), koja su osobito elastična.

Vrsta veziva	Standardna oznaka	Vrsta veziva	Standardna oznaka
keramičko	V	magnezitno	O
umjetne smole	B	silikatno	S
šelak (naravne smole)	E	guma	R

*Tvrdoćom brusa* označujemo otpor veziva prema ljuštenju zrna iz brusa.

Stupanj tvrdoće	Oznaka tvrdoće	Upotreba
vrlo mek	EFG	plošno brušenje čelika
mek	HJK	kružno brušenje sivog lijeva i kaljenog čelika
polutvrd	LMNO	kružno brušenje mekog i srednjetrovdog čelika, brušenje alata
tvrd	PRS	ručno brušenje tokarskih noževa, brušenje listova pila
vrlo tvrd	TUV	brušenje većih predmeta, grubo brušenje tvrdih i oštih rubova
osobito tvrd	XYZ	brušenje čeličnih kugli

*Struktura* označuje sastav brusa, tj. volumenske udjele zrna, veziva i pora u brusu

$$V_z + V_v + V_p = 100\%$$

gdje znače u postocima:  $V_z$  – volumenski udio zrna,  $V_v$  – volumenski udio veziva,  $V_p$  – volumenski udio pora.

Vrsta strukture	gusta	osrednja	rijetka
Oznaka strukture	1 2 3	4 5 6	7 8 9

Maksimalne brzine brušenja (obodne brzine brusova)

Vezivo	Način brušenja	Maksimalna obodna brzina $v_{c\text{maks}}$ m/s			
		za brusne ploče $d_b \leq 150$ mm		za brusne ploče $d_b > 150$ mm	
		ravne i približno ravne	ostale	ravne i približno ravne	ostale
mineralno	ručno	15	15	15	12
	strojno	25	20	20*	15
keramičko	ručno	30	25	25	20
vegetabilno	strojno	35	30	30	25
umjetne smole					

\* Maksimalna obodna brzina velikih brusnih ploča ( $d_b > 1000$  mm) smije dostići najviše 15 m/s pri ručnom i strojnom brušenju.

Obodne brzine brusova od korunda\*, koje su najprikladnije za brušenje raznih materijala

Obradivani materijal	Obodne brzine $v_c$ (m/s)**					
	za brušenje					za rezanje
	vanjsko	nutarnje	plošno	alata	za čišćenje	
sivi lijev	25	25	20	–	25	45...80
čelik	30	25	25	25	< 45	45...80
tvrdi metali	8	8	8	12	–	45...80
lake kovine	35	25	30	–	–	45...80

\* Za brusove od silicijeva karbida prikladnije su nešto manje brzine nego za brusove od korunda. – \*\* Brušenje brzinom većom od maksimalno dopuštene  $v_{c\text{maks}}$  (vidi gornju tablicu) dopušteno je samo specijalnim brusovima koji su posebno ispitani za te brzine, a i tada samo na specijalnim brusilicama.

Svaki brus djeluje pri većim obodnim brzinama tvrđe, a pri manjima mekše.

Posmična brzina vrtnje izratka  $v_0$  pri kružnom brušenju

Obradivani materijal	Posmična brzina vrtnje $v_0$ (m/s)		Obradivani materijal	Posmična brzina $v_0$ (m/s)	
	vanjsko brušenje	nutarnje brušenje		vanjsko brušenje	nutarnje brušenje
sivi lijev			crveni lijev		
grubo brušenje	0,25	0,35	grubo brušenje	0,3	0,5
fino brušenje	0,125		fino brušenje	0,25	
čelik			lake kovine		
grubo brušenje	0,25	0,3	grubo brušenje	1,0	0,6
fino brušenje	0,125		fino brušenje	0,6	

## Posebne obrade

### Obrada dijamantima

Dijamant je alat za finu obradu lakih kovina, bakrenih i cinčanih slitina te sivog lijeva, a dijelom i kaljenog čelika (za obradu mekog čelika nije prikladan). Dijamantom obrađujemo također tvrdu gumu, ljepenu i izolacijske materijale. Zbroj kutova  $\alpha + \beta + \gamma$  iznosi redovno  $90^\circ$ . Za negativan prednji kut  $\gamma$  može biti  $\beta \geq 90^\circ$ .

### Honanje (vlačno glačanje)

Kao alat služe posebna premjesta držala na koja su prilijepljeni brusovi (3...10) finoga zrna u keramičkom vezivu ili vezivu od umjetne smole. Brzina brušenja iznosi 10...20 m/s, a posmak 16...20 m/min. Potrebno je intenzivno hlađenje rijetkim uljem ili petrolejem. Točnost obrade iznosi do 0,01 mm.

### Lepanje (glačanje brusnim prahom)

Lepanje je konačna obrada izratka nakon odgovarajuće prethodne obrade. Alati za lepanje su od različitih kovina (sivog lijeva, bakra, bakrenih slitina, bijele kovine, antimona, olova). Kao sredstvo za lepanje upotrebljava se kromov oksid, prah korunda ili pak dijamanta. Ta se sredstva miješaju s uljem, petrolejem, mašću ili sl. Postiže se granična točnost u tolerancijama od  $\pm 5 \mu\text{m}$ .

### Superfiniš

Alat se sastoji od više brusova, vrlo fine kvalitete zrna (100...1000) i guste strukture, koji pri relativno malom pritisku na obrađivanu površinu osciliraju (pri pomaku od 2...10 mm s 200...2100 pomaka u minuti) u aksijalnom smjeru izratka (koji se okreće). Potrebno je intenzivno hlađenje (petrolej s dodacima). Postiže se hrapavost od 0,2...0,5  $\mu\text{m}$ .

### Ultrazvučna obrada kovina

Proces se osniva na erozivnom djelovanju što ga izazivaju mali, veoma tvrdi i oštrobriđni kristali brusnog sredstva (u prostoru između alata i izratka) na koje djeluju visokofrekventni mehanički titraji alata. Alat može u izratku izdubiti oblik koji točno odgovara njegovu profilu. Obrada je upotrebljiva za najtvrđe i krhke materijale.

### Elektroerozivna obrada kovina

Pri toj obradi nema djelovanja mehaničkih sila. Čestice se materijala odstranjuju djelovanjem električnog izbijanja između dviju elektroda, od kojih je jedna alat (bakar, mjed), a druga izradak. Visoka temperatura i tlak što nastaju pri električnom izbijanju u vrlo malom prostoru izazivaju raspršivanje sitnih čestica materijala, pri čemu elektrode također djelomice ispare. Erozivni učinak većih uređaja (snage do 15 kW) iznosi oko 500...800 mm<sup>3</sup>/min pri obradi čelika, a 80...100 mm<sup>3</sup>/min pri obradi tvrdih metala.

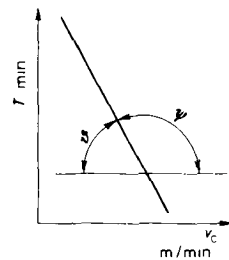
### Postojanost alata

Alat za rezanje izvrnut je za vrijeme rada mehaničkim, tolinskim i kemijskim opterećenjima koja uzrokuju promjenu geometrijskog oblika oštrice, tj. njezinu istrošenost.

Istrošenost je najveća na onim mjestima alata koja su u neposrednom dodiru s izratkom odnosno strugotinom, tj. na prednjoj i stražnjoj plohi. Glavni su uzroci trošenju alata:

- plastična deformacija alata zbog utjecaja temperature,
- izlomljenost alata kao posljedica utjecaja dinamičkog opterećenja pri odvajanju strugotine koje prelazi titrajnu čvrstoću alata na savijanje,
- gubitak materijala u obliku mikroskopski malih čestica koje odlaze dijelom sa strugotinom, a dijelom ostaju prilijepljene uz površinu izratka.

Postojanost alata  $T$  je istrošnošću određeno trajanje oštrice između dvaju brušenja.



$T$  i  $v_c$  u logaritamskoj podjeli!

Postojanost  $T$  – po iskustvu – ovisi u prvom redu o brzini rezanja  $v_c$

$$T = m/v_c^c$$

gdje su  $m$  i  $c$  konstante.

Logaritmiranjem dobivamo oblik

$$\lg T = \lg m - c \lg v_c$$

što u dijagramu s logaritamskom podjelom odgovara jednadžbi pravca.

Krivulja postojanosti (ili krivulja  $T - v_c$ ) prikazuje ovisnost postojanosti  $T$  o brzini rezanja  $v_c$ .

Povećava li se brzina rezanja  $v_c$  postojanost alata opada.

Brzini rezanja  $v_{c1}$  odgovara postojanost  $T_1$ , brzini rezanja  $v_{c2}$  postojanost  $T_2$ :

$$T_1 = m/v_{c1}^c \quad T_2 = m/v_{c2}^c$$

odakle proizlazi da konstanta  $c$  odgovara nagibu pravca (u dijagramu s logaritamskom podjelom), tj. kvocijentu

$$c = (\lg T_1 - \lg T_2) / (\lg v_{c2} - \lg v_{c1}) = \tan \theta = -\tan \psi \quad \psi = 180^\circ - \theta$$

Iz poznate brzine rezanja  $v_{c60}$  pri postojanosti  $T_{60}$  izračunavamo brzinu rezanja  $v_{c1}$  pri drukčijoj postojanosti  $T_1$  pomoću jednadžbe

$$v_{c1} = v_{c60} \sqrt[T_{60}/T_1]{}$$

\*

U tablicama na str. 635...643 navedene su brzine rezanja za alat od brzoreznog čelika ili tvrdog metala. Slojem titanovog nitrida na oštrici može se pod određenim uvjetima postići višestruko povećana postojanost.

### Optimalna brzina rezanja

Troškove obrade za jedan izradak  $S$  (din/kom.) možemo podijeliti na pojedinačne troškove  $S_p$ , opće troškove  $S_s$  i troškove alata  $S_0$ .

$$S = S_p + S_s + S_0$$

Pojedinačni troškovi  $S_p$  (npr. troškovi transporta i upinjanja izratka i sl.) ovise samo o izratku i ne mijenjaju se s brzinom rezanja  $v_c$ .

Opći troškovi  $S_s$  (npr. troškovi za radilicu – otpis, uzdržavanje, energija, – troškovi osobnih dohoda, upravnih troškovi i sl.) su – reducirani na pojedini izradak – to manji, na što su veći broj izradaka podijeljeni, dakle koliko je kraće vrijeme obrade; stoga se s povećanjem brzine rezanja  $v_c$  znatno smanjuju.

Troškovi alata  $S_0$  ovise o postojanosti alata  $T$  pa se zato s brzinom rezanja  $v_c$  jako povećavaju.

Troškove alata  $S_0$  izračunavamo iz jednadžbe

$$S_0 = (V_n - V_i + i_b S_b) / n_1 = (V_n - V_i + i_b S_b) / n_T (i_b + 1)$$

pri čemu su:  $V_n$  – cijena novog alata,  $V_i$  – cijena istrošenog alata,  $S_b$  – troškovi jednokratnog brušenja,  $i_b$  – broj brušenja do istrošenosti alata,  $n_1$  – broj svih izradaka u vremenu  $t$  trajnosti alata,  $n_T$  – broj izradaka u vremenu  $T$  postojanosti alata.

Broj svih izradaka  $n_1$  ovisan je prije svega od materijala alata i izratka te o brzini rezanja  $v_c$ , posmaka  $f$  i dubine rezanja  $a$ .

Optimalna brzina rezanja  $v_{c\text{opt}}$  je ona brzina rezanja, pri kojoj su troškovi izrade  $S$  za jedan izradak najniži.

Izbor optimalnog tehnološkog postupka

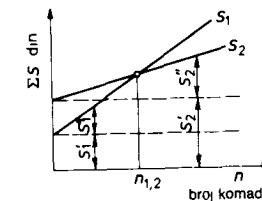
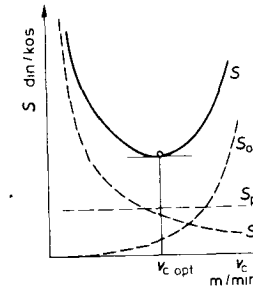
Izradak možemo obraditi različitim tehnološkim operacijama (npr. tokarenjem ili glodanjem; na univerzalnom ili serijskom stroju itd.).

Za obavljanje svake tehnološke operacije potrebni su neki stalni troškovi  $S'$ , neovisni o broju komada, te posebni troškovi  $S''$ , ovisni o pojedinom komadu te stoga rastu s njihovim brojem.

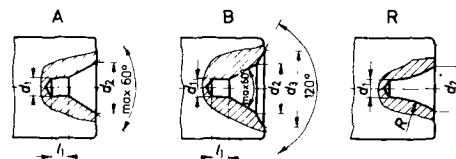
Ukupni su troškovi

$$\sum S = S' + S''$$

Desna slika prikazuje troškove  $S_1$  i  $S_2$  za 2 različita tehnološka postupka (1 i 2). Do broja komada  $n_{1,2}$  je postupak 1, a dalje postupak 2.



**Središnja gnijezda**  
Gnijezda sa središnjim kutom 60° (JUS M.A5.210 — 1972)

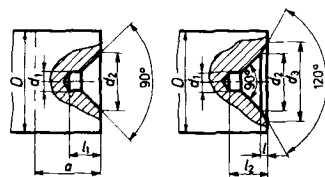


Mjere u mm

Nazivni* promjer $d_1$	$l_1$ min.	$d_2$	$d_3$	R	
				min.	maks.
(0,5)	0,8	1,06	—	—	—
(0,63)	0,9	1,32	—	—	—
(0,8)	1,1	1,70	—	—	—
1,0	1,3	2,12	3,15	2,5	3,15
(1,25)	1,6	2,65	4	3,15	4,0
1,6	2,0	3,35	5	4,0	5,0
2,0	2,5	4,25	6,3	5,0	6,3
2,5	3,1	5,30	8	6,3	8,0
3,15	3,9	6,70	10	8,0	10,0
4,0	5,0	8,50	12,5	10,0	12,5
(5,0)	6,3	10,60	16	12,5	16,0
6,3	8,0	13,20	18	16,0	20,0
(8,0)	10,1	17,0	22,4	20,0	25,0
10,0	12,8	21,2	28	25,0	31,5

\* Treba se kloniti vrijednosti u zagradama.

