

**Kemijsko tehnološki fakultet
Sveučilište u Splitu**

SKRIPTA IZ OSNOVA STROJARSTVA

**Željko Domazet
Lovre Krstulović-Opara**

SPLIT, srpanj 2006.

Predgovor

Skripta OSNOVE STROJARSTVA namijenjen je studentima Kemijsko tehnološkog fakulteta kojima se nastavni program ne temelji na studiju strojarstva. Osnovna ideja pri sastavljanju bila je izraditi sažet pregled osnovnih sastavnica strojarstva, pa su tako prikazani principi tehničkog crtanja, kao temeljnog i najčešćeg načina tehničkog komuniciranja, materijali u strojogradnji, svi važniji elementi strojeva te elementi koji se susreću u kemijskoj i prehrambenoj industriji. Kako se ne bi radilo o enciklopedijskom nabranju i opisivanju pojmova i cjelina, opisana je i veza među njima. Naslovi, poglavlja i potpoglavlja nose numeričke oznake iz kojih se razabire o kojoj se razini radi. Zbog usklađenosti s programom studija, niz važnih cjelina iz područja strojarstva nisu obrađene (statika, kinematika, dinamika, mehanika fluida, termodinamika, mehanizmi, vibracije, tehnologije obrade metala, procesno inženjerstvo i dr.). Jednadžbe, slike i tabele numerirane su s tri brojčane oznake od kojih se prve dvije odnose na poglavlje i podpoglavlje, a treća na redni broj slike, tabele ili jednadžbe. U skripti se koriste hrvatske norme (HRN) usklađene s DIN, ISO i Euro normama. Kako se radi o prvom izdanju, autori unaprijed zahvaljuju svima na ukazanim propustima i primjedbama za poboljšanje.

Kako je skripta predviđena za učitavanje s Interneta, svako umnažanje, distribucija i prodaja predstavljaju povredu autorskih prava. Skripta je namijenjena isključivo studentima Kemijsko tehnološkog fakulteta sveučilišta u Splitu, koji imaju pravo prebacivanja i ispisa u cilju praćenja i polaganja gradiva obuhvaćenog predmetima Osnove strojarstva i Osnove strojarstva – stručni studij. Obzirom da Internet izdanje skripte omogućava jednostavne ispravke, promjene i dopune, od studenata se očekuje da ispit pripremaju prema posljednjem dostupnom Internet izdanju skripte.

Autori

SADRŽAJ

1. Uvod.....	5
1.1 Standardi i standardni brojevi	5
1.1.1 Standardi.....	5
1.1.2 Standardni brojevi	6
2. Tehničko crtanje	8
2.1 Crteži	8
2.1.1 Vrste crteža.....	8
2.1.2 Formati crteža.....	8
2.1.3 Zaglavlje i sastavnica	11
2.1.4 Izmjene	12
2.1.5 Pozicijski brojevi.....	12
2.1.6 Mjerila	13
2.1.7 Tehničko pismo	13
2.2 Vrste crta i njihova primjena.....	16
2.3 Crtanje	20
2.3.1 Aksonometrijska projekcija.....	20
2.3.2 Perspektiva	22
2.3.3 Ortogonalno projiciranje	23
2.3.4 Pogledi, presjeci i šrafure	26
2.3.5 Kotiranje.....	33
2.4 Klasifikacija hrapavosti industrijskih proizvoda.....	41
2.5 Tolerancije.....	50
2.5.1 ISO tolerancijski sustav.....	53
2.5.2 Sustavi dosjeda.....	56
2.5.3 Propisivanje tolerancije uzdužnih mjera, kutova, ekscentričnosti paralelnost i okomitosti.....	57
2.5.4 Tolerancije oblika i položaja	61
2.6 Tehničko crtanje pomoću računala	73
3. Osnovni pojmovi iz čvrstoće materijala i dimenzioniranja.....	79
3.1 Osnovni pojmovi iz čvrstoće materijala.....	79
3.1.1 Naprezanje.....	79
3.1.2 Deformacija	81
3.1.3 Hookeov zakon.....	82
3.2 Dimenzioniranje	83
3.2.1 Statičke i dinamičke konstante materijala te lom materijala.....	83
4. Materijali u strojogradnji.....	88
4.1 Željezo i željezne slitine - čelici	88
4.1.1 Čelik i čelični lijev	88
4.1.2 Lijevano željezo	90
4.1.3 Toplinska obrada	91
4.2 Obojeni metali	93
4.2.1 Bakar i bakrene slitine.....	93
4.2.2 Aluminij i aluminijeve slitine.....	94
4.2.3 Sinter metali	96
4.3 Nemetali	96

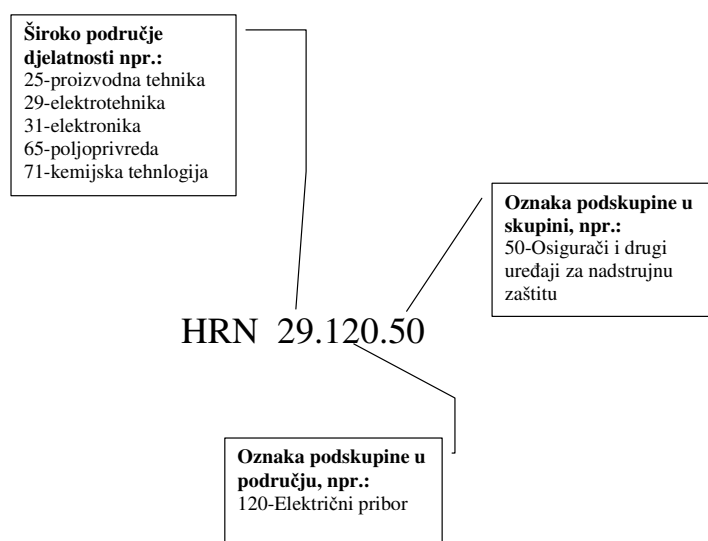
5. Elementi strojeva.....	98
5.1 Vijčani spojevi.....	98
5.1.1 Sile i momenti na vijku te pojam samokočnosti	105
5.1.2 Materijali za vijke.....	107
5.2 Opruge.....	109
5.2.1 Karakteristika i rad opruge.....	109
5.2.2 Cilindrične tlačne i vlačne opruge.....	110
5.2.3 Zavojne fleksijske opruge	111
5.2.4 Lisnate opruge	112
5.2.5 Tanjuraste opruge.....	112
5.2.6 Ravne torzijske opruge.....	113
5.2.7 Materijali za izradu opruga	114
5.3 Zavareni spojevi	115
5.3.1 Označavanje zavara na crtežima	119
5.4 Elementi okretnog gibanja	122
5.4.1 Osovine i vratila	122
5.4.2 Spajanje okretnih dijelova s osovinama i vratilima	125
5.4.3 Spojke.....	137
5.4.4 Ležaji.....	147
5.5 Elementi za prijenos okretnog gibanja	157
5.5.1 Tarni prijenosnici	159
5.5.2 Zupčanici	161
5.5.3 Remenski prijenos.....	167
5.5.4 Lančani prijenos	174
6. Elementi strojeva u kemijskoj tehnologiji.....	177
6.1 Elementi za transport cijevima	177
6.1.1 Cijevi	177
6.1.2 Fazonski cijevni dijelovi	178
6.1.3 Cijevni spojevi.....	179
6.1.4 Elementi za kompenzaciju temperaturnih dilatacija	182
6.1.5 Elementi za oslanjanje cijevi.....	184
6.1.6 Armature (zapori, sigurnosni i regulacijski elementi).....	185
6.2 Posude	194

1.Uvod

1.1 Standardi i standardni brojevi

1.1.1 Standardi

Standardi (norme) su propisi s kojima se određuje izvedba i kvaliteta proizvoda i materijala, propisuje postupak ispitivanja, kontrole, nazivlja, oznaka, mjera i preuzimanja. Propisuje se tehničko pismo, izgled tehničkog crteža i dr. Sve države članice Međunarodne organizacije za standardizaciju (ISO – International Standard Organisation) obavezale su se pridržavanju odredbi *Međunarodnog standarda* (ISO-a). U Republici Hrvatskoj na snazi je HRN (Hrvatska norma) koja je velikim dijelom nastala preuzimanjem iz JUS-a (Jugoslavenski standard) i DIN-a (Njemački standard), te je dalje nadograđivana usvajanjem novih standarda poput EN-a (Euro norme). Primjenom standarda omogućava se jednoznačna izvedba proizvoda i zamjenjivost dijelova (kompatibilnost) te smanjenje asortimana materijala, poluproizvoda, gotovih proizvoda, alata, alatnih strojeva. Standardima se omogućava masovnija, a samim time jeftinija i kvalitetnija proizvodnja i konstruiranje. Slikom 1.1.1 opisan je način označavanja standarda prema hrvatskoj normi. Prva dvoznamenkasta skupina brojeva označava široko područje djelatnosti poput tehnike cestovnih vozila, elektrotehnike, kemijske tehnologije i sl. (tablica 1.1.1). Druga troznamenkasta oznaka označava podskupinu u području, npr. za slučaj "71 kemijske tehnologije", tablica 1.1.2 prikazuje podskupine u području. Treća dvoznamenkasta oznaka označava podskupinu u samoj skupini (sl. 1.1.1). Svi ovi podaci dostupni su na Internet stranicama Državnog zavoda za normizaciju i mjeriteljstvo (<http://www.dznm.hr/>).



Slika 1.1.1 Primjer označavanja propisanog standarda prema hrvatskoj normi

01 OPĆI POJMOVI, NAZIVLJE, NORMIZACIJA, DOKUMENTACIJA
03 SOCIOLOGIJA, USLUGE, USTROJSTVO PODUZEĆA I UPRAVLJANJE PODUZEĆEM, UPRAVA, PRIJEVOZ
07 MATEMATIKA, PRIRODNE ZNANOSTI
11 ZDRAVSTVENA SKRB
13 ZAŠTITA ZDRAVLJA I OKOLIŠA, SIGURNOST
17 METROLOGIJA I MJERENJE, FIZIKALNE POJAVE
19 ISPITIVANJA
21 MEHANIČKI SUSTAVI I SASTAVNICE ZA OPĆU UPORABU
23 FLUIDIČKI SUSTAVI I SASTAVNICE ZA OPĆU UPORABU
25 PROIZVODNA TEHNIKA
27 TEHNIKA PRIJENOSA ENERGIJE I TOPLINE
29 ELEKTROTEHNIKA
31 ELEKTRONIKA
33 TELEKOMUNIKACIJE, AUDIOTEHNIKA I VIDEOTEHNIKA
35 INFORMACIJSKA TEHNIKA, UREDSKI STROJEVI
37 SLIKOVNA TEHNIKA
39 PRECIZNA MEHANIKA, NAKIT
43 TEHNIKA CESTOVNIH VOZILA
45 ŽELJEZNIČKA TEHNIKA
47 BRODOGRADNJA I POMORSKE KONSTRUKCIJE
49 ZRAKOPLOVNA I SVEMIROPLOVNA TEHNIKA
53 OPREMA ZA RUKOVANJE GRADIVIMA
55 PAKIRANJE I RASPAČAVANJE ROBA
59 TEKSTILNA I KOŽNA TEHNOLOGIJA
61 ODJEVNA INDUSTRIJA
65 POLJOPRIVREDA
67 PREHRAMBENA TEHNOLOGIJA
71 KEMIJSKA TEHNOLOGIJA
73 RUDARSTVO I RUDE
75 NAFTNA TEHNOLOGIJA I SRODNE TEHNOLOGIJE
77 METALURGIJA
79 DRVNA TEHNOLOGIJA
81 INDUSTRIJA STAKLA I KERAMIKE
83 INDUSTRIJA GUME I PLASTIKE
85 PAPIRNA TEHNOLOGIJA
87 INDUSTRIJA BOJA
91 GRAĐEVNA GRADIVA I GRADNJA
93 NISKOGRADNJA
95 VOJNA TEHNIKA
97 OPREMA ZA KUĆANSTVO I TRGOVINE, ZABAVA, ŠPORT

Tablica 1.1.1 Široko područje djelatnosti prema HRN

71 KEMIJSKA TEHNOLOGIJA

71.020 Proizvodnja u kemijskoj industriji
 71.040 Analitička kemija
 71.080 Organske kemikalije
 71.100 Proizvodi kemijske industrije
 71.120 Oprema za kemijsku industriju

Tablica 1.1.2 Podskupina u području kemijske tehnologije

1.2.2 Standardni brojevi

Standardnim brojevima omogućava se svođenje beskonačnog broja mogućih veličina na konačni broj veličina.

Za standardne brojeve odabrani su zaokruženi članovi geometrijskog reda brojeva koji započinje brojem jedan ($a_0 = 1$), uz faktor porasta $q = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$. Takav red koji sadrži 40 različitih brojeva označava se sa R40. Ostali redovi, R20, R10 i R5 izvode se iz reda R40 odbacivanjem svakog drugog člana višeg reda. Faktor porasta reda R20 je $q = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$, faktor porasta reda R10 je $q = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$ i faktor porasta reda R5 je $q = \sqrt[5]{10} \approx 1.6$. Ovi redovi nazivaju se osnovnim redovima, a prikazani su tablicom 1.2.3. Uz navedene, standard omogućava i upotrebu reda R80.

Poželjno je da sve nazivne mjere budu standardni brojevi poput:

- nominalnih (nazivnih) veličina: tlak, snaga, promjeri
- za veličine i mjere pri stvaranju nizova (tipizacija): snage motora, nosivost dizalica, broj okretaja i sl.
- za sklopne i položajne mjere dijelova: priključne mjere cijevi, sklopne mjere spojki, visinske mjere kota ležajeva i sl.
- za promjere i dijelove stroja
- za sve ostale veličine i mjere: duljine, širine, debljine, dubine, prelazne polumjere i dr.

Standardni brojevi osnovnih redova			
R 5	R 10	R 20	R 40
1,00	1,00	1,00	1,00 1,06 1,12 1,18 1,25 1,32 1,40 1,50
1,60	1,60 2,00	1,60 1,80 2,00 2,24	1,60 1,70 1,80 1,90 2,00 2,12 2,24 2,36
2,50	2,50 3,15	2,50 2,80 3,15 3,55	2,50 2,63 2,80 3,00 3,15 3,35 3,55 3,75
4,00	4,00 5,00	4,00 4,50 5,00 5,60	4,00 4,25 4,50 4,75 5,00 5,30 5,60 6,00
6,30	6,30 8,00	6,30 7,10 8,00 9,00	6,30 6,70 7,10 7,50 8,00 8,50 9,00 9,50

Tablica 1.1.3 Standardni brojevi

Literatura:

V. Hrgešić i J. Baldani, "*Mehaničke Konstrukcije*", Sveučilište u Zagrebu - Elektrotehnički Fakultet, Zagreb, 1990.

2. Tehničko crtanje

2.1 Crteži

Crtež je osnovni način komuniciranja među ljudima, sve od pećinskih crteža pa do televizora i računala. Radi međusobnog razumijevanja u cijelom svijetu, u tehnici se koriste tehnički crteži. Tehnički crteži su po namjeni i načinu izrade propisani standardom:

2.1.1 Vrste crteža

Crteže se po *namjeni* dijeli na:

- ponudbeni crtež - tehnička dokumentacija koja se prilaže uz pismenu ponudu
- radionički crtež - služi za izradu predmeta
- sastavni crtež – prikazuje sastav cijelog stroja ili nekog sklopa
- instalacijski crtež – prikazuje razvod cijevnih ili električnih vodova
- montažni crtež – za sastavljanje i postavljanje strojnog uređaja na mjestu upotrebe
- situacijski crtež – daje međusobni položaj zgrade ili objekta na određenom prostoru
- patentni crtež – prilog dokumentaciji kod prijave patenta
- shematski crtež – pojednostavljeni crtež gdje se simbolima i oznakama prikazuju bitni elementi
- dijagrami – crtež koji grafički prikazuje funkcijsku vezu različitih veličina
- nomogram - crtež iz kojeg se direktno očitava rezultat bez računanja jednadžbi

Po *načinu izrade* kod crteža se razlikuje:

- original
- kopija
- skica

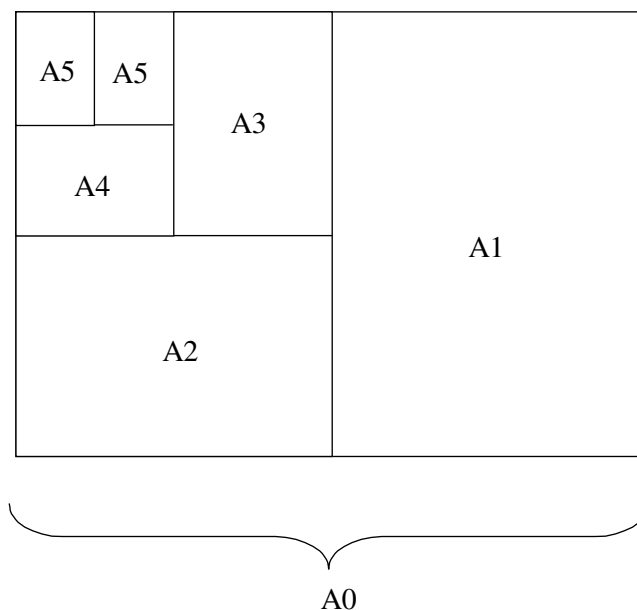
Kod izrade na računalu nema razlike u originalu i kopiji te se isti numeriraju.

Po *načinu crtanja* crteža razlikuje se:

- ortogonalni crtež: osnovni način tehničkog crtanja, omogućava dvodimenzionalno prikazivanje trodimenzionalnih predmeta
- aksonometrijski crtež: trodimenzionalno prikazivanje predmeta

2.1.2 Formati crteža

Sve veličine crteža su standardizirane formatom reda "A". Osnovni format A0 ima površinu 1m^2 , a stranice se odnose $1:\sqrt{2}$, tj. $841:1189\text{ mm}$. Manji formati dobivaju se raspolavljanjem (po većoj stranici) većeg formata (sl. 2.1.1)

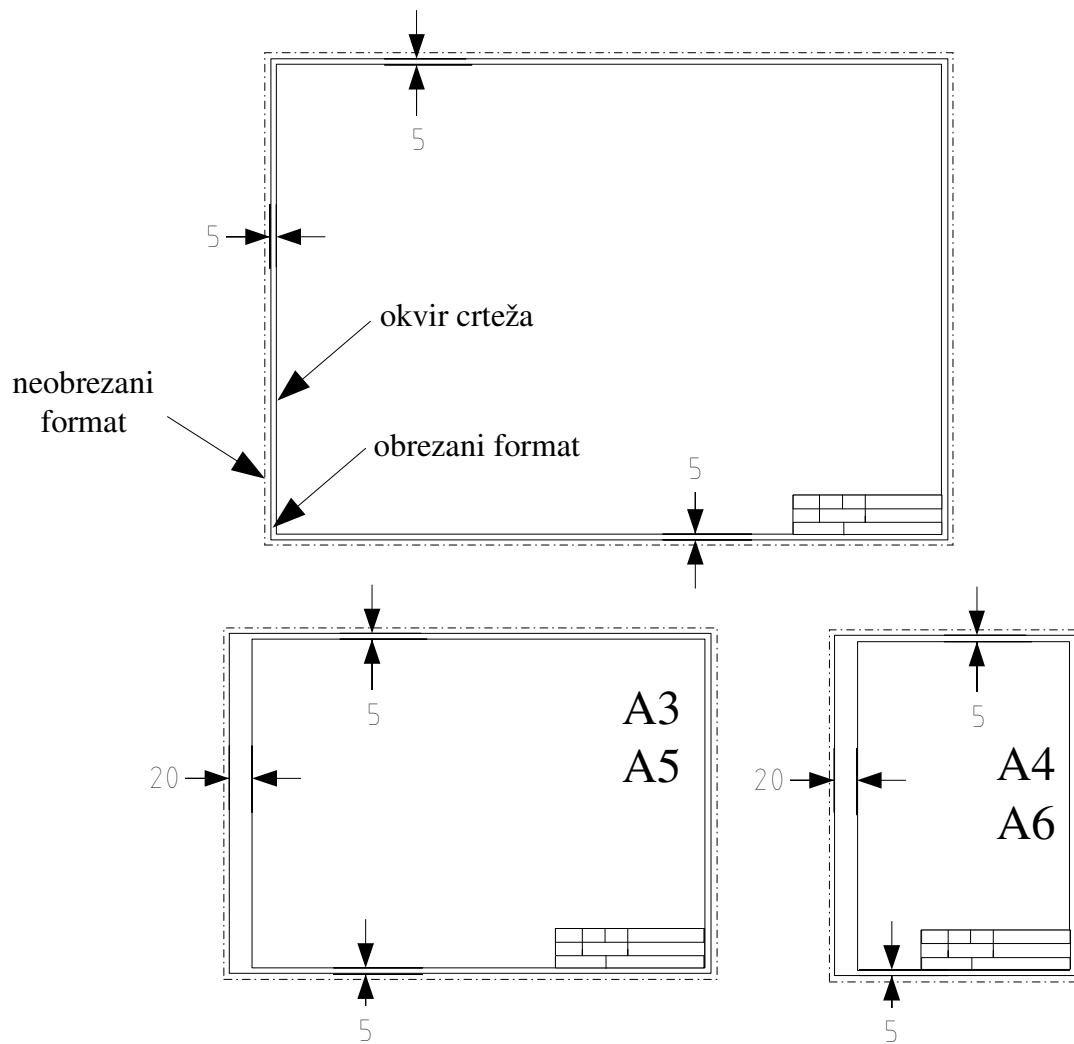


Slika 2.1.1 Dobivanje svih standardnih formata podjelom formata A0

Kod svih formata okvir crteža ucrtan je 5 mm od ruba *obrezanog* crteža (sl. 2.1.2). Kod formata A3, A4, A5 i A6, okvir crteža je zbog uvezivanja udaljen 20 mm od lijevog ruba obrezanog crteža. Svi formati osim A4 i A6 postavljeni su tako da im je duža stranica u horizontali.

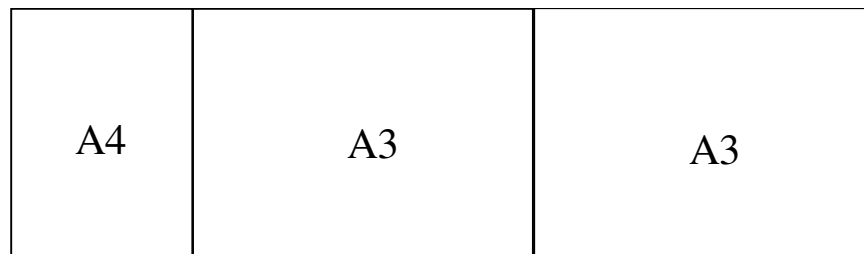
Oznaka	Obrezani format	Neobrezani format	Okvir crteža	m ²
A0	841x1189	880x1230	831x1179	1
A1	594x841	625x880	584x831	1/2
A2	420x594	450x625	410x584	1/4
A3	297x420	330x450	287x395	1/8
A4	210x297	240x330	185x280	1/16
A5	148x210	165x240	138x185	1/32
A6	105x148	120x165	80x138	1/64

Tablica 2.1.1 Formati crteža



Slika 2.1.2 Okvir crteža i rubovi formata

Kod crtanja predmeta s velikim odnosom duljine prema širini koriste se produženi formati sastavljeni iz jednakih ili susjednih formata (sl. 2.1.3).



Slika 2.1.3 Produženi format

2.1.3 Zaglavlje i sastavnica

Svaki crtež mora u donjem desnom kutu imati zaglavlje koje služi za upisivanje osnovnih podataka potrebnih za identifikaciju i promjenu crteža (sl. 2.1.4).

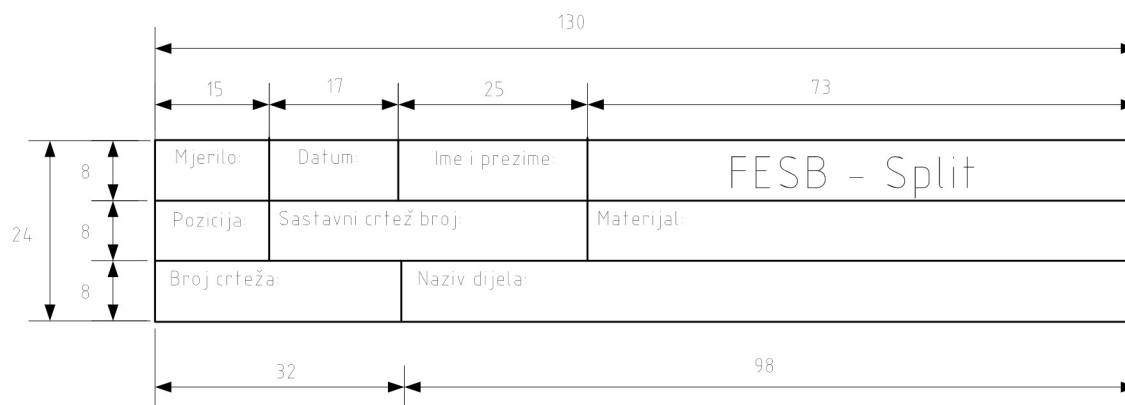
Zaglavlje mora sadržavati slijedeće podatke:

- naziv predmeta
- broj crteža
- naziv poduzeća ili ustanove
- mjerilo
- imena i popise osoba odgovornih za sadržaj crteža
- usklađenost podataka sa standardom

Zaglavlje radioničkog crteža, uz prethodno navedene podatke, dodatno mora sadržavati i:

- oznake materijala
- pozicijski broj
- težinu
- dimenzije sa dodatkom za obradu
- rubriku u kojoj se unosi broj sklopnog crteža kojemu crtež pripada

Sastavnica je sastavni dio tehničke dokumentacije crteža. Smještena je na crtežu ili odvojeno. Kada je smještena na crtežu crta se skupa sa zaglavljem. U sastavnicu se upisuju svi dijelovi prikazanog predmeta u cilju pravilnog korištenja crteža. Sastavnica se ispisiuje odozdo prema gore (sl. 2.1.5, npr. Poz. 1 Matica M 30, Poz. 2 Vijak M 16x60, Poz. 3 "Imbus" vijak M 16, ...).



Slika 2.1.4 Zaglavlje radioničkog crteža

10	80	10	30	40	
6	3	"Imbus" vijak M 16	1	Č. 0245	HRN 71.020
6	2	Vijak M 16x60	1	Č. 0245	HRN 71.020
6	1	Matica M 30	2	Č. 0245	HRN 71.020
8	Poz.	Naziv dijela	kom.	Materijal	Opaska
15	God. 02/03	Grupa N	Osnove meh. konstr.	FESB - Split	
20	Datum	Potpis	Ime i prezime		Program:
20	Crtao		Indeks br.		
20	Pregledao				
20	Ocjena				
20	Mjerilo	20	30	Naziv	
10				Nacrt br.	
10				Komada nacrt	
15	125	30			

Slika 2.1.5 Dimenzije zaglavlja i sastavnice

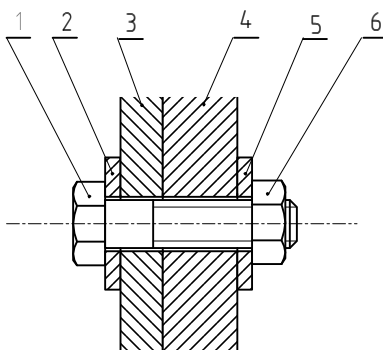
2.1.4 Izmjene

Izmjene ili dopune koje se vrše na crtežu unose se u tablicu koja sadrži:

- opis izmjene
- datum izmjene
- potpis odgovorne osobe

2.1.5 Pozicijski brojevi

Pozicijski brojevi odgovaraju oznakama u sastavnici (Poz.), razmještaju se logičnim redom u cilju lakšeg razumijevanja crteža. Ispisuju se oznakama dva puta većim od kotnih oznaka. Podcrtavaju se s kratkom debelom crtom te tankom crtom koja povezuje debelu crtu i dio na koji se oznaka odnosi. Na kraju tanke pokazne crte stavlja se točka. Pokazne crte ne smiju se međusobno sjeći te treba izbjegavati njihovo sječenje sa kotnim crtama. Pozicijski brojevi unose se u onoj projekciji u kojoj je dio najjasnije prikazan (sl. 2.1.6).



Slika 2.1.6 Pozicijski brojevi

2.1.6 Mjerila

Predmet na crtežu prikazuje se u mjerilu. Mjerilo daje razmjer nacrtane veličine prema prirodnoj veličini i propisano je standardom (tablica 2.1.2). Ukoliko je moguće, najprije se koristi mjerilo M1:1. Sve projekcije istog predmeta koje tvore cjelinu crtaju se u istom mjerilu, osim ukoliko crtež sadrži detalje koji se mogu crtati različitim mjerilom. Mjerilo koje prevladava po važnosti je glavno mjerilo i piše se povećanim slovima u zaglavlju. Sva ostala mjerila upisuju se ispod glavnog manjim slovima te se također upisuju pokraj crteža detalja. Za dijelove crteža koji nemaju navedeno mjerilo vrijedi glavno mjerilo.

prirodna veličina			1:1	
umanjenje	(1:2)	1:2,5 1:20 1:200	1:5 1:50 1:500	1:10 1:100 1:1000
uvećanje		2:1	5:1	10:1

Tablica 2.1.2 Mjerila

2.1.7 Tehničko pismo

Pod tehničkim pismom podrazumijeva se standardizirano prikazivanje slova, brojki i znakova koje se koristi za opisivanje tehničkih crteža i poprate dokumentacije čime se osigurava čitkost, pogodnost za snimanje mikrofilmom, fotografiranje ili skeniranje. Postoji koso (pod kutom od 75°) i uspravno pismo. Koso pismo nastalo je kako bi se olakšalo pisanje slobodnom rukom, dok se danas, radi upotrebe šablona i mogućnosti snimanja preporučuje uspravno pismo. Osnovne značajke slova su visina slova h (standardne veličine prikazane tablicom 2.1.3) te širina slova d (sl. 2.1.7). Uz to standardom definirana je i visina malih slova c , najmanji razmak između slova/brojki a , te najmanji razmak između riječi e (tablica 2.1.4).

Nazivna visina slova h [mm]						
2,5	3,5	5	7	10	14	20

Tablica 2.1.3 Standardne visine slova u tehničkom pismu



Slika 2.1.7 Osnovne značajke tehničkog pisma

Odabrana visina slova ovisi o veličini formata papira (tablica 2.1.5) te namjeni, izgledu i prostoru crtanja. Obzirom na omjer širine crta i visine slova, razlikujemo dva tipa slova. *Tip A* karakterizira odnos $d/h=1/14$, dok *tip B* karakterizira odnos $d/h=1/10$.

Značajke tipa A	Odnos	Mjere u [mm]						
visina h	$(14/14)h$	2,5	3,5	5	7	10	14	20
visina c	$(10/14)h$	-	2,5	3,5	5	7	10	14
razmak a	$(2/14)h$	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8
razmak b	$(20/14)h$	3,5	5	7	10	14	20	28
razmak e	$(6/14)h$	1,05	1,5	2,1	3	4,2	6	8,4
širina d	$(1/14)h$	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4

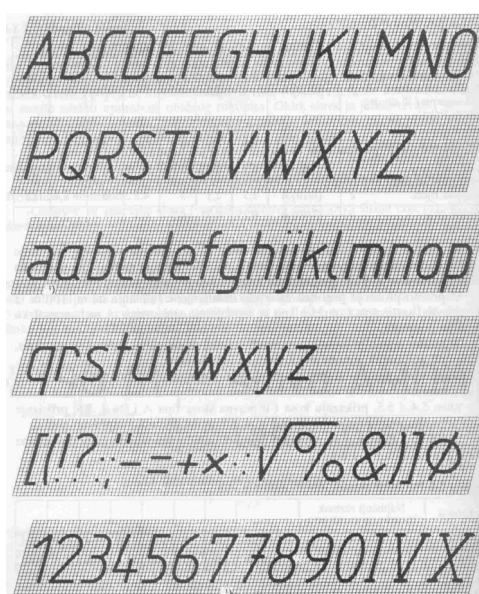
Značajke tipa B	Odnos	Mjere u [mm]						
visina h	$(10/10)h$	2,5	3,5	5	7	10	14	20
visina c	$(7/10)h$	-	2,5	3,5	5	7	10	14
razmak a	$(2/10)h$	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4
razmak b	$(14/10)h$	3,5	5	7	10	14	20	28
razmak e	$(6/10)h$	1,5	2,1	3	4,2	6	8,4	12
širina d	$(1/10)h$	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2

Tablica 2.1.4 Značajke slova tipa A i B

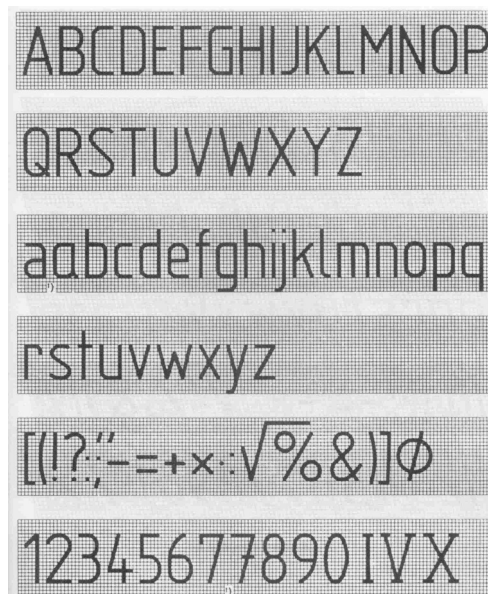
Format	A0	A1	A2	A3	A4
A ($h/d=1/14$)	5	5	3,5	3,5	3,5
B ($h/d=1/10$)	3,5	3,5	2,5	2,5	2,5

Tablica 2.1.5 Najmanja visina tehničkog pisma h

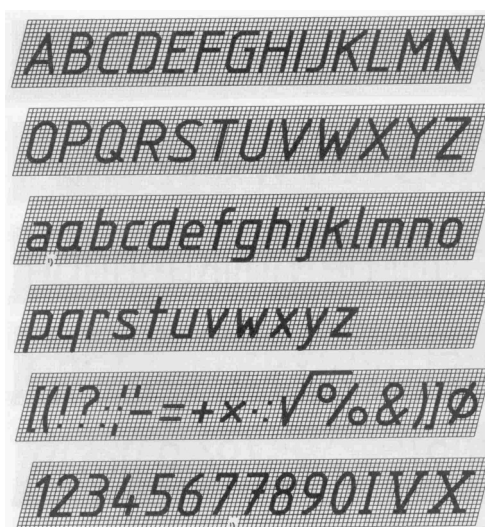
Širina znakova je različita, veličina malih slova, za tip "B", ima širinu $(5/10)h$, gdje iznimku čine slova poput "mw" gdje se uzima $(7/10)h$ te slovo "l" $(2/10)h$, slovo "j" $(3/10)h$ i slova "frt" $(4/10)h$. Velika slova imaju širinu $(6/10)h$, uz iznimke za slova "AMQXW" $(7/10)h$, slovo "J" $(4/10)h$ te slova "EFL" $(5/10)h$. Širina brojeva se uzima $(5/10)h$, uz iznimku broja "4" $(6/10)h$ i broja "1" $(3/10)h$. Slikama 2.1.8 do 2.1.11 prikazana su kosa i uspravna slova tipa A i B.



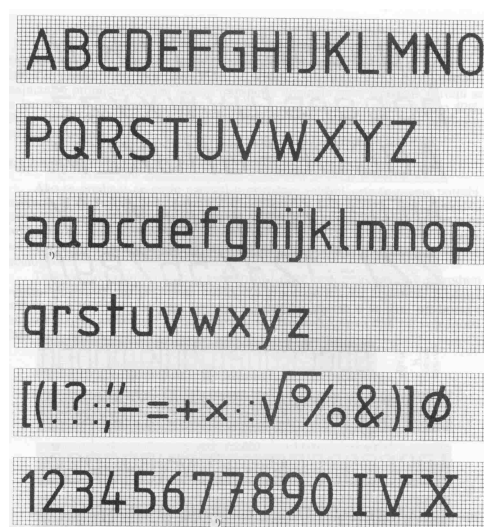
Slika 2.1.8 Kosa slova tipa A



Slika 2.1.9 Uspravna slova tipa A



Slika 2.1.10 Kosa slova tipa B



Slika 2.1.11 Uspravna slova tipa B

2.2 Vrste crta i njihova primjena

Standardnom je popisano šest različitih crta (tablica 2.2.1) i nekoliko debljina crta (tablica 2.2.2). U tablici 2.2.2 podcrtane vrijednosti imaju prioritet pri izboru crta. Vrsta 2 (tablica 2.2.2) nastala je kao rezultat uvođenja "rapidografa" u tehničko crtanje.

debela puna	a crta	
tanka puna	b crta	
crtkana	c crta	
debela crta-točka	d crta	
tanka crta-točka	e crta	
prostoručna	f crta	

Tablica 2.2.1 Različite crte

vrsta 1	0,13 mm	0,18 mm	<u>0,25</u> mm	<u>0,35</u> mm	<u>0,5</u> mm	<u>0,7</u> mm	1,0 mm	1,4 mm
vrsta 2	0,1 mm	<u>0,2</u> mm	<u>0,3</u> mm	<u>0,4</u> mm	<u>0,5</u> mm	0,6 mm	<u>0,8</u> mm	1,2 mm

Tablica 2.2.2 Propisane debljine crta

Jasan crtež dobiva se primjenom samo tri debljine crta. Najdeblja crta označava skupinu crta (tablica 2.2.3). Crtna skupina bira se obzirom na veličinu crteža. Za formate A2 i manje, odabire se crtna skupina 0,5, dok se za formate papira A1 i veće bira crtna skupina 0,7 ili 0,8.

Izborna vrsta	1	2	1	1	2	1	2	1	2
Crtna skupina	0,25	0,3	0,35	0,5	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2
Crte a, d	0,25	0,3	0,35	0,5	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2
Crte b, e, f	0,13	0,1	0,18	0,25	0,2	0,35	0,3	0,5	0,4
Crte c	0,18	0,2	0,25	0,35	0,3	0,5	0,4	0,7	0,6

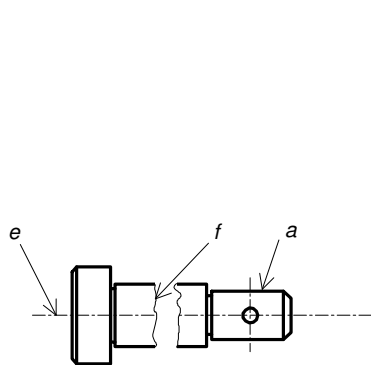
Tablica 2.2.3 Izborna debljina crta

Primjena crta (tablica 2.2.3):

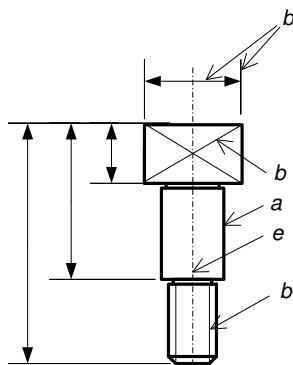
- **debela puna crta a:** - vidljivi bridovi predmeta, završeci navoja, crte za podcrtavanje pozicijskih brojeva, strelice za smjer pogleda
- **tanka puna crta b:** - vidljivi bridovi susjednih dijelova (koji se prikazuju radi određivanja međusobnog položaja, sl. 2.2.1 e), vanjski promjer unutarnjeg navoja (sl. 2.2.1 e, j), unutarnji promjer vanjskog navoja (sl. 2.2.1 c, e), nepotpuno izražene konture kod prodora (sl. 2.2.1 f), zaokretni presjeci (sl. 2.2.1 h, i), kotne i pomoćne kotne crte (sl. 2.2.1 b), dijagonale koje označavaju ravne površine (× crte, sl. 2.2.1 b), oznake kvalitete površine (sl. 2.2.1 f), šrafura (sl. 2.2.1 e, h, j, k).
- **crtkana crta c:** - nevidljivi bridovi (sl. 2.2.1 g, k, j).
- **debela crta-točka d:** - tok presjeka (početak i kraj presječenih ravnina) koji se prikazuju u drugoj projekciji (sl. 2.2.1 j, k).
- **tanka crta-točka e:** - Središnjice (sl. 2.2.1 a, c), diobeni promjeri (sl. 2.2.1 l), polumjeri putanja, granični položaj poluga i drugih pokretnih dijelova (sl. 2.2.1 i), konture dijela

predmeta koji se nalaze ispred zamišljenog presjeka (sl. 2.2.1 m), oblik predmeta prije konačnog oblika (sl. 2.2.1 d).

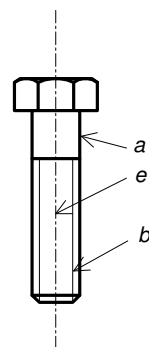
- **prostoručna crta f**: - označavanje prekida i djelomičnih presjeka (sl. 2.2.1 a, d, m), označavanje drva.