Gnijezda sa središnjim kutom 90° (JUS M.A5.211 — 1953) upotrebljavaju se za dijelove s masom većom od 100 kg i pri obradi velikim silama.

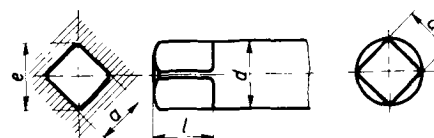


Mjere u mm

Promjer D	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$l_1$	$l_2$	$l$ ≈	$\alpha^*$
25)...63	3	9	12,5	4,5	5,5	1	8
63)...100	5	13	18	6,5	8	1,5	11
100)...160	8	22	29	11	13	2	18

\* Mjere za mjesto reza na predmetu na kojem ne smije ostati gnijezdo.

**Četverobridi za alat**  
(JUS K.A2.001 — 1969)



Mjere u mm

Promjeri drška* d		Četvero- brid		Promjeri drška* d		Četvero- brid	
preporu- čeni	mogući	a	l	preporu- čeni	mogući	a	l
(1,12)	1,06... 1,18	0,9	4	(11,2)	10,6... 11,8	9	12
1,25	1,18... 1,32	1	4	12,5	11,8... 13,2	10	13
(1,4)	1,32... 1,5	1,12	4	(14)	13,2... 15	11,2	14
1,6	1,5... 1,7	1,25	4	16	15... 17	12,5	16
(1,8)	1,7... 1,9	1,4	4	(18)	17... 19	14	18
2	1,9... 2,12	1,6	4	20	19... 21,2	16	20
(2,24)	2,12... 2,36	1,8	4	(22,4)	21,2... 23,6	18	22
2,5	2,36... 2,65	2	4	25	23,6... 26,5	20	24
(2,8)	2,65... 3	2,24	5	(28)	26,5... 30	22,4	26
3,15	3... 3,35	2,5	5	31,5	30... 33,5	25	28
(3,55)	3,35... 3,75	2,8	5	(35,5)	33,5... 37,5	28	31
4	3,75... 4,25	3,15	6	40	37,5... 42,5	31,5	34
(4,5)	4,25... 4,75	3,55	6	(45)	42,5... 47,5	35,5	38
5	4,75... 5,3	4	7	50	47,5... 53	40	42
(5,6)	5,3... 6	4,5	7	(56)	53... 60	45	46
6,3	6... 6,7	5	8	63	60... 67	50	51
(7,1)	6,7... 7,5	5,6	8	(71)	67... 75	56	56
8	7,5... 8,5	6,3	9	80	75... 85	63	62
(9)	8,5... 9,5	7,1	10	(90)	85... 95	71	68
10	9,5... 10,6	8	10	100	95... 106	80	75

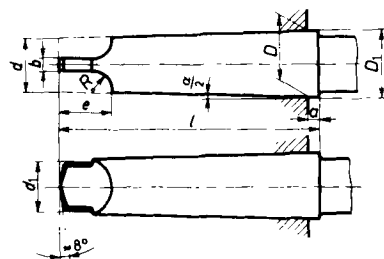
\* Preporučeni promjeri bez zagrada smatraju se osnovnima (u nizu standardnih brojeva R 10), a preporučeni promjeri u zagradama su pomoćni (u nizu standardnih brojeva R 20).

Na dršcima promjera do 3 mm prelazi četverobrid redovno u središnji vršak, a na dršcima promjera većeg od 3 mm nalazi se na kraju četverobrida središnje gnijezdo oblika A (vidi str. 650).

# Konični dršci za alat

Morseov konus	0	1 : 19,212 = 0,05205
	1	1 : 20,047 = 0,04988
	2	1 : 20,020 = 0,04995
	3	1 : 19,922 = 0,05020
	4	1 : 19,254 = 0,05194
	5	1 : 19,002 = 0,05263
Metrički konus	6	1 : 19,180 = 0,05214
	1 : 20	= 0,05

Vanjski konusi (JUS K.D0.011 – 1982)

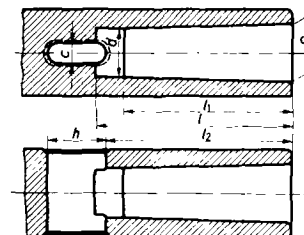


Konus		$\frac{\alpha}{2}$	Mjere u mm							
			D	$D_1$	$d$	$d_1$	$l$	$e$	R	a
Morseov	0	1°29'27"	9,045	9,2	6,1	6	59,5	10,5	4	3
	1	1°25'43"	12,065	12,2	9	8,7	65,5	13,5	5	3,5
	2	1°25'50"	17,780	18	14	13,5	80	16	6	5
	3	1°26'16"	23,825	24,1	19,1	18,5	99	20	7	5
	4	1°29'15"	31,267	31,6	25,2	24,5	124	24	8	6,5
	5	1°30'26"	44,399	44,7	36,5	36	156	30	11	6,5
metrički	6	1°29'36"	63,348	63,8	52,4	51	218	44	17	8
	80		80	80,4	69	67	228	48	24	8
	100		100	100,5	87	85	270	58	30	10
	120	1:20 = 0,05	120	120,6	105	102	312	68	36	12
	(140)	1°25'56"	140	140,7	123	120	354	78	42	14
	160		160	160,8	141	138	396	88	48	16
	(180)		180	180,9	159	156	438	98	54	18
	200		200	201	177	174	480	108	60	20

Osim takvih koničnih držaka upotrebljavaju se i dršci koji na čelu imaju navoj za vijak:

konus	navoj	konus	navoj
Morse 1	M 6	metrički:	
2	M 10	80	M 30
3	M 12	100, 120, 140	M 36
4	M 16	160, 180, 200	M 48
5	M 20		
6	M 24		

Unutarnji konusi (JUS M.G0.051 — 1968)

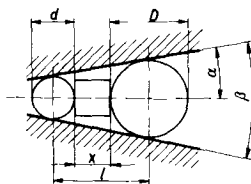


Konus		Mjere u mm						
		D	d	$l_1$	$l_{min.}$	$l_2$	c	h
metrički	4	4	3	20	25	21	2,2	8
	6	6	4,6	28	34	29	3,2	12
Morseov	0	9,045	6,7	45	52	49	3,9	15
	1	12,065	9,7	47	56	52	5,2	19
	2	17,780	14,9	58	67	62	6,3	22
	3	23,825	20,2	72	84	78	7,9	27
	4	31,267	26,5	92	107	98	11,9	32
	5	44,399	38,2	118	135	125	15,9	38
metrički	6	63,348	54,8	164	188	177	19	47
	80	80	71,5	170	202	186	26	52
	100	100	90	200	240	220	32	60
	120	120	108,5	230	276	254	38	70
	(140)	140	127	260	312	286	44	80
	160	160	145,5	290	350	321	50	90
	(180)	180	164	330	388	355	56	100
	200	200	182,5	350	424	388	62	110

## MJERENJE KUTOVA I KONUSA

### Mjerenje kutova

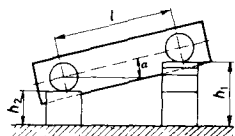
Određivanje kutova pomoću dviju okruglih ploča



$$\sin \alpha = \frac{D-d}{2x + (D+d)}$$

$$x = \frac{D(1 - \sin \alpha) - d(1 + \sin \alpha)}{2 \sin \alpha}$$

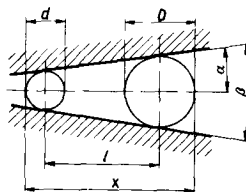
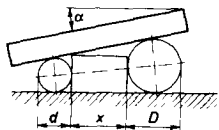
Sinusov postupak



$$\sin \alpha = \frac{h_1 - h_2}{l}$$

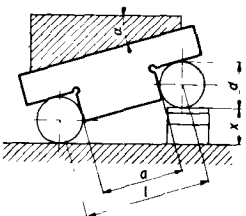
$$h_1 - h_2 = l \sin \alpha$$

Tangensov postupak



$$\sin \alpha = \frac{D-d}{2x - (D+d)}$$

$$x = \frac{D(1 + \sin \alpha) - d(1 - \sin \alpha)}{2 \sin \alpha}$$



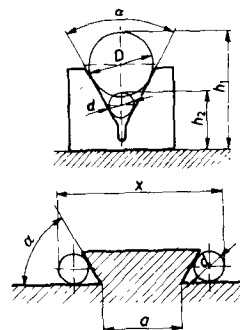
$$\sin \alpha = \frac{x}{l} = \frac{x}{a+d}$$

$$x = l \sin \alpha = (a+d) \sin \alpha$$

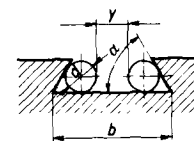
$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{D-d}{D+d+2x}$$

$$x = \frac{D-d}{2} \cot \frac{\alpha}{2} = \frac{D+d}{2}$$

## Mjerenje kutnih vodilica



$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{D-d}{2(h_1 - h_2) - (D-d)}$$

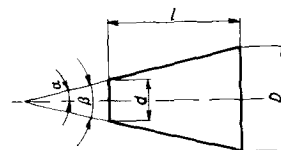


$$y = b - d \left( 1 + \cot \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$x = a + d \left( 1 + \cot \frac{\alpha}{2} \right)$$

### Mjerenje konusa

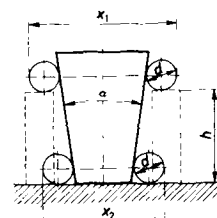
Koničnost obično izražavamo omjerom



$$\frac{(D-d)}{l} = 1 : k$$

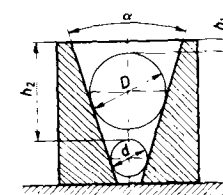
$$\tan \alpha = \frac{D-d}{2l} = \frac{1}{2k}$$

### Vanjski konus



$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{x_1 - x_2}{2h}$$

### Unutarnji konus



$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{D-d}{2(h_2 - h_1) - (D-d)}$$

## KOROZIJA I POVRŠINSKA ZAŠTITA

### Korozija

K o r o z i j a je nenamjerni kemijski ili elektrokemijski utjecaj na materijal pri čemu se mijenja njegova struktura od površine prema unutrašnjosti.

Kemijske reakcije javljaju se u prvom redu pri djelovanju električki nevodljivim tvarima (npr. pri suhim plinovima) na materijal; *elektrokemijske reakcije* izazivaju električki vodljive tvari (npr. vodljive tekućine – elektroliti).

Prema nastajanju korozije razlikujemo:

– jednoliku koroziju koju u prvom redu izazivaju kemijske reakcije, a pojavljuje se na cjelokupnoj površini predmeta,

– lokalnu koroziju koju većinom izazivaju elektrokemijske reakcije, a ograničena je na određena manja mjesta na predmetu.

J e d n o l i k a k o r o z i j a može neograničeno napredovati, ako produkti korozije po nastajanju smjesta odlaze s materijala (ako se ljušte, tope, otpadaju) čime omogućuju daljnje korozijsko djelovanje (npr. oksidacija željeza pri visokim temperaturama ili razjedanje Cu s talinom SN). Jednolika korozija se zaustavlja, ako se produkti korozije tijesno i čvrsto priljube uz osnovni materijal te ga zaštićuju pred daljnom korozijom (npr. zaštitni sloj na površini pri Pb, Al, Cu ili – nevidljivo tanak – i pri Ni, Cr itd.).

#### Primjeri otpornosti nekih kovinskih materijala prema jednolikoj koroziji

Upliv korozije	Kovinski materijal (sastav u postocima)								
	Fe	Cr	Ni	Fe + 18 Cr 8 Ni	Al	Al + 10 Si	Cu	Cu + 8 Sn	Ni + 30 Cu
Voda									
destilirana	–	++	++	++	++	++	+	+	++
meka	+-	++	++	++	+-	++	+	+	++
tvrd	+	++	++	++	++	++	+	+	++
morska	–	+	++	+	–	++	–	+	++
Plinovi									
norm. atmosfera	+	++	++	++	++	++	+	++	++
morski zrak	+-	+	+	+	–	++	–	+-	+
dimni plinovi	+-	++	–	++	++	++	–	+-	++
pregr. para	+-	++	++	++	–	++	–	+	++
Kiseline									
HNO <sub>3</sub> – 10%	--	+	--	++	+	++	–	–	+
– konc.	++	++	--	++	++	++	--	--	+
HCl – 0,5%	--	+-	++	+	--	++	–	+-	+
– konc.	--	–	--	--	--	+	--	--	+
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> – 10%	--	+	++	++	–	+	+	+	++
– konc.	+-	+	+-	++	--	++	–	–	++
Lužine									
KOH – 20%	++	+	++	++	--	++	+	+	++
NaOH – 20%	++	+	++	++	--	++	+-	+	++

Ocjene korozijske otpornosti: ++ vrlo dobra, + dobra, +- osrednja, – loša, -- vrlo loša.

L o k a l n a k o r o z i j a je većinom elektrokemijska pojava pri kojoj dvije kovine, različitih elektrokemijskih potencijala, u dodiru s vodljivom tekućinom (elektrolitom) tvore galvanski članak.

*Elektrokemijski naponski niz kovina* sastavljen je po njihovim normalnim potencijalima s obzirom na normalnu vodikovu elektrodu:

Kovina	Normalni potencijal V	Kovina	Normalni potencijal V	Kovina	Normalni potencijal V
Ka	– 2,92	Fe II	– 0,44	H	± 0,00
Na	– 2,71	Cd	– 0,40	Cu II	+ 0,34
Mg	– 2,35	Co	– 0,27	Cu III	+ 0,52
Al	– 1,28	Ni	– 0,25	Ag	+ 0,81
Mn	– 1,08	Sn	– 0,14	Hg	+ 0,85
Zn	– 0,76	Pb	– 0,13	Pt	+ 0,87
Cr	– 0,56	Fe III	– 0,04	Au	+ 1,50

Kovine manjeg potencijala nazivamo »manje plemenitim«, a one većeg potencijala »plemenitijima«.

Zbog elektrokemijskog potencijala poteče u galvanskom članku tok elektrona od anode ka katodi. Anoda (manje plemenita kovina) se pritom rastvara (korozija!), a katoda (plemenitija kovina) se prekriva (zaštita).

Raznoliki elektrokemijski potencijal može proizaći iz dviju kovina, dviju faza iste kovine, razlici u strukturi, razlici napetostnog stanja itd. Što veća je potencijalna razlika, to veća će biti lokalna korozija.

Velika otpornost kovina ili njihovih slitina prema jednolikoj (kemijskoj) koroziji ne štiti ih pred lokalnim (elektrokemijskom) korozijom.

#### Površinska zaštita

Pred jednolikom (kemijskom) korozijom štitimo kovinske dijelove prikladnim otpornim materijalom.

Ako upotreba nekog prema koroziji otpornog materijala nije prikladna (zaradi čvrstoće, temperaturne otpornosti – ili cijene) dolaze u obzir postupci prevlačenja površinskim slojem: platiniranje (npr. Ni na osnovu Fe), potapljanje (u cink, kositar, olovo), galvaniziranje (niklovanje, kromiranje), navarivanje, sinterovanje, metaliziranje (Zn, Al, Pb, Cu, Cr, Ni), prskanje plazmom i sl.

Zaštita kemijskim postupcima su: bruniranje, fosfatiranje, bondiranje itd.

Prekrivna zaštita su: ulja, masti, premazi, ocakline i plasteni lakovi.

Pred lokalnom (elektrokemijskom) korozijom najlakše je štititi kovinske predmete u suhom prostoru, gdje ne postoji mogućnost stvaranja elektrolita. Ako to nije moguće (na slobodnom prostoru, u vlažnim prostorijama i sl.), treba posebno zaštititi spojeve kovinskih dijelova od vlage. Jednostavno je sredstvo debelo namaz mašću. Značajan je i razuman izbor dvaju dijelova u dodiru (kako bi se smanjila elektrokemijska potencijalna razlika). Velikom otpornošću prema koroziji odlikuju se plasti. Stoga pri potrebi naročite otpornosti prema koroziji rješenje treba tražiti u potpuno plastenoj konstrukciji (ili njenim dijelovima).

## RAZNO

### TEHNIČKO PISMO

Zbog preglednosti tehničkog tiska i razlikovanja znakova za veličine i drugih znakova pišu se:

- nagnuto znakovi veličina
- uspravno ostali znakovi.

\*

U zapadnonjemačkim standardima (DIN 1338) je određeno što valja pisati (tiskati) uspravno, a što nagnuto, i to:

a) U s p r a v n o se pišu:

- brojevi napisani brojkama, npr.  
 $1,32 \cdot 10^{-6}$ ,  $3/4$ , 625-puta,  $6r^2$ ,  $a_6$
- posebni brojevi, označeni brojkama:  
Ludolfov broj  $\pi$ , osnova prirodnih logaritama  $e$ , imaginarna jedinica  $i$  ( $i^2 = -1$ )
- matematički znakovi određenog značenja, npr.:  
 $d$ ,  $\partial$ ,  $\Delta$ ,  $\int$ ,  $\sum$ ,  $\lim$ ,  $\sin$ ,  $\cos$ ,  $\tan$ ,  $\cot$ ,  $\log$ ,  $\ln$ ,  $\lg$
- znakovi mjernih jedinica i njihovi mnogokratnici:  
 $m$  (metar),  $C$  (kulon, coulomb),  $F$  (farad),  $\mu$  (mikro =  $10^{-6}$ ),  $\mu F$  (mikrofarad),  $mol$
- simboli kemijskih elemenata:  
 $Fe$ ,  $H_2O$ ,  $NaCl$

b) N a g n u t o (*kurzivno*) se pišu:

- brojevi napisani slovima:

$$a, b, x, y, n\text{-puta}, \sqrt[n]{3}, \sum_{i=1}^n k_i, i = 1 \dots n$$

- svi simboli fizikalnih veličina:  
 $m$  (masa),  $C$  (kapacitet),  $F$  (sila),  $\mu$  (koeficijent trenja)
- matematičke oznake funkcija:  
 $f(x)$ ,  $g(x)$ ,  $q(x)$ ,  $\mu(x)$ ,  $L(y) = y'' + f_1 y' + f_0 y$

I n d e k s i veličina pišu se uspravno ako su to samo dodatne oznake veličina, npr.:

$\alpha_i$  – određeni kut,  $p_k$  – kritični tlak,  $v_{\max}$  – najveća brzina,  $\sigma_{\text{dop}}$  – dopušteno naprezanje;  
nagnuto (*kurzivno*) se pišu kada znače slovima napisane brojčane vrijednosti ili veličine:

$k_n$  – za  $n = 1, 2, 3, \dots$ ,  $w_x = \partial w / \partial x$  – komponenta brzine u smjeru osi  $x$ ;  $\sigma_z$  – naprezanje u smjeru osi  $z$ ,  $V_{p, T_1}$  – volumen pri tlaku  $p_1$  i temperaturi  $T_1$ .

### Normalni formati papira

Oznaka	Površina m <sup>2</sup>	Mjere mm
A0	1	841 × 1189
A1	1/2	594 × 841
A2	1/4	420 × 594
A3	1/8	297 × 420
A4	1/16	210 × 297
A5	1/32	148 × 210
A6	1/64	105 × 148

Normalni se formati upotrebljavaju za sve tehničke crteže, za službene dopise i različite tiskanice. Format se mogu upotrebljavati uzdužno ili poprečno. Za crtanje uskih i dugačkih predmeta, objekata i sličnoga dopušta se produženi format, sastavljen od jednakih ili susjednih formata. Okvir crteža odmaknut je od ruba papira 5 mm.

Dimenzije formata redova B i C:

Red	B:	oznaka	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
		mjere (mm)	125 × 176	176 × 250	250 × 353	353 × 500	500 × 707	707 × 1000	1000 × 1414
Red	C:	oznaka	C6	C5	C4	C3	C2	C1	C0
		mjere (mm)	114 × 162	162 × 229	229 × 324	324 × 458	458 × 648	648 × 917	917 × 1297

### Mjerila

Crteže treba raditi samo u standardnim mjerilima:

za naravnu veličinu	1 : 1		
za smanjenja	1 : 2,5 (1 : 2)	1 : 5	1 : 10
	1 : 20	1 : 50	1 : 100
	1 : 200	1 : 500	1 : 1000
za povećanja	2 : 1	5 : 1	10 : 1

Treba se kloniti vrijednosti u zagradama.

### Grčka slova

$\alpha$ A	alfa	$\eta$ H	eta	$\nu$ N	ni	$\tau$ T	tau
$\beta$ B	beta	$\theta$ T(h)	eta	$\xi$ Ξ	ksi	$\upsilon$ Y	ipsilon
$\gamma$ Γ	gama	$\iota$ I	jota	$\omicron$ O	omikron	$\phi$ Φ	fi
$\delta$ Δ, Δ	delta	$\kappa$ K	kapa	$\pi$ , $\pi$ Π	pi	$\chi$ X	hi
$\epsilon$ E	epsilon	$\lambda$ Λ	lambda	$\rho$ P	ro	$\psi$ Ψ	psi
$\zeta$ Z	(d)zeta	$\mu$ , $\mu$ M	mi	$\sigma$ Σ, Σ	sigma	$\omega$ Ω, Ω	omega

### Rimske brojke

I = 1	VIII = 8	LX = 60	CD = 400
II = 2	IX = 9	LXX = 70	D = 500
III = 3	X = 10	LXXX = 80	DC = 600
IV = 4	XX = 20	XC = 90	DCC = 700
V = 5	XXX = 30	C = 100	DCCC = 800
VI = 6	XL = 40	CC = 200	CM = 900
VII = 7	L = 50	CCC = 300	M = 1000

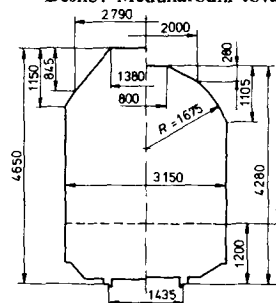


## TOVARNE MJERE ŽELJEZNIČKIH KOLA

Tovarne mjere za kola na prugama normalnog kolosijeka (1435 mm)

Lijevo: Tovarni profil Jugoslavenskih željeznica (JŽ)<sup>1)</sup>

Desno: Međunarodni tovarni profil UIC<sup>2)</sup> (JUS P.A0.004 — 1972)



Najveće mjere tovara:

širina do 3150 mm  
visina do 3080 (3450) mm  
duljina do 7,7 (... 22) m  
masa do 15 (... 80) t

Gornji rub tovarne platforme

Gornji rub tračnice

Tovarna širina je ograničena razmakom osovina, tj. razmakom osovina pri dvoosovinskim kolima odnosno razmakom među čepovima obrtnih postolja pri četveroosovinskim kolima. Pri razmaku osi većem od 8 m postoji ograničenje tovarne širine u sredini razmaka osi (na svakoj strani):

razmak osi m: 8 9 10 11 12 13 14 16 18 20 22 24 26 28 30  
ograničenje cm: 1 2 3 4 5 6 8 10 15 20 27 35 43 52 62

Tovarna širina kola

Vrsta kola	otvorena	pokrivena	plitka (plato)
dvoosovinska	7,7 m i više	9 m i više	> 12 m
četveroosovinska (s obrtnim postoljima)	12 m i više	15 m i više	> 18 m

Opterećenje pruge

Kategorija pruge	Osovinsko opterećenje	Duljinsko opterećenje
A (A', A'')	12...16 t	3,5...4,8 t/m
B (B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> )	18 t	5,0...6,4 t/m
C (C <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> , C <sub>4</sub> )	20 t	6,4...8,0 t/m

Nosivost kola

dvoosovinska kola	20 t i više
četveroosovinska kola (s obrt. postoljima)	40 t i više*

Za sve prevoze posebnih predmeta (po mjerama i masi) potreban je dogovor sa željezničkom upravom.

<sup>1)</sup> Za pruge Postojna—Sežana i Pivka—Rijeka vrijedi međunarodni profil UIC.

<sup>2)</sup> UIC = Union International des Chemins de fer.

\* Specijalna četveroosovinska: do 58 t, šesteroosovinska: do 80 t.

## JUGOSLAVENSKI STANDARDI — JUS

Jugoslavenski se standardi označuju oznakama od dva slova i četiri brojke (npr. »JUS A.A0.001«). Slovima se označuju grane i glavne skupine standarda; prvom brojkom skupine standarda, a posljednjim trima brojkama pojedini standardi.

Grane i glavne skupine jugoslavenskih standarda

### A. Osnovni i opći standardi

- A.A Osnovni standardi o standardizaciji, standardni brojevi, jedinice itd.
- A.C Terminologija, dokumentacija
- A.D Knjigovodstvo
- A.E Organizacija upravljanja
- A.F Obrada informacija
- A.K Kvalitet i atestiranje proizvoda

### B. Rudarstvo i prerada minerala, ugljena i nafte

### C. Metalurgija i tehnologija prerade kovina

- C.A Osnovni i opći standardi za granu metalurgije i tehnologije prerade kovina
- C.B Osnovni proizvodi crne metalurgije
- C.C Osnovni proizvodi od lakih kovina i njihovih slitina
- C.D Osnovni proizv. od bakra i drugih teško taljivih kovina i njihovih slitina
- C.E Proizvodi od cinka, olova i drugih lako taljivih kovina i njihovih slitina
- C.G Proizvodi od plemenitih kovina i njihovih slitina
- C.H Izvedeni proizvodi crne i obojene metalurgije
- C.J Ljevaonički proizvodi crne i obojene metalurgije
- C.K Proizvodi crne metalurgije s posebnom namjenom
- C.L Proizvodi obojene metalurgije s posebnom namjenom
- C.T Tehnološki procesi prerade kovina
- C.Z Razni standardi na području metalurgije i tehnologije prerade kovina

### D. Šumarstvo, drvna industrija i prerada drvnih tvari

### E. Poljoprivreda, ribarstvo i prehrambena industrija

### F. Tekstilna industrija

### G. Industrija kože, gume i umjetnih masa

### H. Kemijska industrija

### K. Radai i mjerai alat i pribor

- K.A Osnovni i opći standardi o alatu
- K.B Čekići, sjekire, budaci, čuskiye i sličan alat za kovanje, cijepanje i slične radnje udarcima
- K.C Noževi, škare, sjekala, dlijeta, kose, srpovi, ašovi, motike i sličan alat za sječenje jednom ili dvjema oštricama