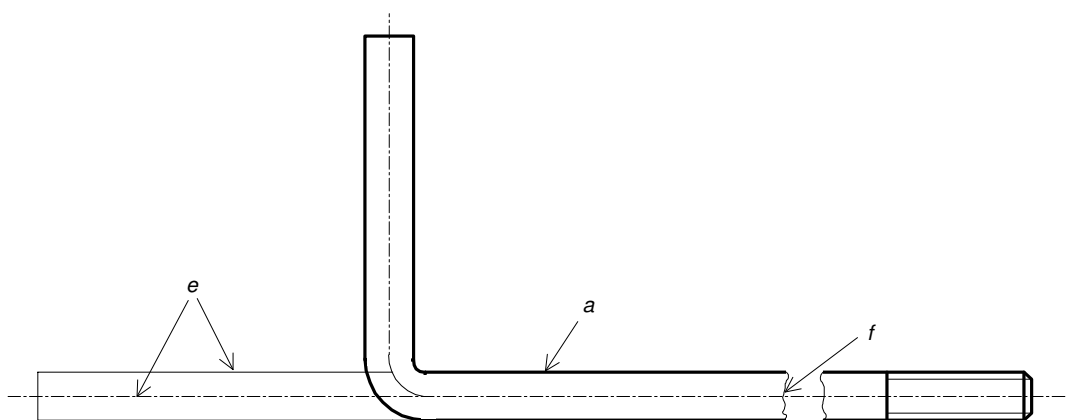
Slika 2.2.1 a)



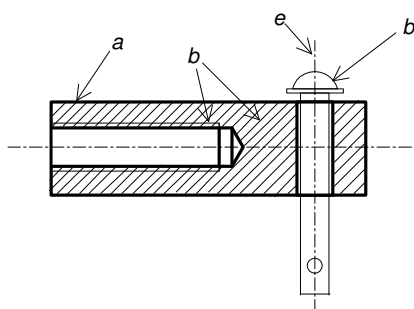
Slika 2.2.1 b)



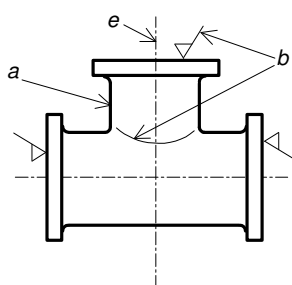
Slika 2.2.1 c)



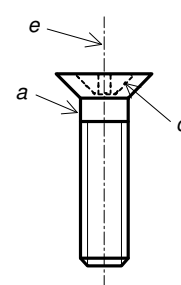
Slika 2.2.1 d)



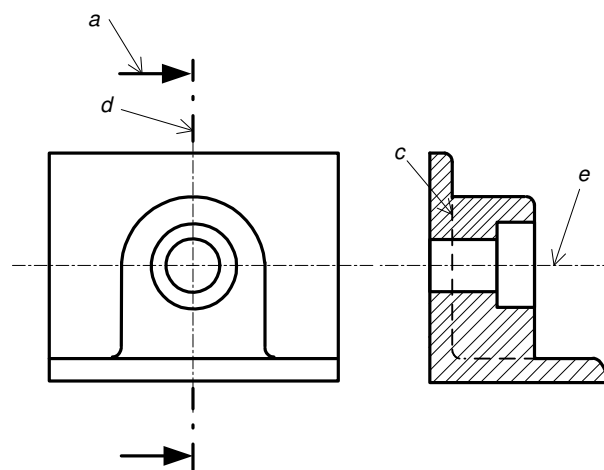
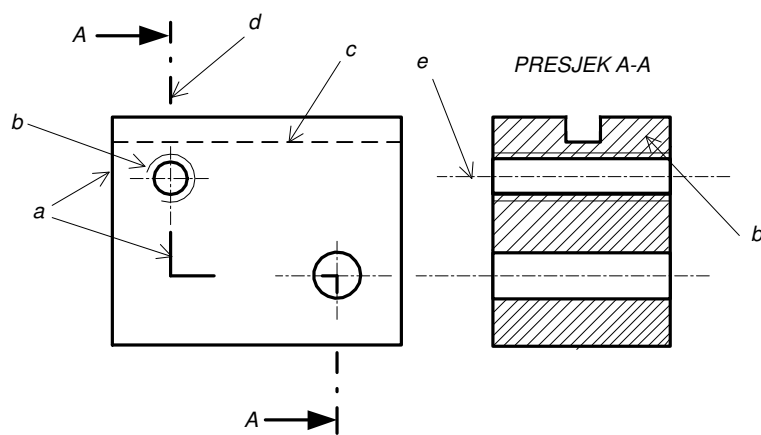
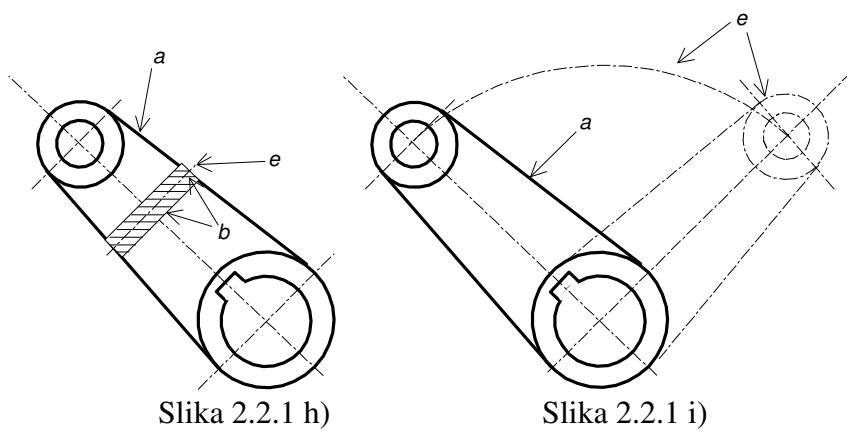
Slika 2.2.1 e)



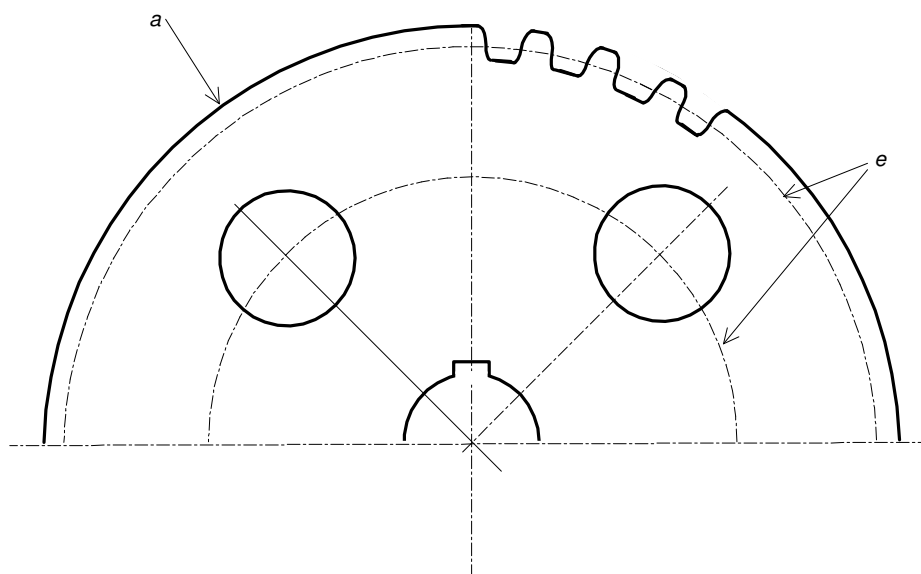
Slika 2.2.1 f)



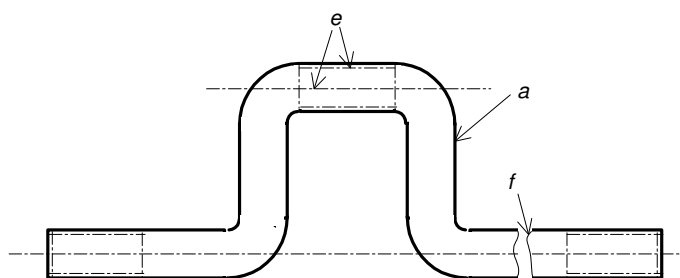
Slika 2.2.1 g)



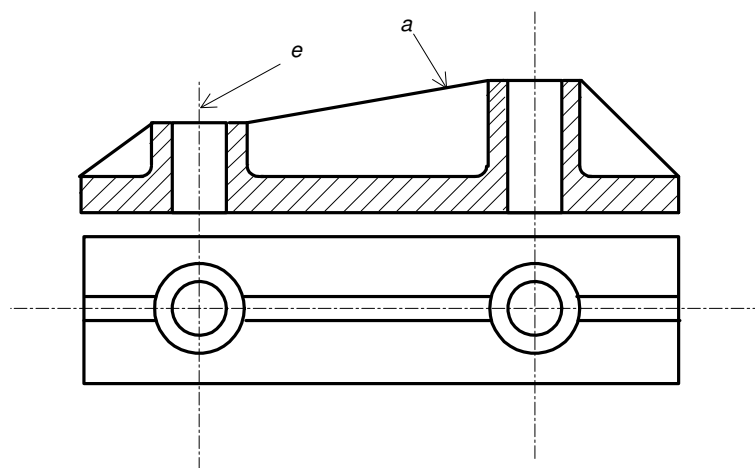
Slika 2.2.1 k)



Slika 2.2.1 l)



Slika 2.2.1 m)



Slika 2.2.1 n)

2.3 Crtanje

Crtanjem se prikazuju geometrijski oblici u ravnini. Određenim postupkom crtanja se kod prikaza trodimenzionalnog tijela na papiru (dvodimenzionalni prostor ili ravnina) nadomješta treća dimenzija.

Postupci crtanja su:

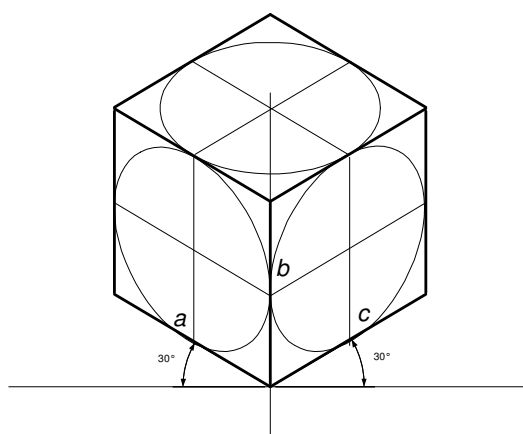
- aksonometrijska projekcija: - daje lako razumljivu trodimenzionalnu predodžbu predmeta jednim crtežom
- perspektiva: - koristi se u predočavanju predmeta u arhitekturi i sl.
- ortogonalno projiciranje: - primjenjuje se za tehničke nacрте

2.3.1 Aksonometrijska projekcija

Primjenom aksonometrijske projekcije bridovi predmeta koji su paralelni u prostoru ostaju paralelni i na crtežu. Ovisno o položaju i mjerilu u kojem se na koordinatne osi nanose pojedine dimenzije razlikuje se:

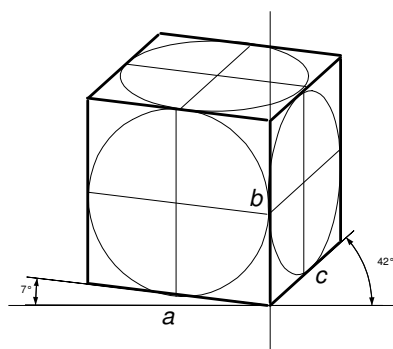
- izometrijska projekcija
- dimetrijska projekcija
- trimetrijska projekcija
- kosa projekcija

Izometrijska projekcija je aksonometrijski prikaz predmeta kod kojeg su sve tri dimenzije prikazane u istom mjerilu. Duljina i širina s horizontalom zatvaraju kut od 30° . Na slici 2.3.1 vidljiv je odnos stranica kocke $a : b : c = 1 : 1 : 1$. U ovakvoj projekciji sve se plohe kocke vide kao identični rombovi, što u drugim projekcijama nije slučaj.



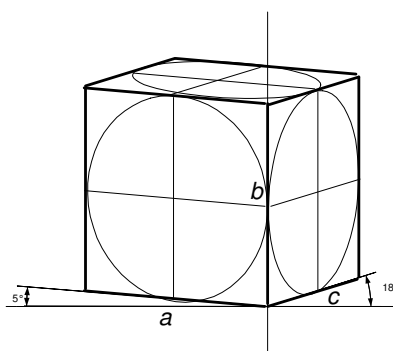
2.3.1 Izometrijska projekcija

Dimetrijska projekcija za slučaj kocke karakterizirana je horizontalnim osima koje zatvaraju kuteve od 7° i 42° te odnosima stranica $a : b : c = 1 : 1 : 0,5$ (sl. 2.3.2).



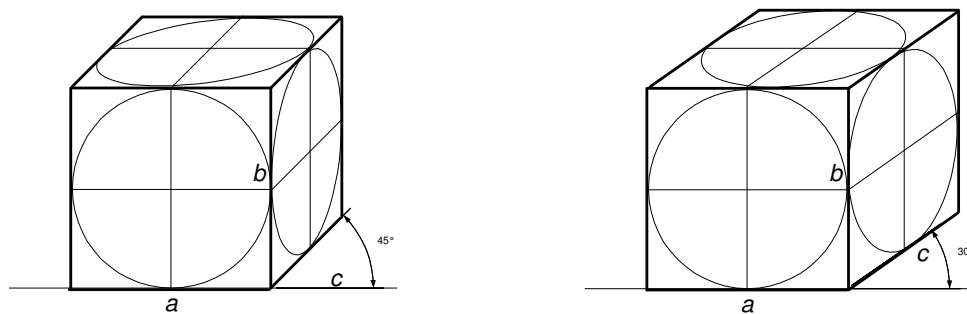
2.3.2 Dimetrijska projekcija

Trimetrijska projekcija za slučaj kocke karakterizirana je horizontalnim osima koje zatvaraju kuteve od 5° i 18° te odnosima stranica $a : b : c = 0,9 : 1 : 0,5$.



2.3.3 Trimetrijska projekcija

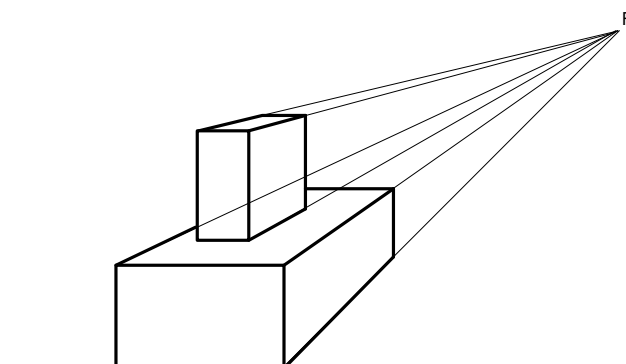
Kosa projekcija je takav način projiciranja kod kojeg samo stranica kocke c zatvara kut od 45° ili 30° sa odgovarajućom horizontalnom osi, dok ostale stranice leže na osima. Za slučaj da se radi o kutu 45° kocka je karakterizirana odnosom stranica $a : b : c = 1 : 1 : 0,5$, dok je za slučaj da se radi o kutu 30° kocka karakterizirana odnosom stranica $a : b : c = 1 : 1 : 2/3 = 1 : 1 : 0,667$.



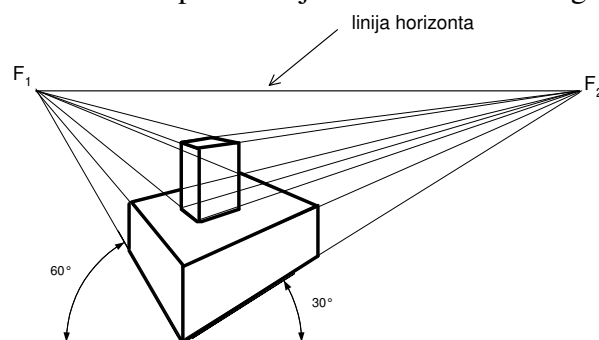
2.3.4 Kosa projekcija

2.3.2 Perspektiva

Perspektiva daje najvjerniju sliku predmeta u prostoru. Usporedni bridovi ne ostaju paralelnim nego se pravci provučeni kroz te bridove sijeku u točki nedogleda F (sl. 2.3.5). Ovakav način prikazivanja uvriježen je u arhitekturi i slikarstvu dok se u tehnici rijetko koristi. Moguć je prikaz s dvije točke nedogleda (sl. 2.3.6) pri čemu je uvriježen odnos stranica kocke ($2/3$) za kut nagiba od horizontalne osi 30° , odnos stranica ($1/2$) za kut nagiba od 45° , te odnos stranica ($1/3$) za kut 60° .



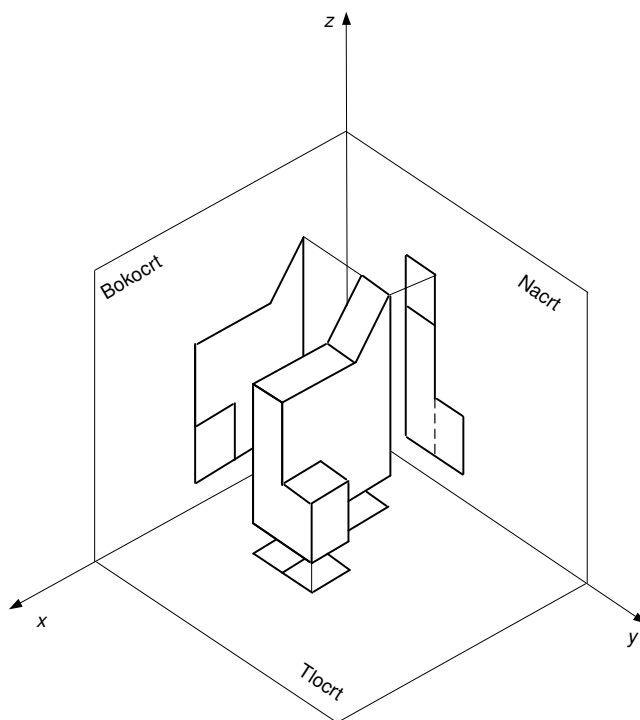
Slika 2.3.5 Perspektiva s jednom točkom nedogleda



Slika 2.3.6 Perspektiva s dvije točke nedogleda

2.3.3 Ortogonalno projiciranje

Ovim prikazom predmet se projicira ortogonalno (okomito) na tri projekcijske ravnine. Svaka od te tri, međusobno ortogonalne, ravnine sadržava dvodimenzionalni prikaz predmeta. Predmet koji se crta leži između točke gledanja i ravnina na koje se projicira (sl. 2.3.7). Bridovi koji su međusobno paralelni na predmetu, ostaju paralelni i na slici.



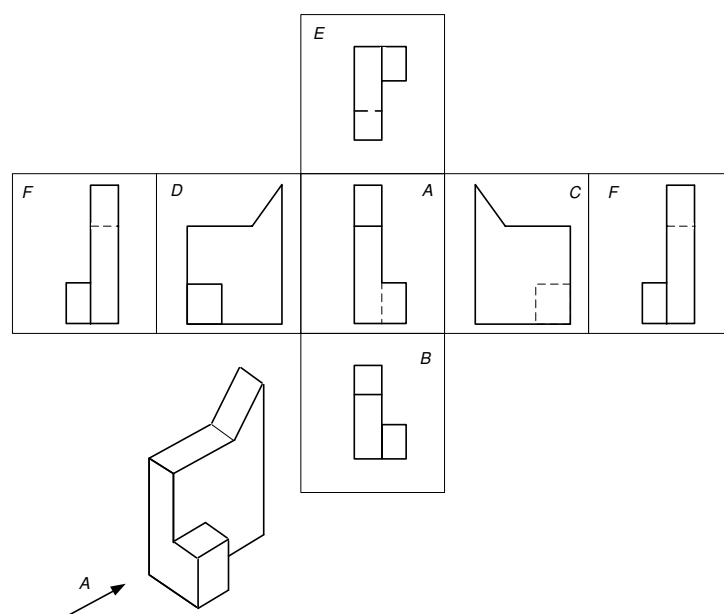
Slika 2.3.7 Projekcija predmeta na ortogonalne ravnine

Na trima projekcijskim ravninama vidljivi su slijedeći pogledi (slike 2.3.7 i 2.3.8):

- **nacrt** (pogled sprijeda) – leži pokraj bokocrtu i s bokocrtom ima istu visinu
- **tlocrt** (pogled odozgo) – leži točno ispod nacrtu i s nacrtom ima istu širinu
- **bokocrt** (pogled sa strane)

Ukoliko se pak prostorni kut sa slike 2.3.7 zatvori sa preostale tri ravnine, tako da sve zajedno oblikuju kvadar, dobiva se još pogled s desna (bokocrt), pogled odozdo i pogled otraga. Rastavljanjem stranica zamišljenog kadra dobiva se slijedeći (europski) razmještaj pogleda (sl. 2.3.8):

- nacrt A u sredini
- pogled B odozgo (tlocrt) crta se ispod nacrtu
- pogled C (bokocrt) s lijeva, crta se desno od nacrtu
- pogled D (bokocrt) s desna, crta se lijevo od nacrtu
- pogled E odozdo crta se iznad nacrtu
- pogled F otraga crta se na lijevoj ili desnoj strani

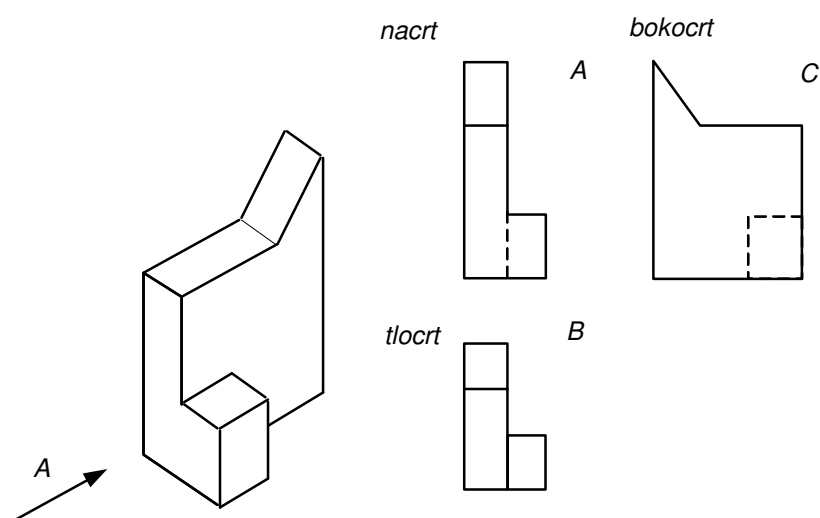


Slika 2.3.8 Položaj projekcije u razvijenom kvadru (EU raspored)

Kod ortogonalne projekcije vrijede slijedeća pravila:

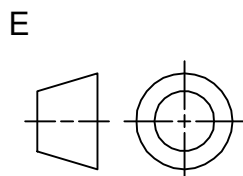
- tlocrt leži točno ispod nacrtu i ima s njime istu širinu
- nacrt i bokocrt leže jedan pokraj drugog i imaju jednaku visinu
- bokocrt i tlocrt imaju istu dužinu
- osi predmeta u svim pogledima se prekrivaju

Na crtežu predmet se prikazuje u "potrebnom broju projekcija", a najčešće u nacrtu, tlocrtu i bokocrtu. U tom slučaju razmještaj pogleda je prikazan slikom 2.3.9.

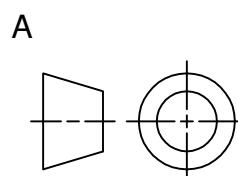


Slika 2.3.9 Razmještaj crteža u nacrtu, tlocrtu i bokocrtu

Ovaj način razmještanja pogleda standardan (obavezan) je za područje Europe. Ukoliko je crtež namijenjen zemljama izvan EU područja, potrebno je u sastavnici u blizini mjerila nacrtati znak za europski (slovo "E" i prikaz krnjeg stošca) odnosno anglosaksonski (slovo "A") način prikazivanja.

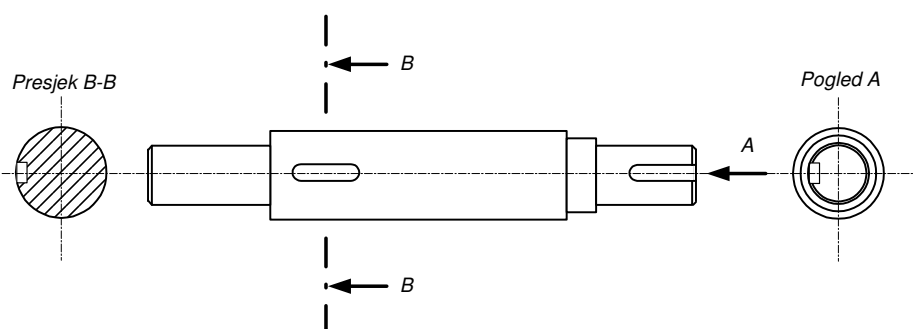


Slika 2.3.10 Europski raspored pogleda

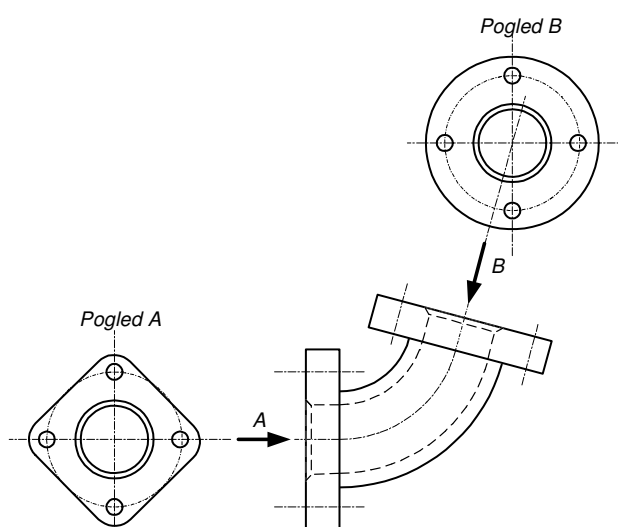


Slika 2.3.11 Anglosaksonski raspored pogleda

Ukoliko postoji opravdan razlog moguće je i odstupiti od "E" razmještaja. Tako se radi preglednosti može (slika 2.3.12) primijeniti "A" razmještaj, uz obavezno označavanje pogleda. Ukoliko se radi o površinama koje leže koso prema ortogonalnim ravninama, uz obavezno označavanje pogleda, moguće je također odstupiti od standardne ortogonalne projekcije (slika 2.3.13).



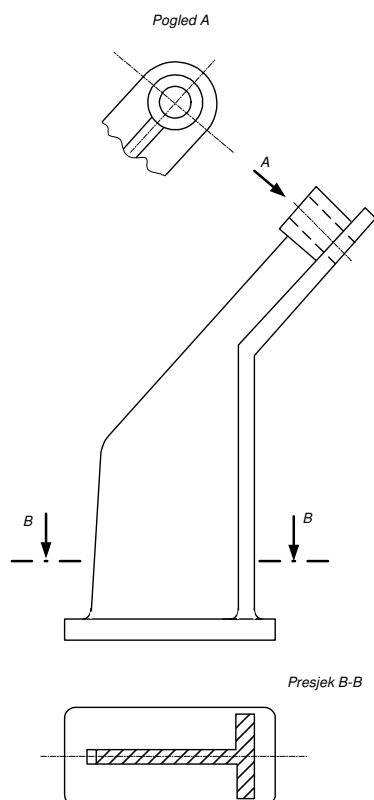
Slika 2.3.12 Dugački predmet i "A" razmještaj



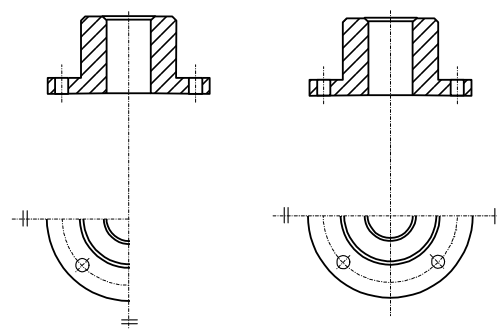
Slika 2.3.13 Zaokrenute projekcijske ravnine

2.3.4 Pogledi, presjeci i šrafure

Pogled se uvijek označava strelicom i slovom, a iznad svakog pogleda piše se tekst "*Pogled A*". Za bolje tumačenje pojedinih bitnih dijelova predmeta primjenjuje se djelomični pogled (sl. 2.3.14). U cilju pojednostavljenja crtanja, osnosimetričnim predmetima crta se samo polovina ili četvrtina uz označavanje simetrije s dvije paralelne crtice na osima simetrije (sl. 2.3.15).

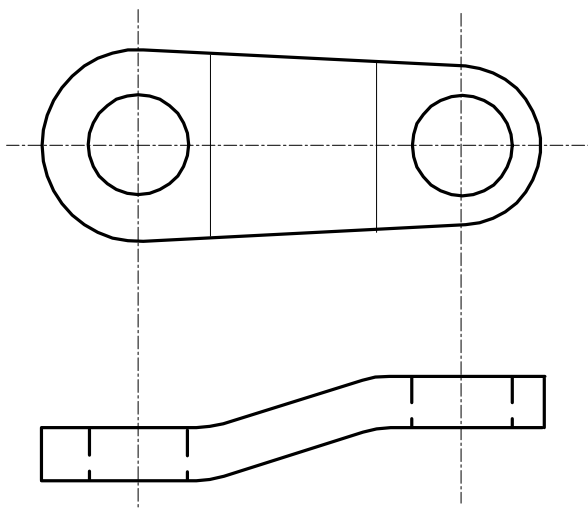


Slika 2.3.14 Djelomični pogled i presjek

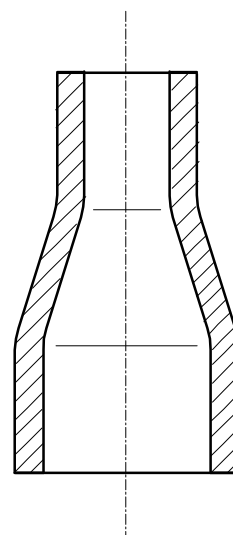


Slika 2.3.15 Polovični i četvrtinski presjek

Zaobljeni prelazi, odnosno površine koje blago prelaze jedna u drugu, crtaju se tankom *b* crtom (sl. 2.3.16). Za slučaj prijelaza kod cilindričnih predmeta, tanka *b* crta ne spaja se s bridovima koji označavaju konturu (sl. 2.3.17).

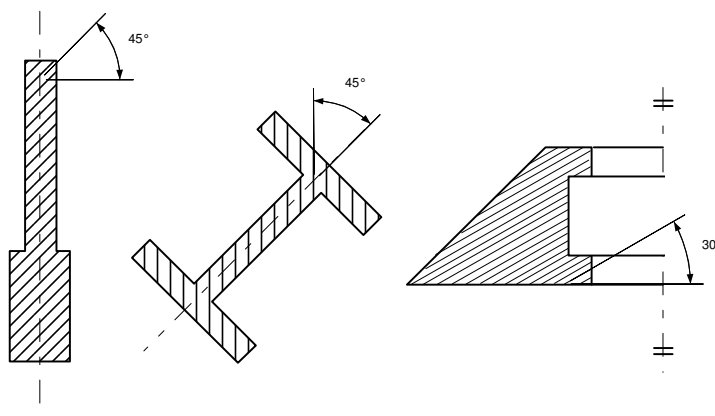


Slika 2.3.16 Zaobljeni prelazi

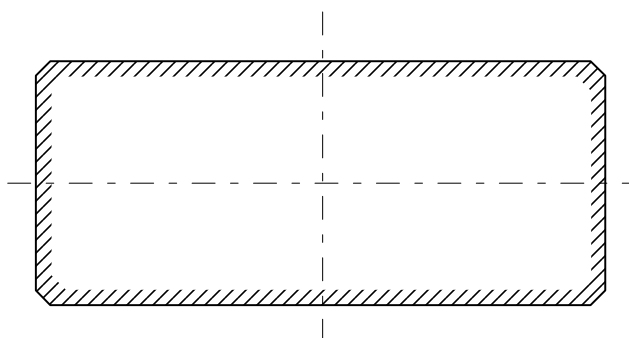


Slika 2.3.17 Zaobljeni prelazi cilindričnih predmeta

Šrafurom se označavaju presjeci. Šrafure su paralelne linije pod kutom od 45° koje ispunjavaju čitavu površinu presjeka (sl. 2.3.18). Za slučaj nakošenih bridova šrafura se može povlačiti i pod kutom od 30° (sl. 2.3.18). Gustoću šrafure prilagođava se veličini predmeta. Vrlo velike površine presjeka šrafiraju se uskim pojasom šrafure uz konturu presjeka (sl. 2.3.19).

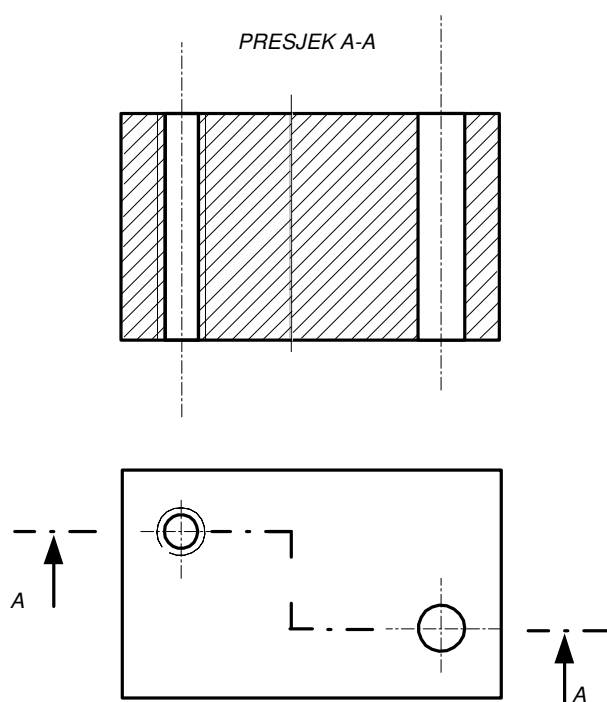


Slika 2.3.18 Kut šrafure

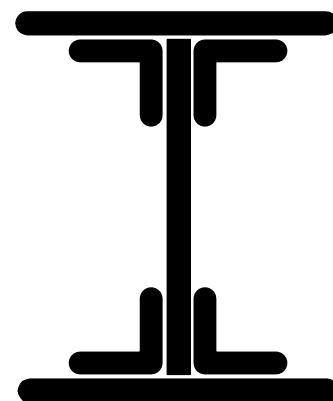


Slika 2.3.19 Šrafura kod velikih presjeka

Šrafure istog predmeta trebaju imati jednako gustu i jednako nagnutu šrafuru. Ovo se odnosi i na prikazivanje presjeka istog predmeta u više pogleda. Šrafure presjeka različitih dijelova koji se nalaze jedan uz drugog (sl. 2.1.6) trebaju se razlikovati po smjeru i gustoći. Za slučaj prikazivanja presjeka istog dijela, gdje presjek presijeca dio u dvije ravnine, šrafure su istog smjera i gustoće uz pomak od $\frac{1}{2}$ šrafure (sl. 2.3.20). Kada je u šrafiranom području potrebno nacrtati liniju ili umetnuti oznaku, šrafuru se na tom mjestu prekida (sl. 2.3.40). Presjeci vrlo uskih površina se ne šrafiraju već se presjek pocrni, dok se u slučaju složenih profila susjedni dijelovi odvajaju tankim bijelim crtama razdvajanja (sl. 2.3.21).

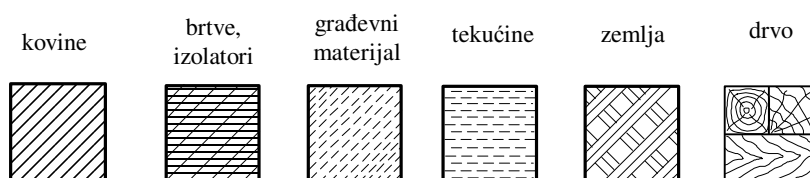


Slika 2.3.20 Šrafiranje presjeka s više ravnina



Slika 2.3.21 Crtanje presjeka tankih profila

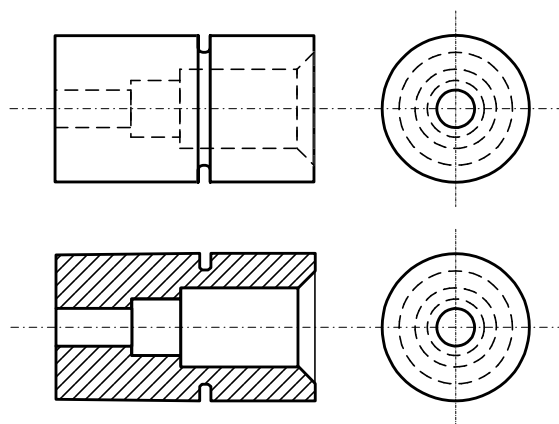
Različiti se materijali označavaju pomoću različite vrste šrafure (slika 2.3.22). Najčešće se koristi različiti raspored šrafura ili kombinacija različitih debljina crta te rjeđe bojanje presjeka.



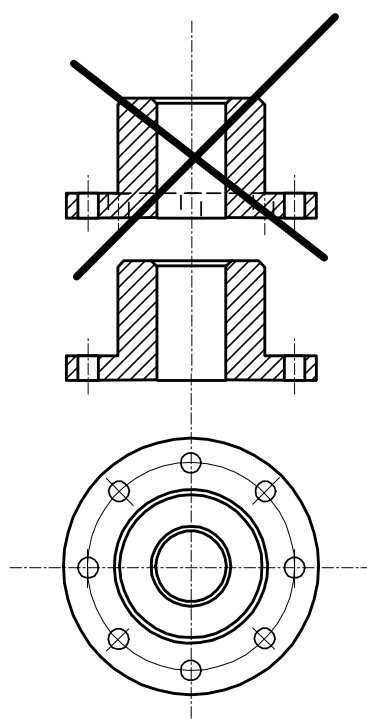
2.3.22 Različite vrste šrafura kod predočavanja različitih materijala

Presjeci se označavaju strelicama (daju smjer pogleda) i debelom crta-točka linijom (d linija) u ravnini presjeka. Uz prikaz presjeka ispisuje se tekst "*Presjek A-A*" (sl. 2.3.20). Kad je pravac presjeka jasan, oznake presjeka se mogu izostaviti (sl. 2.1.7 k). Kod crtanja šupljih predmeta

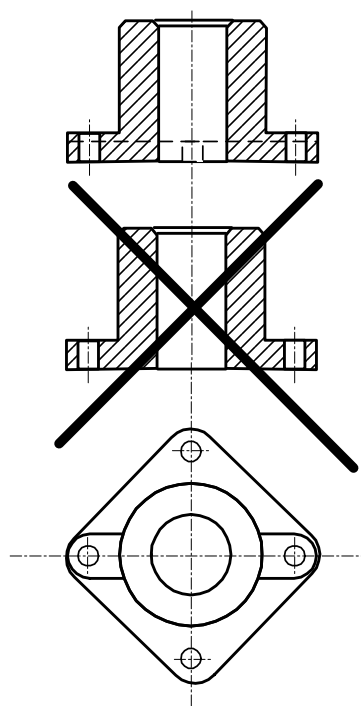
crtaju se presjeci jer bi u protivnom crtanjem nevidljivih bridova crtež bio nejasan (sl. 2.3.23). Kod crtanja presjeka nevidljivi se bridovi ne crtaju (sl. 2.3.24), ukoliko to nije potrebno za razumijevanje crteža (sl. 2.3.25). Kod aksonometrijske slike presjeka ne crtaju se nevidljivi bridovi prekriveni šrafiranom površinom presjeka (sl. 2.3.26).