- K.D Pile, glodala, svrdla, turpije i sličan rezni alat s više oštrica
- K.E Probojci, šila, igle i sličan alat za probijanje
- K.F Alat za brušenje i glačanje
- K.G Klješta, stege, ključevi i sličan alat za hvatanje i stezanje
- K.H Kalupi za kovanje i prešanje, probijanje i sličan alat za oblikovanje; ploče za ravnjanje, obilježavanje i slično
- K.J Lopate, vile, grablje, žlice i sličan alat za grabljanje i hvatanje
- K.L Četke, češljevi i sličan alat za struganje, glaćanje i razmazivanje
- K.M Posebni alat i pribor za kovinoprerađivačku djelatnost
- K.N Posebni alat i pribor za preradu drva i drvnih tvari
- K.P Posebni alat i pribor za poljoprivredu, šumarstvo, lov i ribarstvo te za industriju hrane i pića
- K.R Posebni alat i pribor za razne industrijske i zanatske djelatnosti
- K.T Mjerni alat za gruba mjerenja
- K.Z Razni alat i pribor
- L. Mjerni aparati i proizvodi precizne mehanike**
  - L.C Aparati za mjerenje duljine, površine, obujma, kutova i slično
  - L.D Aparati za mjerenje duljine, težine, tlaka, sile, napona i slično
  - L.E Aparati za mjerenje vremena, brzine, prijednog puta, izvršenog rada i sl.
  - L.F Aparati za mjerenje temperature i ostala toplinska mjerenja
  - L.G Aparati za električna mjerenja
  - L.J Aparati za razna tehnička i laboratorijska mjerenja
  - L.K Optički aparati opće namjene
  - L.M Medicinski i kirurški instrumenti i aparati
  - L.N Aparati za regulaciju temperature, vlažnosti i slično
  - L.R Pisači i računski strojevi, aparati za umnožavanje i ostali aparati birotehnike i široke potrošnje
- M. Strojogradnja i industrija kovina**
  - M.A Osnovni i opći standardi za granu strojogradnje i industrije kovina
  - M.B Vijci, zakovice i ostali elementi za spajanje
  - M.C Elementi strojeva
  - M.D Radni strojevi i uređaji univerzalnog tipa
  - M.E Termoenergetski uređaji
  - M.F Strojevi za transformaciju energije
  - M.G Strojevi i uređaji za obradu kovina skidanjem strugotine
  - M.J Posebni strojevi, uređaji i drugi kovinski proizvodi za rudarstvo i industriju mineralnih proizvoda te za građevinarstvo
  - M.K Strojevi, uređaji i razni kovinski proizvodi za šumarstvo, drvenu industriju i preradu drvnih tvari
  - M.L Strojevi, uređaji i razni kovinski proizvodi za poljoprivredu, prehrambenu industriju, kemijsku industriju i industriju nafte

- M.M Strojevi, uređaji i razni kovinski proizvodi za industriju vlaknastih tvari, kože, gume, smole i plastičnih masa
- M.N Cestovna vozila
- M.R Kovinski namještaj, strojevi i kovinski proizvodi za grafičku industriju, kovinski proizvodi za uredske i školske potrebe te za ugostiteljstvo i kućanstvo
- M.T Kovinski proizvodi za vatrogastvo i službu zdravstvene zaštite
- M.Z Razni strojevi, uređaji i ostali kovinski proizvodi
- N. Elektrotehnika i elektroindustrija**
  - N.A Osnovni i opći standardi iz elektrotehnike i elektroindustrije
  - N.B Proizvodnja, prijenos i razdioba električne energije
  - N.C Električni vodiči
  - N.E Materijal za električne instalacije
  - N.F Materijal za električne, nadzemne i podzemne vodove niskog i visokog napona
  - N.G Električni rotacijski strojevi
  - N.H Transformatori, usmjerači i slični uređaji
  - N.J Elementi, akumulatori i kondenzatori
  - N.K Naprava za uključivanje
  - N.L Električne žarulje i svjetiljke
  - N.M Elektrotehnički proizvodi za potrebe kućanstva
  - N.N Elektronika i telekomunikacije
  - N.P Električna aparatura na vozilima
  - N.R Sastavni dijelovi za elektroniku i telekomunikacije
  - N.S Posebni električni strojevi, uređaji i aparati za industrijske i medicinske svrhe
- P. Uređaji, postrojenja i vozila tračničkog prometa**
  - P.A Osnovni i opći standardi o uređajima, postrojenjima i vozilima tračničkog prometa
  - P.B Postrojenja gornjeg stroja tračničkog prometa
  - P.C Signalno-sigurnosna postrojenja tračničkog prometa
  - P.F Zajednički elementi tračničkih vozila
  - P.G Kočni uređaji tračničkih vozila
  - P.J Parne lokomotive
  - P.N Putnička, poštanska i četveroosovinska službena kola
  - P.P Teretna i dvoosovinska službena kola
  - P.R Vagoneti i motorna kolica
  - P.S Tračnička vozila posebne namjene
- R. Brodogradnja i postrojenja riječnog i pomorskog prometa**
  - R.F Propulzijska brodska sredstva
- U. Građevinarstvo**
- Z. Standardi, koji ne ulaze ni u jednu posebnu granu standardizacije**

## IZGOVARANJE STRANIH IMENA

Stranim imenima dodan je približan izgovor, transkribiran samo našim slovima.

Bach	bah	Martin	martèn
Bain	béin	Mayer	májer
Baumé	bomé	Maxwell	méksvel
Beaufort	bofór	Mishima	mišíma
Becquerel	békereľ	Mohr	mor
Bernoulli	bernúli	Mollier	móljler
Bessemmer	bésemer	Moody	múdi
Böhler	béler	Newton	njutn
Bohr	bor	Oersted	érsted
Boltzmann	bólcman	Ohm	om
Boyle	bojl	Otto	óto
Briggs	brigs	Pascal	paskál
Brinell	brinél	Péclet	peklé
Carnot	karnó	Pelton	peltñ
Charpy	čárpi	Poiseuille	poazèj
Clapeyron	klápejron	Poisson	poasón
Clausius	kláuzius	Prandtl	prantl
Colebrooke	kóulbruk	Redwood	redvúd
Coulomb	kulón	Renard	renár
Cremona	kremóna	Reynolds	rénelds
Culmann	kúlman	Richter	rihter
Curie	kirt	Rockwell	rókvel
Curtis	kértis	Rose	róze
D'Alembert	dalambèr	Rosin	rózin
Dalton	dołtn	Röntgen	réntgen
Darcy	darsí	Sankey	sénki
Descartes	dekárt	Saybolt	sejbolt
Diesel	dízl	Schmidt	šmít
Einstein	ájńštajn	Scale	síl
Euler	ójler	Shore	šor
Fahrenheit	fárnhajt	Siemens	símens
Faraday	féredi	Sievert	sívert
Fehling	féling	Smith	smít
Francis	frénsis	Stauffer	štáufer
Gauss	gáus	Stefan	štéfan
Gay-Lussac	gejlisák	Steiner	štájner
Giorgi	džórdži	Student	sijúdent
Grasshof	grášhof	Taylor	teílir
Gray	grej	Thomas	iómas
Guldin	gulđin	Thomson	tómsn
Henry	hénri	Torricelli	toričéli
Hertz	herc	Vickers	vikers
Hooke	huk	Warrington	uóringtn
Joule	džul	Watt	uót
Kirchhoff	kirrhof	Wheatstone	vitstoun
Laplace	laplás	Wöhler	véler
Mariotte	maríót	Wood	vud

## IZVORI BROJČANIH PODATAKA

U prvim izdanjima priručnika brojčani su podaci sabrani iz slijedećih djela:

### Techniques de l'Ingénieur

Généralités, tomes I, II et III  
Mécanique et Chaleur, tomes I et II  
Métallurgie, tomes I, II et III

*Naklada:* Techniques de l'Ingénieur, Paris.

### Hütte, Des Ingenieurs Taschenbuch

Herausgegeben vom Akademischen Verein Hütte, E. V. in Berlin,  
Band I: Theoretische Grundlagen (HÜTTE I).  
Band II A: Maschinenbau, Teil A (HÜTTE II A).  
Band II B: Maschinenbau, Teil B (HÜTTE II B).  
Band V: Verkehrstechnik-Vermessungstechnik (HÜTTE V).

*Naklada:* Verlag Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin.

### Hütte, Taschenbuch für Betriebsingenieure (Betriebschütte)

Herausgegeben vom Akademischen Verein Hütte, E. V. in Berlin,  
Band I: Fertigung.  
Band II: Betrieb.

*Naklada:* Verlag Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin.

### Dubbels Taschenbuch für den Maschinenbau

Band I und II.

*Naklada:* Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York.

### Машиностроение: Энциклопедический справочник

Том 1 и 2: Инженерные расчёты в машиностроении.  
Том 3 и 4: Материалы машиностроения.

*Naklada:* Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, Москва.

### Schmidt, E.: Properties of Water and Steam in SI-Units

*Naklada:* Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York.

### Standardi

JUS – Jugoslavenski standardi.  
ISO – International Standardizing Organization.  
DIN – Deutsche (Industrie-) Norm.

\*

U novom, potpuno prerađenom izdanju priručnika – osim prijašnjih – uzeti su u obzir najnoviji podaci iz zakona o mjernim jedinicama i mjerilima te iz (dostupne) suvremene znanstvene i stručne literature – iz knjiga i revija.

- acetilen 93, 94, 163, 206, 207  
 aceton 93, 94  
 aciklički spojevi 92  
 adijabata 161  
 aditivi 601  
 arodinamički otpor 147  
 aerosoli 97  
 ajnštajnij 78  
 akceleracija – vidi ubrzanje  
 aktinij 77  
 aktivnost radioaktivnog izvora 68  
 akumulacija vode 154  
 akumulator 279  
 akustika 288  
 alatni čelik 357, 379  
 alatni strojevi (maz.) 607  
 aldehidi 93  
 alfanumerički podaci 304  
 algebarske jednadžbe 27  
 algoritam 308  
 alifatski spojevi 92  
 alkalne kovine 80  
 alkalni oksidi 34  
 alkanali 93  
 alkani 93  
 alkanoli 93  
 alkanoni 93  
 alkanske kiseline 93  
 alkeni 93  
 alkili 92  
 alkini 93  
 alkoholi, vidi alkanoli  
 alpaka 404  
 aluminij 76, 80, 98, 112, 158, 215, 219, 257, 261, 289,  
 aluminijaska bronca 403, 408  
 aluminijski oksid 84  
 aluminijske slitine 98, 112, 393  
 aluminijski poluproizvodi 451  
 aluminotermičko zavarivanje 621, 622, 623  
 americij 78  
 amidi 93  
 amini 93  
 aminoplast 473  
 amonij 83  
 amonijačna vodica 88  
 amonijak 83, 163, 189, 212, 214  
 amonijski hidroksid 87  
 amonijske soli 91  
 amper 54  
 amplituda 34, 125  
 analitička geometrija 30  
 analogna tehnika 302  
 anergija 160  
 anglosaske mjere 71  
 ångström 71  
 anilin 95  
 anion 78  
 anorganski spojevi 82, 92, 97  
 antikorodal (anticorodal) 393  
 antimon 77, 80  
 aparaturna oprema 307  
 apsolutna nula 66  
 apsolutni rad 160  
 apsolutna vrijednost 26  
 apsorbirana doza ionizirajućeg zračenja 68  
 apsorpcijski koeficijent 218  
 ar 59  
 araldit 481  
 argentan 404  
 argon 76, 81, 159, 163  
 argument 33  
 Arhimedov zakon 134  
 aritmetički red 22  
 arsen 76, 80  
 asfalt 99, 217, 264  
 asimptota 32  
 asinhroni motori 271  
 astat 77  
 atmosfera (mjera) 92  
 atmosferski tlak 135  
 atmosfersko stanje 135  
 ato- 58  
 atom 75  
 atomska jedinica mase 63  
 atomska masa 75  
 atomske veze 82  
 austenit 344, 345  
 austenitni čelik 346  
 autogeno rezanje, vidi rezanje kovina plamenom  
 automatizacija 291  
 Avogadrov zakon 162  
 Avogadrova konstanta 55  
 azbest 99, 216

- Bachov faktor 123  
 bačvasti ležaji 586  
 bainit, vidi beinit  
 Bainov dijagram 345  
 bajt 307  
 bakar 76, 81, 98, 112, 158, 215, 219, 257, 261, 289, 400  
 bakelit 217, 264, 481  
 bakrene slitine 394, 519  
 bakrene soli 90  
 bakreni oksidi 401, 405  
 bakreni poluproizvodi 462  
 bar 65  
 barij 77, 80  
 barijske soli 90  
 barit 89, 90  
 barn 71  
 barometarski tlak, vidi atmosferski tlak  
 barye 72  
 Bauméova areometarska skala 74  
 baze 87  
 Beaufortova skala 74  
 beinit 345  
 bekerel 57  
 benzen 93, 95, 159, 203, 206, 207  
 benzin 99, 159, 206, 207  
 benzol, vidi benzen  
 berilij 76, 80  
 berkelij 78  
 Bernoullijeva jednadžba,  
   -- za kapljevine 136  
   -- za plinove 200  
 beton 100, 159, 216, 469  
 bijela kovina 98, 413  
 bijeli lijev 345  
 binomi 26  
 bit 303  
 bizmut 77, 80  
 blanjanje 637  
 bofor 74  
 Bohrov model atoma 75  
 boksit 99  
 Booleove funkcije 305  
 bor 76, 80  
 boraks 631  
 borij, vidi hanij  
 borni karbid 85, 644  
 borova skupina elemenata 80  
 Boyle-Mariotteov zakon 162  
 bradavični zavar 621  
 Briggsovi logaritmi 5  
 briketi 99  
 Brinell, tvrdoća po –u 322  
 brojčane jednadžbe 53  
 brom 76, 81  
 bromovodik 83, 87, 88  
 bromovodična kiselina 87, 88  
 bronca 98, 158, 215, 257, 403, 406  
 brusovi 644  
 brušenje 644  
 brzina 62, kutna – 62, – vrtnje 62, 125,  
   -- kritična 132, -- specifična 152, 155,  
 brzina istjecanja 138, – svjetlosti 62, 288,  
   – zvuka 201, 289  
 brzorezni čelik 98, 383  
 buna 96  
 bušenje 638  
 butan 92, 94, 207  
 butanal 108  
 butanol 108  
 butanska kiselina 94  
 buten 94  
 butil 92  
 butilalkohol 94  
 butilen 94  
 butin 94  
 byte 307  
 candela 54  
 Carnotov kružni proces 161  
 cekas 257, 268, 416  
 celofan 99  
 celuloid 99, 159, 217, 473  
 celuloza 95, 96  
 Celzijevi stupnjevi 66  
 cement 99, 100, 469  
 cementiranje (ugljičenje) čelika 351  
 cementit 85, 344, zrnati – 345  
 cent 71  
 centi- 52  
 centrifugalna sila 130  
 centrifugalne pumpe 152  
 cer 77  
 cezij 77, 80  
 Charpyjev pokus 319  
 chip 307  
 cijan 83  
 cijaniranje čelika 352  
 cijankalij 90  
 cijanovodik 83, 87, 88  
 cijanovodična kiselina 87, 88  
 cijevi, – od sivog lijeva 418, čelične – 434,  
   – od aluminija 459, bakrene – 464  
 cijevni navoj 519  
 cikličke krivulje 32  
 ciklički spojevi 92  
 ciklobutan 92, 94  
 ciklobuten 94  
 cikloida 32  
 ciklometrijske funkcije 35  
 cilindarsko ulje 99, 605  
 cin, vidi kositar  
 cinčane slitine 411  
 cinčane soli 91  
 cinčani oksid 84  
 cinčani poluproizvodi 468  
 cinčano bjelilo 84  
 cink 76, 81, 98, 158, 215, 219, 257, 261,  
   289, 411, 468  
 cirkonij 76, 81  
 cirkulacijsko ulje 603  
 Clapeyronova jednadžba 168  
 Clausius 160  
 col (palac) 71  
 Colebrookeova jednadžba 141  
 coulomb 57  
 Cremonin plan 105  
 crvena kovina 403  
 crveni krvni lužac 91  
 crveni lijev 158, 215, 407  
 Culmannov pravac 102  
 curie 73  
 Curiejeva temperatura 343  
 curij, vidi kirij  
 Curtisovo kolo 231  
 čelik 98, 112, 158, 215, 219, 257, 343, 357,  
   358, 386  
 čelik za automate 370  
 čelični lijev 112, 384  
 čelični poluproizvodi 422  
 čelnici, parovi 561  
 četverobridi za alate 651  
 četverokuti 18  
 četverotaktni motori 239  
 čip 307  
 člankasti lanci 558  
 čunjosječnice 31  
 čvor 72  
 čvrstoća 112, vlačna – 315, trajna – 320,  
   – zupčanika 568  
 D'Alembertov princip 126  
 Daltonov zakon, – – za plinove 167,  
   – – za smjesu plinova i para 193  
 dan 62  
 Darcyjeva jednadžba 141  
 deci- 58  
 decibel 290  
 decimalne mjerne jedinice 58  
 deformacijski rad 112, 113  
 deka 58  
 dekrement (logaritamski) 35  
 De Lavalova sapnica 201  
 delta kovina 98  
 derivacija, – funkcije 36, parcijalna – 37,  
   – vektora 47  
 determinante 24  
 dielektrična konstanta 264  
 Diesel-motor, (dizel-m.) 255, 595  
 diferencijal funkcije 36  
 diferencijalne jednadžbe 42  
 difluordiklormetan 95, 163, 190  
 difluormonoklormetan 191  
 difuzijsko žarenje čelika 348  
 digitalna tehnika 303  
 dijagram TTT 345  
 dijagram  $\sigma$ ,  $\epsilon$  313  
 dijamant 85, 159, 644  
 diklormetan 95, 189  
 dilatacija 157  
 dimni plinovi 202  
 din 72  
 dinamička čvrstoća 320, 539  
 dinamička viskoznost 65, 133  
 dinamička ravnoteža 130  
 dinamika 124, hidro- 136  
 diobeni cilindar 561  
 dioda 281  
 diskovi, diskete 306  
 diskretni signali 301  
 diskriminanta 27  
 dispergent 97  
 disperzni sistemi 97  
 dispropozij 77  
 distribucija, vidi razdioba  
 dobavna visina (pumpe) 148  
 dolomit 90  
 dopuštena naprezanja 532  
   – trajna struja 275  
   – usisna visina 149  
 dosjedanje strojnih dijelova 486  
 dosjedi 494, navojni – 518  
 dršci za alat (konični) 652  
 drveni ugljen 206, 217  
 drvo 99, 100, 112, 206, 207, 217, 219,  
   289, 472  
 dubljenje 637  
 duboko izvlačenje 619  
 duljinska masa 63  
 duljinske mjere 58, standardne – – 484  
 duralumin 98, 158, 215, 393  
 duranalij 393

duroplasti 473, 481  
dušična kiselina 87, 88  
dušični oksidi 84  
dušik 76, 80, 85, 159, 163, 164  
dušikova skupina elemenata 80  
dvostruki integral 41  
dvotaktni motori 239  
džul 56, 57

ebonit 217  
Edisonov navoj 530  
ekonomajzer, vidi zagrijač vode  
eksa- 58  
eksergija 160  
eksotermičke reakcije 83  
ekspionencijalna funkcija 34  
ekspionencijalne jednadžbe 29  
eksponent 3  
ekspozicijska doza ionizirajućeg zračenja 68  
ekstremi funkcija 37  
ekvivalentna doza ionizirajućeg zračenja 68  
elasti 473, 480  
elastična krivulja 114  
elastični modul, vidi modul elastičnosti  
elastičnost, granica –i 313  
elektricitet 69  
električna jakost polja 69, 264  
– mjerila 286  
električna rasvjeta 270  
– struja 69  
– vodljivost 69, 256  
električne mjere 69  
– veličine 69  
električni generator 266  
– naboj 69  
– napon 69  
– niskonaponski vodovi 274  
– otpor 69, 256  
– ventili 290  
električno grijanje 268  
– polje 262, 264  
elektrode za lučno zavarivanje 626  
elektroerozivna obrada 647  
elektrografit 268  
elektrokemijski ekvivalent 261  
elektrolitski bakar 400  
elektromagnetski valovi 288  
elektromotori 271  
elektron (fiz.) 75  
elektron (kovina) 98, 215, 398  
elektronika 280

elektronke 280  
elektronska obrada podataka 301  
elektronvolt 66  
elektrotehnika 255  
elektrovalentne veze 82  
elementi (kem.) 75, 97  
elementi (stroj.) 483  
elipsa 19, 31  
emajl 219  
emisijski koeficijent 218  
emulzija 97  
endotermijske reakcije 83  
energetske veličine 66  
energija 66, kinetička – 127, potencijalna – 127, unutarnja – 160  
Englerovi stupnjevi 72  
entalpija 67, 157, 160  
entropija 67, 160  
epicikloida 32  
epoksidi 93  
epoksidna smola 473  
epruveta, vidi ispitni uzorak  
erbij 77  
erg 73  
Erichsenov pokus 318  
erozija lopatica 237  
esteri 93  
etan 93, 94, 163, 207  
etanal 93, 94  
etandiol 95  
etanol 93, 94, 159, 203, 206  
etanska kiselina 93, 94  
eten 93, 94, 163, 203  
eter 95  
etil 92  
etilalkohol 93, 94, 207  
etilen 94, 163  
etilenklorid 95  
etin 93, 94, 163, 203, 206  
Eulerov broj (e) 2  
Eulerova jednadžba (izvijanje) 120  
europij 77  
eutektik 342  
evolventa 33  
evolventni zupčanici 560  
fadm 71  
Fahrenheitovi stupnjevi 73  
faktor grijanja 250  
farad 57  
Faradeyevi zakoni 261  
faza 97  
fazna struja 267

fazni napon 267  
– pomak 266  
femto- 58  
fenol 93, 95  
fenolftalein 95  
fenolna smola (fenoplast) 473  
ferit 344  
feritni čelik 346  
fermij 78  
fiksirna sol 91  
filtriranje 97  
fluid 133  
fluor 76, 84  
fluorovodik 83, 87, 88  
fluorovodična kiselina 87, 88  
formaldehid 93, 94  
formalin 94  
formati papira 659  
fosfidi 86  
fosfor 76, 80, 86  
fosforna kiselina 87, 88  
fosforni oksidi 84  
fosforovodnik 83, 87  
fosforovodična kiselina 87  
frakcionirana destilacija 206  
francij 77  
Francisove turbine 155  
frekvencija 62, titrajna – 125, – izmjenične struje 266, kružna – 131  
freon 95  
funkcije 33, trigonometrijske – 10  
funta 71  
furnir 472  
gadolinij 77  
gal 71  
galica 90  
galij 76, 80  
gama-zrake 288, 337  
gauss 73  
Gaussova krivulja 57  
Gay-Lussacov zakon 162  
generator, plinski – 206, električni – 266, 278  
generatorski plin 206  
geometrijski red 23  
geometrijske veličine 59  
germanij 76, 80, 280  
gibanje, jednoliko – 124, jednoliko ubrzano – 124, kružno – 125  
giga- 58  
Giorgijev apsolutni sustav jedinica 54  
gips 90

Glauberova sol 91  
glicerol 94, 95, 159  
glikol 95  
glina 471  
glinica 84, 471  
glodanje 641  
glukoza 95  
gnijezda, središnja – 650  
gon 60  
gorište 602  
goriva 202, 206  
gorka sol 91  
gradiva 100  
gradus 60  
grafit 85, 99, 159, 344  
gram 63  
granica elastičnosti 313  
– plastičnosti 316  
– puženja 320  
granit 100, 216  
Grasshofova značajka 210  
gray 57  
grčka slova 659  
grej 57  
greške mjerenja 52  
grijanje, električno – 268  
grotleni plin 207  
Guldinova pravila 40  
guma 99, 217, 264, 289  
gustoća 63, 98  
– magnetskog toka 70, 262  
– naboja 264  
hafnij 77, 81  
halogeni 80  
halogeni 81  
Hamiltonov operator 2  
hanij 78  
harmonijsko titranje 125  
hefnerova svijeća 73  
heksagonalna rešetka 341  
hektar 59  
hekto- 58  
helij 76, 81, 159, 163  
henri 71  
herc 57  
Hertzov tlak 568  
Hessov zakon 83  
heterogene smjese 97  
heteropolarne veze 82  
hidraulička ulja 605  
hidraulički promjer 140  
– strojevi 148

hidridi 83  
hidriranje 206  
hidrodinamika 136  
hidroksibenzen 95  
hidroksidi 87  
hidroksil 87  
hidromehanika 133  
hidronalij 393  
hidrostatika 133  
hidrostatski tlak 133  
hiperbola 30, 32  
hiperbolne funkcije 35  
hiperboloidni zupčanci 573  
hipocikloida 38  
hipotenuza 10  
histereza (magn.) 262  
histogram 50  
hitac, kosi – 125  
hladjak 250, 253  
hlađenje 199  
holmij 77  
homeopolarne veze 82  
homogene smjese 97  
honanje 647  
Hookeov zakon 112  
hrapavost (hidr.) 142  
– površina 500  
Huberov faktor 123

idealni fluid 133  
– plin 162  
imaginarna jedinica (i) 1  
impedancija 266  
impuls sile 65, 128  
impulsni stavak 137  
inch 71  
indicirana snaga 229  
indicirani tlak 229, 241  
indij 77, 80  
indikator (za pH) 88  
indikatorski dijagram 240, 245  
indukcija, magnetska – 70, 262  
indukcijsko zavarivanje 621  
induktancija 266  
induktivnost 70, 263  
inleksija funkcije 37  
informatika 301  
infracrveno zračenje 288  
infrazvuk 289  
integral 38  
involuta, vidi evolventa  
ion 78  
ionske veze 82

iridij 77, 81, 158  
iskrenje, pokus – m 338  
isparivač 224  
ispitivanje, – čvrstoće na vlak 314, – – na savijanje 317 – – na tlak 317, udarno – 319, – žica 318, – dubokog izvlačenja 318, – tvrdoće kovina 322, – bez oštećivanja 336, – sustava materijala 328, – tvrdoće plasta 334, – materijala 313, – trajne čvrstoće 320  
ispitni uzorak (epruveta) 314  
ispravljači 282  
istiskanje 619  
istjecanje, brzina – a kapljevine 138, – – plina 200 – količina – a kapljevine 138, – – plina 200 – kroz sapnice 201  
istosmjerna struja (elektr.) 256  
istosmjerni tok (topl. prenos) 221  
iterbij 77  
itrij 76  
iverice 472  
izentalpa 161  
izentropa, – plinova 166, – para 192  
izmjenična struja 266  
izmjerena vrijednost 52  
izmjenjivači topline 221, 223, 224  
izobara, – plinova 166, – para 192  
izobutan 92  
izohigra 199  
izohora, – plinova 166, – para 192  
izolacijsko ulje 607  
izoliranje 276  
izomeri 92  
izooktan 94  
izoterma, – plinova 181, – para 208  
izotop 78  
izvedene jedinice 53  
izvijanje 120, koeficijenti – a 121

jakost energetskog zračenja 70  
jakost magnetskog polja, vidi magnetska jakost polja  
jalov otpor 266  
jalov učin 267  
jard 71  
jedinice 53, stare – 71  
jednadžba stanja plina 162  
– kontinuiteta 136, 200  
jednadžbe, algebarske – 27, transcendentne – 29  
jednakostranični trokut 16

jednofazna struja 267  
jednofazni motor 272  
jednoliko gibanje 124  
jednoliko kružno gibanje 125  
jezgra, polumjer jezgre 122  
jezgra, atomska – 75, – presjeka 122  
jezgrenik 613  
jod 77, 81  
jodovodik 83, 87, 88  
jodovodična kiselina 87, 88  
Joule 160  
joule 56, 57  
Jouleova toplota 268  
Joule-Thomson efekt 192  
jugoslavenski standardi JUS 661