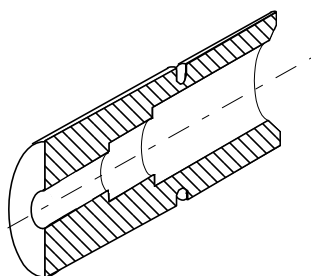
Slika 2.3.23 Prednost crtanja presjeka nad crtanjem nevidljivih bridova



Slika 2.3.24 Izbjegavanje nevidljivih bridova



Slika 2.3.25 Crtanje nevidljivih bridova

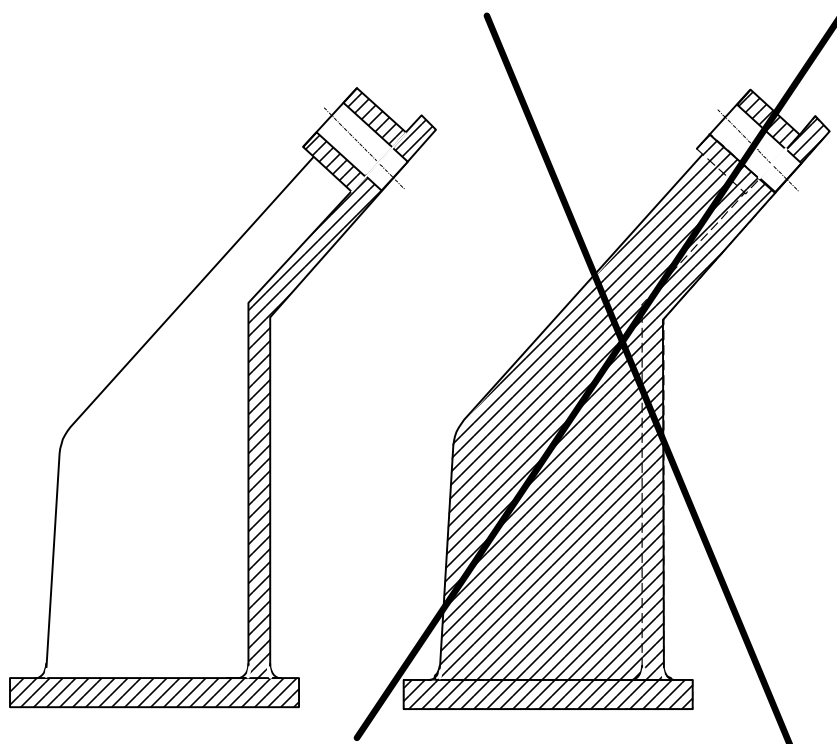


Slika 2.3.26 Aksonometrijski prikaz presjeka

Presjeci se uglavnom rade uzduž osi predmeta ili okomito na nju. Presjeci s više ravnina (sl. 2.3.20) koriste se samo kad je to potrebno za razumijevanje crteža.

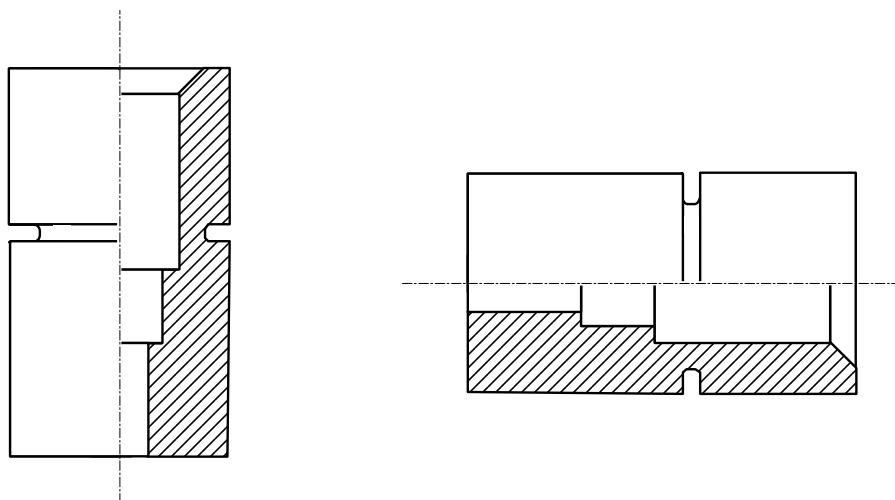
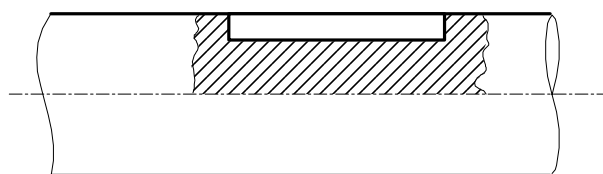
Spojni elementi poput vijaka, svornjaka, podložnih pločica, pera, zatika, klinova ili rebara ne sijeku se ravninom presjeka (sl. 2.1.6 i 2.3.27).

U cilju smanjenja broja projekcija i presjeka, crta se samo obris presječene površine zarotirane oko vertikalne simetrale presjeka. Ovako dobiveni presjek u samom nacrtu crta se šrafiran i obrubljen tankom crtom (b crta). Pritom zarotirani presjek ne prekriva rubove predmeta u nacrtu. Simetrale oko kojih je presjek zarotiran crtaju se tankom crta-točka linijom (e crta) (sl. 2.1.7 h).

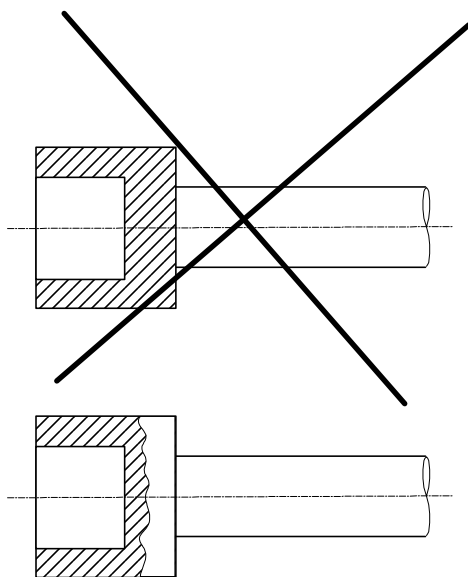


Slika 2.3.27 Rebra presječena ravninom presjeka se ne šrafiraju

Kod rotacijski simetričnih predmeta s vertikalnim osima, presjeci se crtaju desno od simetrale, dok se kod rotacijski simetričnih predmeta s horizontalnim osima, presjeci crtaju ispod simetrale (slika 2.3.28). Kod prikazivanja predmeta s otvorom, koriste se djelomični presjeci omeđeni prostoručnom crtom (crta f) i simetralom (sl. 2.3.29). Za granicu djelomičnog presjeka nikada se ne koriste unutrašnji ili vanjski bridovi (sl. 2.3.30). U takvom slučaju potrebno je prostoručno nacrtati granicu (f crta).

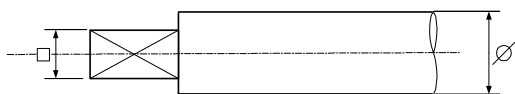
Slika 2.3.28 Osnosimetrični predmeti, $\frac{1}{4}$ presjek

Slika 2.3.29 Djelomični presjek

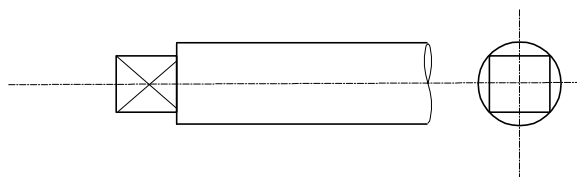


Slika 2.3.30 Crtanje granice presjeka upotrebom f crte

Pri korištenju znakova za promjer " $\varnothing$ " i kvadratni presjek " $\square$ ", nije potrebno crtati projekciju iz koje je vidljivo da se radi o okruglom ili kvadratnom presjeku (sl. 2.3.31). U projekcijama iz kojih je vidljivo da se radi o okruglom ili kvadrantom presjeku, oznake za promjer i kvadrat se izostavljaju (sl. 2.3.32).



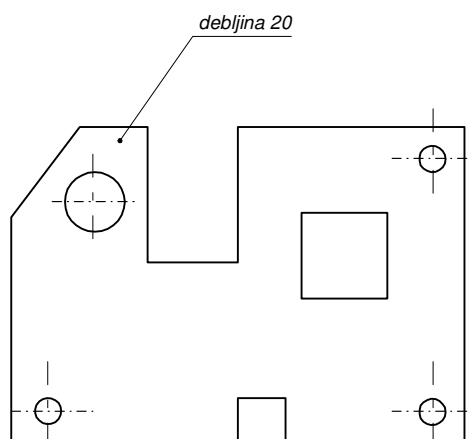
Slika 2.3.31 Označavanje presjeka znakovima



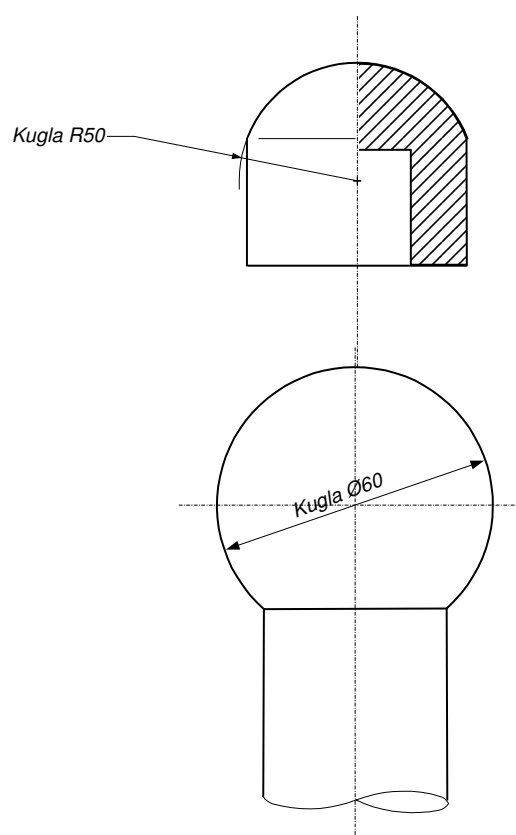
Slika 2.3.32 Presjek vidljiv iz same slike

Manje pravokutne ili trapezne ravne površine označavaju se dijagonalnim tankim b crtama (sl. 2.3.31, 2.3.32). Ovo se ne odnosi na šesterostrane glave vijaka i matica (sl. 2.1.6).

Za ravne predmete izrađene od lima ili papira dovoljno je nacrtati jednu projekciju sa tekstom koji označava debljinu "*debljina xx*" (sl. 2.3.33). Pri crtanju kugle nije potrebno crtati bokocrt već je dovoljno označiti upisivanjem teksta "*kugla Rxx*" ili "*kugla Øxx*" (sl. 2.3.34).

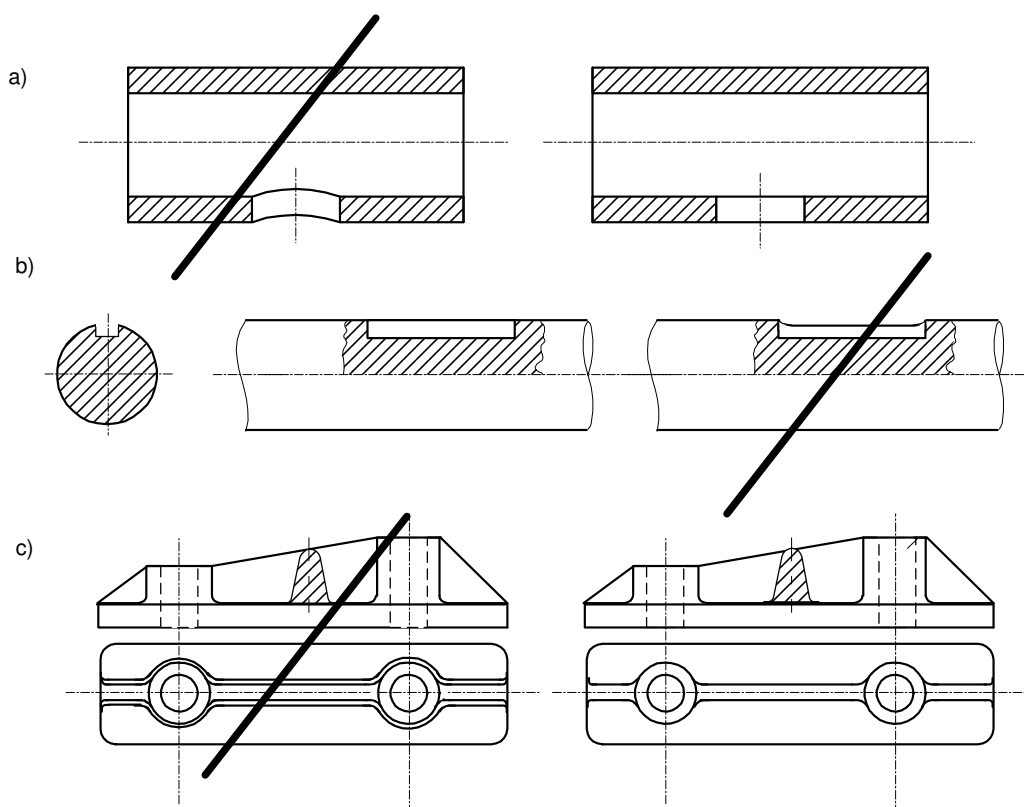


Slika 2.3.33 Označavanje debljine lima



Slika 2.3.34 Označavanje kugle

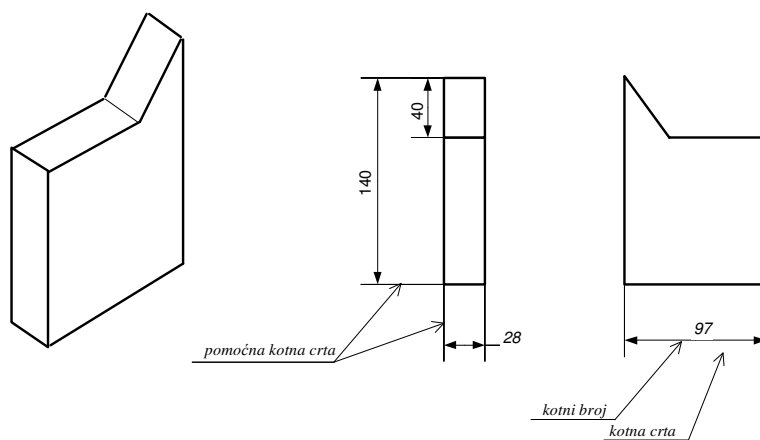
Prodori i utori se često crtaju pojednostavljeno. Pojednostavljenje se odnosi i na crtanje rebara (sl. 2.3.35). Kosine pod nagibom 1:10 do 1:50 bi se u pravilu trebale crtati bez pojednostavljenja. Kod manjih nagiba izostavlja se vanjska crta i crta samo gornji brid.



Slika 2.3.35 Pojednostavljivanje prodora, utora i rebra

2.3.5 Kotiranje

Kotiranjem se upisuju mjere koje mora imati konačan izvedeni predmet, bez obzira na veličinu i mjerilo predmeta na crtežu. U pravilu se kote na crtež unose samo u jednoj projekciji gdje daju najjasniju sliku o dimenzijama. Pri kotiranju koriste se kotne crte, pomoćne kotne crte i kotni brojevi (slika 2.3.36).

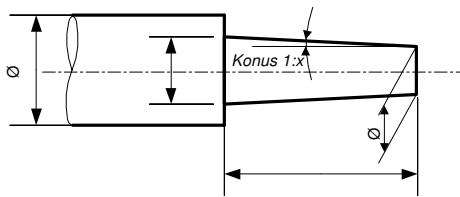


Slika 2.3.36 Kotiranje

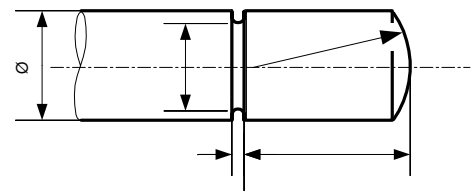
Kotna crta se crta paralelno sa rubom kojeg se kotira i to na udaljenosti 7÷8 mm od ruba. Sami rubovi i simetrale ne smiju se koristiti kao kotne crte.

Pomoćne kotne crte crtaju se 1÷3 mm duže od vrhova strelica i okomito na kotne crte. Iznimno (npr. kosi bridovi) se kotne crte nagnu za 60°, pri čemu kotne crte ostaju paralelne sa rubom (sl. 2.3.37).

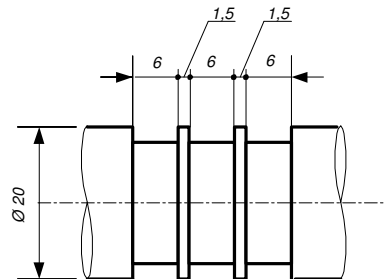
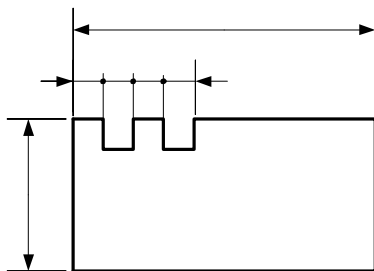
Kotne strelice crtaju se dužine koja odgovara visini kotnih brojeva. Kotne strelice ne smiju sjeći vidljive bridove, koji se u tom slučaju lokalno u blizini strelice ne crtaju (sl. 2.3.38). Kod malih dužina kotnih crta obzirom na veličinu strelice, strelice se crtaju na produženim kotnim crtama s vanjske strane (jedna nasuprot drugoj). Ukoliko je razmak kod uzastopnih kota premali, strelice se zamjenjuju krugovima (sl. 2.3.39).



Slika 2.3.37 Kose pomoćne kotne crte



Slika 2.3.38 Kotne strelice i vidljivi bridovi

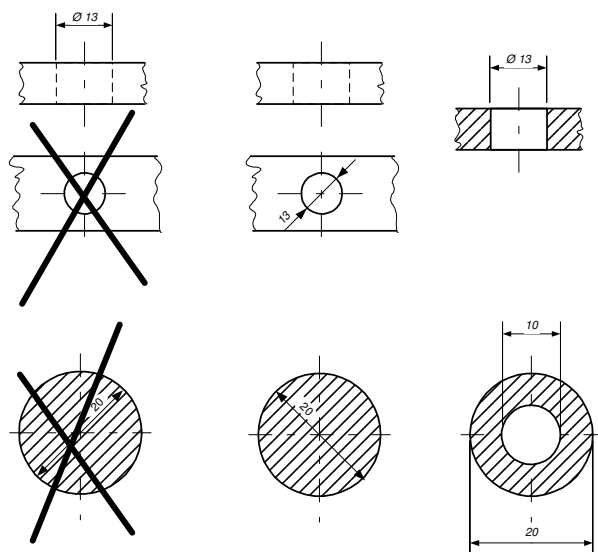


Slika 2.3.39 Crtanje kotnih strelica kod malih razmaka pomoćnih kontih crta

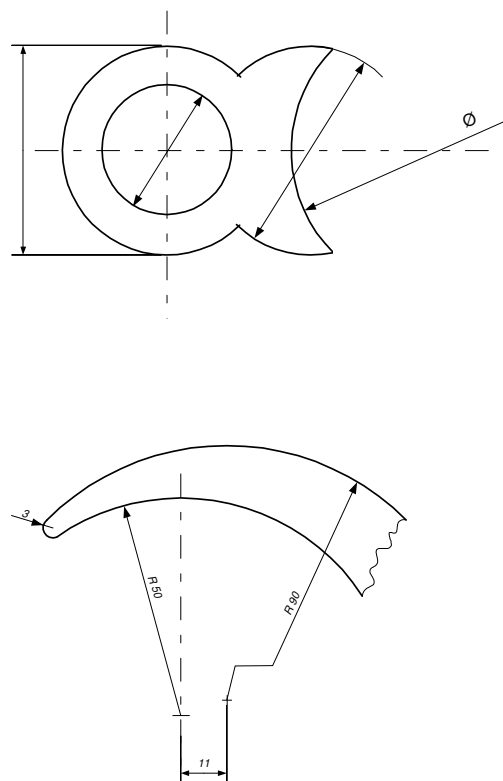
Kotni brojevi u strojarstvu predstavljaju veličine izražene u milimetrima. Jedinica za milimetre "mm" se ne upisuje na crtež. U iznimnim slučajevima kad se koriste neke druge jedinice, tad se simbol mjerne jedinice uvijek upisuje skupa s kotnim brojem. U slučaju da nema dovoljno mjesta za unošenje kotnih brojeva, kotni se brojevi mogu napisati s vanjske strane uz korištenje pokazne linije (slika 2.3.39). Preko kotnog broja ne smiju se vući nikakve crte niti šrafure, a ukoliko su crte ili šrafure neizbježne, one se tad lokalno brišu (sl. 2.3.40).

Kod *kotiranja promjera*, znak " $\varnothing$ " se koristi samo ukoliko iz slike nije vidljivo da se radi o okruglom obliku (sl. 2.3.40). Izbjegavati prelaženje kotne crte preko šrafure, no ukoliko je to potrebno, kotnu crtu crtati okomito na šrafuru, a šrafuru lokalno izbrisati u području kotnog broja. Kod kotiranja djelova kružnice njezinim polumjerom crta se kotna strelica samo s jedne strane, a uz kotu upisuje oznaka za promjer ili polumjer " $\varnothing xx$ " ili " $R xx$ " (slika 2.3.41). Kada je jasno da se radi o *kotiranju polumjera*, oznaka za polumjer se izostavlja (slika 2.3.41). Ukoliko središte luka prolazi simetralom, označava ga se crticom okomitom na simetralu, u suprotnom označava ga se točkom. Za polumjere manje od 2,5 mm središte se ne crta (2.3.41). Za slučaj da središte leži na simetrali izvan granica crteža, uz kotni broj potrebno je koristiti znak " $R xx$ ". U

slučaju da je središte izvan simetrale i crteža, uz znak " $R\ xx$ ", potrebno je koristiti i izlomljenu kotnu crtu (slika 2.3.41). Ako više kotnih crta pri kotiranju lukova imaju zajedničko središte koristi se pomoćni krug (slika 2.3.42).

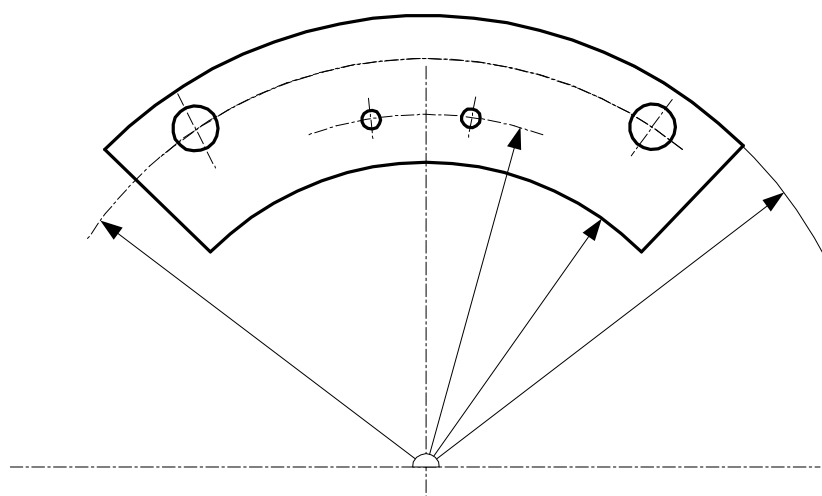


Slika 2.3.40 Kotiranje promjera

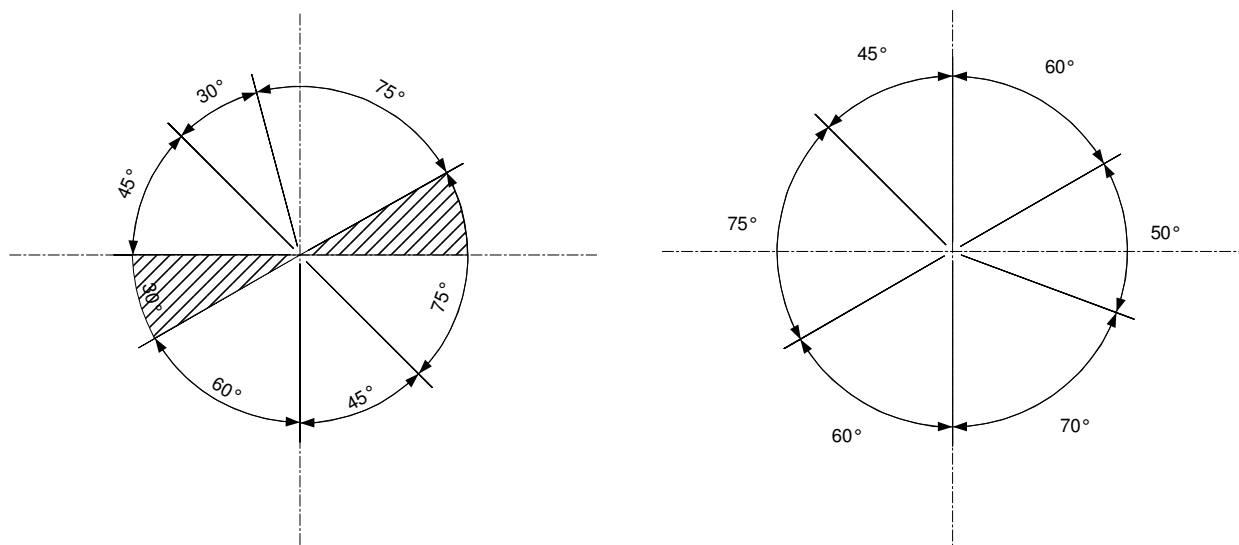


Slika 2.3.41 Kotiranje polumjera

Kod *kotiranja kutova* brojke se pišu po dužini luka ili pak uspravno. U prvom slučaju kotiranje kutova od 30° potrebno je izbjegavati (sl. 2.3.43).

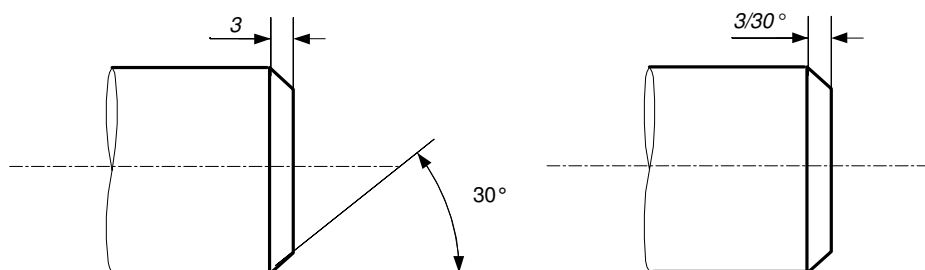


Slika 2.3.42 Pomoćni krug kao ishodište

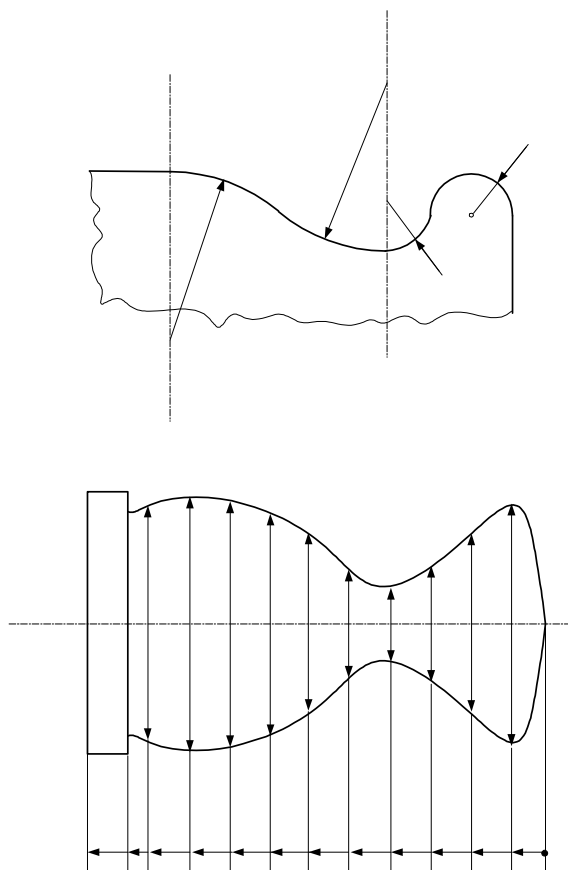


2.3.43 Kotiranje kutova

Skošeni rubovi kotiraju se oznakom kuta skošenja ili pak razlomkom gdje brojnik označava dužinu ruba u smjeru strelice, a nazivnik nagib ruba (sl. 2.3.44). Predmeti kojima je rub definiran *krivuljom* kotiraju se rastavljanjem krivulje na kružne lukove i tangente. Ukoliko to nije izvedivo zbog kompleksnosti oblika, kotiraju se pojedinačne točke povezivanjem kotnih i pomoćnih crta. (2.3.45).

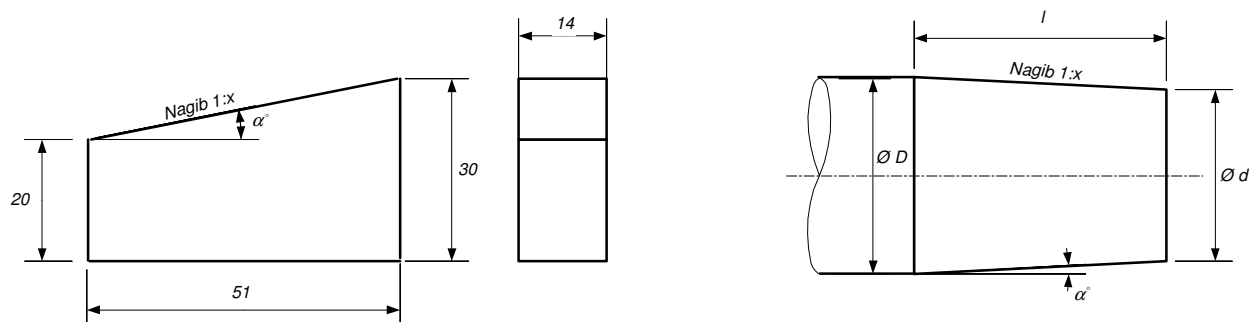


Slika 2.3.44 Kotiranje skošenja



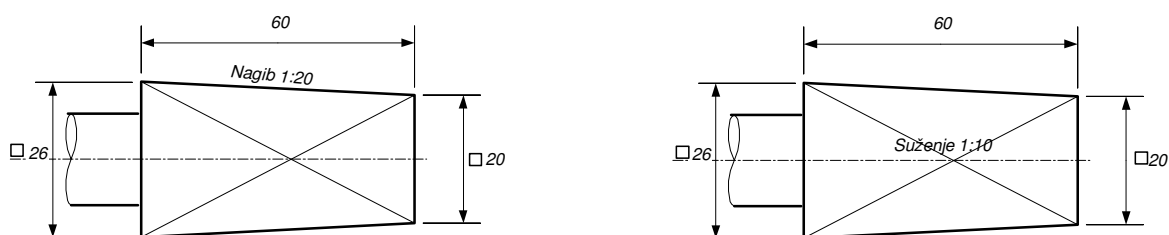
Slika 2.3.45 Kotiranje složenih krivuljnih kontura

Nagib je nagnutost jedne površine nasuprot druge površine ili osi. Nagib se označava oznakom za kut " $^\circ$ ", oznakom za tangens kuta " $\tan$ ", tangensom označenim odnosom stranica " $x:y$ " (slika 2.3.46 i 2.3.47), razlomkom, odnosom ili postotkom uz neobavezno korištenje teksta "*Nagib*".



Slika 2.3.46 Označavanje nagiba

Suženje se koristi kod elemenata oblika pravilne četverostrane krnje piramide. Kotira se kao nagib ili kao suženje. Nagib predstavlja tangens kuta prema simetrali, dok suženje predstavlja dva tangensa kuta prema simetrali. Dakle vrijedi odnos *nagib:suženje*=1:2 (sl. 2.3.47).

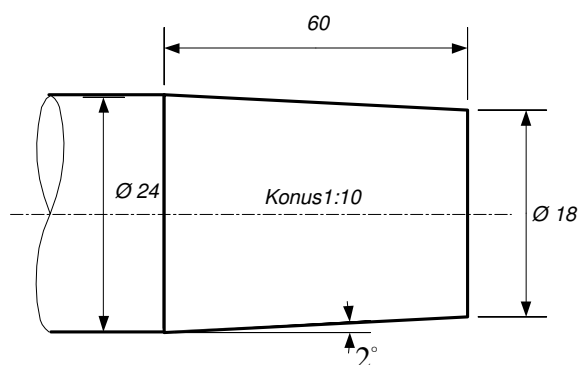


Slika 2.3.47 Označavanje suženja

Konus se upotrebljava za označavanje dijelova alata, osovina i dr. Konus se kotira pomoću tangensa dva polovična kuta kojeg daju izvodnice. Npr. na slici 2.3.48 konus se računa iz odnosa:

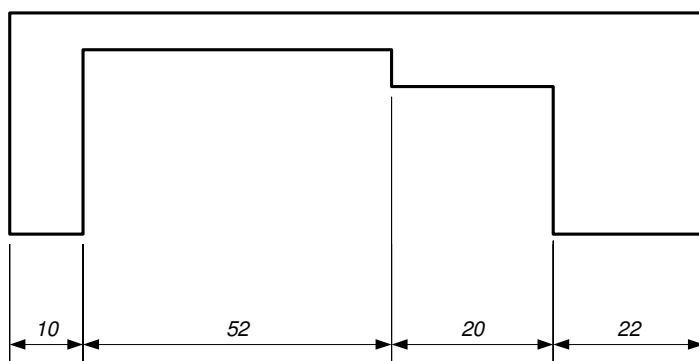
$$\frac{24 - 18}{60} = \frac{6}{60} = \frac{1}{10} = 1:10.$$

Prilikom označavanja konusa uvijek se unosi i kut koji je potreban kod postave noža pri izradi.

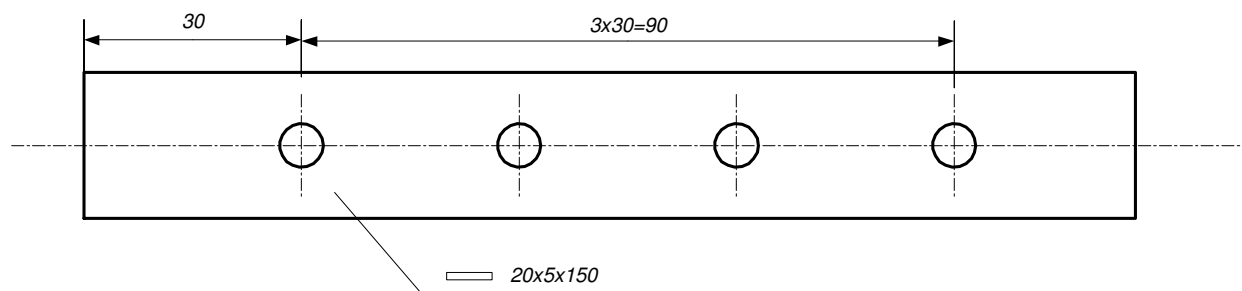


Slika 2.3.48 Označavanje konusa

Lančano kotiranje je najjednostavniji način kotiranja i primjenjuje se kada odstupanja od pojedinih mjera (dobivenih zbrajanjem kota) nemaju velikog utjecaja na konačnu funkciju proizvoda (slika 2.3.49). Često se mjere koje se ponavljaju mogu pisati pojednostavljeno (sl. 2.3.50).

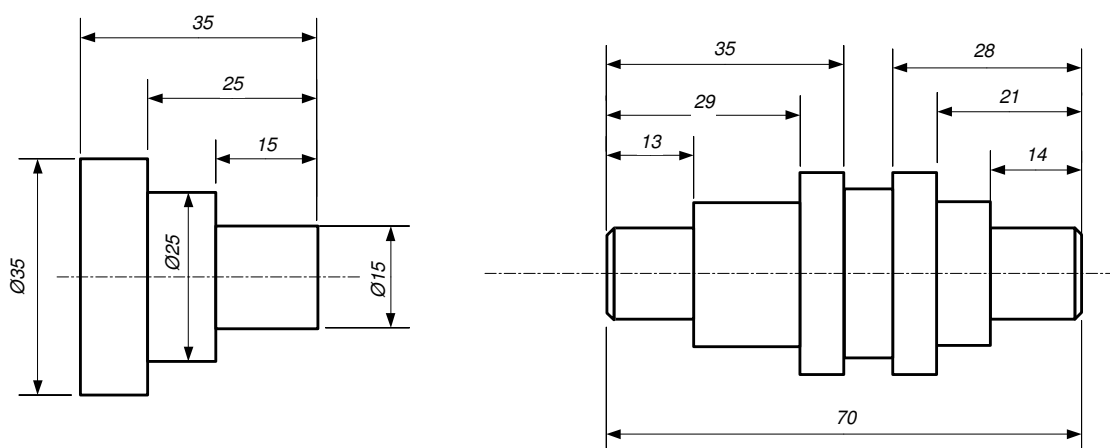


Slika 2.3.49 Lančano kotiranje

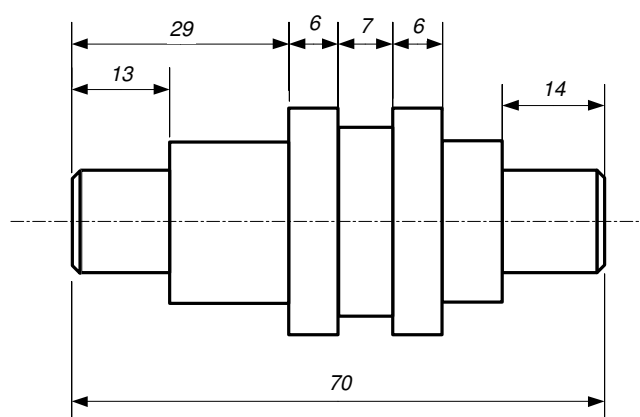


Slika 2.3.50 Pojednostavljeno lančano kotiranje

Paralelno kotiranje se koristi kada nisu dozvoljena odstupanja od zadanih mjera. Ovim načinom kotiranja crta se više međusobno paralelnih kotnih crta. Cilindrične plohe koje se tokare od desnog ruba također se kotiraju od desnog ruba (sl. 2.3.51). Plohe koje se obrađuju s obje strane, kotiraju se s obje strane (sl. 2.3.51). Moguće je i *kombinirano kotiranje* koje se koristi kada se želi održati udaljenost od više polaznih ravnina (sl. 2.3.52).

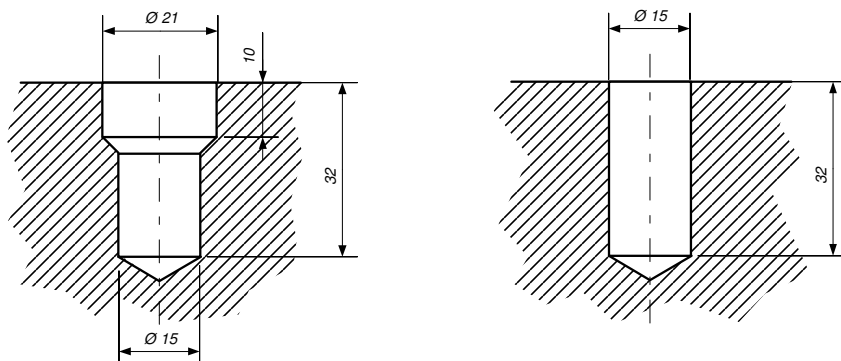


Slika 2.3.51 Paralelno kotiranje



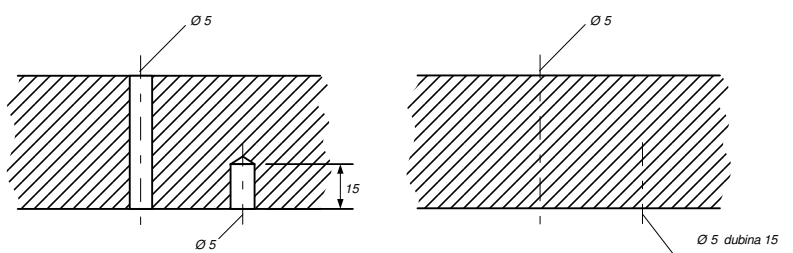
Slika 2.3.52 Kombinirano kotiranje

Položaj *rupe* kotira se položajem simetrale (sl. 2.3.50). Kod kotiranja slijepe rupe, kotira se samo cilindrični dio, dok se konični dio nastao od svrdla ne kotira (sl.2.3.53). Konični dio nastao djelovanjem svrdla crta se crtama nagnutim za 120° . Kod slijepe rupe treba nastojati kotirati i dubinu i promjer u istoj projekciji.

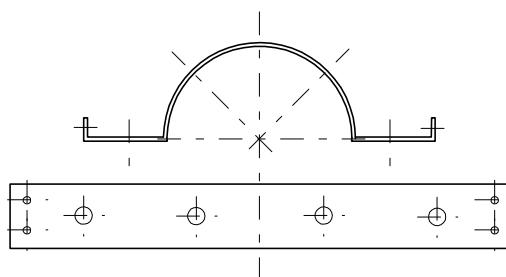


Slika 2.3.53 Kotiranje slijepih rupa

Rupe promjera manjeg od 5 mm kotiraju se pojednostavljeno upotrebom pokazne crte. U pojednostavljenom prikazu može se položaj rupe označiti samo središnjicom (sl. 2.3.54). Rupe bušene na višestruko savijenom dijelu kotiraju se tako da se taj dio nacрта razvijen u ravnini nacрта (sl. 2.3.55).