kadmij 71, 81, 158  
kalcij 76, 80  
kalcijске soli 90  
kalcijски hidroksid 87  
kalcijски karbid 85  
kalifornij 78  
kalij 76, 80, 261  
kalijska lužina 88  
kalijske soli 90, 91  
kalijsки hidroksid 87, 88  
kaljenje, – čelika 350, – aluminijских slitina 393  
kalorija 73  
kalorijska vrijednost 203  
kalupi 613  
kandela 54  
kantale 257, 268, 416  
kaolin 471  
kapacitancija 266  
kapacitet, toplinski – 67, električni – 70, 265  
Kaplanova turbina 155  
kapljište ulja 602  
karakteristika, – logaritma 5, – goriva 202, geometrijska – presjeka 113  
karat 71  
karbidi 85  
karboksil 93  
karbonil 93  
karbonske kiseline 93  
karborund 84, 268, 471  
kasiopej, vidi lutecij  
kateta 10  
kation 78  
katodni bakar 400  
katran 99, 206  
katransko ulje 99

kaučuk 96, 99, 473, 480  
kavitacija 149, 153  
kelvin 54  
kemijska analiza 338  
kemijske reakcije 83  
kemijske veze 82  
kemijski elementi 76  
kemijski spojevi 82  
keramički materijal 99, 470  
ketoni 93  
kibernetika 301  
kilo- 58  
kilogram 54  
kilokalorija 73  
kilopond 72  
kilovat 66  
kilovatsat 66  
kinematika 124, 126  
kinematska viskoznost 65, 133  
kinematski, – stožac 572, – valjak 561  
kinesko srebro 404  
kinetička energija 127  
kinetički tlak 147  
kinetika 124, 126  
Kirchhoffov zakon (topl.) 218  
Kirchhoffovi zakoni (el.) 256  
kirij 78  
kiseline 87  
kisik 76, 80, 84, 163, 164, 261  
klimatizacija 253  
klin 21  
klinasti utor (trenje) 110  
– spojevi 548  
klinasto remenje 555  
klizni ležaji 576  
klor 76, 81  
klorid 89  
klorna kiselina 88  
kloroform 95  
klorovodična kiselina 87, 88  
klorovodik 83, 87, 88  
kobalt 76, 81, 158  
kocka 20  
kodiranje 304  
koeficijent, – apsorpcije 218, – emisije 218, – gubitaka 157, – oblika 537, – temperaturnog rastezanja 67, 157, – trenja (hidr.) 141, – – (krut. tijela) 109  
koercitivna sila 262  
koerzit 416  
koherentne jedinice 53  
kokile 615  
koks 99, 206, 207, 217

koksni plin 206, 207  
 kolektorski motor 272  
 količina, – gibanja 65, 128, – istjecanja 138, 200, – dimnih plinova 202, – elektriciteta 69  
 kolofonij 99  
 koloidna, – emulzija 97, – pjena 97, – rastopina 97  
 kolumbij (Cb), vidi niobij  
 kolutno trenje (111)  
 – varenje 621  
 kombinatorika 22  
 komponente sile 101  
 kompresori 242, 245  
 kompresorska ulja 605  
 kondenzacija 232  
 kondenzator (el.) 265  
 – (topl.) 248  
 konični dršci 652  
 konjska snaga 73  
 konstanta, Avogadrova – 55, plinska – 162, – zračenja 218  
 konstantan 98, 158, 257, 416  
 konstrukcijski čelici 357, 360  
 kontinuitet, jednadžba – a 136, 200  
 kontrakcija materijala 315  
 – mlaza 138, 200  
 konus, Morseev – 652, metrički – 652, mjerenja – a 654  
 kopolimerizacija 96  
 korak (zupč.) 561  
 korelacija 52  
 korijeni 3  
 korozija 656  
 korund 84, 99, 159, 470, 644  
 kosi hitac 125  
 kosinus 10, 34  
 kosinusov stavak 17  
 kositar 77, 80, 98, 158, 215, 219, 257, 261, 289  
 kositrena bronca 403, 406  
 kositrene slitine 413  
 kosokutni trokut 17  
 kotangens 10, 34  
 kotlovac 216  
 kotlovi, parni – 223  
 kotlovni lim 374  
 kovačko zavarivanje 621  
 kovanje 618  
 kovalentne veze 82  
 kovina, bijela – vidi kositrene slitine za ležaje  
 kovine 78, 98, lake – 392

kovinske veze 82  
 kovinski karbidi 85, – materijali 340, – oksidi 84, – poluproizvodi 418  
 kozmičke zrake 288  
 kreda 90, 99  
 kreiranje 206  
 kremen 84, 99, 216, 264, 471  
 krhke tvari 316  
 kriolit 99  
 kripton 76, 81  
 kristali, – rastopinski 342  
 kristalna rešetka 341  
 krivulja magnetiziranja 263  
 krom 76, 81, 219  
 kromit 471  
 kromni, – karbidi 85, – oksidi 84  
 krug 19  
 krutište ulja 602  
 kružna, – frekvencija 62, 131  
 kružni proces 161  
 – prsten 19  
 kružnica 31  
 kružno gibanje 125  
 krvni lužac 91  
 ksenon 77, 81  
 ksilol 93  
 kubna rešetka 341  
 kubni metar 59, standardni (normni) – – 74  
 kugla 21  
 kuglični ležaji 577  
 kuhinjska sol 89, 91  
 kulon 57  
 kupelji (topl. obrada) 353  
 kurčatovij 78  
 kut 60, mjerenje – ova 654  
 kut, fazni – 266, – prirodnog pokosa 100  
 kutna brzina 62, 125, kritična – – 132  
 kutna minuta 60, – sekunda 60  
 kutne funkcije 34  
 – mjere 60  
 kutni stupanj 60  
 – profili, čelični – – 426, aluminijski – – 456  
 kutno ubrzanje 62, 125  
 kutovi na alatu 633  
 kvadrat 18, 19  
 kvadratne jednadžbe 27, 310  
 kvadratni metar 59  
 kvarcilit 268  
 kvintal 71  
 labavost 494

lak 219  
 lake kovine 392  
 laminarno strujanje 136  
 lanci, čelični – 449, člankasti – 558  
 laneno ulje 99  
 lantan 77  
 lantanidi 79  
 Laplaceov operator 2  
 Laplaceova transformacija 48  
 Lavalova brzina 201  
 led 99, 216, 219, 289  
 ledeburit 344  
 ledeburitni čelik 346  
 ledišta vodenih otopina 252  
 legirani čelici 357  
 lemljeni spojevi 546  
 lemljenje 631  
 lemovi 414  
 lepanje 647  
 ležaji 576  
 ležajna ulja 603  
 ležajne slitine 413  
 lijev, sivi – 354, čelični – 384, temperovani – 356  
 lijevanje 613  
 lijevano željezo 354  
 likovi, geometrijski – 18, težišta – a 107  
 lim, čelični – 372, 433, aluminijski – 458, bakreni – 462  
 linearne jednadžbe 27, 28  
 linije, težište – a 106  
 linijska struja 267  
 linijski naponi 267  
 litar 59  
 litar – atmosfera 73  
 litij 76, 80  
 logaritamska funkcija 34  
 – temperaturna razlika 221  
 logaritamske jednadžbe 29  
 logaritamski dekrement 35  
 logaritmi 4, dekadski (Briggsovi) – 5, prirodni – 5  
 lorencij 78  
 ložišni uređaj 223  
 ložišta 202  
 loživo ulje 99, 206, 207  
 lučna mjera 60  
 lučno zavarivanje 622, 626  
 Ludolfov broj ( $\pi$ ) 2  
 luk (kružni) 19, 39  
 luks 57  
 lumen 57  
 lutecij 77

ljevenka, azbestna – 99, tvrda – 264  
 ljepljeni spojevi 546  
 ljepljenje 546, 631  
 ljevačko zavarivanje 622  
 ljuske atomske jezgre 75  
 magnet 263  
 magnetska indukcija 70, 262  
 magnetski lim 369  
 – tok 70  
 magnetsko ispitivanje 336  
 – polje 262  
 magnezij 76, 80, 112, 158, 215, 257, 261  
 magnezija 84, 159  
 magnezijske, – slitine 112, 398, – soli 91  
 magnezit 91, 471  
 makroskopski pregled 340  
 maksimum funkcije 37  
 mangan 76, 81, 158  
 manganin 98, 158, 257, 416  
 manganski oksidi 84  
 mantisa logaritma 5  
 Mariotte 162  
 martenzit 345  
 masa 63, 98, molna – 82, relativna atomska – 75  
 masene veličine 63  
 maseni broj elemenata 75  
 – protok 64, 139  
 – moment inercije 128, 129  
 maslena kiselina 94  
 masti 99, 601, 608  
 matematika 1  
 materijali 100  
 matice 550  
 matrice 25  
 maxwell 73  
 Mayer 160  
 maziva 601  
 mazut 206  
 međunarodni sustav jedinica SI 53, 54  
 međuosni razmak 562  
 međupregrijavanje pare 237  
 mega- 58  
 mehanika 98, hidro- 133  
 melaninska smola 473  
 memorije 306  
 mendelevij 78  
 Mendeljejev, periodični sistem elemenata po – u 79  
 metalografski pregledi 340  
 metan 93, 94, 163, 203  
 metanal 93, 94  
 metanol 93, 94



metanska kiselina 93, 94  
 metar 54, kvadratni – 59, kubni – 59  
 metastabilni sustav željezo-ugljik 344  
 metil 92  
 metilalkohol 93, 94  
 metilenklorid 95, 189  
 metilklorid 95, 189  
 metrički, – konus 652, – navoj 504  
 miješani plin 206  
 miješanje 167, 199  
 mješanci, kristali – 342  
 mikro- 58  
 mikron 71  
 mikroskopski pregled 340  
 mikrovalovi 288  
 mili- 58  
 milja, morska – 59  
 minimum funkcije 37  
 minuta, vremenska – 62, kutna – 60  
 Mishima – slitina 416  
 mješani poluproizvodi 468  
 mjedi (slitine) 98, 112, 158, 215, 219, 257, 401, 405, 468  
 mjera rasipanja, vidi varijanca  
 mjere 53, – veličina 59, stare – 71, anglosaske – 71  
 mjerenje električnih veličina 286  
 mjerila (crteža) 659  
 mjerila temperature, otporna – – 274, termoelektrična – – 259  
 mjerne greške (greške mjerenja) 52  
 mlazni (reaktivni) motori 249  
 mnogokuti, vidi višekuti  
 modeli, vidi kalupi  
 modificirani lijev 355  
 modifikacije 341, – željeza 343  
 modra galica 90  
 modul elastičnosti 112, 313  
 moduli zupčanika 560  
 Mohrov faktor 123  
 mol 54  
 molarnost 68  
 molekule 82  
 molibden 76, 81, 158, 268  
 Mollierov h, s – dijagram za vodenu paru 168, 170/171  
 – h, x – dijagram za vlažni zrak 198  
 molna, – entalpija 68, – entropija 68, – masa 68,  
 molne veličine 68  
 molni, – volumen 68, – toplinski kapacitet 68  
 moment, – sile 65, statički – plohe 113,

– inercije plohe 113, 116, – savijanja 114, – otpora presjeka 114, 116, – torzije 117, – zamaha 128, zakretni – 65, 126, – inercije mase 63, 128, 129  
 monel 98, 215, 409  
 monofluordiklormetan 95, 191  
 monofluortriklorometan 95, 190  
 monokloretan 95  
 monokloreten 95  
 monoklormetan 95, 163, 189, 214  
 monomeri 96  
 Moodyjeva jednadžba 142  
 Morseov konus 652  
 morska milja 59  
 – voda 59  
 motori, – s unutarnjim izgaranjem 239, elektromotori 271  
 motorna ulja 606  
 mramor 100, 216, 219, 264  
 mravlja kiselina 93, 94

nabla 2  
 nadmjere lijeva 613  
 nafta 99, 206  
 naftalen (naftalin) 95, 203  
 nalijeganja, vidi dosjedi  
 nano- 58  
 napojne pumpe 226  
 napon (el.) 69, linijski – 267, fazni – 267  
 naprezanje 65, 112, 313, tlačno – 313, dozvoljeno – 532, – tečenja 316, temperaturno – 113  
 napuštanje čelika 350  
 nasute tvari (kutovi) 100  
 natrij 76, 80, 261  
 natrijska lužina 88  
 natrijske soli 91  
 natrijski hidroksid 87, 88  
 navoji 504  
 navoji dosjedi 518  
 nečistoće 342  
 nejednadžbe 29  
 nekovine 78  
 nekovinski materijali 469  
 neodim 77  
 neodređeni integral 38  
 neon 76, 81, 159  
 nepovrativi procesi 160  
 neptunij 78  
 nerastavljivi spojevi 543  
 neutralizacijski broj 602  
 neutralna os (savij.) 114  
 neutron 75