Slika 2.3.54 Kotiranje malih rupa



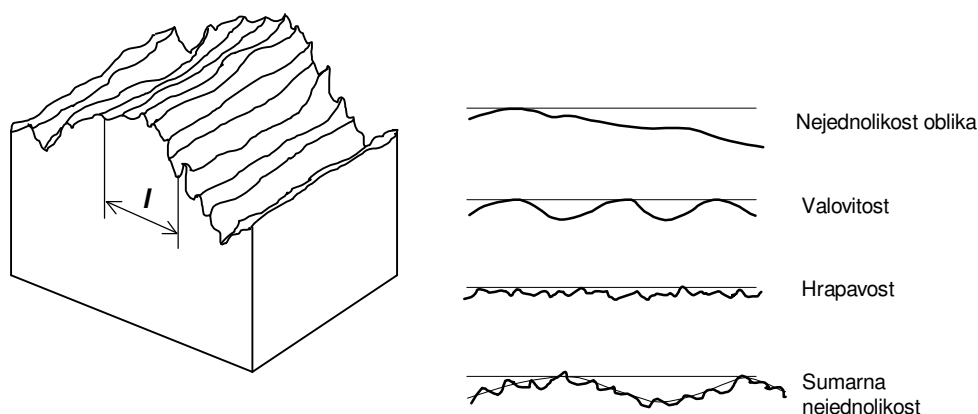
Slika 2.3.55 Kotiranje savijenih dijelova

2.4 Klasifikacija hrapavosti industrijskih proizvoda

Tehnički crtež mora sadržavati i podatke koji se odnose na stanje površine gotovog proizvoda. Stanje površine određeno je njenom jednolikošću i glatkošću (hrapavošću). Idealno glatku i jednoliku površinu nemoguće je postići. Na stvarnoj površini izratka razlikujemo dvije vrste geometrijskih odstupanja:

- makrogeometrijska odstupanja: - imaju periodsko značenje s velikom valnom duljinom
- mikrogeometrijske nepravilnosti: - mnogo manje, obično se naziva "hrapavost površine", a posljedica su djelovanja alata te zato imaju određenu orijentaciju

Hrapavost je skup neravnina koje formiraju reljef površine, a razmatraju se u isječku "l" koji je dovoljno mali da su odstranjenje grešne oblika i valovitost (sl. 2.4.1). Referentna duljina "l" ovisi o vrsti obrade, a vrijednosti referentne duljine "l" pri mjerenju hrapavosti dane su tablicom 2.4.1.



Slika 2.4.1 Stanje površine

l [mm]					
0,08	0,25	0,8	2,5	8	25

Tablica 2.4.1 Referentna duljina

Za klasifikaciju i mjerenje hrapavosti izvedena su dva sustava:

- sustav srednje linije ili M-sustav (mean-line system)
- sustav dodirne linije ili E-sustav (envelope system)

Sustav srednje linije (M-sustav) standardan je kod nas, u većini europskih zemalja te u SAD.

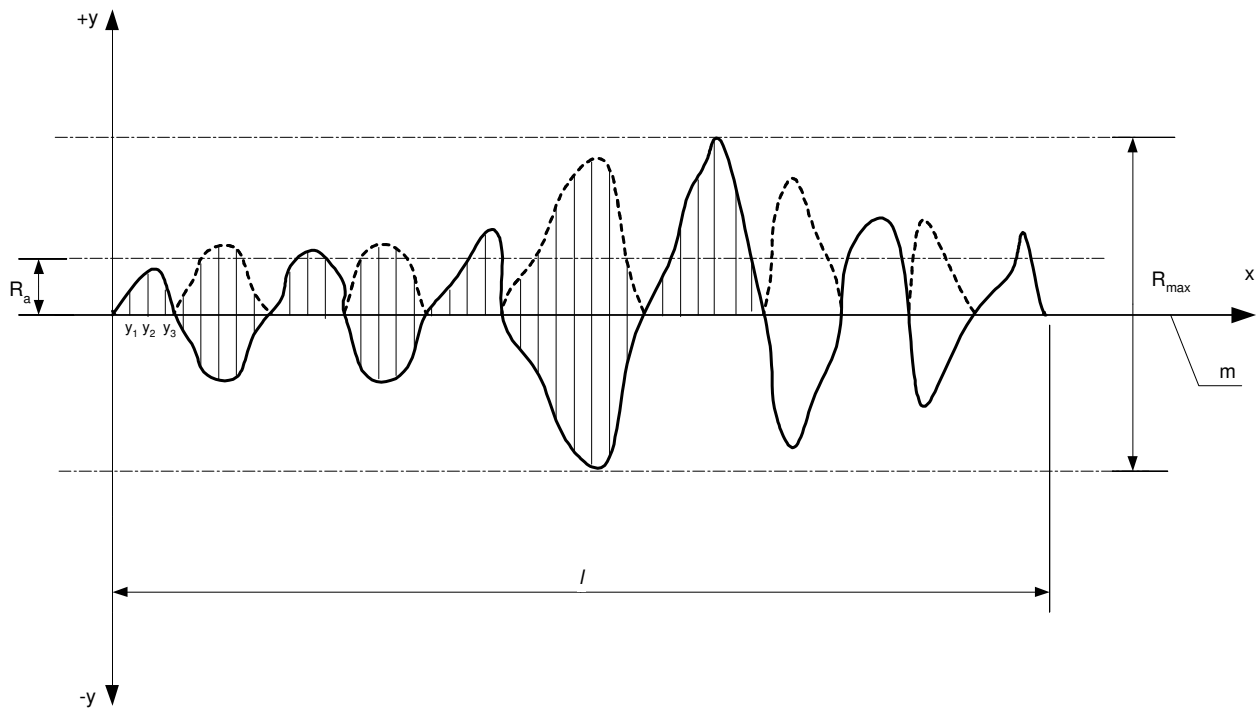
Srednja linija profila "m" je linija koja ima oblik geometrijskog profila i siječe efektivni profil na način da suma kvadrata udaljenosti svih točaka profila između efektivnog profila i m-linije unutar referentne duljine "l" bude minimalna (sl. 2.4.2).

Srednje odstupanje profila " R_a " predstavlja srednju aritmetičku vrijednost udaljenosti svih točaka efektivnog profila od srednje linije "m". Srednje odstupanje profila najčešće je korišteni parametar koji se računa prema:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l \|y\| dx = \frac{\sum_{i=1}^n \|y_i\|}{n} [\mu m],$$

gdje $\|y_i\|$ predstavlja apsolutnu vrijednost udaljenosti profila od srednje linije.

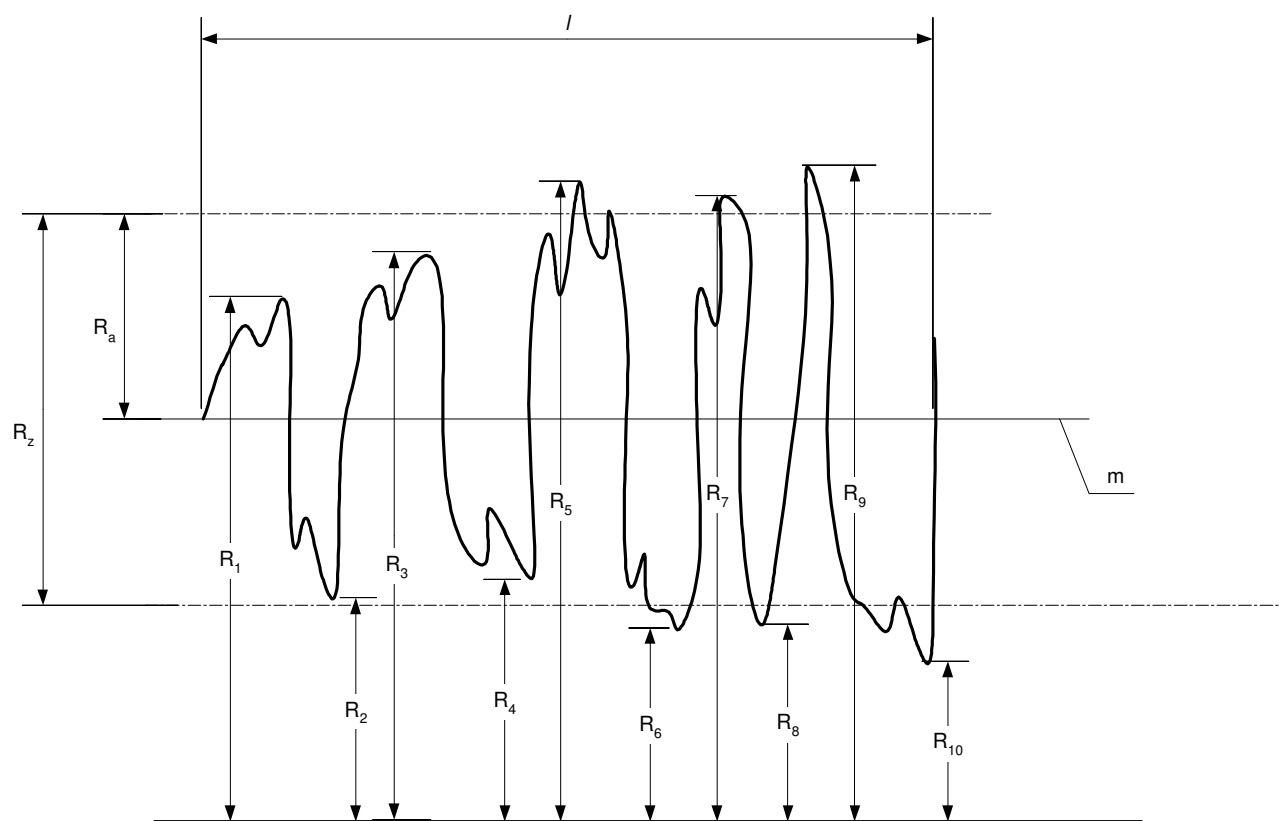
Najviša visina neravnina " $R_{\max}$ " je razmak između dva pravca paralelna sa linijom "m" koji sa gornje i donje strane dodiruju najvišu, odnosno najnižu točku profila. " $R_{\max}$ " mora biti uzeta iz reda R10 s faktorom porasta 1,25 od 0.063 μm do 1600 μm .



Slika 2.4.2 m-linija, efektivni profil, srednje odstupanje profila i najviša visina neravnina

Srednja visina neravnina " R_z " daje razliku između srednje aritmetičke vrijednosti visina 5 najviših i 5 najnižih točaka unutar duljine "l". Visine točaka mjere se od proizvoljnog pravca paralelnog s m-linijom, a za slučaj prikazan na slici 2.4.3, " R_z " se računa prema:

$$R_z = \frac{(R_1 + R_3 + \dots + R_9) - (R_2 + R_4 + \dots + R_{10})}{5}.$$

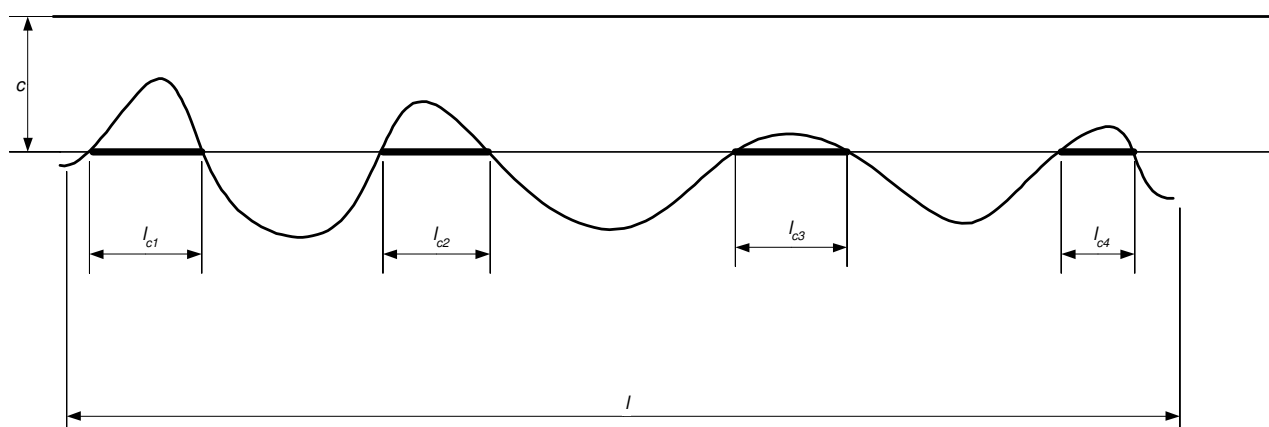


Slika 2.4.3 Srednja visina neravnina

U dopunske parametre za ocjenu hrapavosti spadaju (vidi sl. 2.4.4):

- dužina nošenja " l_n " – predstavlja sumu odsječaka koje odsijeca efektivni profil od linije povučene paralelno sa m-linijom, a na udaljenosti " c " ispod najviše točke efektivnog profila (npr. $l_n = l_{c1} + l_{c2} + l_{c3} + l_{c4}$).
- postotak nošenja profila " q_n " – predstavlja omjer izražen u postocima između dužine nošenja " l_n " i referentne dužine " l ".

Npr. oznaka $q_{n0,6}=40\%$ predstavlja postotak nošenja na dubini $c=0,6 \mu\text{m}$ ispod najviše točke.



Slika 2.4.4 Dužina nošenja

Kontrola kvalitete površine vrši se:

- mjernim instrumentima
- usporedbom površine s površinom uzorka
- iskustvenom ocjenom stupnja hrapavosti

Na samom crtežu moraju se definirati i kvalitete svih površina. To se vrši uz pomoć znakova i oznaka uz znakove. Koriste se sljedeći znakovi i oznake:



- znak za kvalitetu površine dobivenu bilo kojom metodom.



- znak za kvalitetu površine dobivenu odvajanjem čestica (glodanje, tokarenje, brušenje)



- znak za kvalitetu površine dobivenu bez odvajanja čestica (lijevanje, valjanje, kovanje, prešanje i sl.)

Znak za obradu površine postavlja se uz poziciju dijela na kojeg se odnosi. Kvaliteta obrade površine koja prevladava upisuje se na prvom mjestu, dok se sve ostale kvalitete obrade pišu u rastućem nizu, unutar kosih crta "/ /", a međusobno odvojene zarezom. Sve kvalitete unutar zagrade moraju se upisati na odgovarajuće površine. Ukoliko se ostala kvaliteta unutar crtica označi znakom $\checkmark$ kraj kojeg nema nikakve brojčane vrijednosti, tada je potrebno odgovarajuću kvalitetu potražiti na samom crtežu.

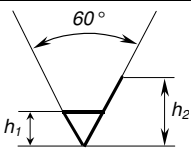
Na gore spomenute oznake dodaje se brojčana vrijednost parametra hrapavosti "R_a" u μm ili broj stupnja površinske hrapavosti (N1 do N12) koji odgovara klasama hrapavosti (od 1 do 14) (vidi tablicu 2.4.2).

Klasa hrapavosti površine prema HRN	Stupanj površinske hrapavosti	Najveće vrijednost za R _a [μm]
1*		< 0,025
2	N1	0,025
3	N2	0,05
4	N3	0,1
5	N4	0,2
6	N5	0,4
7	N6	0,8
8	N7	1,6
9	N8	3,2
10	N9	6,3
11	N10	12,5
12	N11	25
13	N12	50
14*	*	> 50

Tablica 2.4.2 Parametri hrapavosti i stupnjevi površinske hrapavosti

Oznake površinske hrapavosti, metode proizvodnje ili dodatak za strojnu obradu, propisuju se samo ako je to nužno. Ako uobičajeni tehnološki postupak osigurava željenu kvalitetu, propisivanje nije potrebno.

Sama veličina oznake za hrapavost propisana je tablicom 2.4.3, gdje se veličine od 1 do 3 primjenjuju za pojedine površine na samom crtežu, dok se veličine od 2 do 4 primjenjuju za skupne oznake koje se upisuju izvan crteža.

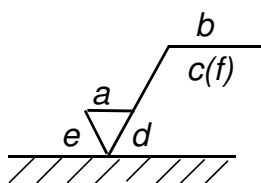
veličina oznake	1	2	3	4	
krak h_1 [mm]	2,5	4	6,3	10	
krak h_2 [mm]	4	6,3	10	16	

Tablica 2.4.3 Propisana veličina oznaka

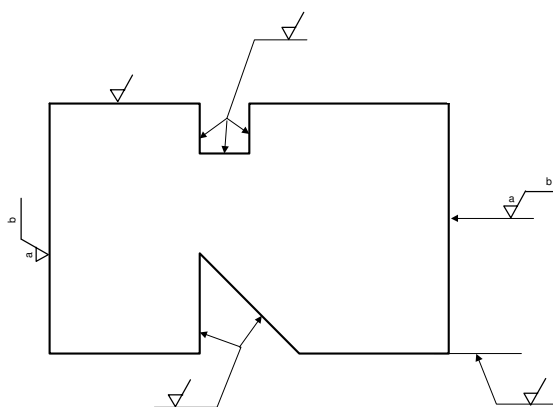
Zahtjev da se konačna površinska hrapavost ostvari jednom određenom metodom upisuje se uz oznaku za hrapavost, npr. $\sqrt{Ra}$ ^{glodano}.

Dodatne oznake upisuju se na slijedeći način (vidi sliku 2.4.5):

- oznaka kvalitete
- postupak obrade, npr. brušeno, lijevano, turpijano, glodano,...
- referentna duljina
- pravac rasprostiranja, npr. $\perp$, $=$, $\times$, M , C , R
- dodatak za strojnu obradu u [mm]
- druge vrijednosti hrapavosti, npr. R_z , R_{max}



Slika 2.4.5 Upisivanje dodatnih oznaka



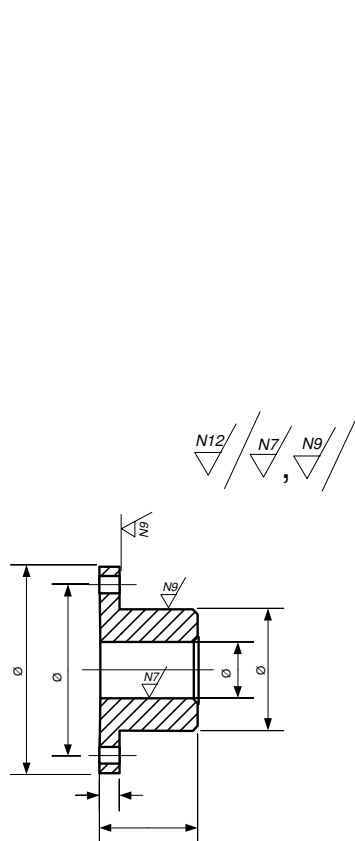
Slika 2.4.6 Orijentacija oznaka

Znakovi i dodatne oznake koje se upisuju na crtež usmjeravaju se tako da se mogu čitati odozdo ili sa desne strane (sl. 2.4.6). Znak može biti spojen strelicom.

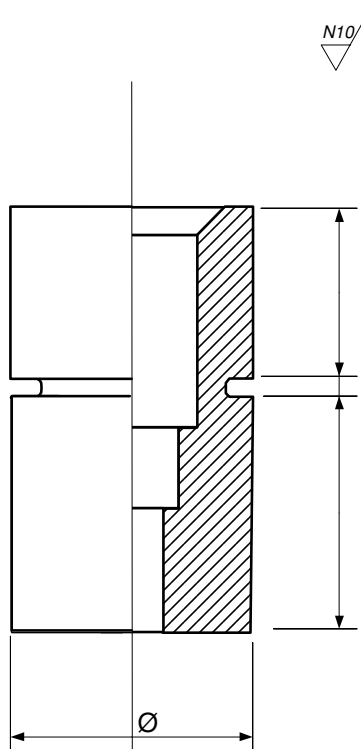
Prilikom korištenja znakova za površinsku obradu potrebno je obratiti pažnju na slijedeće:

- znakovi predmeta prikazanog u više pogleda unose se samo na jednoj projekciji i to po mogućnosti u onoj u kojoj je predmet kotiran
- na nevidljive bridove ne unose se nikakve oznake, već se u tom slučaju predmet prikazuje u presjeku kako bi nevidljive oznake postale vidljive (sl. 2.4.7 a)
- kod rotacijski simetričnih predmeta znak obrade unosi se na jednoj izvodnici ili rubu (sl. 2.4.7 a)

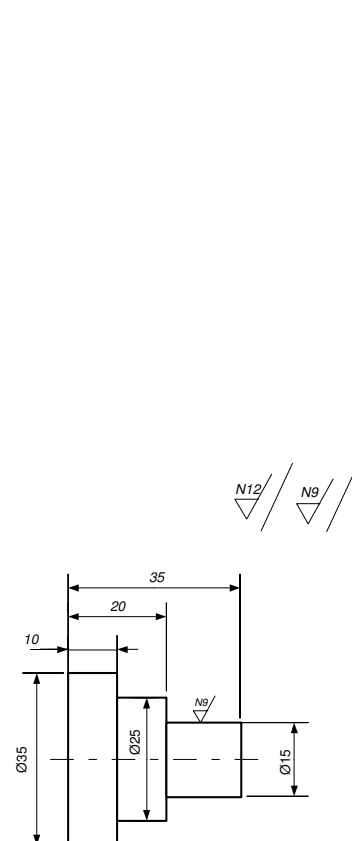
- ukoliko su površine predmeta izrađene istom kvalitetom, znakovi se ne upisuju uz konturu nego se postavlja skupni znak uz pozicijski broj komada u sastavnici ili u gornjem desnom kutu crteža (sl. 2.4.7 b)
- za predmete kod kojih je površina obrađena pretežno istom kvalitetom, u desnom se kutu postavlja skupni znak, dok se oznaka za tu kvalitetu ne unosi uz konture površine. Ostale kvalitete unose se između kosnih crta, nakon skupnog znaka, uz to potrebno ih je unijeti i uz konturu ruba na samom crtežu (slika 2.4.7 c). Redoslijed unošenja znakova između crtica je od fine prema grubljoj kvaliteti. Veličina svih oznaka, koje se upisuju u desnom kutu, je ista.
- ako je neki dio površine posebno točno obrađen, to se područje kotira (sl. 2.4.7 d). Po potrebi se, uz oznaku hrapavosti, pisanim tumačenjem navodi postupak obrade
- kvaliteta površine označava se i na površinama sa zadanom tolerancijom jer tolerancija sama po sebi ne određuje i kvalitetu površine (sl. 2.4.7 e)
- kod utora za klinove također se označava kvaliteta površine (sl. 2.4.7 e)
- površine koje su sastavljene međusobno naliježu jedna na drugu u principu imaju istu kvalitetu. Ukoliko je obrada tih površina različita, kvalitetu površine potrebno je navesti na obje površine (sl. 2.4.7 f)
- ukoliko se propisuje neka vrsta obrade bez zahtjeva za određenom kvalitetom površine, oznaka kvalitete upisuje se kao znak za obradu bez oznake klase, dok se vrsta obrade upisuje iznad produženja znaka (sl. 2.4.7 g)
- ako jedna površina kontinuirano prelazi u drugu na način da se površine ne mogu razdvojiti, tada se uz konturu povlači tanka točka-crta linija (e-linija) na koju se upisuje oznaka kvalitete (sl. 2.4.7 i)
- kod zupčanika oznaka za kvalitetu površine postavlja se na diobenom krugu. Ukoliko se pak crta profil zuba, tad se znak postavlja na sami profil (sl. 2.4.7 k)
- kvaliteta površine navoja označava se na liniji konture poprečnog presjeka (sl. 2.4.7 j), odnosno debelo vučenoj liniji (2.4.7 h, j)



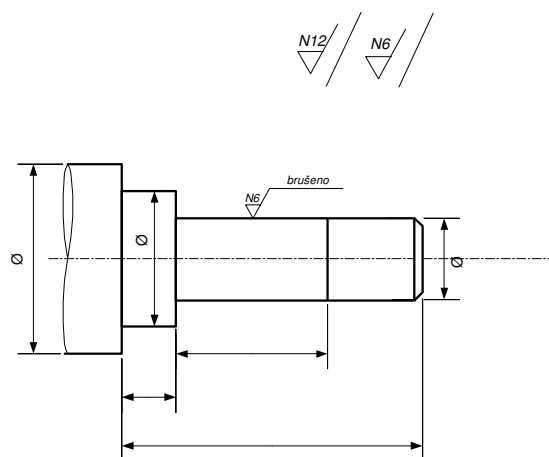
Slika 2.4.7 a)



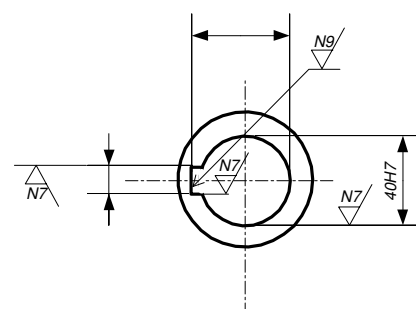
Slika 2.4.7 b)



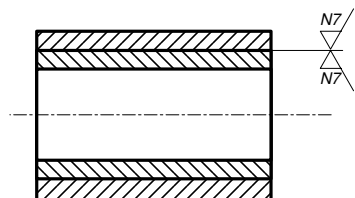
Slika 2.4.7 c)



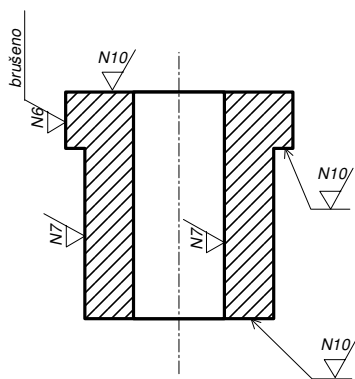
Slika 2.4.7 d)



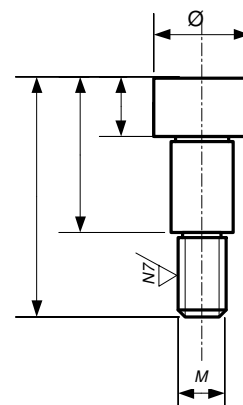
Slika 2.4.7 e)



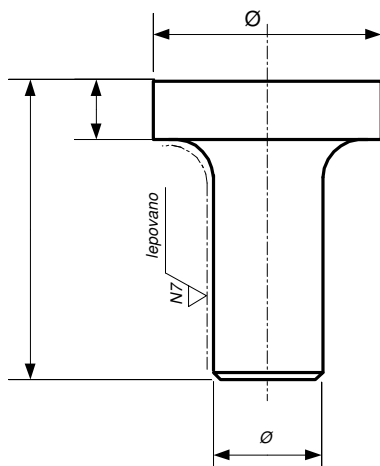
Slika 2.4.7 f)



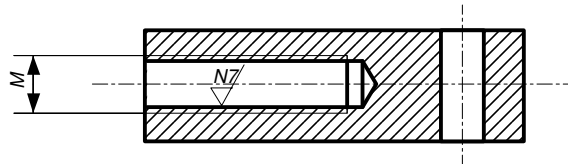
Slika 2.4.7 g)



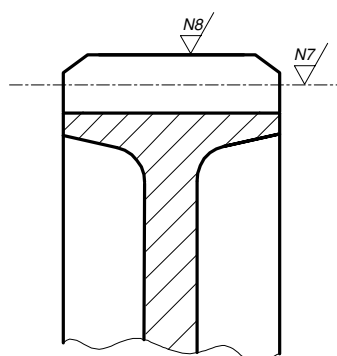
Slika 2.4.7 h)



Slika 2.4.7 i)



Slika 2.4.7 j)



Slika 2.4.7 k)

Kvalitet površine upisuje se na crtežu klasom hrapavosti. Ukoliko se pak kvalitet površine upisuje preko parametara hrapavosti poput "R_a" ili "R_z", kvaliteta površine kontrolira se profilmetrom, što znatno povećava troškove. Kod ovakvog propisivanja kvalitete površine potrebno je voditi računa o toleranciji. Zbog toga standard propisuje usporedne vrijednosti

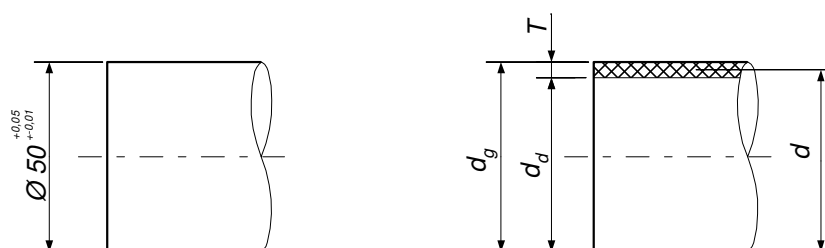
kvalitete površinske obrade i odgovarajuće tolerancije. Ukoliko površina ne zahtijeva finiju kvalitetu obrade, standard preporuča gornju mjeru hrapavosti za određenu toleranciju.

2.5 Tolerancije

Zbog nesavršenosti ljudi, strojeva, alata i materijala proizvedeni predmeti više ili manje odstupaju od željene mjere. Veličine dopuštenih odstupanja stvarnih mjera od željenih ovise o namjeni dijelova te o visini proizvodnih troškova. Područje u kojem se nalaze granice dozvoljenih odstupanja mjera naziva se *područje tolerancije* ili jednostavno *tolerancija*.

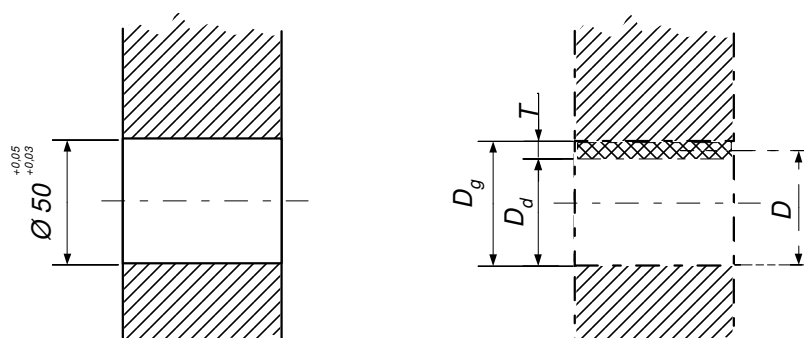
Prema standardu, sve mjere koje se odnose na tolerancije osovina (vanjskih mjera) označavaju se malim slovima, dok se sve tolerancije koje se odnose na tolerancije provrta (unutarnjih mjera) označavaju velikim slovima.

Za primjer osovine sa slike 2.5.1, najveći dozvoljeni propisani promjer označen je sa " d_g ", dok je najmanji dozvoljeni promjer označen sa " d_d ". Nazivni promjer označen je sa " d ". Ako se stvarni promjer " d_s ", koji je dobiven izradom, nalazi između ova dva promjera (unutar tolerancijskog polja) smatra se da je proizvod ispravan. Razlika $T = d_g - d_d$, predstavlja dozvoljenu netočnosti izrade te se naziva tolerancija " T ". Na samom crtežu dozvoljena odstupanja unose se preko brojeva koji imaju "+" ili "-" predznak, što označava da li se odstupanje pribraja ili oduzima od nazivne mjere (sl. 2.5.1).



Slika 2.5.1 Tolerancija osovine

Za slučaj da se radi o provrtu (sl. 2.5.2), tolerancija se definira kao $T = D_g - D_d$.



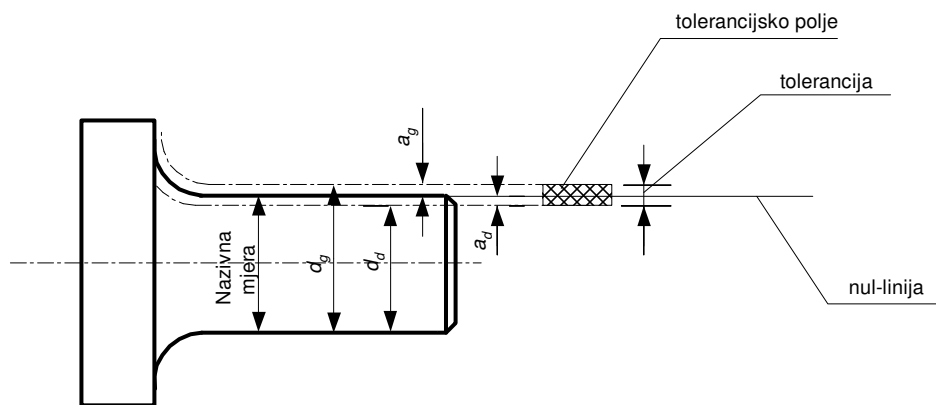
Slika 2.5.2 Tolerancija provrta

Promjeri " D " i " d " su *nazivne mjere* koje su predstavljene kotom. *Nul-linija (0-linija)* je linija čije je odstupanje jednako nuli te se sva ostala odstupanja mjere od ove linije. Nul-linija odgovara nazivnoj mjeri u grafičkim predodžbama te se od nje određuje tolerancija (sl. 2.5.3).

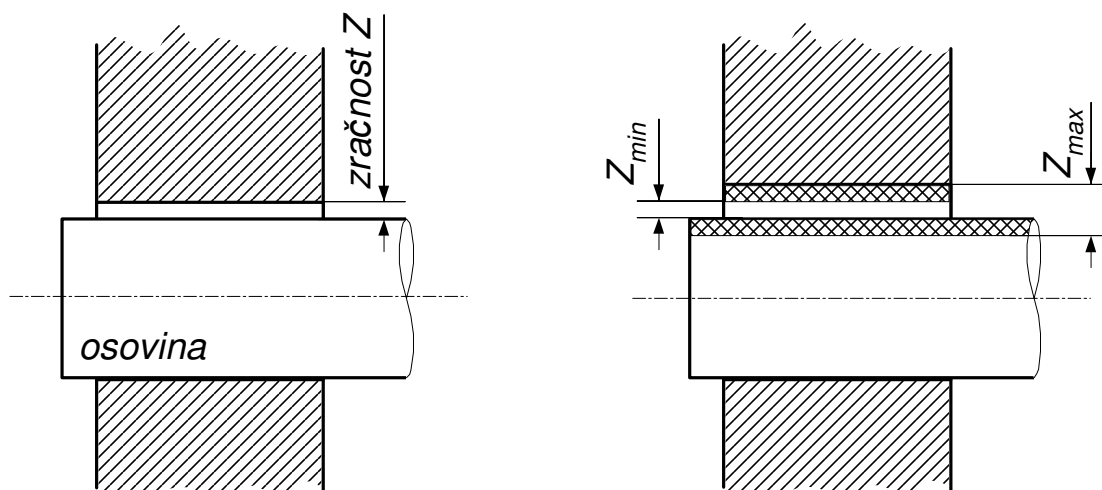
Odmjera ili *odstupanje* razlika je između stvarne i nazivne mjere. *Gornje odstupanje* predstavlja razliku između najveće dopuštene i nazivne mjere, tj. $A_g = D_g - D$ i $a_g = d_g - d$. *Donje odstupanje* predstavlja razliku između najmanje dopuštene i nazivne mjere, tj. $A_d = D_d - D$ i $a_d = d_d - d$.

Dosjed je razlika mjera dva strojna dijela koji su u spoju. *Zračnost "Z"* jer razlika u mjerama dosjeda kod kojih postoji labavost, tj. $Z = D_s - d_s$, pri čemu je $D_s > d_s$ (sl. 2.5.4). *Preklop* je razlika u mjerama dosjeda kod kojih postoji prisnost, tj. $P = D_s - d_s$, pri čemu je $D_s < d_s$ (sl. 2.5.5).

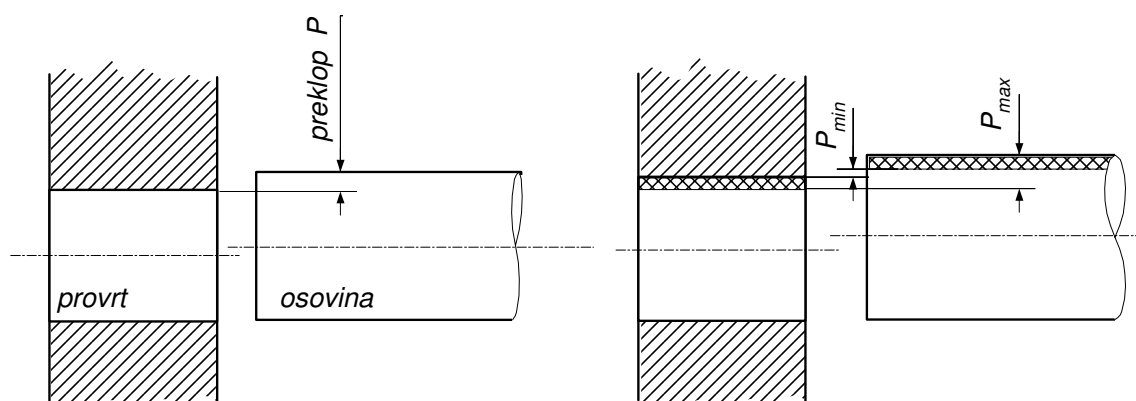
Kvalitet je broj koji predstavlja oznaku tolerancije (točnost proizvodnje) te se njime određuje dozvoljena veličina pogreške izrade, odnosno finoća izrade. Veći broj predstavlja veću dopuštenu grešku. Finija obrada direktno utječe na veće troškove proizvodnje te je potrebno težiti ka čim manjoj finoći obrade. Npr. prijelazom sa kvalitete 9 na kvalitetu 7, troškovi proizvodnje se povećavaju za otprilike 40%! *Polje tolerancija* je slovo koje označava položaj kvaliteta prema nul-liniji te određuje vrstu dosjeda. Položaj tolerancijskog polja može, obzirom na nul-liniju, biti pozitivan (gornja i donja granica veće od nazivnog promjera), prelazan (nazivna mjera je unutar graničnih mjera) i negativan (gornja i donja granica manja od nazivnog promjera) (sl. 2.5.6).



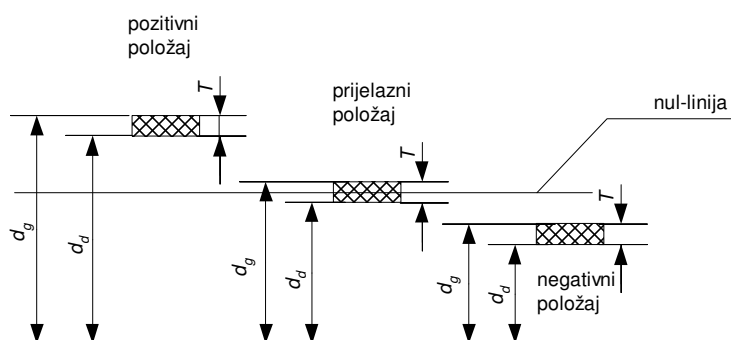
Slika 2.5.3 Nul-linija i nazivna mjera



Slika 2.5.4 Zračnost



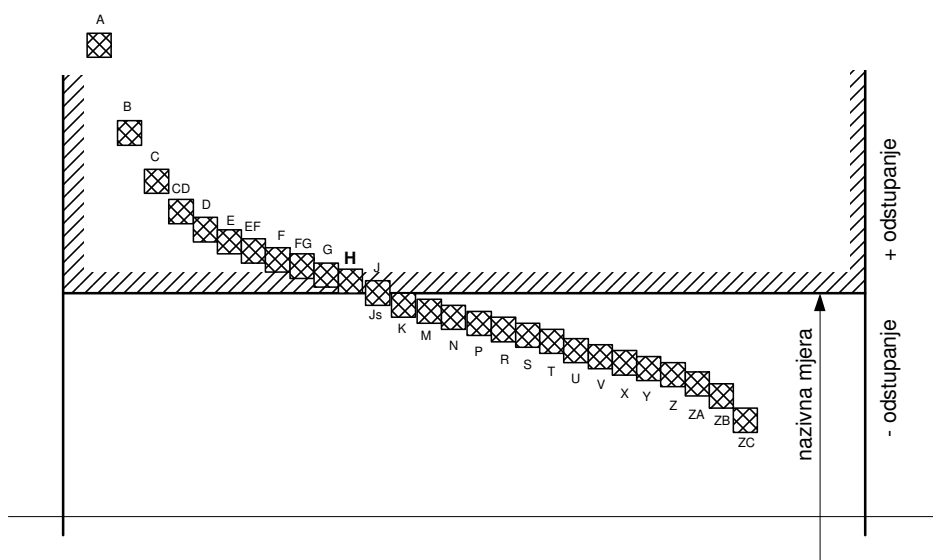
Slika 2.5.5 Preklop



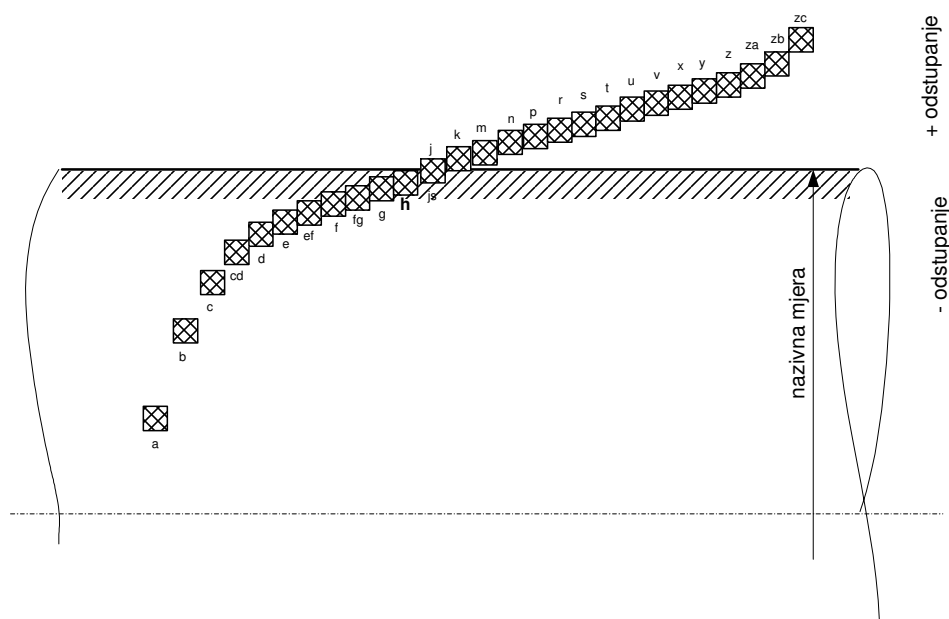
Slika 2.5.6 Položaj tolerancijskog polja

2.5.1 ISO tolerancijski sustav

Po ISO tolerancijskom sustavu položaj tolerancijskog polja određen je velikim slovom kod unutrašnjih mjera (provrti) te malim slovom kod vanjskih mjera (osovina ili čep). Pritom se koriste slova abecede (bez slova š, đ, č, ć, ž), a radi izbjegavanja zamjene sa drugim oznakama ispuštena su velika i mala slova "i, l, o, q, w". Uz slova abecede, postoje još i kombinacije slova "za, zb, zc" (veliko i malo). Za potrebe fine mehanika i urarstva postoje dodatne tolerancije "cd, ef, fg" (veliko i malo). Poseban značaj imaju tolerancijska polja "H" i "h". Tolerancijsko polje "H" ima gornje odstupanje pozitivno "+", a donje nula (nul-linija) (sl. 2.5.7). Tolerancijsko polje "h" ima donje odstupanje negativno "-", dok mu je gornje nula (nul-linija) (sl. 2.5.8). Kod provrta, tolerancijska polja od "A" do "G" imaju oba odstupanja "+", dakle dobiven provrt je veća od nazivne. Kod osovina (čepova), tolerancijska polja od "a" do "g" imaju oba odstupanja "-", dakle osovina je manja od nazivne. Polja "J" i "j" rasprostiru se s obje strane nul-linije. Polja od "K" do "ZC" označavaju provrti s promjerima manjim od nazivnih. Polja "k" do "zc" označavaju osovine sa promjerima većim od nazivnih. Tolerancijska polja "J" i "j" leže na nul-liniji te za slučaj kada je njihov dio iznad i ispod nul-linije jednak, označavaju sa slovima "Js", odnosno "js".