Newtonov zakon 126, 133  
 nikal 76, 81, 158, 215, 219, 257, 261, 289, 408  
 nikal-krom 260  
 nikelin 257, 416  
 niklena bronca 404  
 niklene slitine 409  
 nikrom 260  
 Nikuradseova jednadžba 142  
 niobij 76, 81  
 nišador, vidi salmijak  
 nit (svj. jed.) 73  
 niton, vidi radon  
 nitrati 89  
 nitridi 85  
 nitrili 93  
 nitriranje čelika 352  
 nitroglicerina 95  
 nobelij 78  
 nodularni lijev 112, 355  
 normala na krivulju 37  
 normaliziranje čelika 348  
 normalna razdioba 51  
 normalni napor 112  
 normalno stanje, vidi standardno stanje  
 normni (standardni) kubni metar 73  
 nosači 105  
 novo srebro 158, 215, 257, 404  
 nukleoni 75  
 nušovanje 276  
 numerička integracija 40  
 Nusseltova teorija sličnosti 210  
 Nusseltova značajka 210

njuti 56, 57

obli navoj 528  
 obrada kovina odvajanjem čestica 632  
 obrade, posebne – 647  
 obujam, vidi volumen  
 octena kiselina 93, 94  
 određeni integral 39  
 odstupanje (str. dij.) 486, standardno – 50  
 oersted 73  
 ogrjevna moć 67, 203  
 Ohmov zakon 256  
 okretaj 62  
 okretni impuls 128  
 – moment 126  
 oksidi 84  
 oktan 94  
 oktava 290  
 olefini 93  
 olovne, – slitine 412, – soli 91

olovni, – oksidi 84, – poluproizvodi 468, – sulfid 86  
 olovo 77, 80, 98, 158, 215, 219, 257, 261, 289, 412, 468  
 om 56, 57  
 omega, – postupak (izvij.) 121  
 omjer specifičnih toplinskih kapaciteta plinova 162  
 omov otpor 256  
 omova vodljivost 256  
 opeka 100, 159, 216, 219, 289, 470  
 opruge 119, čelici za – 371  
 opterećenje, sastavljeno – 122  
 optika 288  
 organski spojevi 92  
 Orsatov aparat 204  
 osmerokut 19  
 osmij 77, 81  
 osni razmak, vidi razmak osi  
 osnovne jedinice 53  
 osovine 553  
 osovinska ulja 603  
 oštrica 633  
 otopina 97, koloidna – 97, kruta – 97  
 otopinski kristali 97, 342  
 otpor, električni – 69, 256, 266, – strujanja 141, – gibanja u fluidu 147  
 otpor, moment otpora presjeka 114, polarni – – – 117  
 otporno mjerenje temperature 259  
 – zavarivanje 621, 623  
 Ottov motor 239  
 ozubljenje 561

pad, – entalpije 227, – napona (el.) 274, – vode 154  
 pakfong 404  
 palac, vidi col  
 paladij 76, 81  
 panel-ploče 472  
 papir 99, 217, 219  
 par sila 103  
 parabola 30, 31  
 parafini 93  
 parafinsko ulje 99  
 paralelepiped 20  
 paralelogram 18  
 paralelogram sila 101  
 pare 168, 200  
 parna postrojenja 233  
 parne turbine 230  
 parni kotlovi 223  
 – strojevi 228

Pascalov zakon 134  
 paskal 57  
 Péceletova značajka 210  
 Pečornikova formula 142  
 peći, električne – 269  
 Peltonova turbina 155  
 penetracija masti 602  
 pepeljika 89, 90  
 pepeo 99  
 pera 548  
 period 125  
 periodički sustav elemenata 79  
 perlit 344  
 permaloy 416  
 permeabilitet 262  
 permendur 416  
 permutacija 22  
 peta- 58  
 peterokut 57  
 petrolej 99  
 pH-vrijednost 88  
 phot 73  
 pi ( $\pi$ ) 24  
 piže 72  
 piko- 58  
 pilasti navoji 524  
 piljenje kovina 640  
 piramida 20  
 pirometri 352  
 Pitagorin poučak 16  
 pjena, koloidna – 97  
 pješčenjak 100, 216  
 plamište ulja 602  
 plamensko rezanje kovina 625  
 plamensko zavarivanje 621, 622, 624  
 plasti 473  
 plastične tvari 316  
 platina 71, 81, 158, 215, 257, 259, 261  
 platin-rodij 259  
 plemeniti čelici 357  
 – plinovi 81  
 plinovi, gorivi – 206, idealni – 162, plemeniti – 81, realni – 162  
 plinska konstanta 162  
 plinske smjese 97, 167  
 plinske turbine 247  
 plinski generator 206  
 plinsko ulje 99, 206, 207  
 ploština 18, 39  
 ploštinska masa 63  
 ploštinske mjere 59  
 pluto 99, 217, 289  
 plutonij 78

poaz 72  
 pobjegnuće turbine 156  
 poboljšanje čelika 357  
 podtlak 65  
 pogonsko ulje 206  
 pokus, vidi ispitivanje  
 poise 72  
 Poissonov broj 112  
 Poissonova razdioba 57  
 pokretač, vidi uputnik  
 polarni moment otpora presjeka 117, 118  
 – – tromosti presjeka 113, 117  
 poliamid 473  
 polietilen 473  
 poligoni, vidi višekuti  
 polikarbonat 473  
 polimeri 96  
 polimerizacija 96, 206  
 polimorfizam 341  
 polipropilen 473  
 polistiren (polistirol) 473  
 politropa plinova 166  
 poliuretanska smola 473  
 polivinilklorid 473  
 polje, magnetsko – 262, električno – 262  
 polje, jakost polja, – – magnetskog 70, 262, – – električnog 69, 264  
 polonij 77  
 polumjer, – tromosti 113  
 poluproizvodi, oblici kovinskih -a 418  
 poluvodiči 280  
 pomak zubnog profila 562  
 porculan 99, 159, 216, 219, 264, 280  
 postavni član 297  
 postojanost alata 648  
 potaša, vidi pepeljika  
 potencijalna energija 127  
 potencijalne krivulje 30  
 potencije 3  
 potpore 104  
 pound 71  
 povrativi procesi 160  
 površina tjelesa 20  
 površinska hrapavost 500  
 – masa 63  
 – zaštita 656  
 površinske mjere 59  
 prakilogram 55  
 prametar 55  
 Prandtl-Kármánova jednadžba 141  
 Prandtllova značajka 210  
 pravac 30  
 pravi kut 60

pravokutni trokut 16  
 pravokutnik 18  
 prazeodim 77  
 pregrijač pare 224  
 pregrijana para 168  
 preljev 140  
 preoblikovanje 618  
 presjek, geometrijska karakteristika –a 113  
 pretičak zraka 202  
 pretvorbe 341, 343, točka – 343  
 prigušnice 139  
 prijelaz topline 210  
 koeficijent -a – 67, 210  
 prijenos kružnih gibanja 533  
 – topline 210  
 prijenosna funkcija 291  
 prijenosni faktor 291  
 prijenosnici topline, vidi izmjenjivači topline  
 prijenosni omjer 560, 572, 573  
 prirodna goriva 206  
 prirodni broj(e), vidi Eulerov broj  
 – kaučuk 473  
 prisnost (preklop) 494  
 pritisak, – na stijenke 134, – mlaza 153  
 prisilno titranje 132  
 prividna snaga 267  
 prividni otpor 266  
 prizma 20  
 probojna čvrstoća 264  
 procesni računar 312  
 procesor 307  
 produljenje 112, 313, 315, postotno – 112, 313, 315  
 profili, čelični – 429, 431, aluminijski – 456  
 progib 114, – užeta 106  
 programska oprema 308  
 programski jezici 308, 311  
 projekcijski poučak 17  
 prokaljivost čelika 365, 368  
 prolaz topline 220  
 koeficijent prolaza topline – 67, 220  
 prokron čelici 385  
 prometij 77  
 promjer 19  
 propan 93, 94, 207  
 propanal 93, 94  
 propanol 93, 94  
 propanon 93, 94  
 propanska kiselina 93, 94  
 propantriol 94, 159  
 propelerne turbine 155

propen 93, 94  
 propil 92  
 propilalkohol 93, 94  
 propilen 94  
 propin 93, 94  
 prosječna vrijednost 49  
 prosjek, statistički – 49  
 prosti pad 124  
 protaktinij 77  
 protočne veličine 64  
 protok, maseni – 64, 139, volumenski – 64, magnetski – 70  
 proton 75  
 protusmjerno strujanje 221  
 provrti za vijke 552  
 pumpe 148, stapne – 150, turbo- 152, napojne – 226, toplinske – 250  
 puni kut 60  
 put 124  
 puženje 320  
 pužni prijenos 574  
 – vijak 574  
 pužno kolo 575  
  
 rad (mjera) 73  
 rad 66, 126, 160  
 radij 77  
 – tromosti 113  
 radijan 57, 60  
 radikand 3  
 radio-valovi 288  
 radna sposobnost pare 227  
 radon 77  
 rashladne smjese 252  
 rashladne tvari 188  
 rashladni faktor 251  
 – stroj 251  
 rasipanje 50  
 rasplinjavanje 206  
 rastavljivi spojevi 548  
 rastezanje, mehaničko – 315, temperaturno – 157  
 rasvijetljenost 70, 270  
 rasvjeta, električna – 270  
 rasvjetni plin 206  
 ravninski kut 60  
 ravnoteža sila, statička – – 104, dinamička – – 130  
 razdioba, normalna – 51  
 razmak, osni – 562  
 razvrtavanje 638  
 reakcija mlaza 137  
 reakcija u osloncima 104, 105

reaktancija 266  
 reaktivna sila 137  
 reaktivni motori 249  
 realni fluid 133  
   – plin 162  
 redovi 22  
 redni broj elemenata 75  
 refleksija 289  
 refrigerator 250  
 regenerativno zagrijavanje napojne vode 236  
 registarska tona 71  
 regresija 52  
 regulacija 291  
 regulacijski članovi 291  
 relativna atomska masa 75  
   – dielektričnost 254  
   – učestalost 49  
   – vlažnost 193  
 relativni permeabilitet 262  
 rem 73  
 remenski prijenos 553  
 Renardovi brojevi 483  
 rendgenske zrake 288  
 renij 77, 81  
 repično ulje 99  
 rešetkasti nosači 105  
 rešetke, kristalne – 341, 343, ložišne – 223  
 retortni plin 206  
 Reynoldsova značajka 140, 210  
 rezanje kovina 619, – – plamenom 625  
 rezanje navoja 640  
 rezanje, brzina –a 649  
 rezultanta sila 101  
 ricinusovo ulje 99  
 rimske brojke 659  
 Rockwell, tvrdoća po -u 330  
 rodij 76, 81, 268  
 romb 18  
 röntgen 73  
 Roseova slitina 414  
 Rosin-Fehlingov dijagram 204  
 roštilji 223  
 rotacijsko tijelo 40  
 rubidij 76, 80  
 rutenij 76, 81  
  
 sadra (gips) 89, 90, 100  
 saharin 95  
 salicil 95  
 salicilna kiselina 95  
 salitra 89, 90, 91  
 salitrena kiselina, vidi dušična kis.

salmijak 89, 91  
 samarij 77  
 sapnice 139, 201  
 sastavljeno opterećenje 122  
 sat 62  
 savijanje 619, naprezanje na – 114,  
   moment -a 114  
 sedimentacija 97  
 sekunda, vremenska – 54, 62, kutna – 60  
 selen 76, 80  
 senzori 295  
 Shore, tvrdoća po -u 334  
 shunt 286  
 sila, – trenja 109, centrifugalna – 130,  
   reaktivna – 137, veličine – 64  
 silicij 76, 80, 280  
 silicijski dioksid 84,  
   – karbid 85, 644  
 silika 216, 471  
 silikarbon 268  
 silikon 96  
 silikonski kaučuk 473  
 silit 268  
 silumin 98, 158, 215, 257, 393  
 simens 57  
 sinterovanje 620  
 sinteza 206  
 sinus 10  
 sinusna funkcija 34  
 sinusov poučak 17  
 sirovo željezo 343  
 sisaljke, vidi pumpe  
 sistem dosjeda ISO 486  
   – željezo-ugljik 344  
 sivert 57  
 sivi lijev 98, 112, 158, 215, 219, 257, 317,  
   345, 354  
 skalar 43  
 skalarno polje 46  
 skandij 76  
 skin-efekt 266  
 skraćanje 313  
 sličnost strujanja 140  
 slitine 342  
 smična naprezanja 117  
 smik 117, modul -a 113  
 smirak 99, 644  
 Smithov dijagram 321  
 smjese 97, plinske – 167, – plinova i para 193  
 smola 99, 481  
 snaga 66, 127  
 soda 89, 91  
 soli 82, 89, kuhinjska sol 89

solna kiselina, vidi klorovodična kis.  
   – rastopina 99  
 sorbit 345  
 specifična anergija 160, – eksergija 160,  
   – električna vodljivost 256, – entalpija  
   67, 157 – entropija 67, 160, – masa, vidi  
   gustoća, – težina 64  
 specifični električni otpor 69, 256, – toplin-  
   ski kapacitet 67, 157, – volumen 63  
 spektralna analiza 338  
 spiralno svrdlo 638  
 spoj (elektr.), zvjezdasti – 258, trokutni  
   – 258  
 spojevi, nerastavljivi – 543, rastavljivi  
   – 548 utorni – 549, klinasti – 548, vijčani  
   – 550, – sa zaticima i svornjacima 549,  
   lemljeni – 546, stezni – 547, ljepljeni  
   – 546  
 spojevi, kemijski – 75, 82, 97  
 spremanje podataka 306  
 sraz 130  
 srebro 77, 81, 98, 158, 215, 219, 257, 261  
 središnja gnijezda 650  
 srednja vrijednost 26  
 stabilni sistem željezo – grafit 344  
 stabilnost 104  
 stacionarno strujanje 136, 200  
 staklena vuna 216  
 staklo 99, 159, 216, 219, 264, 289, 469  
 standardi, jugoslavenski – (JUS) 661  
 standardna divijacija 50  
 standardne duljinske mjere 484  
 standardni brojevi 483, – (normni) kubni  
   metar 74, – modul 560  
 standardno stanje 74  
 stanje, – plinova 165, – para 192, – atmos-  
   fere 135  
 stapne pumpe 150  
 stapni kompresori 245, – parni strojevi 245  
 statička čvrstoća, trajna – – 320, 539  
 statički moment plohe 113, – – sile 103  
 statika 101, – užeta 106, hidro- 133  
 statistička vjerojatnost 49  
 statistički prosjek 49  
 statistika 49  
 Stefan-Boltzmannov zakon 218  
 Steinerovo pravilo 113, 129  
 stelit 390  
 steradian 57, 61  
 stezni spojevi 547  
 stilb 73  
 stipsa (alaun) 91  
 stiro 93