Sl. 2 5.7. Položaj tolerancijskih polja kod unutrašnjih mjera (provrti)



Sl. 2.5.8 Položaj tolerancijskih polja kod vanjskih mjera (osovine)

Sustavom tolerancijskih polja određen je položaj polja, dok veličina polja ovisi o nazivnoj mjeri i određuje se na slijedeći način:

Za dimenzije od 1 mm do 500 mm, čitavo područje je razdijeljeno na 13 dijelova. Za svako od područja propisana je tolerancijska jedinica koja se mjeri u $[\mu\text{m}]$, a računa se prema izrazu:

$$i = 0,45 \sqrt[3]{M} + 0,001 \cdot M \quad [\mu\text{m}],$$

gdje je M srednja geometrijska vrijednost najmanje i najveće mjere određenog područja. Ovaj izraz može se prikazati tablično (tablica 2.5.1), tako npr. za jedinicu tolerancije u području od 80 mm do 120 mm, $M = \sqrt{80 \cdot 120} = 97,98 \text{ mm}$.

od [mm]	1	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400
do [mm]	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500
i [μm]	0,6	0,75	0,9	1,1	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5	2,9	3,2	3,6	4,0

Tablica 2.5.1

Za dimenzije od 500 mm do 3150 mm, vrijedi izraz:

$$I = 0,04 \cdot M + 2,1 \quad [\mu\text{m}].$$

Radi različitih zahtjeva obzirom na primjenu proizvoda (tablica 2.5.2), uvedeno je 18 kvaliteta tolerancije koje se označavaju slovima "IT" i nizom brojeva ("01, 0, 1, 2, 3, ...16"). Povećanjem broja "IT" raste veličina tolerancijskog polja definiranog brojem tolerancijskih jedinica "i" (vidi tablicu 2.5.3). Vrijednosti za IT 01, IT 0 i IT 1 računaju se iz slijedećih izraza:

$$IT\ 01 \Rightarrow i = 0,3 + 0,008M \quad [\mu\text{m}],$$

$$IT\ 0 \Rightarrow i = 0,5 + 0,008M \quad [\mu\text{m}],$$

$$IT\ 1 \Rightarrow i = 0,8 + 0,008M \quad [\mu\text{m}].$$

Za redove tolerancija IT 2, IT 3, IT 4, vrijednosti su izabrane geometrijskim stupnjevanjem redova IT 1 i IT 5.

Za ostale redove tolerancija, vrijednosti veličine polja odabiru su prema tablici 2.5.3.

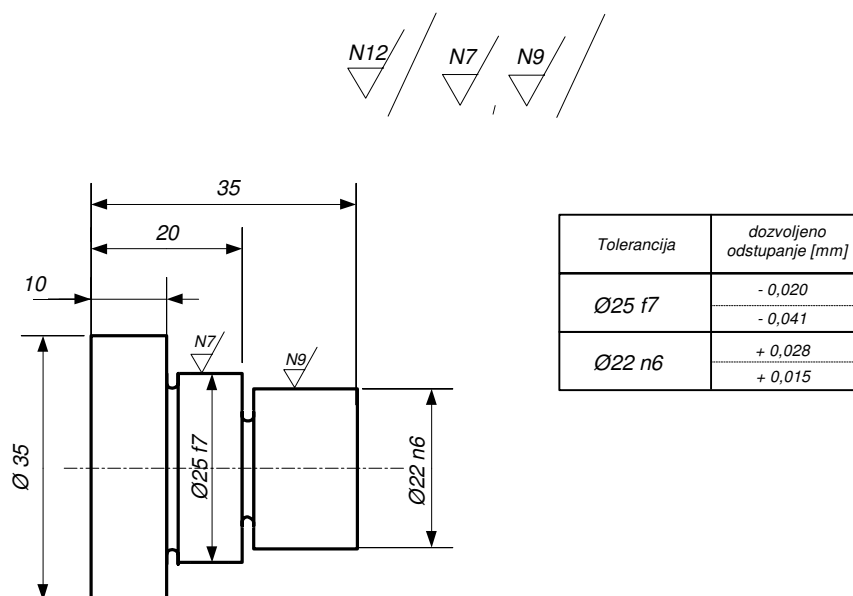
										opće strojarstvo za obrađene dijelove								
IT	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
male tolerancije za mjerila (precizna mehanika)							srednje tolerancije za dosjede						velike tolerancije za lijevane, kovane i valjane dijelove					

Tablica 2.5.2 Područje upotrebe različitih kvaliteta obzirom na primjenu

IT	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Tolerancija	7 i	10 i	16 i	25 i	40 i	64 i	100 i	160 i	250 i	400 i	640 i	1000 i

Tablica 2.5.3 Veličina tolerancijskog polja

Na samom crtežu, prema ISO, tolerancije se označavaju tako da se postavljaju uz kotni broj i oznaku kvalitete. Sve mjere za koje je zadana tolerancija upisuju se u tablicu u kojoj se nalazi i dozvoljeno odstupanje izraženo u [mm] (sl. 2.5.9).

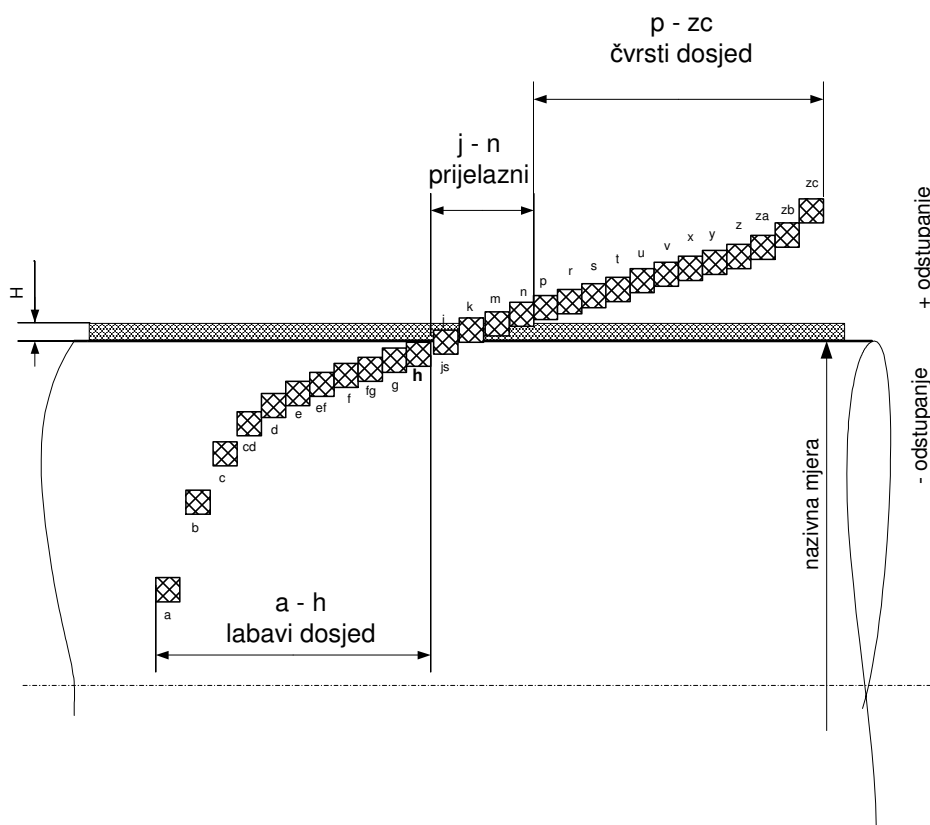


Slika 2.5.9 Označavanje tolerancija na crtežu

2.5.2 Sustavi dosjeda

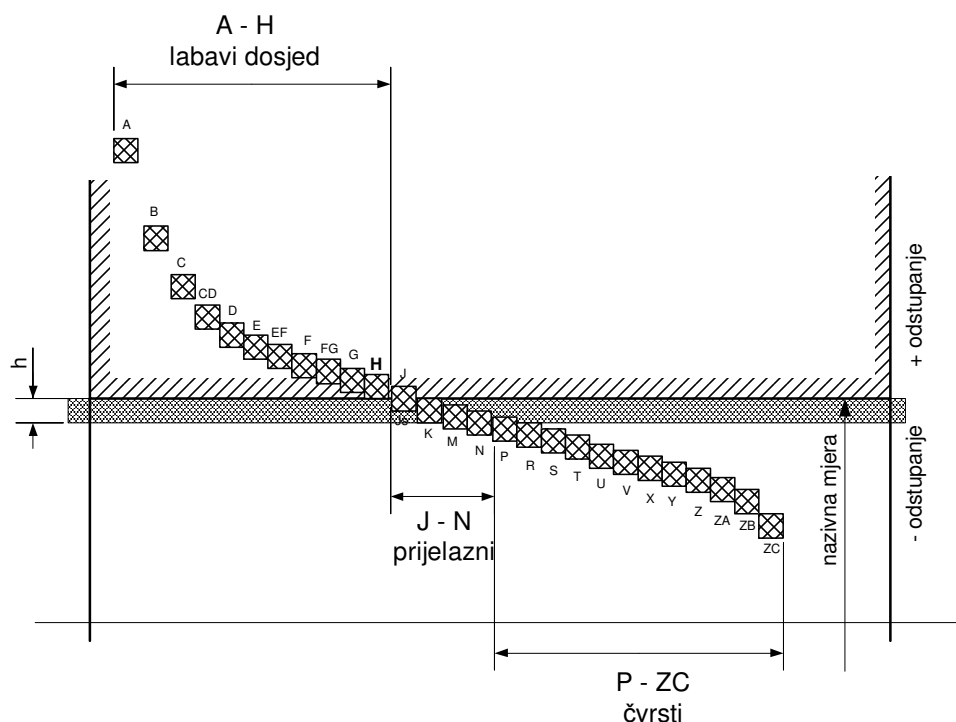
Kao što je pokazano, ISO tolerancijski sustav daje mogućnost upotrebe raznih tolerancijskih polja. Iz razloga ekonomičnosti uvedena su dva sustava dosjeda, sustav zajedničke unutarnje mjere (naziva se i sustav rupe odnosno provrta) te sustav zajedničke vanjske mjere (naziva se i sustav čepa odnosno osovine).

Sustav zajedničke unutrašnje mjere (sustav provrta odnosno rupe) je sustav tolerancijskih polja pri čemu sve unutrašnje mjere (rupe) imaju jednako dozvoljeno odstupanje. Tolerancijsko polje leži na nul-liniji koja definira donje odstupanje rupe, a gornje odstupanje jednako je odabranoj toleranciji. Dakle provrt u ovom sustavu ima uvijek tolerancijsko polje "H" s pripadajućom odabranom kvalitetom (npr. H7, H8,...). Tako npr. "H7/r6" je čvrsti dosjed, "H7/j6" prelazni, a "H7/f7" labavi dosjed. Korištenjem ovog sustava smanjuje se asortiman skupih alata za oblikovanje provrta (freza, razvtača i sl.).



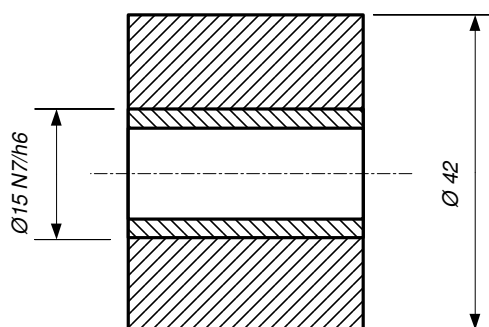
Slika 2.5.10 Sustav zajedničkog provrta

Sustav zajedničke vanjske mjere (sustav osovine odnosno čepa) temelji se na čepu (osovini) s tolerancijom "h". Najveći promjer čepa je nul-linija, a najmanji je definiran tolerancijom "h". Npr. "P7/h6" je čvrst dosjed, "J7/h6" prelazni, a "F8/h6" labavi.



Slika 2.5.11 Sustav zajedničkog čepa (osovine)

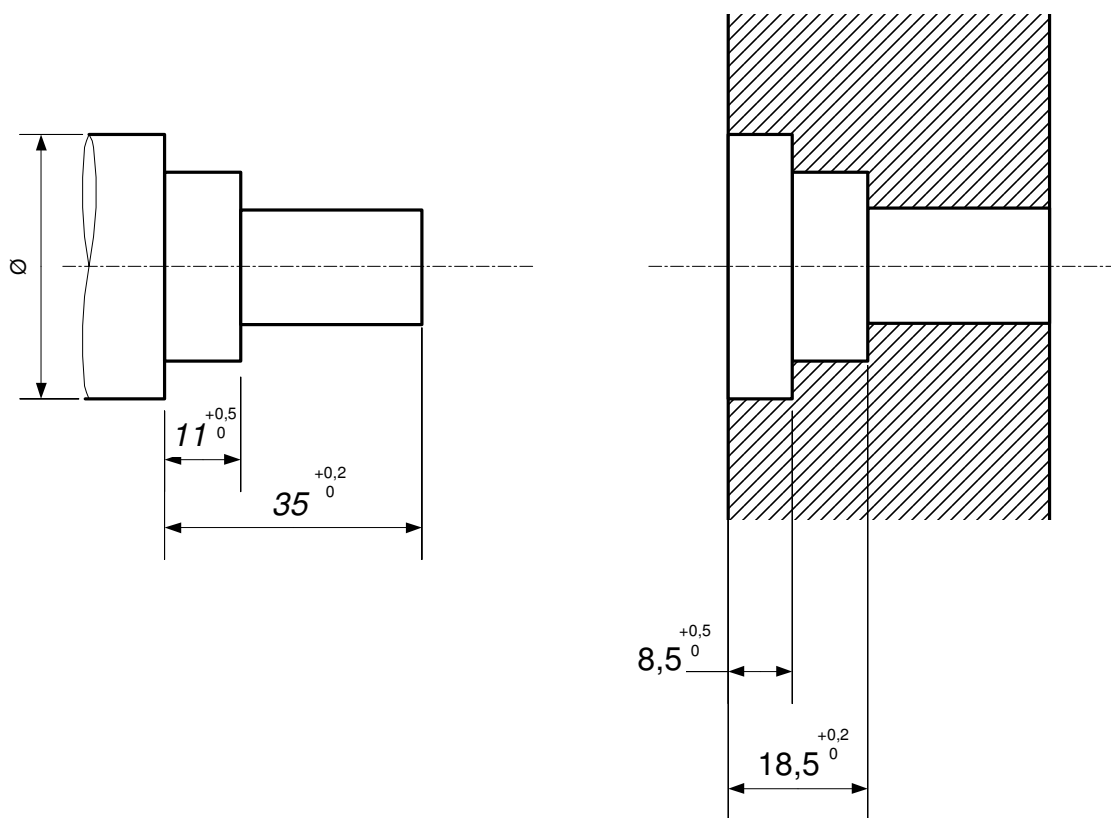
Prema ISO, dosjed se označava na crtežu u obliku razlomka na način da se u brojniku napiše tolerancija rupe, a u nazivniku tolerancija osovine (sl. 2.5.12).



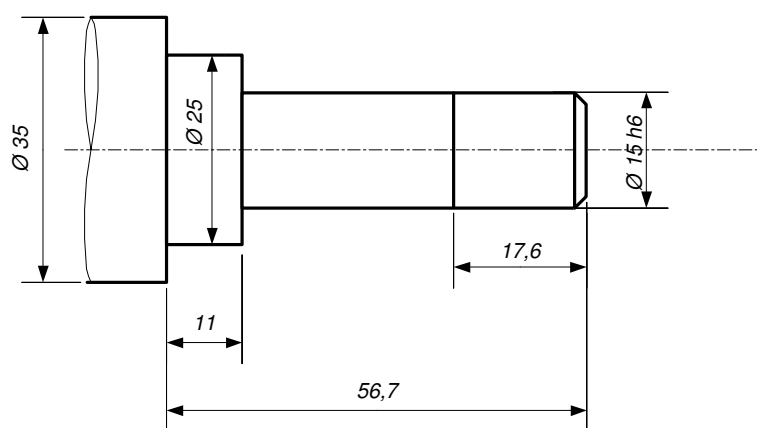
Slika 2.5.12 Označavanje dosjeda

2.5.3 Propisivanje tolerancije uzdužnih mjera, kutova, ekscentričnosti paralelnost i okomitosti

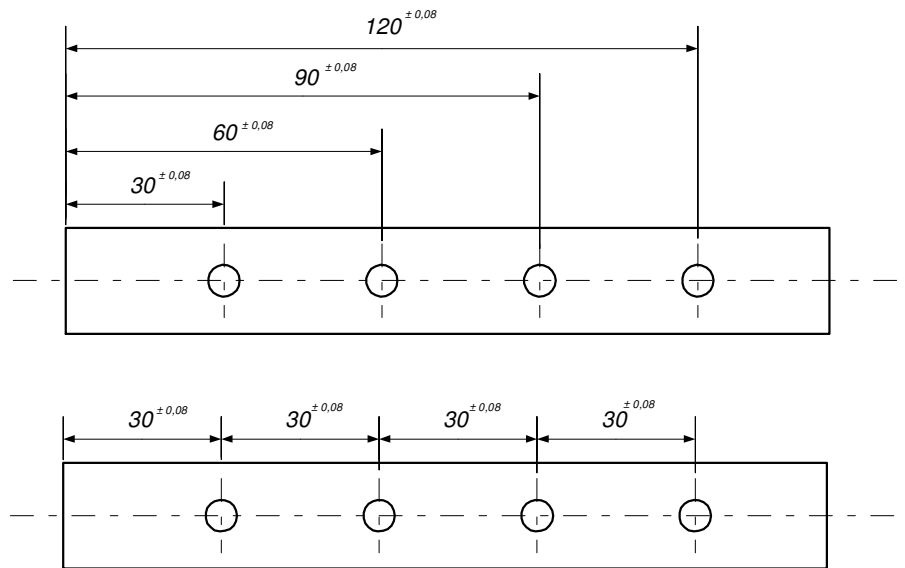
Odstupanje uzdužnih mjera kotira se od ishodišne ravnine, koja ovisi o samom obliku predmeta te mogućnosti mjerenja (sl. 2.5.13). Ukoliko odstupanje nije propisano po čitavoj dužini, željena površina omeđuje se kotama (sl. 2.5.14). Odstupanje razmaka provrta definira se međusobnom udaljenošću središnjica ili udaljenošću središnjica i ishodišne ravnine (sl. 2.5.15). Propisivanje odstupanja kutova vrši se kao što je prikazano slikom 2.5.16.



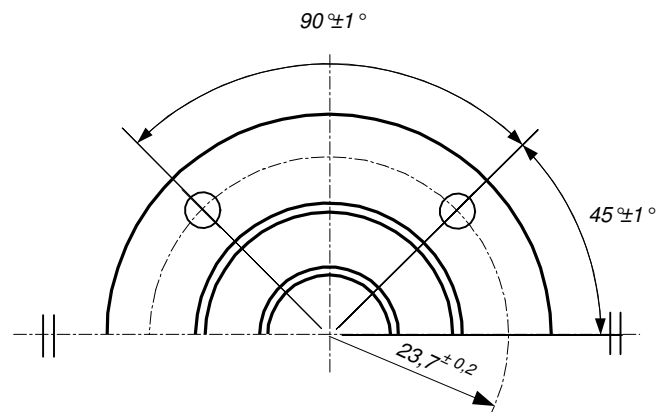
Slika 2.5.13 Kotiranje uzdužnih mjera



Slika 2.5.14 Propisivanje odstupanja za dio površine

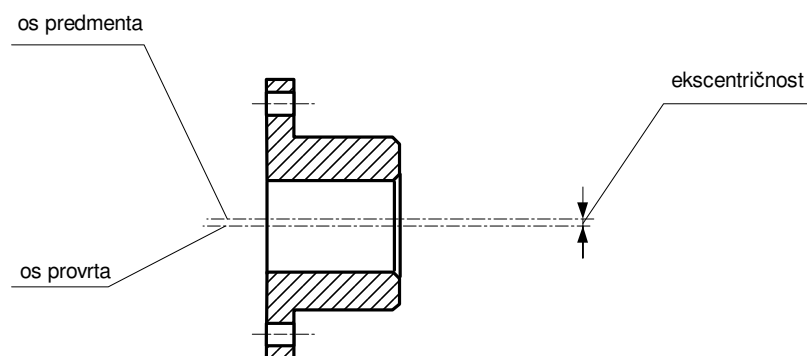


2.5.15 Propisivanje položaja provrta

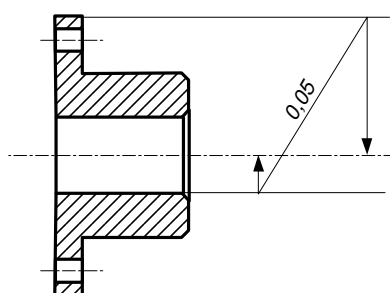


2.5.16 Propisivanje odstupanja kutova

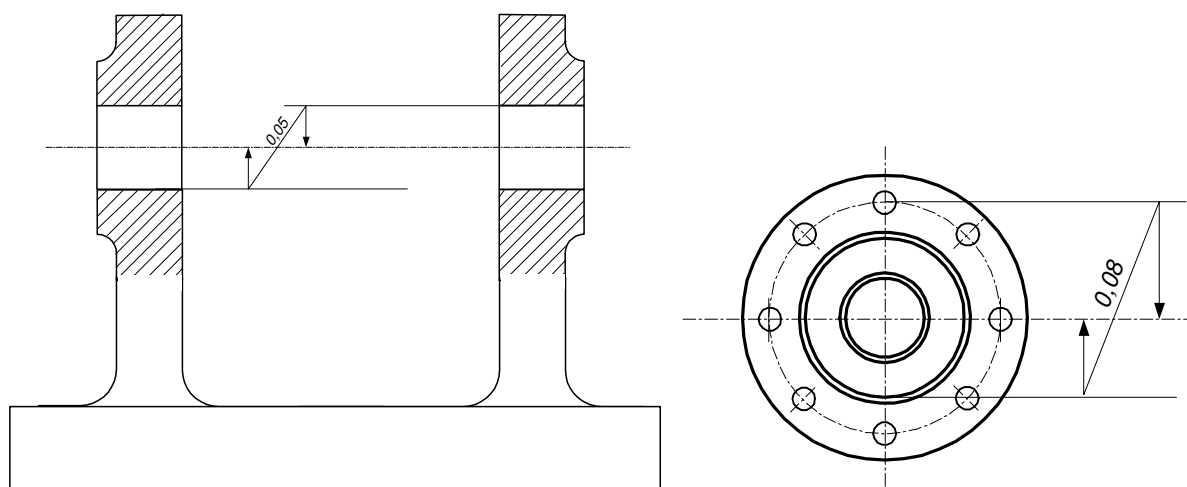
Plohe i tijela koje imaju zajedničku simetralu nazivaju se koncentričnim. Odstupanje od koncentričnih ploha naziva se *ekscentričnost* (sl. 2.5.17). Ograničenje ekscentričnosti propisuje se prelomljenom kotnom crtom (sl. 2.5.18 i 2.5.19).



Slika 2.5.17 Ekscentričnost

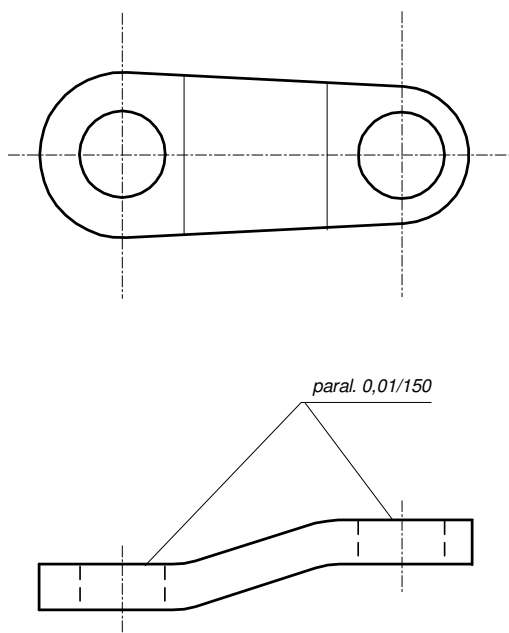


Slika 2.5.18 Kotiranje dovoljene ekscentričnosti

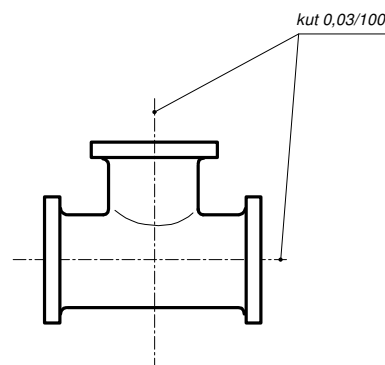


Slika 2.5.19 Kotiranje dovoljene ekscentričnosti

Paralelnost se označava navođenjem dužine za koju se propisuje dozvoljeno odstupanje te tekстом "*paral.*" (sl. 2.5.20). Na isti način se propisuje odstupanje od pravog kuta, pri čemu se ne navode stupnjevi već, poput paralelnosti, [mm]/[mm].



Slika 2.5.20 Propisivanje paralelnosti



Slika 2.5.21 Propisivanje okomitosti

2.5.4 Tolerancije oblika i položaja

Za ispravno funkcioniranje strojnog dijela potrebno je, uz dužinske tolerancije objašnjene u prethodnom pod poglavlju, odrediti i prostorne tolerancije. One su vezane za odstupanje dijela nekog predmeta od teorijskog geometrijskog oblika.

Tolerancije oblika odnose se na dopuštana odstupanja elementa od točnog geometrijskog oblika ili njegovog referentnog dijela (osnovica, brid, kružnica, profil, ploha). Osobine koje se pritom mogu odrediti jesu:

- pravocrtnost
- ravnost
- kružnost
- cilindričnost
- oblik linije
- oblik površine

Referentni element je onaj geometrijski oblik koji u primjeni neke tolerancije služi kao polazna osnovica. Oblik referentnog elementa mora biti dovoljno točan. Ako je potrebno, za referentni se element propisuju i tolerancije.

Tolerancije položaja odnose se na prostorna odstupanja između dvaju ili više elemenata (npr. bridova, središnjica, ploha i sl.). Pošto su prostorna odstupanja moguća u svim smjerovima, ona se navode s apsolutnim vrijednostima. Ovim tolerancijama se određuju odstupanja od:

- pravca
- mjesta
- udara (točnost okretanja)

Svrha tolerancija oblika i položaja je funkcionalnost i izmjenjivost strojnih dijelova te što ekonomičnija proizvodnja.

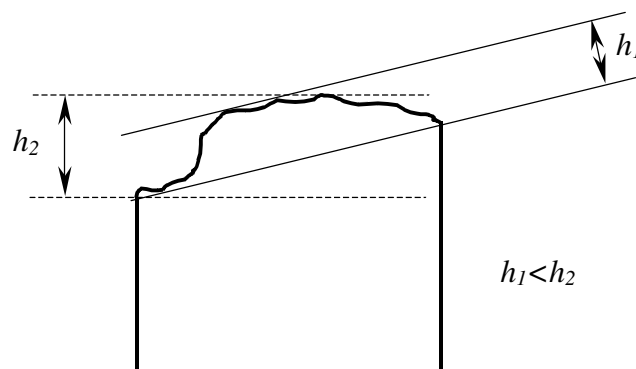
Tolerancija oblika i položaja određena je područjem (zonom) u kojem se geometrijski element (točka, brid, središnjica, ploha) nalazi.

Područje (zona) tolerancije može biti:

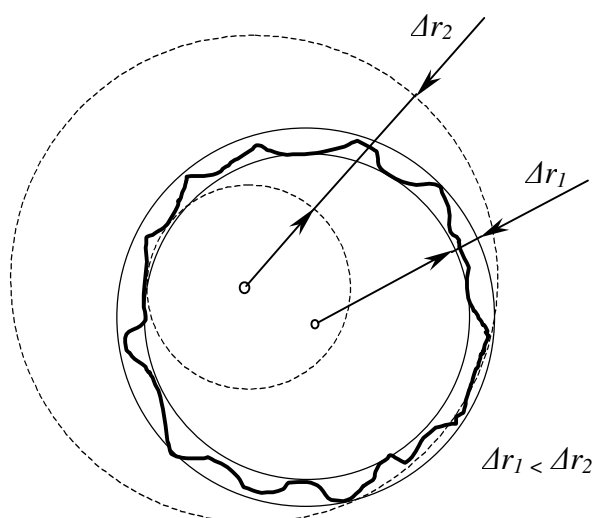
- površina obuhvaćena kružnicom
- površina između dvije koncentrične kružnice
- površina između dvije ekvidistantne linije
- površina između dvije paralelne linije
- prostor unutar kugle
- prostor unutar valjka
- prostor između dvije ekvidistantne površine ili dvije paralelne ravnine
- prostor unutar kvadra

Kod mjerenja odstupanja oblika postavljaju se granične linije koje se moraju postaviti na način da se dobiju najmanja odstupanja. Ako se ne vodi računa o ovom uvjetu, dobiju se veća odstupanja od stvarnih. Npr. na slici 2.5.22 odstupanje h_2 je krivo, a korektno izmjereno odstupanje je označeno kao h_1 . Isto se odnosi za odstupanje od kružnog oblika prikazanog na slici 2.5.23, gdje je odstupanje Δr_2 krivo određeno, dok je odstupanje Δr_1 korektno određeno. Ovaj uvjet se naziva i *uvjet minimuma*.

Vrste tolerancija zadane su tablicom 2.5.4.



Slika 2.5.22 Postavljanje graničnih linija odstupanja



Slika 2.5.23 Postavljanje graničnih linija odstupanja

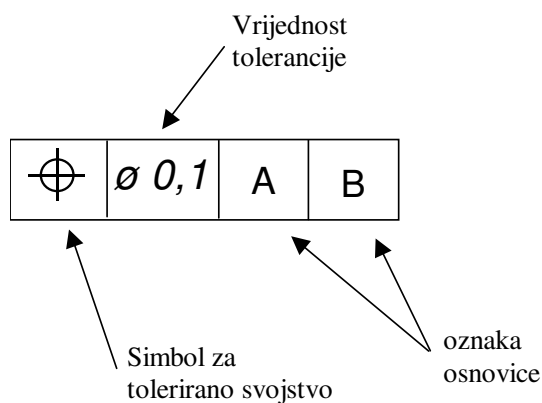
Vrste tolerancija		Tolerira se:	Simbol
Tolerancije oblika		pravocrtnost	—
		ravnost	
		kružnost	
		cilindričnost	
		oblik linije	
		oblik površine	
Tolerancije položaja	Tolerancije pravca	paralelnost	//
		okomitost	
		kut nagiba	
	Tolerancije mjesta	mjesto	
		koncentričnost, koaksialnost	
		simetričnost	
	Tolerancije točnosti okretanja	točnost okretanja kružnost okretanja ravnost okretanja	
		udar	

Tablica 2.5.4 Vrste tolerancija oblika i položaja

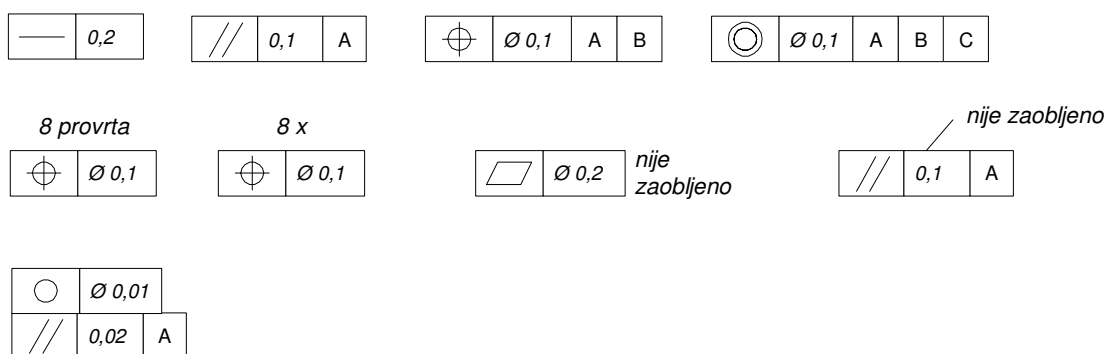
Opis		Simbol
Oznaka toleriranog elementa	izravno	
	slovom	
Oznaka referentnog elementa (osnovice)	izravno	
	slovom	
Mjesto referentnog elementa		
Teorijski točna mjera		
Projicirano područje tolerancije		
Maksimalni uvjet za materijal		

Tablica 2.5.5 Dopunski simboli

Zahtjevi za toleranciju daju se u pravokutnom okviru podijeljenom na dva ili više dijelova (sl. 2.5.24). Oznaka za osnovicu piše se u okviru nakon vrijednosti tolerancije. Zajednička osnovica koja se sastoji od dvije osnovice piše se skupa "A-B". Ako je važan redoslijed više osnovica, tada se one pišu odijeljeno, dok je redoslijed s lijeva na desno zadan prema važnosti. Ako redoslijed osnovica nije važan, slova se pišu u istom okviru (slika 2.5.25). Dodatne oznake poput "6 provrta", "4 plohe" pišu se iznad okvira.



Slika 2.5.24 Način upisivanja zahtjeva za toleranciju

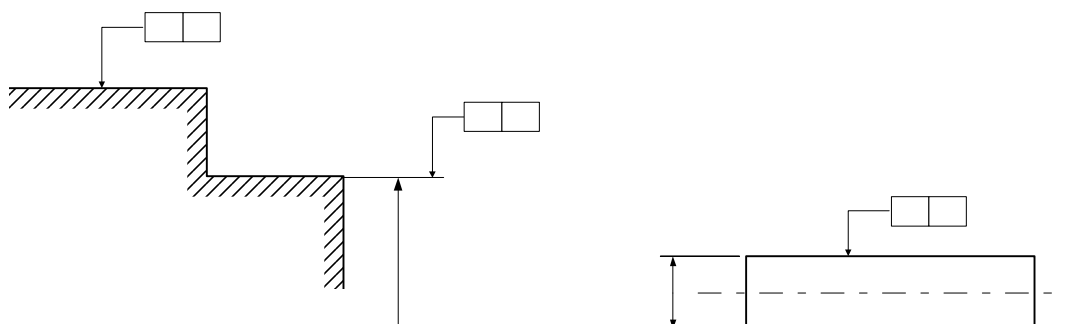


Slika 2.5.25 Označavanje tolerancija

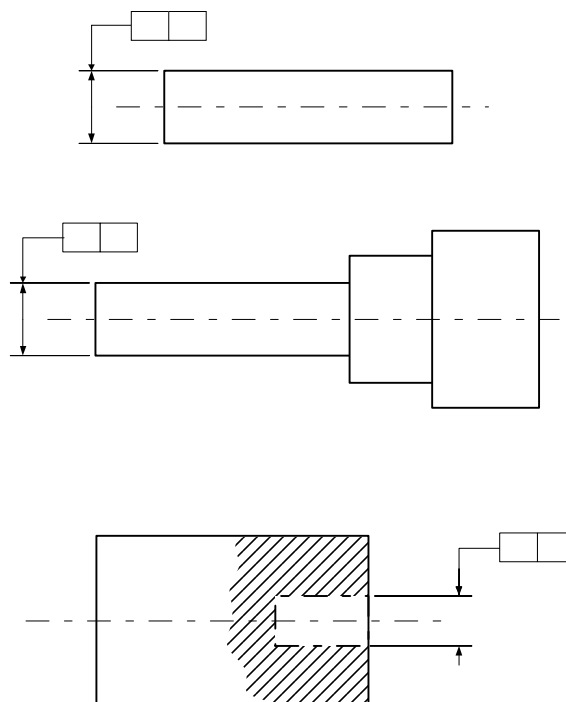
Okvir se povezuje toleriranim područjem pomoću pokazne crte i to na način:

- strelica dodiruje obris elementa ili pomoćnu kotu ako se tolerancija odnosi na pravac ili plohu. Pritom strelica mora biti odmaknuta od strelice kotne crte (sl. 2.5.26)
- strelica i pokazna crta označavaju produžetak strelice kotne crte ako se tolerancija odnosi na os ili srednju geometrijsku ravninu (sl. 2.5.27)
- ako se tolerancija odnosi na sve središnjicom prikazane osi ili srednje geometrijske ravnine, strelica dodiruje središnjicu (sl. 2.5.28)

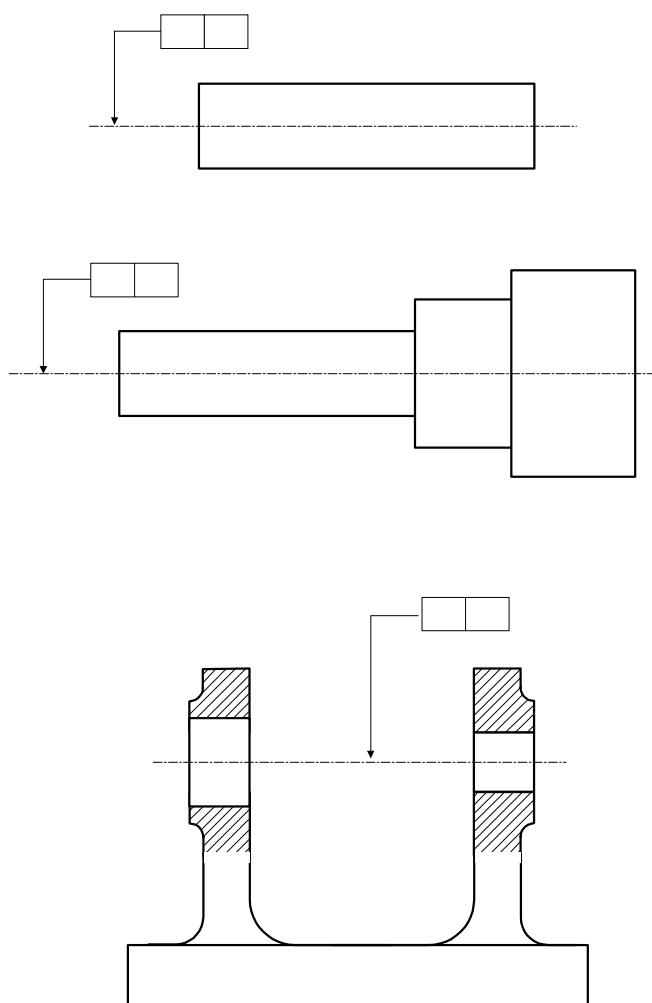
Prostorna tolerancija leži u smjeru strelice pokazne crte. Znak " $\emptyset$ " ukazuje da se radi o kružnoj toleranciji (sl. 2.5.29). Smjer prostorne tolerancije općenito je okomit na geometrijski oblik (sl. 2.5.30). Za slučaj da se traži neki smjer različit od okomice tada je potrebno definirati smjer prostorne tolerancije (sl. 2.5.31).



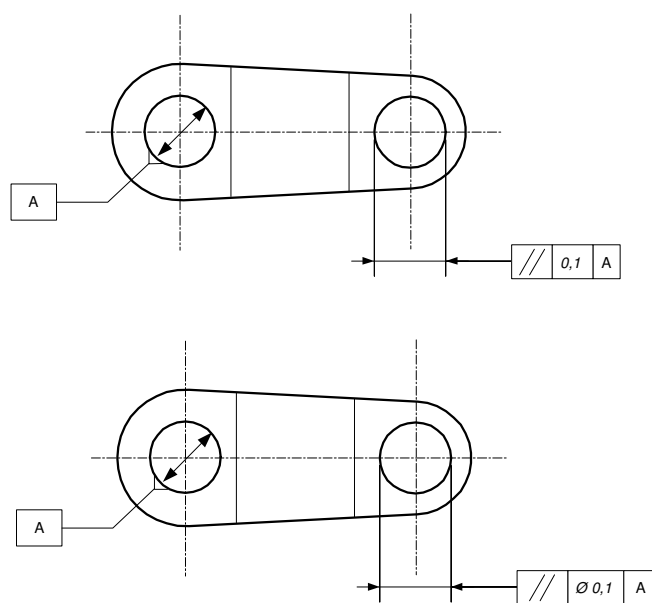
Slika 2.5.26 Kotiranje tolerancije plavca ili plohe



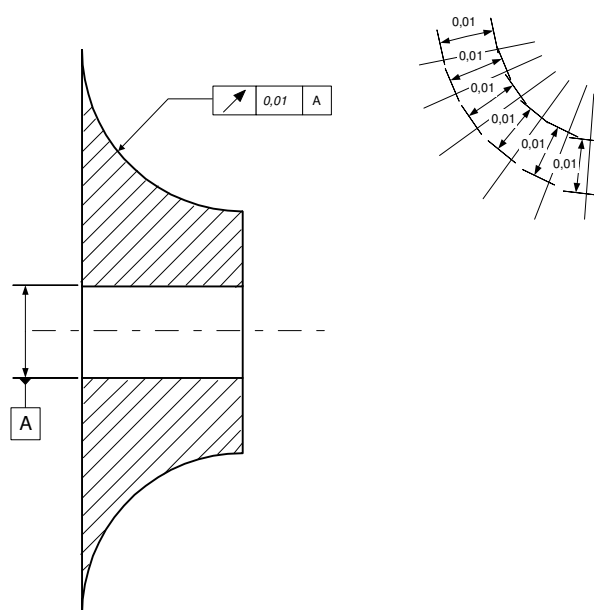
Slika 2.5.27 Kotiranje tolerancije osi ili srednje geometrijske ravnine



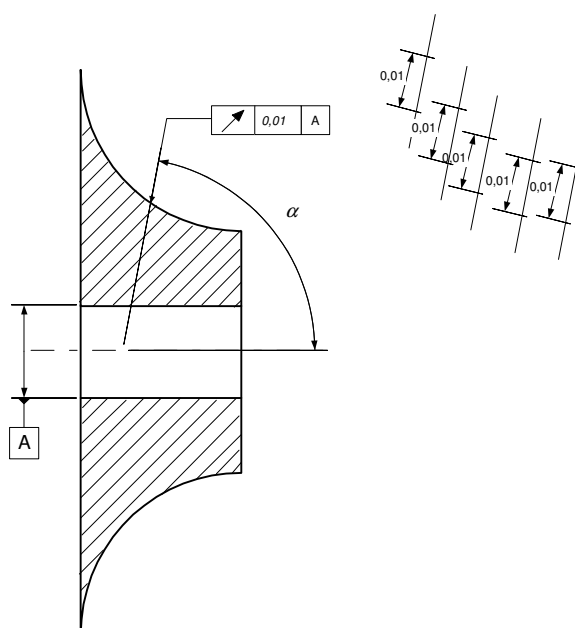
Slika 2.5.28 Kotiranje tolerancije zajedničke središnjice



Slika 2.5.29 Prostorne tolerancije



Slika 2.5.30 Prostorne tolerancije



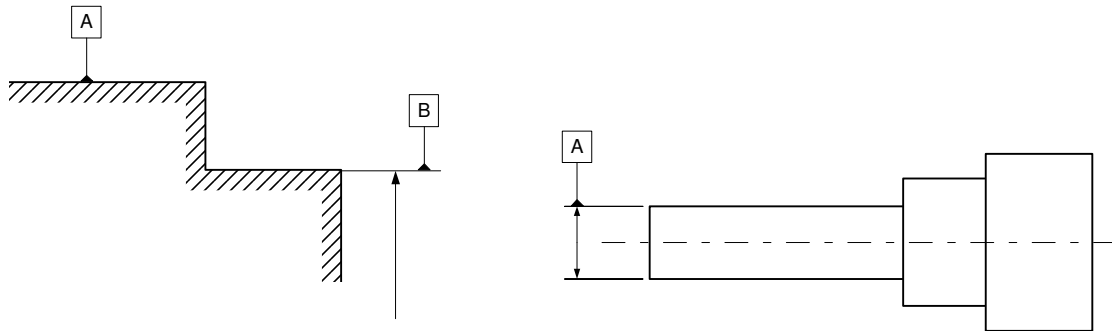
Slika 2.5.31 Prostorne tolerancije koje odstupaju od okomice

Osnovica se označava okvirom povezanim sa osnovicom i upisanim slovom. Okvir je spojen sa osnovicom punim ili praznim trokutom (sl. 2.5.32). Trokut sa slovom crta se na površini elementa ili na pomoćnoj kotnoj crti (sl. 2.5.33), dok se u slučaju osi ili središnjice trokut postavlja u produžetku kotne strelice (sl. 2.5.34). Ukoliko nema dovoljno mjesta za kotnu strelicu i trokut u njenom produžetku, tada se kotna strelica može izostaviti (sl. 2.5.35). Trokut se postavlja na samoj osi u slučaju da je osnovica ujedno i os simetrije ili srednja ravnina te

zajednička os više elemenata (sl. 2.5.36). U slučaju kada se okvir može direktno spojiti sa osnovicom, slovo osnovice se može izostaviti (sl. 2.5.37).

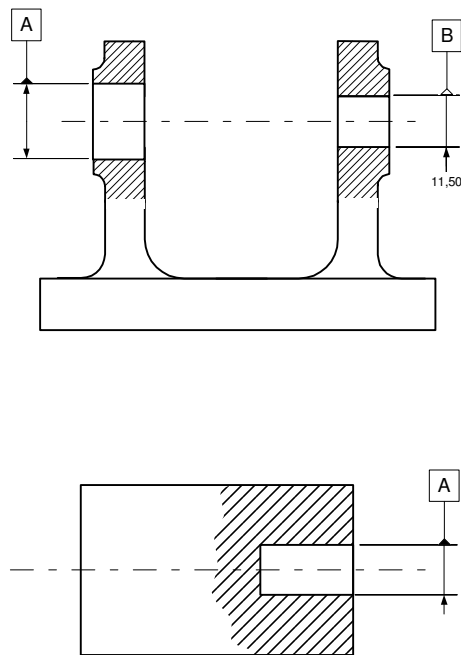


Slika 2.5.32 Označavanje osnovice

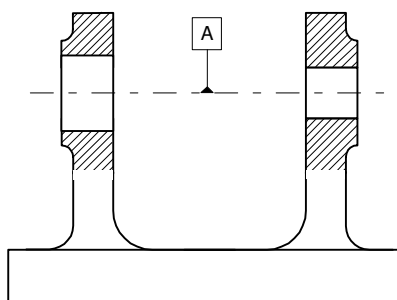


Slika 2.5.33 Površina kao osnovica

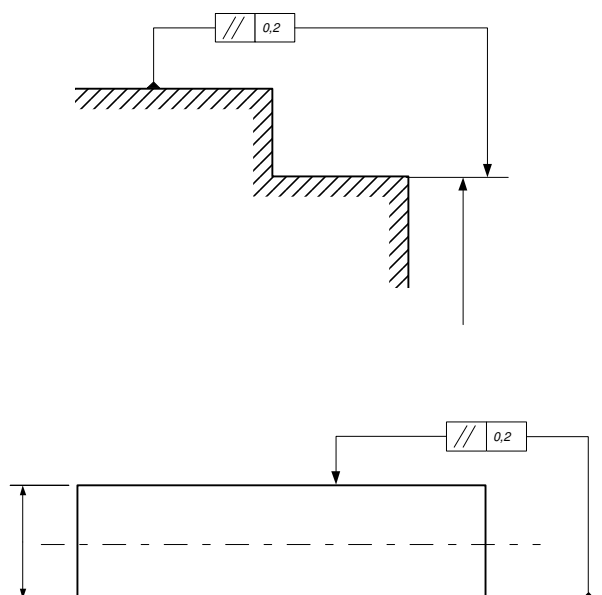
Slika 2.5.34 Os ili središnjica kao osnovica



Slika 2.5.35 Kotiranje u nedostatku prostora oko kotnih strelica



Slika 2.5.36 Zajednička os kao osnovica



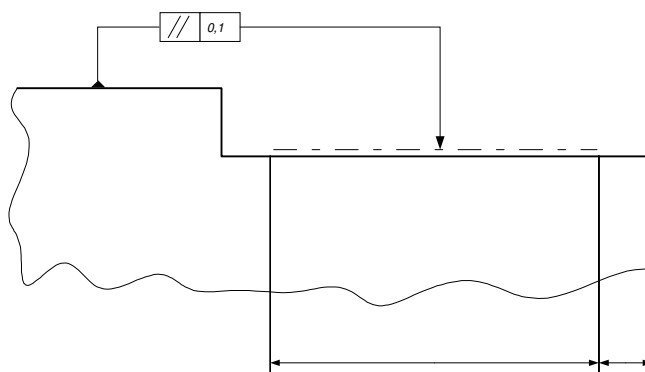
Slika 2.5.37 Izostavljanje označavanja osnovice slovom

Ukoliko tolerancija vrijedi na *ograničenoj dužini*, iznos dužine odvaja se kosom crtom od tolerancije (sl. 2.5.38). Jednako vrijedi i kod označavanje plohe. Kad se neka manja tolerancija na ograničenoj dužini doda toleranciji cijelog elementa, onda se ta manja ograničena tolerancija navodi ispod glavne tolerancije (sl. 2.5.38). Tolerancija koje se odnosi na ograničeni dio elementa označava se kao što je pokazano na slici 2.5.39. Ukoliko osnovica vrijedi samo za taj ograničeni dio tolerancije, tad se ona označava prema slici 2.5.40.

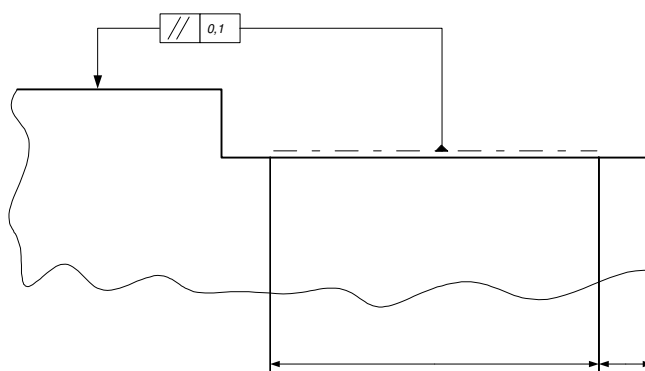
//	0,01/100	B
----	----------	---

//	0,1	B
	0,05/400	

Slika 2.5.38 Ograničenja tolerancija



Slika 2.5.39 Označavanje ograničene tolerancije

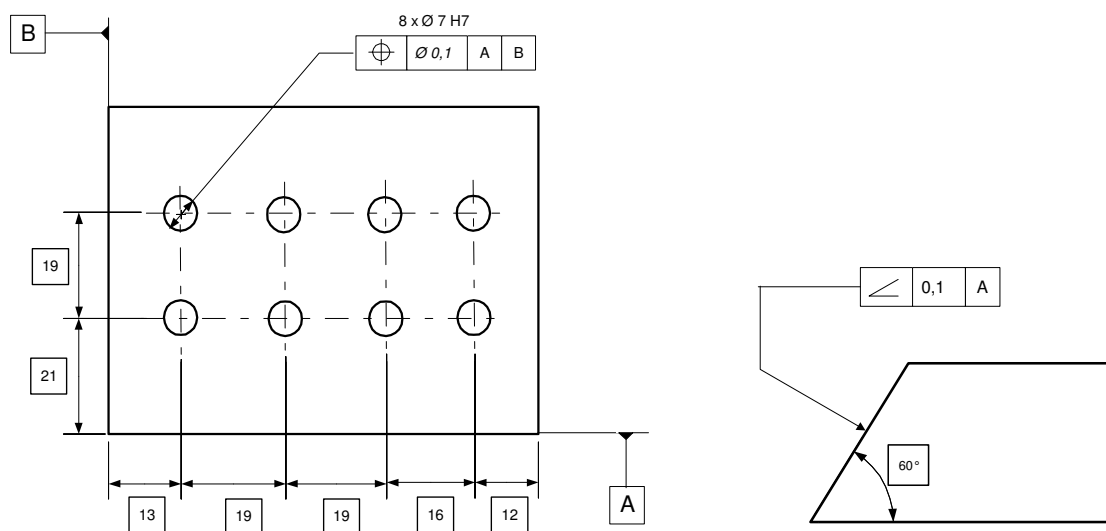


Slika 2.5.40 Označavanje osnovice koja se odnosi samo na ograničenu toleranciju

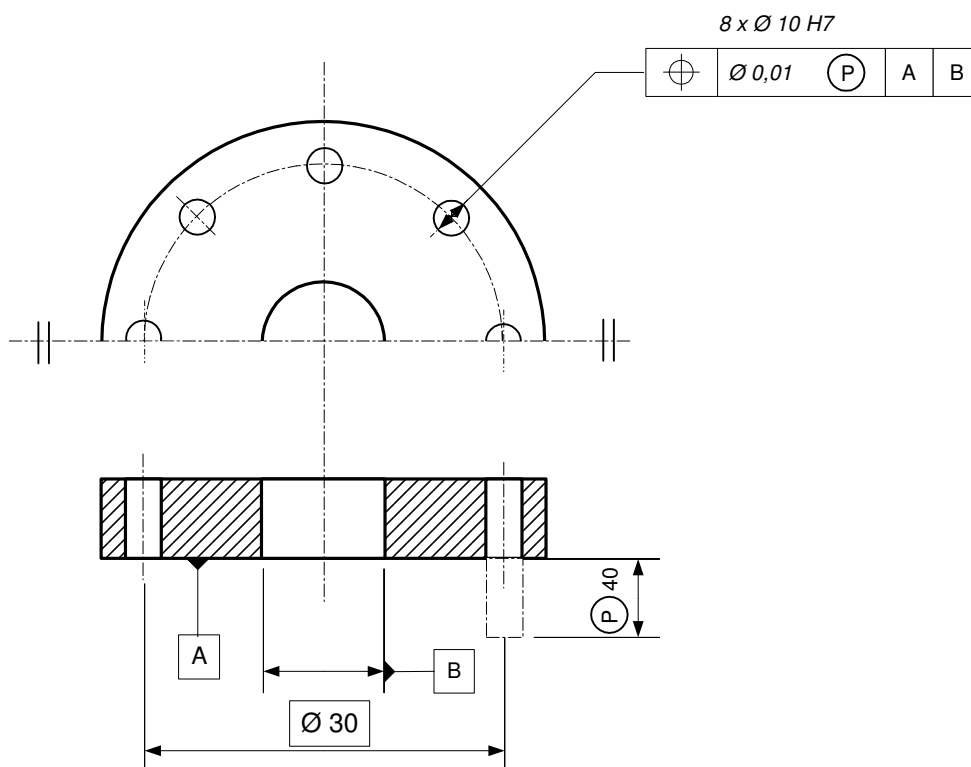
Kada neke tolerancije položaja određuju *teorijski točan* položaj (npr. kut ili profil), te mjere se ne moraju tolerirati već se mjera piše upisana u pravokutni okvir (sl. 2.5.41).

Toleriranje pravca ili mjesta često se ne odnosi na sam element, već na njegovu vanjsku *projekciju*, što se označava simbolom "P" upisanom u kružić (sl. 2.5.42).

Uvjet maksimuma označava se slovom "M" upisanim u kružić, koji se upisuje uz toleranciju ili pak slovo osnovice u ovisnosti o tome odnosi li se uvjet maksimuma na toleranciju, osnovicu ili pak obje.



Slika 2.5.41 Teorijski točne mjere

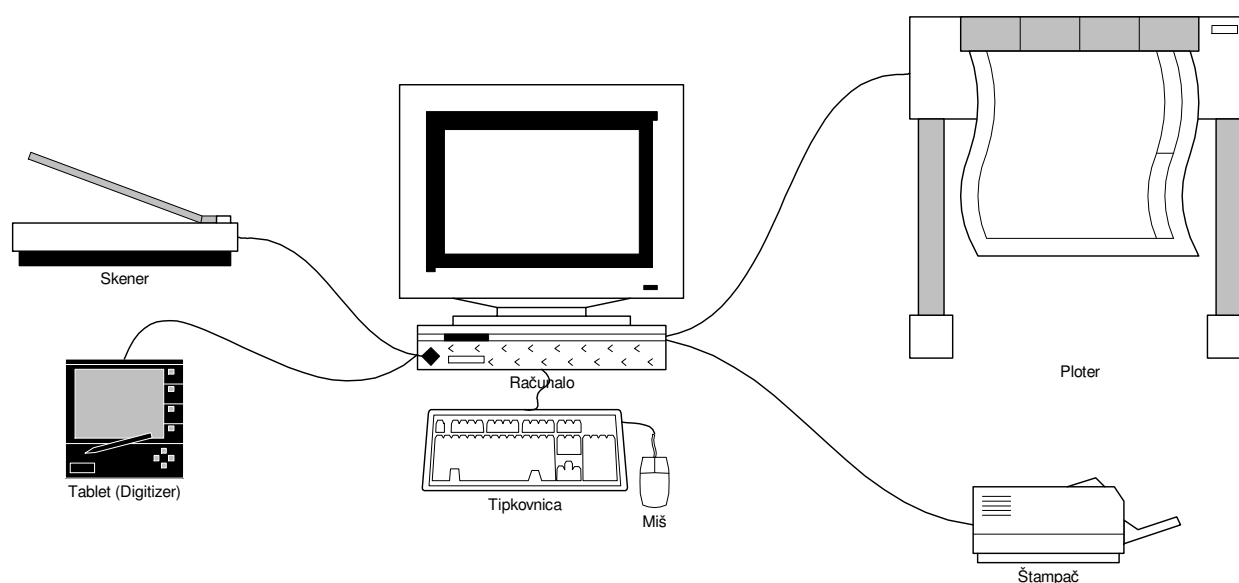


Slika 2.5.42 Projicirana područja tolerancije

2.6 Tehničko crtanje pomoću računala

Primjena računala omogućila je velik napredak u izradi tehničkog crteža i popratne dokumentacije te se danas većina tehničkih crteža izrađuje uz pomoć računala koje je skoro u potpunosti potisnulo "klasično" crtanje rukom. Crtanje pomoću računala ostvaruje se korištenjem *grafičkih programskih sustava*. Kako grafički programi čine osnovu CAD (Computer Aided Design – konstruiranje pomoću računala) programskih sustava, potrebno je definirati što je to CAD. CAD podrazumijeva kreiranje, mijenjanje, analizu, sintezu, prikazivanje i simulaciju stanja konstrukcije računalom. Dakle, CAD ne podrazumijeva samo tehnički crtež, već i prikaz čitavog složenog sklopa sastavljenog od niza cjelina. Uz to CAD predstavlja osnovu za povezivanje s drugim računalnim aplikacijama poput CAM (Computer Aided Manufacturing – primjena računala u proizvodnji), modeliranje ulaznih podataka potrebnih za proračun putem metode konačnih elemenata te niz drugih aplikacija (CADD – Comp. Aided Design and Documentation, CAE – Comp. Aided Engineering, CAP – Comp. Aided Planning, CAQ – Comp. Aided Quality Assurance, CAMRP – Comp. Aided Material Requirements Planning, CIM – Comp. Integrated Manufacturing).

Kako bi konstruiranje pomoću računala bilo moguće, potreban je odgovarajući "hardware" (računarska oprema) i "software" (programska oprema).



Slika 2.6.1 Shematski prikaz računarske opreme ("hardware-a") potrebnog za CAD

Računarska oprema ("hardware"):

Oprema u sebi uključuje:

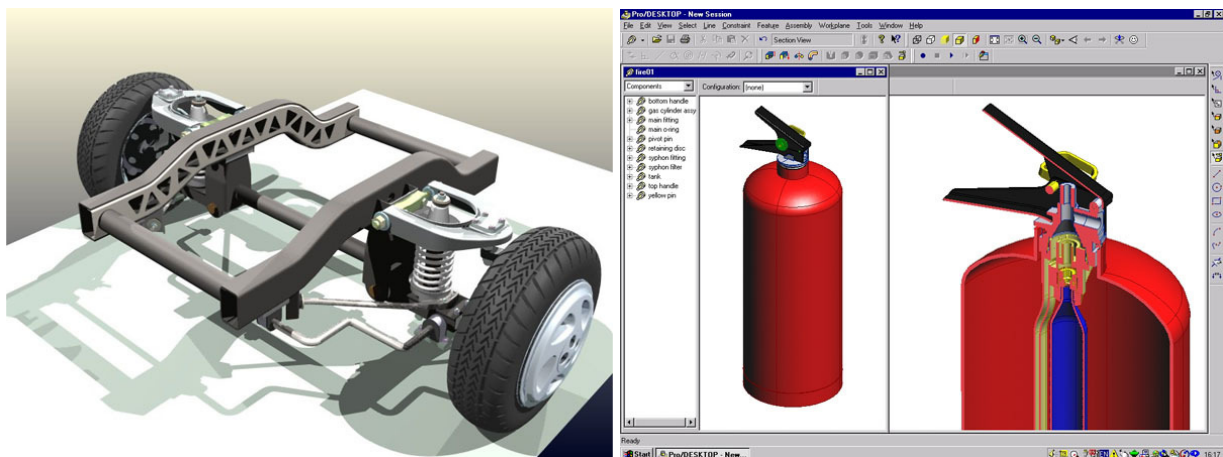
- računalo: kod većih tvrtki koriste se radne stanice te eksterni terminali koji omogućavaju u potpunosti korištenje grafičkih programa s radnih stanica. Danas i standardni PC (osobno računalo), uz nešto kvalitetniju grafičku karticu i nešto veći monitor, omogućavaju u potpunosti korištenje CAD programske podrške. Svi ozbiljniji programski paketi se danas izrađuju i u verziji prikladnoj za korištenje na PC-u pod MS Windowsima

- ulazni uređaji: sačinjava ih miš, "Tablet" ("Digitizer") kojim se omogućava veću točnost pri crtanju nego li je to slučaj kod standardnog miša, "Skener" kojim se omogućava digitalno učitavanje slike te uz odgovarajuću programsku podršku i obrada slike te njeno prebacivanje iz grupe točaka ("bit-map" ili "raster image") u vektorski oblik (točke i linije koje ih povezuju)
- izlazni uređaji: "Plotter" (digitalni crtač) prikladan za veće formate crteža pri čemu se koristi perima ili sličnim pisačima koji se poput olovke povlače po papiru, te klasični štampač ("Printer"), bilo laserski ili "ink-jet", pogodan za manje formate crteža

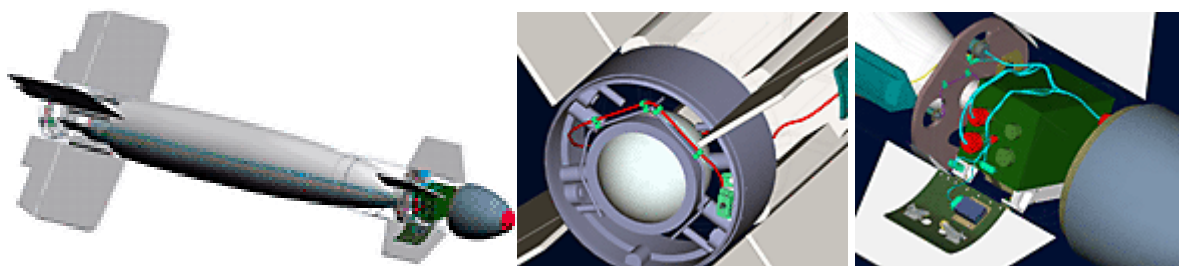
Programska oprema ("software"):

Programska oprema u sebi uključuje:

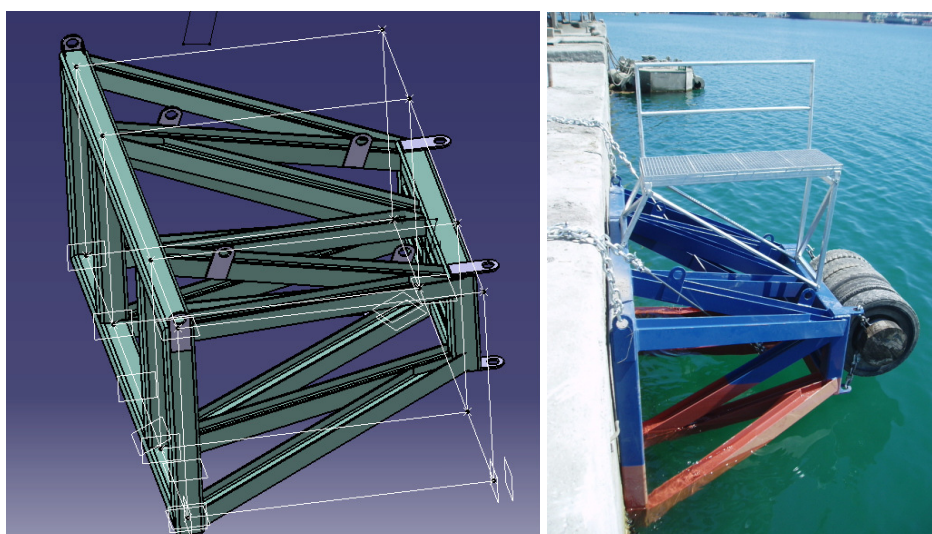
- operativni sustav (LINUX, UNIX, MS Windows, OS Macintosh,...): skup programa koji omogućava korištenje računala
- CAD programski sustavi (CATIA, SOLIDWORKS, Pro/ENGINEER, AutoCAD, RHINOCERUS i sl.): programski paketi koji omogućavaju konstruiranje pomoću računala
- programski paketi opće namjene: razni editori ASCII teksta, editori (procesori) teksta (Word, TeX i sl.), proračunske tablice koje uz ispunjavanje tablica omogućavaju i jednostavne računske operacije s podacima (Excel, Quatro, Lotus i sl.) te rješavači jednačbi (Mathematica, Maple, MathLab, MathCad i sl.)
- programski paketi posebne namjene: programski paketi koji služe kao podrška razvoju određene grupe proizvoda te programski paketi koji služe za različite proračune i analize među kojima su najzastupljeniji programski paketi temeljeni na Metodi konačnih elemenata (NASTRAN, ABACUS, ADINA, NISA, LS DYNA, ALGOR i sl.)
- grafički programski sustavi: čine osnovu CAD sustava te ih se može podijeliti na sustave za crtanje u dvije (MS Visio i sl.) i tri dimenzije



Slika 2.6.2 Konstruiranje automobilske ovjesa i aparata za gašenje požara korištenje Pro/E.-a



Slika 2.6.3 Primjer konstruiranja rakete te pripadnih sklopova korištenjem Pro/E.-a



Slika 2.6.4 Lučka oprema konstruiranja u paketu CATIA

Dvodimenzionalni grafički programski sustavi služe prvenstveno za izradu tehničke dokumentacije odnosno ostvarivanje tehničkog nacrt. Osnovne funkcije koje se takvim sustavima omogućavaju su:

- generiranje osnovnih geometrijskih oblika (točke, crte, kružnice, krivulje i sl.)
- modificiranje objekata (mijenjanje dimenzija, brisanje, dopunjavanje)
- umnožavanje objekata
- tehničko opisivanje objekata (šrafiranje, kotiranje)
- baratanje grupama objekata kao cjelinama (korištenje standardnih ili često ponavljanih oblika te grupiranjem u skupine "Layering")
- atribuiranje objekata (različitim debljinama crta, bojama te pridruživanjem znakova atributa geometrijskim oblicima)
- dobivanje informacija o crtežu (izmjere objekta, udaljenosti među objektima, veličina crteža)
- programiranje rutinskih operacija

Technical drawing of a cylindrical tank, showing various views and dimensions. The drawing includes a front view (A-A), a top view (E-E), a side view (F-F), and a cross-section (D-D). The tank has a cylindrical body with a flat top and a flat bottom. The top view shows a circular cross-section with a diameter of 1000 mm. The side view shows a cylindrical body with a height of 1000 mm. The front view shows a rectangular cross-section with a width of 1000 mm and a height of 1000 mm. The drawing includes a parts list table with 22 items, including various components like bolts, nuts, washers, and gaskets. The drawing is labeled with 'A-A', 'E-E', 'F-F', and 'D-D' to indicate the sections. The drawing is also labeled with '1000' and '1000' to indicate the dimensions. The drawing is a technical drawing of a cylindrical tank, showing various views and dimensions. The drawing includes a front view (A-A), a top view (E-E), a side view (F-F), and a cross-section (D-D). The tank has a cylindrical body with a flat top and a flat bottom. The top view shows a circular cross-section with a diameter of 1000 mm. The side view shows a cylindrical body with a height of 1000 mm. The front view shows a rectangular cross-section with a width of 1000 mm and a height of 1000 mm. The drawing includes a parts list table with 22 items, including various components like bolts, nuts, washers, and gaskets. The drawing is labeled with 'A-A', 'E-E', 'F-F', and 'D-D' to indicate the sections. The drawing is also labeled with '1000' and '1000' to indicate the dimensions.

№	Наименование детали	Материал	Количество	Примечание
1	Болт М8х100	Ст 3	4	
2	Гайка М8	Ст 3	4	
3	Шайба М8	Ст 3	4	
4	Болт М8х100	Ст 3	4	
5	Гайка М8	Ст 3	4	
6	Шайба М8	Ст 3	4	
7	Болт М8х100	Ст 3	4	
8	Гайка М8	Ст 3	4	
9	Шайба М8	Ст 3	4	
10	Болт М8х100	Ст 3	4	
11	Гайка М8	Ст 3	4	
12	Шайба М8	Ст 3	4	
13	Болт М8х100	Ст 3	4	
14	Гайка М8	Ст 3	4	
15	Шайба М8	Ст 3	4	
16	Болт М8х100	Ст 3	4	
17	Гайка М8	Ст 3	4	
18	Шайба М8	Ст 3	4	
19	Болт М8х100	Ст 3	4	
20	Гайка М8	Ст 3	4	
21	Шайба М8	Ст 3	4	
22	Болт М8х100	Ст 3	4	

The technical drawing illustrates a mobile platform (Prilazna platforma) with the following views and dimensions:

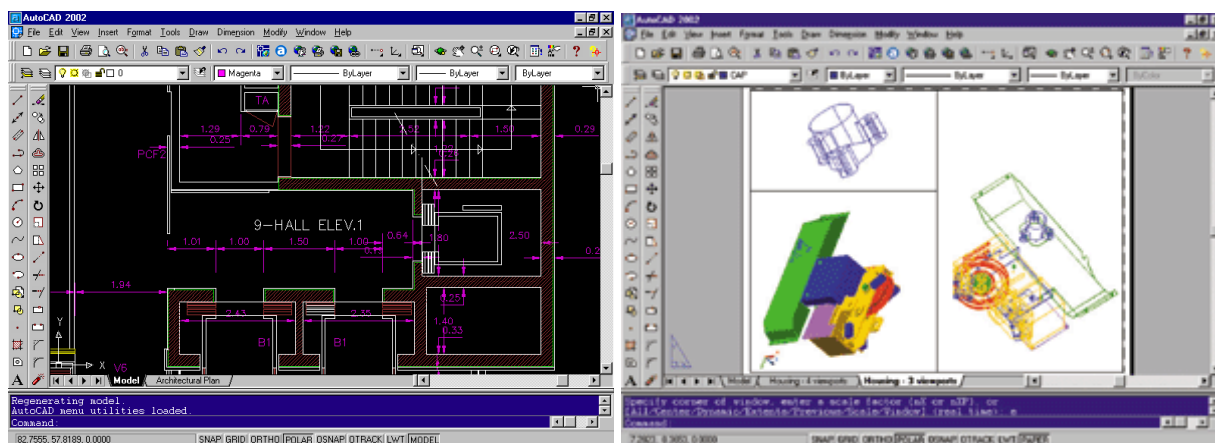
- Isometric view:** Scale 1:0.05, showing the platform's structure with dimensions 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100.
- Front view:** Scale 1:0.05, showing the platform's profile with a height dimension of 2100.
- Right view:** Scale 1:0.05, showing the platform's side profile.
- Top view:** Scale 1:0.05, showing the platform's plan view.

The drawing also includes a table of dimensions and a title block.

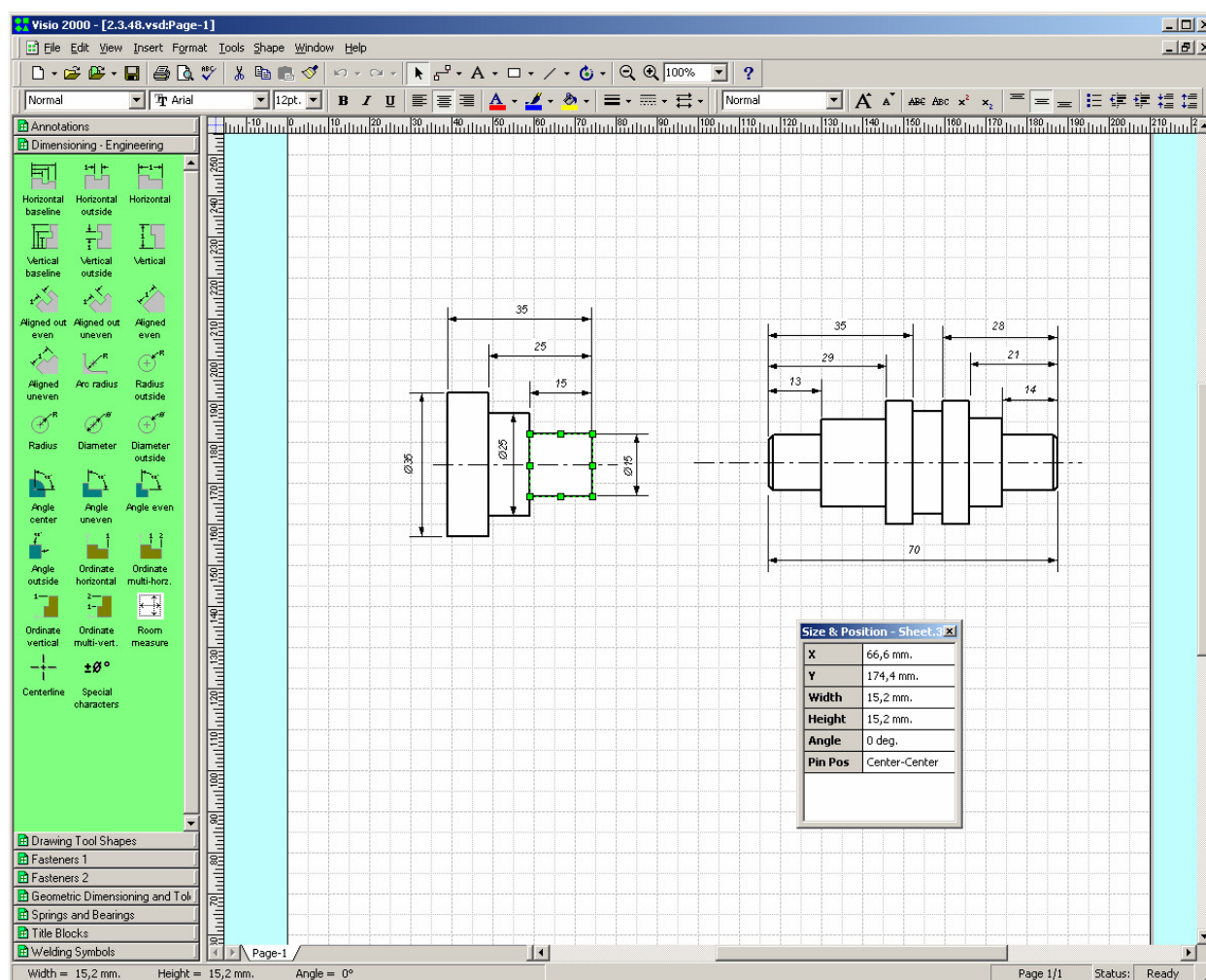
Reduction	Scale	Author	Reviewer	Checked	Date
1:0.05	1:0.05	1:0.05	1:0.05	1:0.05	1:0.05

Prilazna platforma

Slika 2.6.6 Konstruiranje platforme skupa s pripadnim nacrtima u paketu CATIA



Slika 2.6.7 Građevinski nacrt i primjer sklopa u AutoCAD-u



Slika 2.6.8 Primjer jednostavnog 2D crteža u programu MS Visio

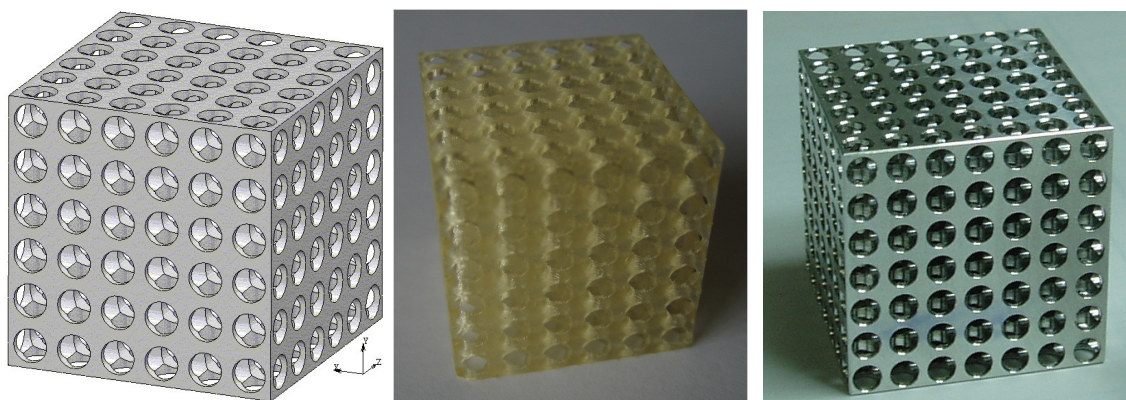
CAD sustavi omogućavaju jednostavno mijenjanje postojećih objekata i nacrt. To uključuje uvećavanje, umanjivanje, zrcaljenje, rotiranje, multipliciranje, povećavanje dijelova crteža,

modificiranje dijelova i sl. Ovime se bitno skraćuje vrijeme potrebno za crtanje. CAD sustavi omogućuju korištenje različitih fontova (npr. ISOCP font predstavlja standardni font za tehničke nacрте) te kotiranja i šrafitiranja temeljenih na standardima. Nadalje omogućava se svrstavanje dijelova objekta u skupine "layering", pri čemu može biti vidljiva (aktivna) samo jedna skupina ili pak više njih. Ovime se omogućava preglednost pri crtanju uz mogućnost sveobuhvatnog prikaza. Grupiranje u skupine omogućava i kreiranje baza skupina koji se onda mogu lako koristiti u nekim drugim projektima.