stojište 343  
 stoks (stokes) 72  
 stolarske ploče 472  
 stopa (mjera) 71  
 stožac 21  
 stožasti ležaji 589, – zupčanici 572  
 strojevi, hidraulički – 148, parni – 228,  
   elementi -a 483  
 stroncij 76, 80  
 struja (el.) 69, istosmjerna – 256, izmjenič-  
   na – 266, jednofazna – 267, dozvoljena  
   trajna jakost -e 275  
 strujanje, stacionarno – 136, laminarno  
   – 136, turbulentno – 136, – plinova i pa-  
   ra 200, toplinsko – 66, svjetlosno – 70  
 stupac vode 72  
   – žive 72  
 stupanj, kutni – 60, – Celzija 66, – Fahren-  
   heita 73, Englerov – 72, – Beauméa 74  
 stupanj nejednolikosti 127  
 suha destilacija 206  
 suha para 168  
 suhi zrak 194  
 suhoća pare 168  
 sulfidi 86  
 sumpor 76, 80, 86, 159, 203  
 sumporasta kiselina 87  
 sumporna kiselina 87, 88  
 sumporni dioksid 84, 159, 163, 164, 188,  
   212, 214  
   – trioksid 84  
 sumporovodik 83  
 sumporovodična kiselina 87  
 superfiniš 647  
 suspenzije 97  
 sušenje 253, 254  
 suženje (kontrakcija) 112, 315  
 svijeća, hefnerova – 73, međunarodna – 87  
 svila 99, 217, 219  
 svjetlosna jakost 70, 270  
 svjetlosne veličine 70  
 svjetlosni tok 70, 270  
 svjetlost 288, brzina -i 62, 288  
 svornjaci 549  
 svrdlo 638  
  
 šamot 99, 216, 219, 471  
 šećer 99, 217  
 šesterokut 19  
 škrob 99, 206  
 šperploče 472  
 špirit 206  
 štrcaljka 148

talij 77, 80  
 tangencijalno naprezanje 112  
 tangens 10, 34  
 tangenta 37  
 tantal 77, 81  
 Taylorovi redovi 23  
 tehnećij 76, 81  
 tehnička granica elastičnosti 313  
 tehnički rad 160  
 tehničko pismo (tisak) 658  
 – željezo 343  
 tehnologija 613  
 teks 63  
 telur 77, 80  
 temperatura 66, – inverzije 192,  
 – izgaranja 205  
 temperaturna naprezanja 114  
 temperaturni koeficijent rastezanja 67, 157  
 temperovani lijev 356  
 teorija sličnosti 210  
 tera- 58  
 terbij 77  
 termalno kaljenje 350  
 termodinamika 160  
 termoelementi 352  
 termometri 352  
 termonaponi 259  
 termoplasti 473, 476  
 terpentinsko ulje 99, 159  
 tesla 57  
 tetiva 19  
 Tetmajerove jednadžbe 121  
 tetragonalna rešetka 341  
 tetraklormetan 95  
 težina 64, 98, specifična – 64  
 težišta 106  
 Thomson 160  
 Thomsonova jednadžba 161  
 tijela, geometrijska – 18, 20, 108  
 tinjac 99, 264  
 tiristor 285  
 tiskarske slitine 412  
 titan 76, 84, 417  
 titanske slitine 417  
 titrajno dinamičko opterećenje 321  
 titranje 131, prigušeno – 35, 131, harmo-  
 ničko – 125, prisilno – 132  
 tlačno naprezanje 313  
 tlačna visina 136  
 tlačno ispitivanje 317  
 tlak 65, 114, standardni atmosferski – 65,  
 hidrostatski – 133  
 tlo 216

točkasto zavarivanje 621  
 tok, toplinski – 66, svjetlosni – 70  
 tokarenje 643  
 tolerancija, redovi – 487, polje -e 486  
 tolerancije, – dosjeda 494, – mjera 486,  
 – mjerila 492, – metričkih navoja 510,  
 – zupčanih parova 563  
 toluol 93  
 tona 63, registarska – 71  
 tonska skala 290  
 toplane 237  
 toplina 66, 157, 160, – izgaranja 67, 203,  
 Jouleova – 268  
 toplinska obrada čelika 348  
 – vodljivost 67, 210  
 toplinske pumpe 250  
 – veličine 66  
 toplinski kapacitet, specifični – – 67, 157,  
 molni – – 68  
 – prijelaz 67, 210  
 – prolaz 67, 220  
 – tok 66  
 toplinsko zračenje 218  
 torr (stupac žive) 72  
 torij 77  
 Torricellijeva jednadžba 138  
 torzija (sukanje) 117, 118, moment -e 117  
 torzijska naprezanja 117  
 tovarne mjere željezničkih vozila 660  
 tračnice, željezničke – 432  
 trajna čvrstoća 320  
 transcendentne jednadžbe 29  
 transformator (el.) 267  
 transformatorsko ulje 214, 264  
 transurani 78  
 tranzistor 284  
 trapez 18  
 trapezna jednadžba 40  
 trapezni navoji 520  
 trenje 109, sila -a 109, koeficijent -a 109,  
 – valjanja 127, – kolutno 111  
 treset 99  
 trifluormonobrommetan 191  
 trifluormonoklormetan 190  
 trigonometrijske funkcije 10  
 – jednadžbe 29  
 triklorometan 95  
 trofazni sistem 267  
 trohoida 32  
 trojna točka vode 66  
 trokut 16, 18, 19  
 tromost, sila -i 126, moment -i mase 63,

128, 129, moment -i plohe 113, radij -i  
 113  
 troostit, vidi trustit  
 trotil 95  
 trustit 345  
 TTT – dijagram 345  
 tulij 77  
 tungsten, vidi volfram  
 turbine, vodne – 154, parne – 230, plinske  
 – 247  
 turbinska ulja 605  
 turbokompresori 246  
 turbopumpe 152  
 turbulentno strujanje 136  
 tvori 75, pregled – 97  
 tvrdi (bijeli) lijev 355  
 tvrdi metali, karbidni – – 390  
 tvrdoća, ispitivanje -e 322, – po Brinellu  
 322, – po Vickersu 326, – po Rockwellu  
 330, – plastenih tvori 334  
 ubrzanje (akceleracija) 62, 124, zemaljsko  
 – (g) 62, 98, kutno – 62, 125  
 učestalost 50  
 udarna žilavost 319  
 ugljen 99, 206, 207, 208, 217  
 ugljičenje čelika 351  
 ugljična kiselina 87  
 ugljični čelici 357, 379  
 – dioksid 84, 159, 163, 164, 188, 212  
 – monoksid 84, 159, 163, 164, 203, 207  
 ugljik 76, 80, 85, 203  
 ugljikova skupina elemenata 80  
 ugljikovodici 92  
 ukočeno drvo, vidi vezano drvo  
 ulje, pogonsko – 206, zemno – 206, plinsko  
 – 206, – za loženje 206, 207, – za maza-  
 nje 214, 604, transformatorsko – 214,  
 264, – za obradu 607  
 ultrazvučna obrada 647  
 ultrazvuk 289  
 umjetna goriva 206  
 unakrsno strujanje 221  
 unutarnja energija 160  
 upojna visina pumpi 149  
 upravljanje 291  
 uputnik 277  
 uran 77  
 uranidi, vidi transurani  
 usporenje, vidi retardacija  
 utiskivanje 619  
 utori spojevi 549  
 uzemljenje 276

uzgon 134  
 užad, statika -i 106, čelična – 443, bakrena  
 – 464  
 vakuum, vidi podtlak  
 vakuumirane cijevi 280  
 valencija 80  
 valovanje, elektromagnetsko – 288  
 valjak 20  
 valjanje (valjno trenje) 111  
 valjanje 618  
 valjkasti ležaji 581  
 valjni ležaji 577  
 vanadij 76, 81  
 vapnenac 89, 90, 99, 100, 216  
 vapno 84, 87, 88, 99, – gašeno 88  
 varijacija 22  
 varijanca 50  
 vat 56, 57  
 vatni učin 267  
 vazelin 608  
 vazelinska ulja 607  
 veber 57  
 vektori 43  
 vektorsko polje 46  
 veličine 53, vremenske – 62, energetske  
 – 66, električne – 69, geometrijske – 59,  
 svjetlosne – 70, toplinske – 66, masene  
 – 63, – sile 64, protočne – 64, molne  
 – 68, – zračenja 68  
 veličinske jednadžbe 53  
 ventilatori 153  
 ventili (el.), poluprovodnički – 280  
 ventilni čelici 377  
 Venturijeva sapnica 139  
 vezano drvo 472  
 veze, kemijske – 82  
 Vicat, ispitivanje po -u 335  
 Vickers, tvrdoća po -u 326  
 vidna svjetlost 288  
 vijci 550  
 vijčani spojevi 550  
 vijčani zupčnici 573  
 vinil 93  
 vinilklorid 95  
 viskoznost 65, 133, 602  
 višekuti 18, pravilni – 19  
 višestruki integral 41  
 vitkost 120  
 vjerojatnost, statistička – 49  
 vlačna čvrstoća 315  
 vlačni pokus 314  
 vlak 114

vlaknasti plasti 482  
 vlaknatice 472  
 vlastita frekvencija 131  
 vlastito titranje 131  
 vlaženje zraka 199  
 vlažni zrak 193, 194, 195  
 vlažnost 193  
 voda 83, 99, 159, 164, 175/187, 214, 257, 289  
 vodena para 213, zasićena -- 172, pregri-  
 jana -- 168, 175  
 vodeni plin 206  
 vodič električne struje 265  
 vodični peroksid 83  
 vodik 76, 80, 83, 159, 163, 164, 203, 207, 212, 261  
 vodljivost, električna -- 69, 259, toplinska -- 67, 210  
 vodna snaga 154  
 vodne turbine 154  
 vodovi, električni -- 274  
 volfram 77, 81, 158, 215, 257  
 volframovi oksidi 84  
 volt 56, 57  
 volumen 59, -- tjelesa 20, specifični -- 63, molni -- 68  
 volumenska masa 63  
 volumenske mjere 63  
 volumenski protok 64, 139  
 vosak 99  
 vremenska statička čvrstoća 320, 539  
 vremenske, -- mjere 62, -- veličine 62  
 vremenski odziv 292  
 vretenska ulja 603  
 vrijednost, prosječna -- 49, pH- -- 88  
 vrijeme 62  
 vučenje 619  
 vuna 99, 217, troščana -- 216  
 Whitworthov profil cijevnog navoja 519  
 Widia 390  
 Wöhlerova krivulja 321  
 Woodova slitina 414  
 yard 71  
 zagrijač (parni kotl.) 224  
 zahvat (zupč.) 565

zakovice 543  
 zakovični spojevi 543  
 zamašni moment 128  
 zamašnjak 127  
 zapremina, vidi volumen  
 zasićena para 168  
 zaštita električnih instalacija 275  
 zaticij 549  
 zavari 544  
 zavarivanje 621, -- taljenjem 622  
 zelena galica 90  
 zemaljsko ubrzanje 62  
 Zemlja (planet) 99  
 zemlja (tlo) 99  
 zemni plin 206  
 zemno ulje 206  
 zemno-alkalijske kovine 80  
 zid 100, 216  
 zlato 77, 81, 98, 158, 215, 219, 261  
 zračenje 288, toplinsko -- 218  
 zračni plin 206  
 zrak 163, 164, 167, 169, 212, vlažni -- 193, 195  
 zrake 288, gama -- 288  
 zupčani prijenos 560  
 zupčanici (parovi) 561, 574  
 zvučna brzina 201, 289  
 zvučni tlak 290  
 zvuk 289  
 žarenje čelika 348  
 žbuka 100, zidna -- 216  
 željezne slitine 343  
 -- soli 90  
 željezni karbid 85  
 -- oksidi 84  
 željeznička kola (mjere) 660  
 željezo 76, 84, 158, 215, 257, 261, 289, 343  
 žica, čelična -- 442, aluminijska -- 451, ba-  
 krena -- 463  
 žice za zavarivanje plamenom 624  
 žilave tvari 316  
 žilavost, udarna -- 319  
 živa 77, 81, 159, 214, 257, 261, 289  
 živin ventil 280  
 živo (prženo) vapno 84

Znak: 8806 P

*Izdanje*

STROJARSKI PRIRUČNIK  
 Deveto prerađeno i popunjeno  
 hrvatsko ili srpsko izdanje

*Autor*

Univ. prof. u m.  
 dipl. ing. BOJAN KRAUT  
 zaslužni profesor Fakultete za strojništvo  
 Univerze Edvarda Kardelja u Ljubljani,  
 počasni doktor Univerze u Mariboru

*Preveo sa slovenskoga*

Dipl. ing. MIROSLAV PEČORNIK  
 umirovljeni profesor Tehničkog fakulteta  
 Sveučilišta Vladimir Bakarić u Rijeci

*Izdavač*

IRO TEHNIČKA KNJIGA  
 OOUR IZDAVAČKA DJELATNOST  
 Zagreb, Jurišićeva 10

*Za izdavača odgovara*

Ing. ZVONIMIR VISTRIČKA

*Urednik izdanja*

Ing. SREĆKO ŠOŠTARIĆ

*Naklada*

20 000 primjeraka

*Tisak*

Tiskarna Ljudske pravice u Ljubljani  
 Tisak dovršen u lipnju 1988.

© B. Kraut, 1954  
 YU ISBN 86-7059-063-8