Kako bi se omogućilo međusobno komuniciranje između CAD/CAM sustava, te CAD-a i ostalih CA sustava, CAD sustavi zadovoljavaju IGES (Initial Graphics Exchange Specification) standard. Uz ovo treba napomenuti i standard tvrtke Autodesk (proizvođač AutoCAD-a) koji omogućava razmjenu putem DXF formata koji je postao široko prihvaćen standard i kod drugih proizvođača.

Standardizirana komunikacija među CAD aplikacijama (npr. IGES format) omogućavaju direktnu komunikaciju s obradom gotovih izradaka (CAM) na strojevima kao što su CNC tokarilice (numerički upravljane tokarilice), CNC glodalice odnosno CNC obradni centri.

U posljednje vrijeme se sve više razvija, i svoju komercijalnu upotrebu nalazi tehnika brze izrade prototipova (Rapid prototyping) ili popularnije nazvana 3D printanje. Uređaji za brzu izradu prototipova (3D printeri) su slični klasičnim printerima, dakle izlazne jedinice spojene na računala, s razlikom što umjesto dvije, printaju u 3 dimenzije.



Slika 2.8.8 CAD model, 3D prototip i finalni izradak na CNC obradnom centru

Literatura

- R. Jakšić, *Tehničko crtanje*, FESB –Split, Sveučilište u Splitu, 1985.
E. Hercigonja, *Tehnička grafika*, Školska knjiga, Zagreb, 1994.
D. Marjanović, "Izrada tehničke dokumentacije pomoću računala", *Inženjerski priručnik IPI. Temelj inženjerskih znanja*, Školska knjiga, Zagreb, 1996.

3. Osnovni pojmovi iz čvrstoće materijala i dimenzioniranja

Jedna od bitnih karakteristika materijala jest *modul elastičnosti* koji predstavlja mjeru otpora materijala elastičnim deformacijama. Materijal većeg modula elastičnosti jest krući. Npr., štap napravljen od materijala većeg modula elastičnosti, ako se na njega djeluje istom silom, manje će se savinuti od štapa kojem je modul elastičnosti manji. Kako bi se detaljnije razmotrio modul elastičnosti, potrebno je definirati naprezanje i deformaciju.

Uz modul elastičnosti, koji definira ponašanje materijala u elastičnom području, dakle u području kad još nije došlo do trajnih plastičnih deformacija, bit će objašnjene granice kada nastupa do trajnih plastičnih deformacija i na kraju loma konstrukcije. Ove vrijednosti čine temelj dimenzioniranja.

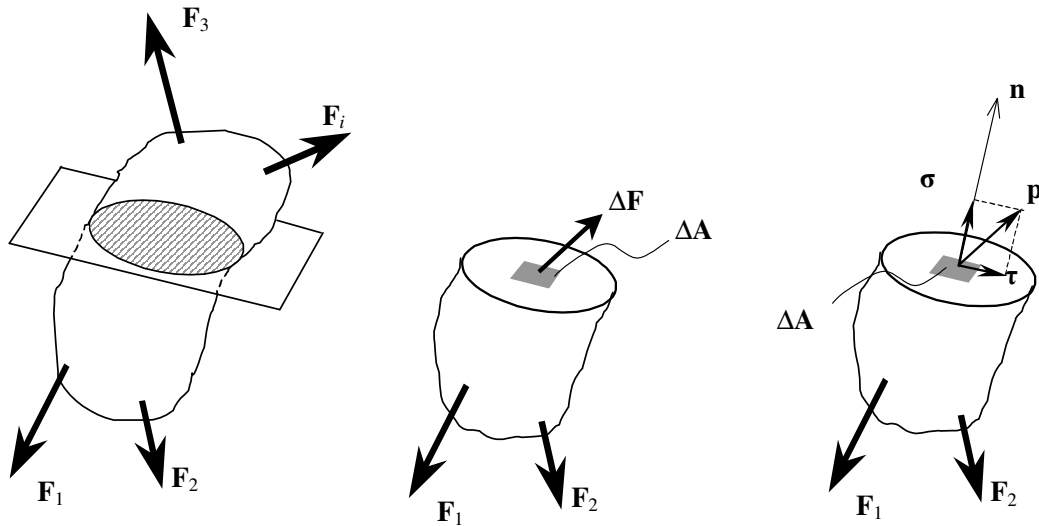
3.1 Osnovni pojmovi iz čvrstoće materijala

3.1.1 Naprezanje

Presijecanjem tijela na koje djeluje niz sila (sl. 3.1.1), zamišljenom ravninom, te promatranjem samo jednog njegovog dijela, sve sile koje djeluju na tom dijelu tijela moraju biti u ravnoteži sa ostatkom tijela. Dakle, sile u zamišljenoj ravnini presjeka su u ravnoteži sa svim silama koje djeluju na promatrani dio tijela. Na jednom malom dijelu površine ΔA djeluje sila $\Delta \mathbf{F}$ (sl. 3.1.1). Pod pretpostavkom da je površina ΔA vrlo mala i teži nuli (infinitesimalna), omjer infinitesimalne sile i površine predstavlja naprezanje,

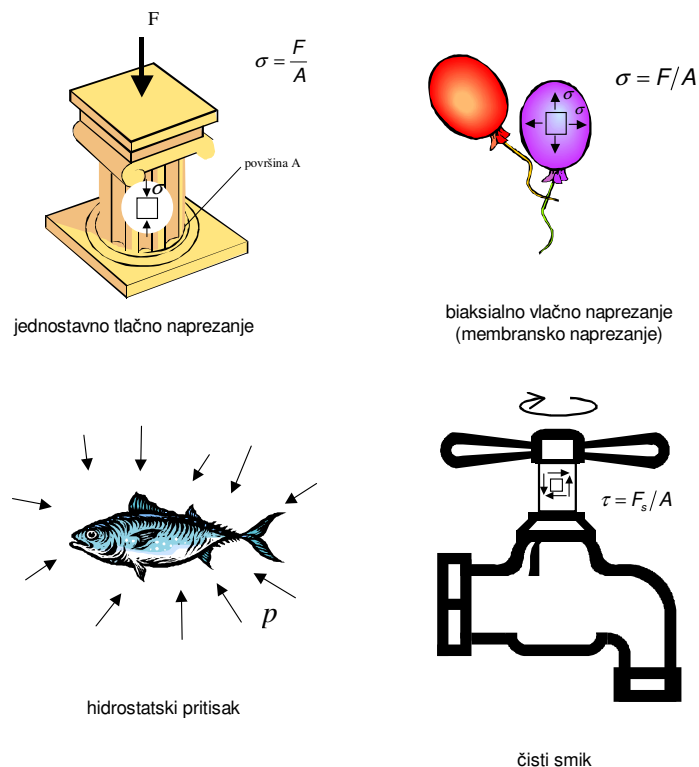
$$\mathbf{p} = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{F}}{\Delta A}. \quad (3.1.1)$$

Vektor naprezanja $\mathbf{p}$ može se rastaviti na njegovu normalnu (okomitu na površinu) i tangencijalnu komponentu (sl. 3.1.1). Normalna komponenta naziva se *normalno naprezanje* σ , a tangencijalna komponenta naziva se *tangencijalno (smično) naprezanje* τ .



Slika 3.1.1 Prikaz naprezanja

Neki karakteristični načini opterećivanja, koji izazivaju određena karakteristična naprezanja, prikazani su slikom 3.1.2.



Slika 3.1.2 Neki karakteristični slučajevi opterećenja

Pošto se naprezanje dobiva dijeljenjem sile [N] s površinom [m²], jedinica za naprezanje je [N/m²], ili što se češće koristi [N/mm²] koji odgovara jedinici [MPa]. Naprezanje je tenzor, što znači da je za njegovo potpuno opisivanje potrebno definirati devet (tenzor II. reda ima 3²

komponenti) međusobno nezavisnih komponenti. Tih devet komponenti se kasnije daje svesti na tri glavna smjera i tri glavne komponente, iz kojih se korištenjem teorija elastičnosti, dođe do samo jedne komponente (skalara) koja se naziva ekvivalentno naprezanje.

3.1.2 Deformacija

Djelovanjem sile na tijelo ono se deformira. Za isto naprezanje, krući materijal deformirat će se manje. Opterećivanjem tijela na način prikazan slikom 3.1.3 doći će do produljenja tijela za "u" te njegovog poprečnog skraćanja za "v". *Duljinska deformacija* definira se kao produljenje prema ukupnoj početnoj duljini ,

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{u}{l}. \quad (3.1.2)$$

Analogno ovom, prema slici (sl. 3.1.3) *poprečna deformacija* jest odnos poprečnog skraćanja i poprečne duljine,

$$\varepsilon_q = \frac{\Delta l}{l} = -\frac{v}{l}. \quad (3.1.3)$$

Odnos duljinske deformacije i poprečne deformacije, određen je Poissinovim koeficijentom "ν" koji predstavlja odnos poprečnog skraćanja prema duljinskom produljenju,

$$\nu = -(\text{poprečna deformacija})/(\text{uzdužna deformacija}). \quad (3.1.4)$$

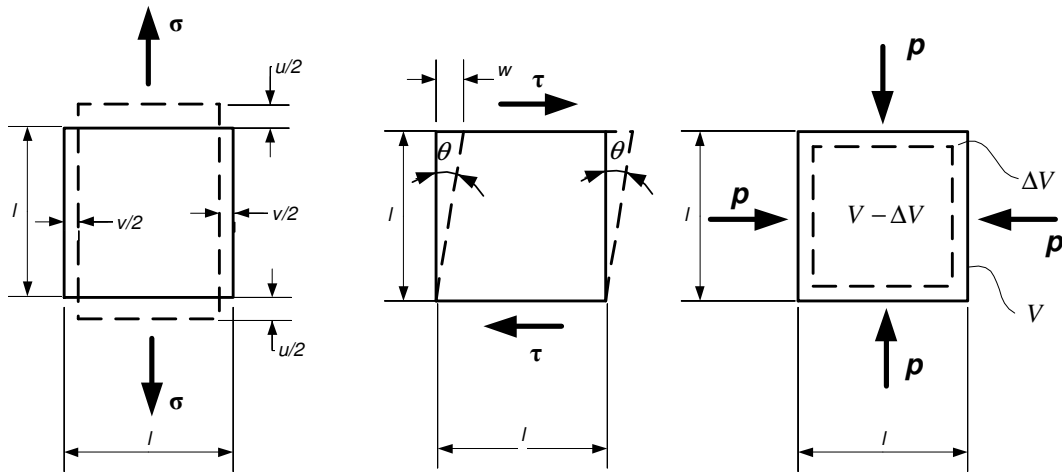
Optereti li se tijelo prema slici 3.1.3 (sredina), doći će do kutnog deformiranja. *Kutna deformacija* definira se kao

$$\gamma = \frac{w}{l} = \tan \theta \approx \theta. \quad (3.1.5)$$

Opterećivanjem tijela pritiskom sa svih strana, npr. kamen na dnu mora, dolazi do *volumenske deformacije*

$$\Theta = \frac{\Delta V}{V}. \quad (3.1.6)$$

Sve navedene deformacije su bezdimenzionalne vrijednosti. Deformacija je, poput naprezanja, također tenzor drugog reda što znači da je opisuje devet, međusobno neovisnih, komponenti.



Slika 3.1.3 Duljinska, kutna i volumenska deformacija

3.1.3 Hookeov zakon

Deformacije i naprezanja nekog tijela posljedica su djelovanja istih sila na to tijelo, pa je logično da su i međusobno povezane. Pokusima je utvrđeno da postoji proporcionalnost između elastičnih deformacija i naprezanja, što se opisuje Hookeovim zakonom. Tako za normalno naprezanje i deformaciju, pri malim deformacijama, vrijedi linearan odnos definiran Youngovim modulom elastičnosti " E ",

$$\sigma = E \varepsilon. \quad (3.1.7)$$

Tangencijalno naprezanje, pri malim deformacijama, linearno je proporcionalno kutnoj deformaciji, a odnos među njima definiran je modulom smicanja " G ",

$$\tau = G \gamma. \quad (3.1.8)$$

Hidrostatski pritisak proporcionalan je volumenskoj deformaciji, gdje je odnos među njima definiran volumenskim modulom elastičnosti " K ",

$$p = K \Theta. \quad (3.1.9)$$

Obzirom da su deformacije bezdimenzionalne veličine, jedinice za module elastičnosti su iste kao i za naprezanja, $[N/m^2]$. Kako se radi o velikim brojevima, moduli elastičnosti se često izražavaju u $[GN/m^2]$ ili $[GPa]$. Ovi odnosi vrijede samo za elastično linearno područje. Za većinu materijala to područje odgovara deformacijama do $\varepsilon=0,001$ (0,01%). Tako npr. za ugljični čelik Youngov modul elastičnosti iznosi $E=200 \div 210 \text{ GPa}$, modul smicanja $G=80 \div 81 \text{ GPa}$, dok je Poissonov koeficijent $\nu=0,24 \div 0,28$. Za aluminij i aluminijske legure ove su vrijednosti $E=70 \div 71 \text{ GPa}$, $G=26 \div 27 \text{ GPa}$ te $\nu=0,32 \div 0,36$. Za nelinearno plastično područje ove linearne relacije više ne vrijede!

Kako su modul elastičnosti E , modul smicanja G i Poissonov koeficijent ν konstante jednog te istog materijala, među njima postoji povezanost te vrijedi:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}, \quad (3.1.10)$$

odnosno za volumenski modul elastičnosti K

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)}. \quad (3.1.11)$$

3.2 Dimenzioniranje

Prilikom dimenzioniranja mehaničkih konstrukcija, osnovni zahtjev je da naprezanje u konstrukciji σ ne smiju biti veće od dopuštenog σ_{dop} , dakle vrijedi $\sigma \leq \sigma_{dop}$. Dopušteno naprezanje određuje se iz graničnog naprezanja σ_{gr} i stupnja (faktora) sigurnosti S te vrijedi

$$\sigma_{dop} = \frac{\sigma_{gr}}{S}. \quad (3.2.1)$$

Izbor stupnja (faktora) sigurnosti ovisi o mnogim faktorima poput činjenice koliko je poznata veličina opterećenja koje se pri eksploataciji pojavljuje, kolika je opasnost po ljudski život, kolika je važnost konstrukcije, činjenici da li je konstrukcija fiksna ili pokretna i dr. Na ispunjenje zahtjeva sigurnosti može se utjecati u fazi konstruiranja pravilnim izborom materijala i optimalnim oblikovanjem. Često nepotpuno poznavanje svojstava materijala i uvjeta opterećenja upućuje na uvođenje odgovarajućeg stupnja sigurnosti. Orijentacijske vrijednosti stupnja sigurnosti dane su tablicom 3.2.1.

Koje će se naprezanje uzeti kao mjerodavno granično naprezanje ovisi o karakteristici materijala i opterećenja. Tako se npr. kod mirnog ili slabo promjenljivog opterećenja (statičko opterećenje) koristi granica tečenja, kod promjenljivog dinamička čvrstoća, a kod krutih materijala i mirnog opterećenja vlačna čvrstoća.

Materijal	Plastični i metalni materijali				Sivi lijev	Drvo
Vrsta opterećenja	Odgovarajuća karakteristika materijala					
	Vlačna čvrstoća σ_M	Granica tečenja σ_T	Dinamička čvrstoća		Vlačna čvrstoća σ_M	
			Opterećenje			
			Istosmjerno σ_{Di}	Naizmjenično σ_{Dn}		
mirno	3÷4	2÷3			4÷6	7
istosmjerno promjenjivo	5÷6	3÷4	2,5÷4		6÷8	10
naizmjenično promjenjivo	10÷12	5÷7		3÷6	12÷15	15
udarno	12÷15	6÷8			15÷20	20

Tablica 3.2.1 Orijentacijske vrijednosti stupnja sigurnosti

3.2.1 Statičke i dinamičke konstante materijala te lom materijala

Statičke konstante pojedinih materijala dobivaju se eksperimentalnim snimanjem dijagrama rastezanja (σ - ε dijagram). Pri snimanju dijagrama koriste se cilindrične epruvete koje se rastežu u kidalicama, pri čemu se iscrtavaju dijagrami pomaka (deformacija) u ovisnosti o primijenjenoj sili u kidalici (naprezanje). Uslijed opterećenja preko granice elastičnosti dolazi do kontrakcije presjeka (stvaranja "vrata") na sredini epruvete, koje se završava lomom epruvete. Tijekom opterećenja dolazi do smanjenja površine presjeka, a samim time i porasta naprezanja. Zbog jednostavnosti pri iscrtavanju dijagrama naprezanja, uzima se da je poprečni presjek konstantan i jednak početnom poprečnom presjeku. Takvo se naprezanje naziva konvencionalnim, $\sigma_0 = F/A_0$, $A_0 = \text{const.}$ Konvencionalno se naprezanje razlikuje od stvarnog naprezanja $\sigma = F/A$, pri čemu je $A \neq \text{const.}$ Na dijagramima se uvijek prikazuje konvencionalno naprezanje σ_0 .



Slika 3.2.1 Ispitivanje epruvete Al-legure na kidalici

Statičke konstante materijala, prikazane slikom 3.2.2 su:

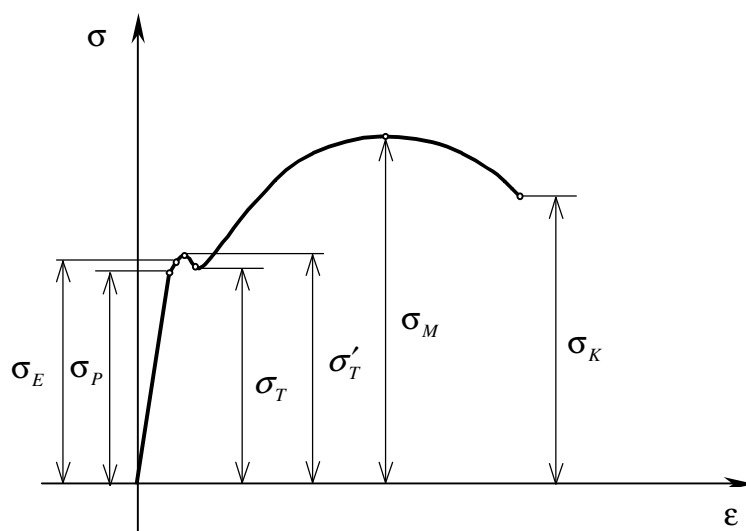
σ_p - granica proporcionalnosti – naprezanje do kojeg vrijedi linearni Hookeov zakon

σ_E - granica elastičnosti – iako odnos nije više linearan pri ovom napreznju se nakon rasterećivanja još uvijek ne pojavljuju plastične deformacije.

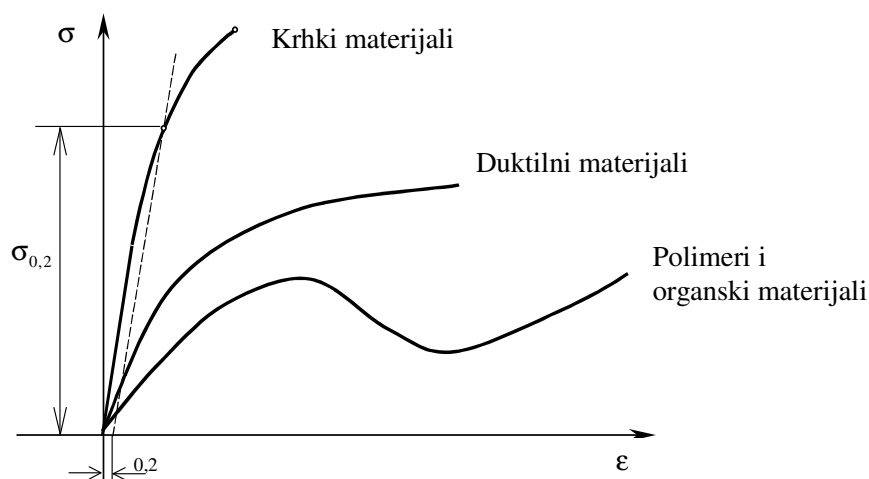
σ'_T - gornja granica tečenja – za naprezanje iznad ove granice, nakon rasterećenja javljaju se plastične deformacije. Pri ovom napreznju u epruveti nastaje nagla kontrakcija ("vrat") koja do tad nije postojala

σ_T - donja granica tečenja – za naprezanje iznad ove granice, nakon rasterećenja javljaju se plastične deformacije.

σ_M - vlačna ili rastezna čvrstoća – najveće naprezanje koje materijal može preuzeti. Iza ove granice plastična deformacija se povećava bez povećavanja sile.



Slika 3.2.2 Dijagram rastezanja za konstrukcijski čelik



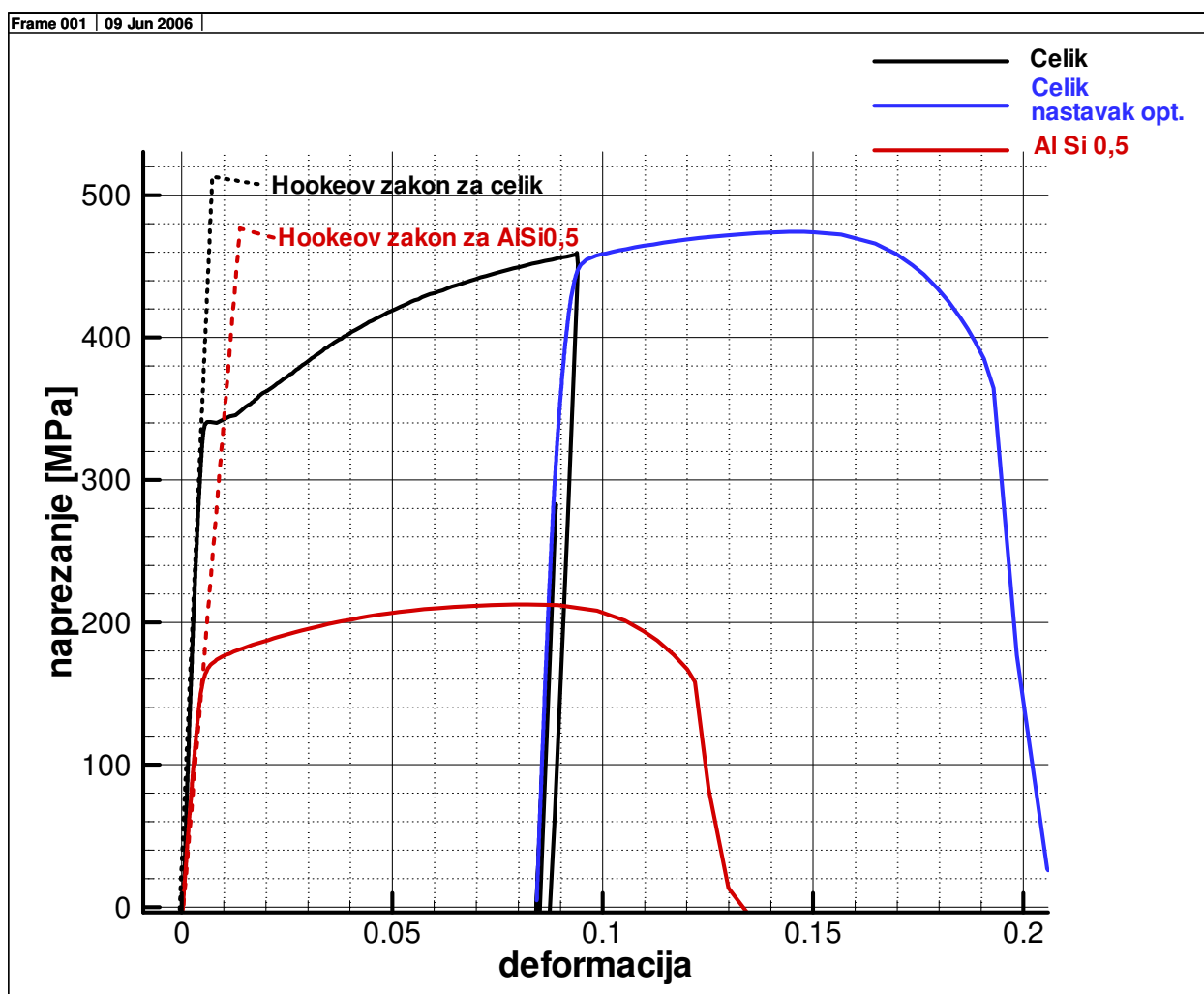
Slika 3.2.3 Dijagram rastezanja za razne konstrukcijske materijale

Kod materijala gdje nije lako odvojiti elastično područje od plastičnog uvodi se granica $\sigma_{0,2}$, koja predstavlja naprezanje pri kojem trajna deformacija iznosi 0,2% ($\epsilon=0,02$, sl. 3.2.3). Sama točka predstavlja sjecište krivulje i paralele sa linearnim područjem.

Kod visokih temperatura definira se *toplinska granica tečenja* $\sigma_{0,2/\delta}$, gdje je δ [°C] simbol za temperaturu pri kojoj se opterećenje aplicira, pri čemu deformacija iznosi 0,2%. Pri definiranju čvrstoće kod visokih temperatura i pojave trajnog tečenja, definira se *vremenska granica* $\sigma_{1/10^5/\delta}$ koja predstavlja naprezanje pri temperaturi δ [°C] kod kojeg deformacija iznosi 1% nakon 10^5 sati. Također se pri dugotrajnim toplinskim opterećenjima definira i *prekidna granica tečenja* $\sigma_{B/10^5/\delta}$ koja predstavlja granično naprezanje pri kojem na temperaturi δ [°C], nakon 10^5 sati, uslijed trajnog tečenja nastupa lom.

Dijagrami sabijanja većine materijala kvalitativno i kvantitativno slični su dijagramima rastezanja. Dijagrami smicanja slični su dijagramima rastezanja, gdje su karakteristične veličine: τ_p -granica proporcionalnosti, τ_E -granica elastičnosti, τ_T -granica tečenja i τ_M -smična čvrstoća.

Iz statičkih dijagrama vidljivo je da do granice tečenja materijal se ponaša prema Hookeovom zakonu (jednadžba pravca čiji je nagib jednak modulu elastičnosti), nakon čega materijal ulazi u plastično područje (područje trajnih deformacija), sve do vlačne čvrstoće kada nastupa lom. Što je modul elastičnosti niži, pravac je položeniji (usporedba čelika i Al legure na slici 3.2.3) Ukoliko se u elastičnom području vrši rasterećivanje, naprezanje će se po istom pravcu (Hookeov zakon) vratiti u nulu. Nastupi li rasterećivanje već plastično deformiranog materijala, naprezanje će se također po pravcu paralelnom s elastičnim pravcem vratiti u nulu, no ponovnim opterećivanjem ovako rasterećenog materijala, novo plastično tečenje nastupa pri višem naprezanju (nastavak opterećenja čelika na sl. 3.2.3). Ovaj fenomen se naziva očvršćivanje materijala, koje je karakteristično za sve hladno deformirane metale.

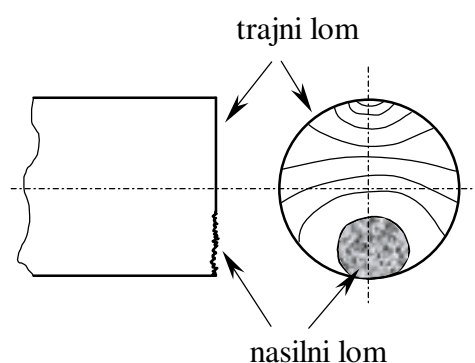


Slika 3.2.3 Usporedni dijagram konstrukcijskog čelika i Al-legure

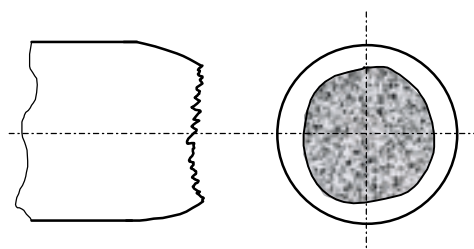
Iskustvo je pokazalo da je otpornost materijala pri *dinamičkom opterećenju* znatno manja od otpornosti pri statičkom opterećenju. Pri lomu materijala razlikuju se dva osnovna oblika loma, trajni lom i nasilni lom.

Trajni lom nastaje postepeno, u dugom vremenskom razdoblju. Često započinje pukotinom, koja nastaje uslijed vršnih naprezanja, širi se postepeno, pri čemu je tako nastala površina loma glatka s vidljivim "frontama" širenja loma. Ove međusobno koncentrične i dijelom paralelne crte počinju najčešće od ruba, a završavaju se područjem gdje je uvijek prisutan nasilni lom kojeg karakterizira hrapava zrnata struktura površine. Taj nasilni lom nastaje u momentu kad je poprečni presjek postao premali da bi prenosio opterećenje te dolazi do trenutnog loma (slika 3.2.4). Uzroci vršnih naprezanja mogu biti površinska hrapavost uslijed obrade, nehomogenosti u strukturi materijala uslijed nečistoća, šljake i sl., te koncentracija naprezanja uslijed naglih prijelaza površina, ureza, utora, provrta i sl. Ukoliko je kod trajnog loma površina nasilnog loma relativno velika u odnosu na glatku površinu, takva činjenica upućuje na to da je dio bio loše dimenzioniran. Za razliku od tog, slučaj kad je površina nasilnog loma relativno mala ukazuje na činjenicu da je presjek bio ispravno dimenzioniran te uzrok loma treba tražiti negdje drugdje, npr. u površinskoj pukotini.

Nasilni lomovi nastaju trenutno uslijed preopterećenja te je za njih karakteristična hrapava zrnata struktura površine loma (sl. 3.2.5).



Slika 3.2.4 Izgled presjeka kod trajnog loma



Slika 3.2.5 Izgled presjeka kod nasilnog loma

Za dimenzioniranje kod dinamičkih opterećenja mjerodavna je *dinamička čvrstoća* σ_D koja predstavlja najveće naprezanje koje tijelo može podnijeti trajno bez loma. Dinamička čvrstoća ovisi o materijalu, obliku, veličini strojnog dijela te površinskoj obradi. Dinamička se čvrstoća jedino točno može odrediti eksperimentalnim putem, što je u principu preskupo te se najčešće računa preko *dinamičke čvrstoće materijala* σ_D i određenih koeficijenata.

4. Materijali u strojogradnji

Za izradu strojeva i aparata koriste se različiti konstrukcijski materijali. Izbor materijala ovisi o:

- namjeni dijela
- opterećenju
- radnoj sredini i dr.

Osnovno pri izboru materijala je proračun naprezanja i ekonomičnost. Svi potrebni podaci o materijalima nalaze se u standardima i tablicama proizvođača. Među najvažnijim svojstvima koja se navode su:

- mehanička: tvrdoća, čvrstoća, rastezljivost, žilavost
- fizikalna: toplinska vodljivost, električna vodljivost, magnetizam
- kemijska, tehnološka i dr.

Dvije osnovne skupine materijala u strojogradnji čine metali i slitine, te nemetali. *Metali* su materijali koji se sastoje iz kristalne rešetke sastavljene iz pravilno raspoređenih atoma. Čisti metali se rijetko koriste u praksi iz razloga što se teško dobivaju, skupi su i posjeduju loša mehanička svojstva. Stoga se najčešće koriste *slitine (legure)* metala sastavljene iz atoma različitih kemijskih elemenata od kojih je barem jedan metal. Slitine imaju svojstva različita i često znatno bolja od osnovnih materijala iz kojih su sastavljene.

4.1 Željezo i željezne slitine - čelici

Čisto željezo je mekano pa se za tehničke potrebe koriste njegove slitine u kojima odlučujući utjecaj ima ugljik. Obzirom na udio ugljika čelici se dijele na:

- *čelik i čelični lijev* kod kojeg je udio ugljika $0,05\% \div 1,7\%$
- *lijevano željezo* kod kojeg je udio ugljika $1,7\% \div 4,5\%$.

4.1.1 Čelik i čelični lijev

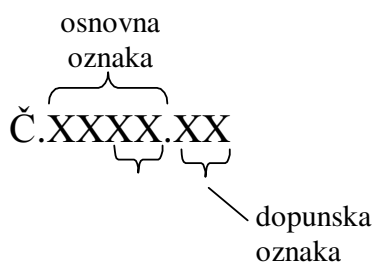
Ukoliko je ugljik jedina primjesa, čelici su *ugljični čelici*. Ugljični čelici s manje od $0,9\%$ ugljika se koriste kao *konstrukcijski čelici*, a povećanjem udjela ugljika povećava se čvrstoća i tvrdoća te smanjuje žilavost. Za *kaljenje* se koriste čelici s $0,3\%$ ugljika, a povećavanjem udjela ugljika raste zakaljivost. Za *čelični lijev* koriste se ugljični čelici s $0,2\% \div 0,4\%$ ugljika. Čelici s $0,9\% \div 1,7\%$ ugljika koriste se uglavnom kao *alatni čelici*.

Obični konstrukcijski čelici, sadrže od $0,25\%$ C

Ukoliko uz ugljik ima i drugih primjesa, radi se o *legiranim čelicima*. Legirajući elementi koji se najčešće koriste su mangan, krom, silicij, volfram, vanadij, molibden, bakar te kobalt.

Legiranjem se postiže poboljšanje svojstava čelika poput povećane žilavosti, obradivosti, kovnosti, zavarljivosti, otpornosti prema atmosferskim i kemijskim utjecajima (nehrđajući čelici), postojanosti na visokim temperaturama, čelici velike čvrstoće, čelici povoljnih magnetnih i električnih svojstava i dr. Uz ove elemente javljaju se sumpor i fosfor koji predstavljaju nečistoće. Postotak legirajućeg elementa ovisi o namjeni i oni s manje od 5% udjela nazivaju se niskolegirani, odnosno visokolegirani s više od 5% udjela legirajućeg elementa.

Čelici se prema HRN označavaju slovom "Č" i odgovarajućom skupinom brojeva (sl. 4.1.1), od kojih prva četiri broja predstavljaju osnovnu oznaku, a posljednja dva dopunsku oznaku. Prvi broj osnovne oznake označava radi li se o običnom ugljičnom čeliku (oznaka 0) ili ugljičnom s garantiranim sastavom (oznaka 1). Drugi broj osnovne oznake kod običnog ugljičnog čelika označava prekidnu čvrstoću (tablica 4.1.1), dok kod ugljičnih čelika s garantiranim sastavom označava postotak ugljika (npr., 0,3% se označava brojem 3). Kod legiranih čelika prvi broj označava najutjecajniji legirni element (tablica 4.1.2), dok drugi broj označava drugi najutjecajniji legirni element. Treći i četvrti osnovni broj označava redni broj čelika i njegovu upotrebljivost, npr. za cementiranje, poboljšanje, automate, alate, kemijski postojan, vatrootporan i dr. Dopunskom oznakom se označava stanje čelika, npr. žareno, poboljšano, normalizirano, vučeno i dr. Tako npr. Č.0345 označava obični ugljični čelik s vlačnom čvrstoćom 363÷441 MPa. Oznaka Č.5435.51 označava Ni-Cr legirani čelik za poboljšanje u vučenom i žarenom stanju. U tablici 4.1.3 dan je pregled nekih od najčešće upotrebljavanih čelika.



Slika 4.1.1 Označavanje čelika

Broj	0	1	2	3	4	5	6	7
Vlačna čvrstoća [MPa]	-	-	340	370	400	500	600	700
	-	330	360	390	490	590	690	790

Tablica 4.1.1 Dugo mjesto u oznakama za obični ugljični čelik

Broj	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Legirni element	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	V	ostali

Tablica 4.1.2 Označavanje legirnih elemenata u prvom i drugom mjestu oznake za čelik

Č.0000	za dijelove bez posebnih zahtjeva, tzv. trgovački čelik	
Č.0270	za dijelove s dobrom žilavošću, npr. žica	
Č.0360	najčešći materijal u bravarstvu, čeličnim konstrukcijama, kućistima i sl.	
Č.0461	za odgovorne dijelove koji moraj bit žilavi, npr. ojnice, vratila i sl.	
Č.0545 Č.0561	za jače opterećene dijelove strojeva, vratila i sl.	
Č.0645 Č.0745	dinamički i udarno opterećeni strojni dijelovi	
Č.0361 Č.0462 Č.0561	čelici za zavarene noseće konstrukcije	
Č.4140	kotrljajući ležajevi	čelici za posebne namjene
Č.4570	otporni na hrđu	
Č.4579	otporan na visoke temperature i do 1200°C, npr. čelici grijaćih spirala	

Tablica 4.1.3 Primjeri neki često korištenih čelika

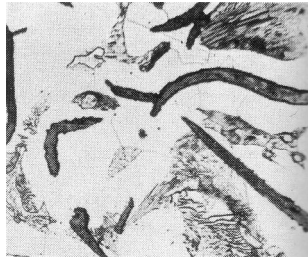
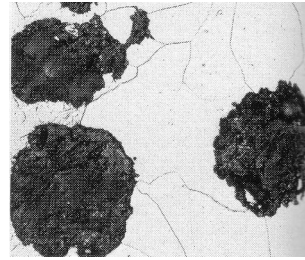
Čelični lijev koristi se za izradu lijevanih strojnih dijelova kod kojih se zahtjeva velika čvrstoća i žilavost. Sadrži 0,2÷0,4% ugljika i vrlo se teško lijeva uz veliko stezanje pri ulijevanju u kalup (10÷12%), što dovodi do nastajanja šupljina i zaostalih naprezanja. Legiranjem i toplinskom obradom moguće je postići bitna poboljšanja. Označava se isto kao i čelik s razlikom da se umjesto slova "Č", piše "ČL". Razlika između čelika i čeličnog lijeva je u tome što se čelični lijev ulijevanjem u kalupe dovodi u konačno stanje, dok se čelik lijeva u ingote (metalni kalupi) i se kasnije se valja u limove i profile.

4.1.2 Lijeвано željezo

U skupini lijevanog željeza razlikujemo sivi lijev, nodularni lijev, temper lijev, bijeli temper lijev i crni temper lijev.

Sivi lijev (SL) karakteriziran je lamelarnom strukturom grafita (sl. 4.1.2). SL je jeftin, lako se obrađuje i karakterizira ga izvrsna livljivost. Posjeduje dobra tribološka svojstva te ne dolazi do zaribavanja ni nakon nestanka ulja. Jednostavni i jeftini ležajevi mogu biti izrađeni iz SL-a. Osnovna mana mu je vrlo niska vlačna čvrstoća, mali modul elastičnosti, slaba duktilnost i toplinska postojanost. Tlačna čvrstoća mu je znatno veća od vlačne, neosjetljiv je na djelovanje ureza, ima povoljnu dinamičku čvrstoću, dobro podnosi i prigušuje udarce te je izrazito povoljan za izradu kućišta. Brzim hlađenjem SL-a dobiva se tvrdi lijev (TL) koji posjeduje veliku tvrdoću i otpornost na habanje. Legiranjem je moguće bitno poboljšati svojstva pa dodavanjem Ni, Cr i Mo povećava se otpornost na trošenje i koroziju te povećava toplinska postojanost. Dodavanjem Ni, Cr, Si te Cr, Al povećava se toplinska postojanost i otpornost na ogorijevanje. Dodavanjem P, Si se također povećava toplinska postojanost te je takav SL pogodan za izradu ložišta. Dodavanjem Si postiže se otpornost na kiseline.

Nodularni lijev (NL) karakteriziran je kuglastom strukturom grafita (sl. 4.1.3) što omogućava veću čvrstoću, žilavost, modul elastičnosti i otpornost prema koroziji od SL-a. No moć prigušivanja vibracija mu je manja od SL-a. Neosjetljiv je na ureze i ima povoljnu dinamičku čvrstoću te se u mnogim slučajevima koristi umjesto znatno skupljeg čeličnog lijeva.

Slika 4.1.2 Struktura sivog lijeva¹

Slika 4.1.3 Struktura nodularnog lijeva

Temper lijev (TeL) dobiva se podvrgavanjem manjih dijelova iz dobro livljivog bijelog sirovog željeza postupku temperiranja (žarenja). Vrlo je jeftin i često se koristi u masovnoj proizvodnji. Čvrstoća mu je negdje između sivog i čeličnog lijeva. *Bijeli temper lijev* (BTeL) koristi se u masovnoj proizvodnji manjih odljevaka (do 1 kg) jednolične debljine stjenke (3÷20 mm) poput raznih ključeva, okova, transportnih lanaca i sl. Dade se površinski cementirati. *Crni temper lijev* (CTeL) se koristi pri izradi odljevaka debljih nejednolikih stjenki (3÷40 mm) poput raznih kućišta zupčanika, strojeva, aparata, bubnjeva kočnica i sl. Ne može se lemiti i zavarivati te nije podesan za visoke temperature. Moguće ga je kaliti i poboljšati.

4.1.3 Toplinska obrada

Toplinskom obradom bitno se poboljšavaju svojstva čelika. Postupci toplinske obrade koji se primjenjuju su žarenje, normalizacija, kaljenje, napuštanje, poboljšanje, cementiranje i nitriranje. Ovi postupci provode se pri raznim temperaturama koje ovise o postotku ugljika, kao što je i prikazano na dijagramu čelika koji opisuje područja temperatura potrebnih za toplinsku obradu čelika (sl. 4.1.4).

Žarenjem se smanjuju unutrašnja naprezanja nastala nejednolikim hlađenjem pri proizvodnji. Žarenje se vrši polaganim zagrijavanjem na 600÷650°C, zadržavanjem neko vrijeme na toj temperaturi te polaganim hlađenjem. Na ovoj povišenoj temperaturi u materijalu nastaju plastične deformacije te se unutarnja naprezanja izjednačuju. Žarenjem iznad temperature 720°C (meko žarenje) povećava se obradivost materijala, no istodobno smanjuje čvrstoća i tvrdoća.

Normalizacija je slična žarenju gdje se zagrijavanje vrši na temperaturi višoj od one kod žarenja (do temperature kaljenja) uz vrlo spori postupak hlađenja, čime se postiže sitnozrnata struktura.

Kaljenjem se čelični izradak zagrije na temperaturu kaljenja te se naglo ohladi u vodi ili ulju, čime je onemogućen proces rekristalizacije pri hlađenju pa se postiže veća tvrdoća i čvrstoća uz smanjenje žilavosti materijala. Zakaljivost čelika (mogućnost kaljenja pri nižoj temperaturi) se povećava povećanjem udjela ugljika. Zakaljivost čelika sa 2÷3% ugljika je vrlo mala. Potrebna brzina hlađenja kod legiranih čelika je nešto manja od ugljičnih te je dovoljno i hlađenje na zraku (samozakaljivost).

Napuštanje je proces grijanja na temperaturu od 100÷400°C, popraćen polaganim hlađenjem. Ovime se smanjuje krhkost i unutarnja naprezanja nastala procesom kaljenja.

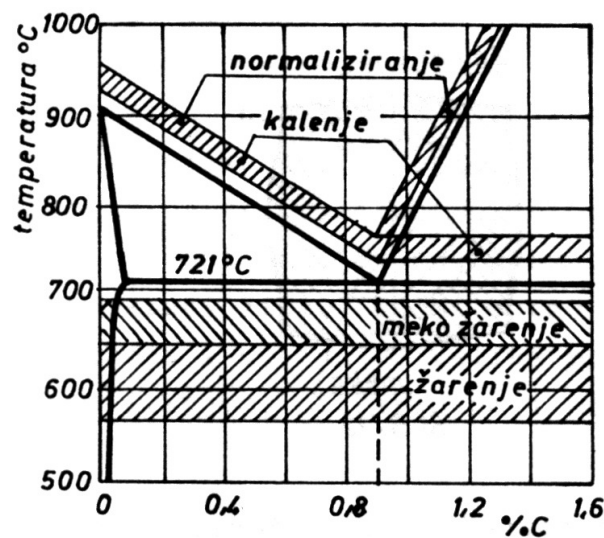
¹ Skenirani crtež: B. Kraut, *Strojarski priručnik*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1982.

Poboljšanje je proces koji obuhvaća provedbu kaljenja i napuštanja.

Površinsko kaljenje je proces koji se koristi kada se želi lokalno poboljšati čvrstoća i tvrdoća određenih površina strojeva i strojnih dijelova, uz zadržavanje žilavosti nosive jezgre izratka. Karakteristične su strojne staze po kojima se vrši klizanje drugih dijelova i rukavci osovina. Za zagrijavanje površine koriste se plinski plamenici ili visokofrekventne struje.

Cementiranje je postupak koji se primjenjuje kod nekaljivih čelika nanošenjem (uranjanjem u ugljenu prašinu) sloja ugljika na površinu. Ovime se na površini lokalno poveća udio ugljika, tako da površina postane kaljiva, a nakon naglog hlađenje jezgra i dalje ostaje žilava. Proces pougljavanja vrši se vrlo sporo (12-16 sati za pougljavanje dubine do 2 mm) na temperaturi iznad 720°C.

Nitriranje je postupak sličan je cemetiranju, gdje se površina dovodi u kontakt sa strujom dušika koji se veže sa željezom te tvori vrlo tvrde kristale željeznog nitrda (Fe_4N). Ovako dobiveni površinski sloj vrlo je tvrd i otporan na trošenje. Nitriranjem se povećava dinamička čvrstoća i otpornost prema koroziji. Postupak nitriranja vrlo je polagan, moguće je nitrirati samo male površine pa se za veće izratke primjenjuje cementiranje.



Slika 4.1.4 Dijagram čelika[‡]

[‡] Skenirani crtež: V. Hrgešić i J. Baldani, *Mehaničke konstrukcije*, Sveučilište u Zagrebu, Elektrotehnički Fakultet, Zagreb, 1990.

4.2 Obojeni metali

4.2.1 Bakar i bakrene slitine

Bakar i bakrene slitine (legure) karakterizira otpornost prema koroziji, kiselinama, dobra lemljivost, dobra tribološka svojstva (koristi se za ležajeve), dobra električna i toplinska vodljivost te dobra mogućnost oblikovanja.

Čisti bakar karakterizira dobra električna i toplinska vodljivost pa se koristi u industriji toplinskih uređaja. U praksi se pojavljuje kao Cu 99,15 (za izratke trgovačke kvalitete), Cu 99,5 (za izratke bolje kvalitete), Cu 99,75 (za izratke najbolje kvalitete) te kao E.Cu (za elektrotehničku namjenu). Legiranjem čistog bakra postižu se razna dobra svojstva.

Mjedi (mesing) su slitine bakra i cinka koje se koriste kao gnječive i ljevačke slitine. Obzirom na sastav postoje slijedeće vrsti mjedi:

- obična mjed za gnječenje (54÷94%Cu, 1÷3%Pb, ostatak Zn), koristi se za prešane profile u elektrotehnici, zgradarstvu, za opruge, vijke, izmjenjivače topline, instalacijske dijelove u elektrotehnici, za bižuteriju i sl.
- obična mjed za lijevanje (60÷64%Cu), koristi se za pješčani, kokilni i tlačni lijev te kod raznih okova, armatura, i sl.
- specijalna mjed za gnječenje (s dodacima Ni, Mn, Fe, Al, Si, Pb), koristi se kao konstrukcijski materijal povoljne čvrstoće i žilavosti, velike otpornosti atmosferskim utjecajima, dobre klizavosti, dobre obradivosti. Često se koristi pri izradi opruga.
- specijalna mjed za lijevanje (sa 1÷3% Mn), dobro se lijeva i lemi. Koristi se za dijelove izložene velikim pritiscima, visokotlačne armature i kućišta, za ventile, matice te brodske vijke.
- "novo srebro" (45÷64%Cu, 11÷19%Ni, ostatak Zn), bijele boje, dobro se kuje i preša u vrućem stanju, dobro se hladno izvlači (žica). Koristi se za izratke u zgradarstvu, ukrasne predmete, jedaći pribor, opruge te je povoljan za duboko izvlačenje (posude).

Prema HRN-i, obojeni metali označavaju se sa slovima koji simboliziraju legirni element i pripadajući udio izražen u postocima, a za odljevke na početku oznake upisuje se i simbol tehnološke namjene slitine (P-lijevanje u pijesku, K-kokilni lijev, T-tlačni lijev, C-centrifugalni lijev, B-brizganje).

Neki od primjera primjere:

P. Cu Zn 33 Pb – za armature i dijelove opće upotrebe u elektroindustriji

K. Cu Zn 40 – za armature i dijelove u elektroindustriji

Cu Zn 40 Pb 3 – za tanke vučene profile u strojarstvu i elektroindustriji

Cu Zn 28 i Cu Zn 20 – za cijevi, manometre, hladnjake te instalacijske dijelove u el.ind.

Cu Ni 15 Zn 20 –novo srebro

Bronce su slitine bakra (više od 60%Cu) uz dodatak Al, Si, Pb i Zn. Nazive imaju prema legirnim elementima koji prevladavaju, tako razlikujemo:

- aluminijaska bronca za gnječenje ($4,5 \div 10\%$ Al), izrađuje se u obliku šipki, limova, traka cijevi i žice za izradu predmeta opće upotrebe te za kemijsku industriju. Pri udjelu aluminija u granicama $4,75 \div 5,25\%$ pokazuje dobru el. vodljivost te se koristi u elektrotehnici za opruge i dijelove koji vode el. struju. Dobro se kuje i obrađuje. Npr. Cu Al 5.
- aluminijaska bronca za lijevanje ($9 \div 10\%$ Al), otporna prema koroziji i kiselinama, dobro se vari i teško lemi. Koristi se za odljeve veće čvrstoće i otpornosti na habanje poput pužnih kola, pužnika, zupčanika te armatura za pregrijanu paru u kemijskoj i prehrambenoj industriji.
- kositrena bronca za gnječenje (sa $1 \div 7\%$ Sn), koristi se za vijke i opruge koji vode el. struju, te za kondenzatorske cijevi, izmjenjivače, manometarske cijevi, žičana sita, dijelove el. instrumenata (nemagnetično) i u kemijska industrija Npr. Cu Sn 5
- kositrena bronca za lijevanje ($10 \div 20\%$ Sn), za djelove izožene velikim pritiscima i habanju poput kliznih ležajeva, vijenaca pužnih kola, armatura za velike pritiske, za izradu pumpi i zvona. Npr. P. Cu Sn 20
- kositreno olovna bronca (10% Sn, $5 \div 22\%$ Pb), posjeduje dobra tribološka svojstva i otpornost prema trošenju, koroziji, sumpornoj kiselini, solnoj kiselini i masnim kiselinama. Koristi se kod kliznih ležajeva i armatura te dijelova otpornih na kiseline. Npr. P. Cu Sn 10 Pb 5
- olovna bronca (sa 25% Pb), koristi se kod jako opterećenih kliznih ležajeva te klipova motora. Npr. P. Cu Pb 25
- silicijska bronca ($2,8 \div 3,5\%$ Si i $1 \div 5\%$ Mn), za vrlo opterećenje dijelove u kemijskoj industriji, opruge koje provode el. struju, metalne tkanine, sita, dimne filtere, isparivače te druge dijelove u brodogradnji i strojarstvu. Dobro je zavarljiva. Npr. Cu Si 2 Mn
- crveni metal ($3 \div 7\%$ Sn i $3 \div 7\%$ Zn), za limove, trake, manometarske cijevi te dijelove u električnim instrumentima i signalnim uređajima.
- crveni lijev ($5 \div 10\%$ Sn, $4 \div 7\%$ Zn i $1 \div 4\%$ Pb), koristi se kod armatura pod visokim tlakom, kliznih ležajeva, ležajnih čahura, pužnih zupčanika, ventilskih sjedišta, cijevnih prirubnica i drugih dijelova koji se spajaju tvrdim lemljenjem.

4.2.2 Aluminij i aluminijeve slitine

Zbog male gustoće (težine dijelova) i velike čvrstoće Al-slitine, iako skuplje od čelika, izrazito su povoljne za sve dinamički opterećene dijelove, a naročito za dijelove gdje se zahtjeva mala masa poput onih u avioindustriji. Zbog manjeg modula elastičnosti imaju veće deformacije nego isti dijelovi od čelika.

Čisti aluminij dobavlja se prešan, valjan, vučen u obliku šipki, cijevi, limova i žica ili se pak lijeva tlačnim lijevom (rotori kratkospojenih asinhronih motora). Izvrstan toplinski i električni vodič, ali neotporan prema morskoj vodi, anorganskim kiselinama, sodi, žbuci, betonu te ga je potrebno elektrolitički zaštititi (npr. eloksiranjem). Može se variti, no teško ga je lemiti. U praksi se susreće kao Al.99,8 (kemijska i prehrambena industrija), Al.99.8 (opće namjene) i E.Al (za elektrotehniku). Legiranjem mu se bitno poboljšavaju svojstva.

Aluminijske slitine za gnječenje pogodne su za valjanje, prešanje i izvlačenje. Od Al-slitina najčešće se susreću:

- AlCuMg slitine (duraluminij) velike čvrstoće, dobre obradivosti i male otpornosti prema koroziji, često se koristi u avioindustriji. Npr. Al Cu 5 Mg 1
- AlMg slitine, karakterizira ih velika čvrstoća i otpornost prema koroziji, morskoj vodi i alkalijama
- AlMgSi slitine, otporne su prema koroziji, dobri su električni vodiči te dobro reflektiraju svjetlost. Npr. Al Mg 1 Si 1
- AlMgMn slitine, vatrootporne su i otporne su prema morskoj vodi. Pogodne su za duboko izvlačenje (posude)
- AlMn slitine su vrlo otporne prema koroziji te se rabe u kemijskoj industriji

Aluminijske slitine za lijevanje koriste se za izradu odljevaka u pješčanom, kokilnom, tlačnom i centrifugalnom lijevu. Često se koriste za izradu kućišta. Označavaju se poput Cu-slitina, gdje slovo na prvom mjestu simbolizira tehnološku namjenu slitine. Primjeri označavanja dani su tablicom 4.2.1.

Aluminijske slitine za lijevanje HRN C.C2.300	
Oznaka slitine	Vrst odljeva
P.AISi12 K.AISi12 T.AISi12	srednje opterećenje, tankostjeni, za opću upotrebu, kemijski otporni
P.AISi12Cu K.AISi12Cu	nepropusni, tankostjeni
P.AISi10Mg K.AISi10Mg	otporni na udarna opterećenja
K.AISi8Cu3 T.AISi8Cu3	odljevi veće čvrstoće
T.AISi8	velika kemijska otpornost
P.AISi5Cu3 K.AISi5Cu3	za opće potrebe
T.AIMg8 K.AIMg7	antikorozivne slitine
P.ALmg4 P.AICu10Mg	stapovi motora
K.AICu10Mg P.AICu5MgTi	odljevi velike čvrstoće
P.AISi10MgCu K.AISi10MgCu	jako opterećeni, otporni na vibracije
Mehanička svojstva odljeva poboljšavaju se slijedećom termičkom obradom: - žarenjem na 530° - kaljenjem i starenjem na 160° - prirodnim dozrijevanjem	
P – pješčani lijev K – kokilni lijev T – tlačni lijev	

Tablica 4.2.1 Primjeri označavanja Al-slitina za lijevanje

4.2.3 Sinter metali

Dobivaju se iz metalnih prašina podvrgnutim visokom pritisku i temperaturi ($1100\div 1300^{\circ}\text{C}$ za čelik i $600\div 800^{\circ}\text{C}$ za broncu). Karakteriziraju ih vrlo točne mjere i kvaliteta površine. Često se sinter čelici i bronce primjenjuju za klizne ležajeve, rezne alate, zupčanike, tarne obloge, kočnice, spojke, kontaktne elemente te trajne magnete u elektroindustriji. Imaju vrlo visoku prekidnu čvrstoću, povoljni su za masovnu proizvodnju malih dijelova sa velikim zahtjevima za točnošću.

4.3 Nemetali

Posebne funkcije kod strojeva i aparata mogu ispuniti samo posebni materijali. Npr. brtvljenje (meki i elastični materijali poput gume i plastike), toplinska izolacija (pl. mase, azbest), prijenos remenom (guma, koža) i sl. Ovdje će biti navedeni samo neki od najčešće korištenih nemetala.

Guma se koristi prvenstveno zbog dobrih svojstava amortizacije vibracija i udara. Susreće se kao meka i tvrda guma. Razlikuje se prirodna (kaučukova) i umjetna guma. Guma se oblikuje u kalupima ili se ekstrudira (beskonačini gumeni prfili), pri čemu se dovodi toplina te se na povišenoj temperaturi (oko 400°C) provodi proces vulkanizacije. Prilikom vulkanizacije (polimerizacije) dolazi do spajanja monomera u ulančane polimere. Guma se koristi za elastično oslanjanje, brtvljenje, remenje, pneumatike, cijevi i sl.

Plastične mase posjeduju dobra mehanička i izolacijska svojstva. Lako se prerađuju uz mali utrošak energije, jeftine su, otporne na koroziju i kiseline. Lako se zavaruju, metaliziraju i boje. Neotporne su na UV zračenje pri kojem mijenjaju svojstva (starenje) te ovo predstavlja jedan od osnovnih problema kod plastičnih materijala. Zbog jednostavnosti izrade i male cijene koštanja široko se primjenjuju za proizvodnju zupčanika, opruga, vijaka, kliznih ležajeva, brtvila, krutih i fleksibilnih cijevi, kućišta, ventilatora, pumpi, aparata, igračaka, izolirajućih i ambalažnih materijala i sl. Dije se na termoplaste i duroplaste. Termoplasti se prerađuju na određenoj temperaturi, no ponovnim zagrijavanjem na tu temperaturu dolazi do promjene oblika i omekšavanja. U ovu grupu spadaju polivinil, polietilen, poliamid (najlon), polistirol, poliuretan i dr. Duroplasti ne mijenjaju svoja svojstva pri ponovnom zagrijavanju, npr. fenoplasti (bakelit) i često se koriste za kućišta električnih sklopova koji su izloženi povišenim temperaturama. Prilikom dimenzioniranja potrebno je, uz dozvoljenu, uzeti u obzir i vremensku čvrstoću.

Koža se koristi kod remena i brtvi.

Drvo se koristi za izradu ambalaže, modela i dr. Nekoć se koristilo i za nosive dijelove konstrukcije, no takve izvedbe su u strojogradnji potpuno potisnute.

Keramika se koristi za tarne površine kod kojih je izraženo trenje. Postojane su na visokim temperaturama i kiselinama. Izvrsni su izolatori te ih se kao takve najčešće i koristi u elektroindustriji. U novije vrijeme došlo je do novih istraživanja i razvoja keramičkih materijala te se polako keramički materijali uvode i kao dijelovi koji na sebe preuzimaju opterećenje pri radu na ekstremno visokim temperaturama.

Grafit se koristi za izradu elektroda te se upotrebljava za podmazivanje.

Papir se koristi pri izradi filtera i brtvi.

Tekstil se često koristi u kombinaciji s gumom kod raznih brtvi i remena.

Staklo se koristi kada je potrebno ostvariti vizualni kontakt s nekim zatvorenim dijelom. Npr. čašice filtera goriva.

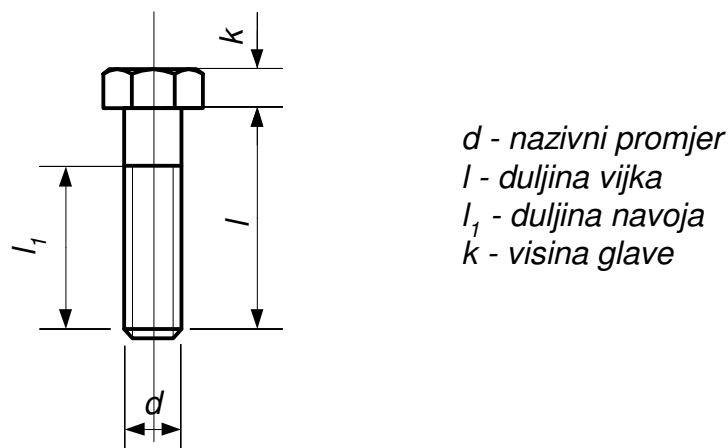
Azbest se nekoć koristio kao toplinski izolator i brtvilo pri visokim temperaturama. Radi kancerogenosti je skoro u potpunosti izbačen iz upotrebe.

5. Elementi strojeva

Strojevi i aparati su složene mehaničke konstrukcije, pa se u cilju proračunavanja rastavljaju na sklopove, pod sklopove i pojedinačne dijelove. Temeljna osobina *pojedinačnog elementa* (strojni element) je da se ne može dalje rastavljati. Elementi strojeva dijele se na opće i posebne. *Opći elementi* upotrebljavaju se kod svih vrsta strojeva i aparata te su zato često standardizirani (npr. vijci, matice, ležajevi, opruge, cijevi i dr.). *Posebni elementi* upotrebljavaju se kod određenih vrsta strojeva i tu spadaju npr. klipovi, koljenasta vratila, kuke, itd. U ovom poglavlju proučavaju se prvenstveno opći elementi podijeljeni prema namjeni u elemente za spajanje (vijci, opruge, klinovi,...), elemente okretnog gibanja (osovine, vratila, ležajevi, spojke,...), elemente za prijenos okretnog gibanja (zupčanici, tarni i remenski prijenos,...) i elemente za transport cijevima (cijevi, cijevni zatvarači,...).

5.1 Vijčani spojevi

Vijčani spoj je rastavljiva veza dvaju strojnih elemenata ostvarena posredstvom navoja. Vijčani spojevi mogu bit *zavjesni* (najjednostavniji, npr. kuke dizalica), *čvrsti* (spajaju strojne dijelove) te *pokretni* vijčani spojevi. Najčešći su vijci s glavom (sl. 5.1.1), kod kojih postoji šesterostrana glava te trup koji se sastoji iz vrata i samog navoja. Sami navoj izrađuje se kružnim gibanjem profila navoja po cilindričnom neobrađenom trupu vijka.



Slika 5.1.1 Vijak s glavom

Osnovni geometrijski i kinematski element navoja je *zavojnica* (prostorna krivulja, spirala) koju opisuje točka koja istovremeno vrši translaciju uzduž osi i rotaciju oko te osi (gibanje po kosini). Postoje desnovojni i ljevovojni navoji. Ukoliko nije posebno naglašeno, navoj je uvijek desnovojan. Zavojnicu karakterizira kut uspona α , korak navoja P te srednji promjer navoja d_2 . Za zavojnicu vrijedi (sl. 5.1.2÷5.1.4)

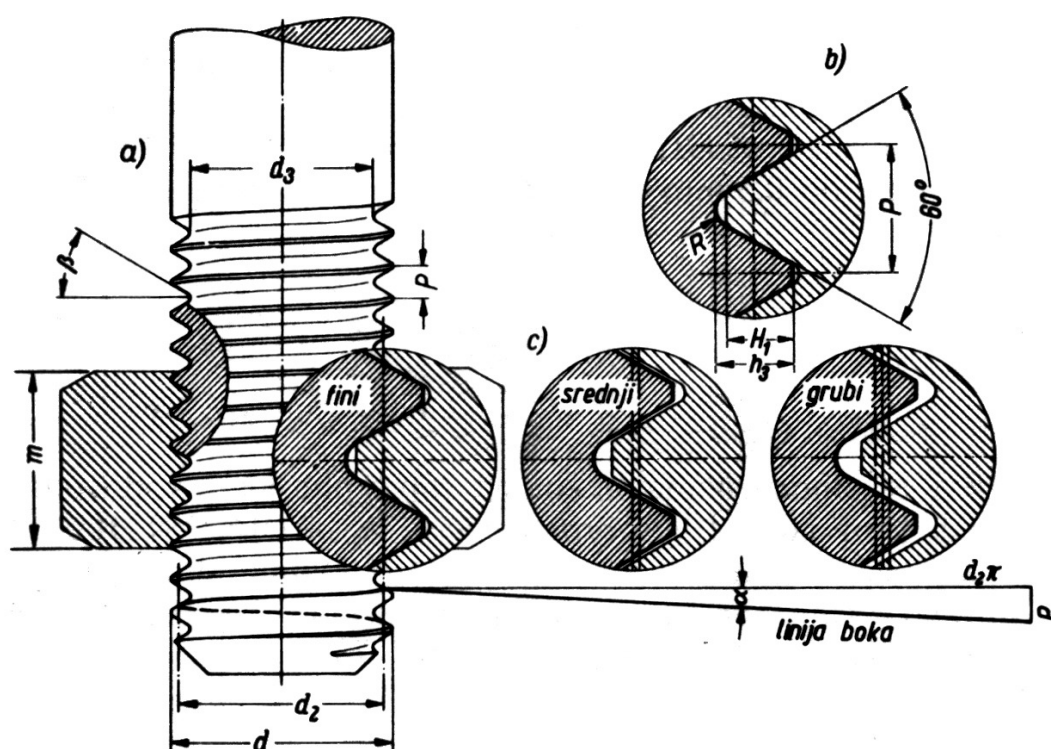
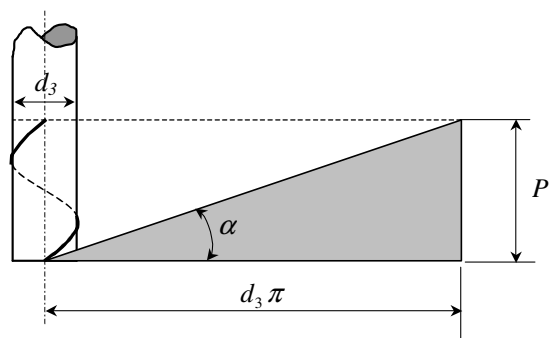
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{P}{d_2 \pi}. \quad (5.1.1)$$

Podjela navoja:

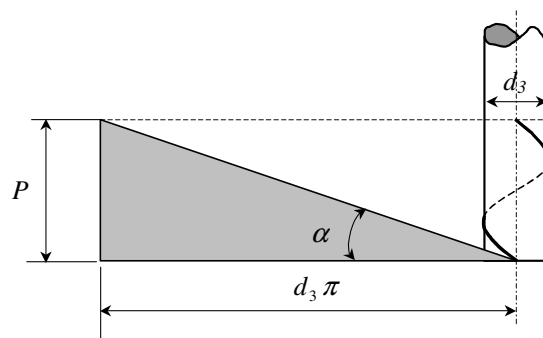
- prema smjeru uspona:
 - desnovojni (sl. 5.1.2, 5.1.3)
 - ljevovojni (sl. 5.1.4)
- prema broju početaka
 - jednovojni (sl. 5.1.5₁)
 - dvovojni (sl. 5.1.6)
 - viševojni (sl. 5.1.5₂)
- prema namjeni:
 - vijci za pričvršćenje (sl. 5.1.1)
 - vijci za podešavanje (npr. diferencijalni vijci)
 - vijci za mjerenje (npr. mikrometar)
 - vijci za pretvorbu sila (npr. preša, škripac)
 - vijci za prijenos gibanja (npr. vreteno kod ručne dizalice)
- prema mjerama
 - metrički
 - colovski (SAD i Kanada)
 - Whitworthov (V. Britanija i skandinavske zemlje)
- prema profilu zuba:
 - trokutasti (sl. 5.1.2)
 - obli (sl. 5.1.7)
 - trapezni (sl. 5.1.5 i 5.1.8₁)
 - plosnati (sl. 5.1.8₂)
 - pilasti (sl. 5.1.8₃)

Zamjenjivost vijaka je moguća jedino ukoliko su svih šest osnovnih karakterističnih mjera jednake. Karakteristične mjere vijka su (sl. 5.1.2):

- d – vanjski ili *nazivni* promjer vijka
- d_3 – unutrašnji promjer vijka (promjer jezgre), nekad se označavao kao d_1
- d_2 – srednji promjer vijka
- P – uspon
- α – kut boka (kut uspona)
- r – zaobljenje korijena navoja

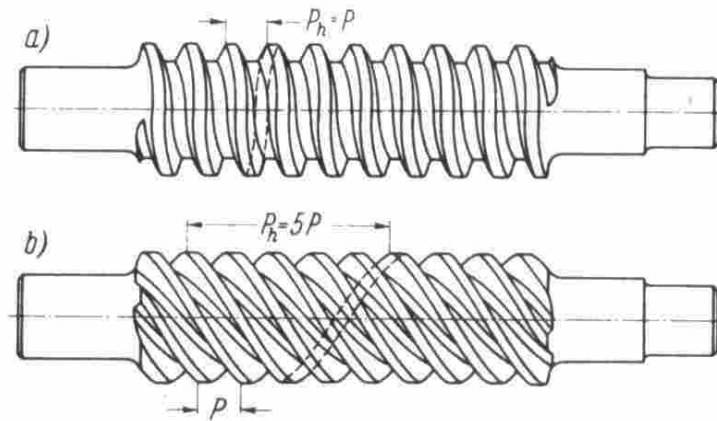
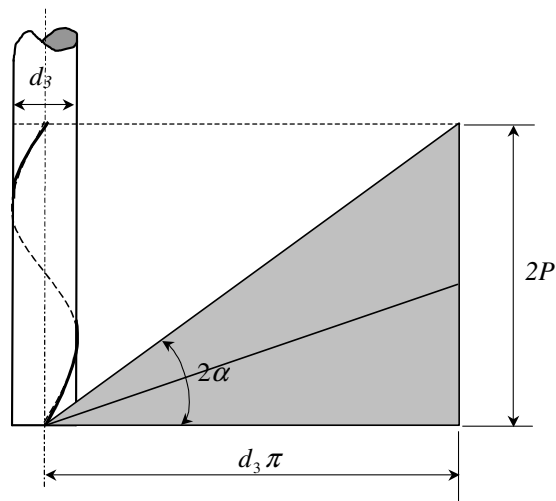
Slika 5.1.2 Navoj vijka za pričvršćivanje[†]

Slika 5.1.3 Zavojnica kod desnog vijka

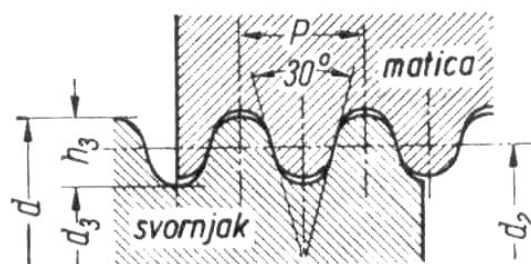


Slika 5.1.4 Zavojnica kod ljevog vijka

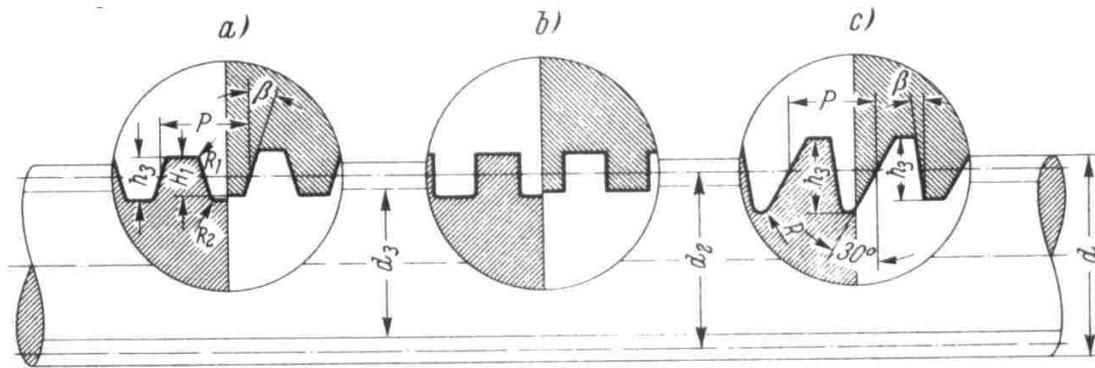
[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Slika 5.1.5 Jednovojni i viševojni navoj[†]

Slika 5.1.6 Zavojnica kod dvovojnog navoja

Slika 5.1.7 Obli navoj[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Slika 5.1.8 Trapezni, plosnati i pilasti navoj[†]

Kod nas (HRN) i u EU području standardan je *metrički ISO navoj* koji se, obzirom na razred tolerancija u kojem se izvodi, dijeli na (sl. 5.1.2): fini navoj (gdje se zahtjeva velika točnost), srednji navoj (opća primjena) i grubi navoj (ako se ne zahtijeva točnost). Metrički ISO navoj označava se slovom "M" te brojevima od kojih prvi označava vanjski nazivni promjer vijka d , a drugi korak P , npr. M 8×1 je metrički navoj promjera $d=8\text{ mm}$ i koraka $P=1\text{ mm}$.

Kako bi se ostvario vijčani spoj (sl. 5.1.9), uz vijak potrebni su još neki elementi. Tako vijčani spoj sačinjavaju:

- vijak (vreteno kod pokretnog vijka) (sl. 5.1.10)
- matica (ponekad je izostavljena) (sl. 5.1.11)
- dijelovi koji se spajaju (sl. 5.1.9)
- podložne pločice (sl. 5.1.9)
- osigurači (sl. 5.1.12, 5.1.13)

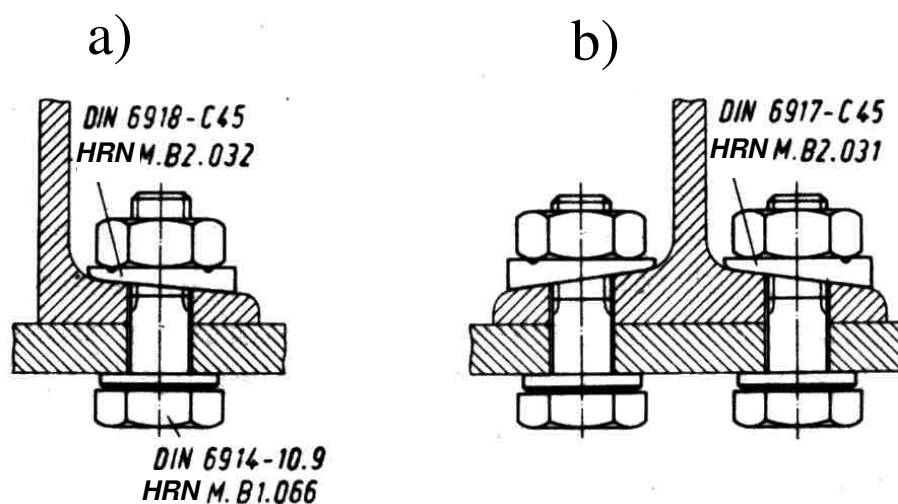
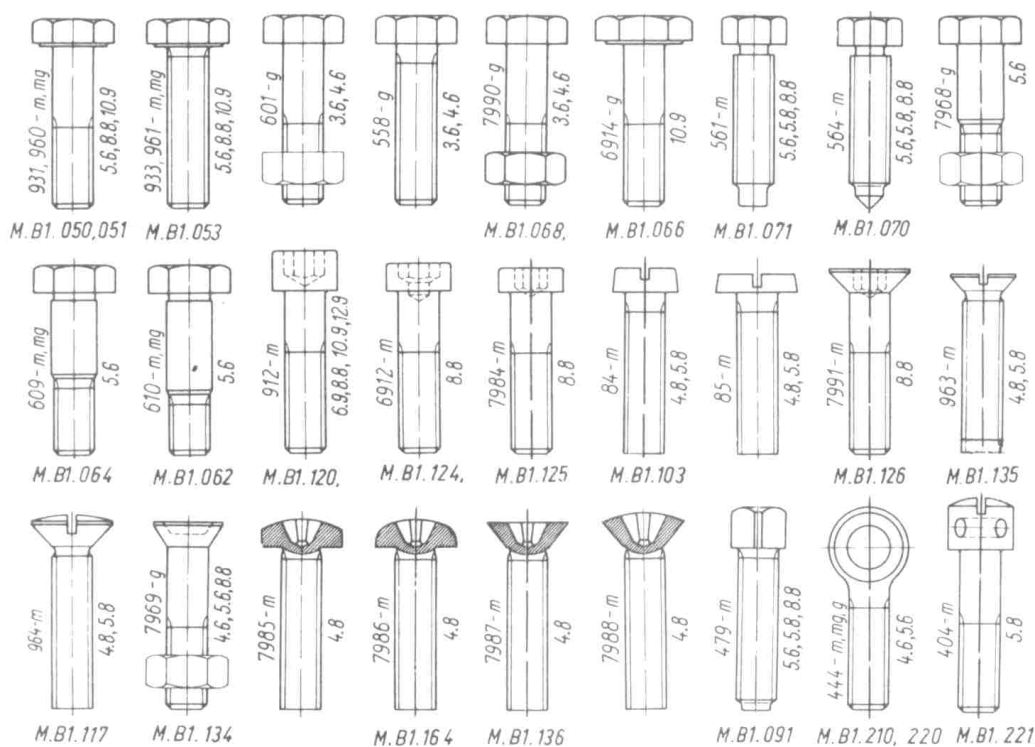
Oblik vijka uvjetovan je njegovom primjenom i definiran standardom, postoje (sl.5.1.10):

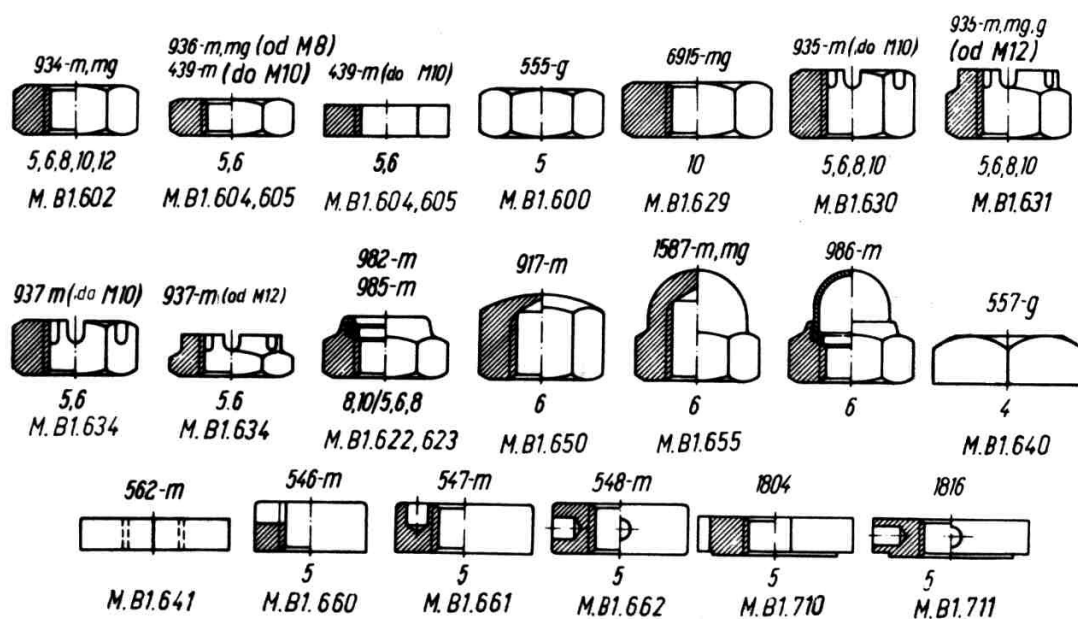
- vijci sa šesterostranom glavom
- vijci s upuštenom glavom
- vijci s lećastom glavom
- svorni vijci
- imbus vijci

Podložne pločice (sl. 5.1.9) osiguravaju dobro nalijeganje matice ili glave vijka na dijelove koji se spajaju. Podložne pločice se koriste ako površine nalijeganja nisu okomite na os vijka (npr. valjani U, I i L profili, sl. 5.1.9), ako površina nalijeganja nije obrađena, ako dolazi do puzanja materijala (npr. AL-slitine, drvo, plastične mase) te ako je promjer rupe veći od promjera vijka ili je pak rupa eliptična.

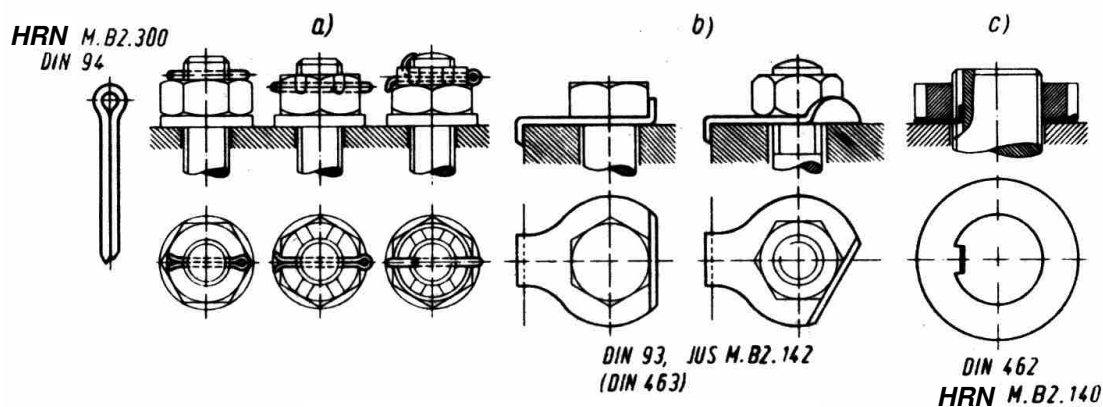
Metrički su navoji općenito samokočni, no svejedno ih je potrebno *osigurati od odvrtanja* do kojeg može doći djelovanjem promjenjivog opterećenja, vibracija, temperaturnih razlika ili puzanja podloge. Osiguranje se može izvesti kao *osiguranje vijaka oblikom* (sl. 9.1.12), kod kojeg se razne pločice ili osigurači plastično deformiraju i onemogućavaju odvrtanje, te *osiguranje silom* (sl. 9.1.13), gdje elastično deformirana pločica osigurava samokočnost vijka i za slučaj da je došlo do otpuštanja. Osiguranje silom vrši se i pomoću umetka iz plastike koji se elastično deformira te kao takav djeluje samokočno prema navoju (sl. 9.1.13 h).

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

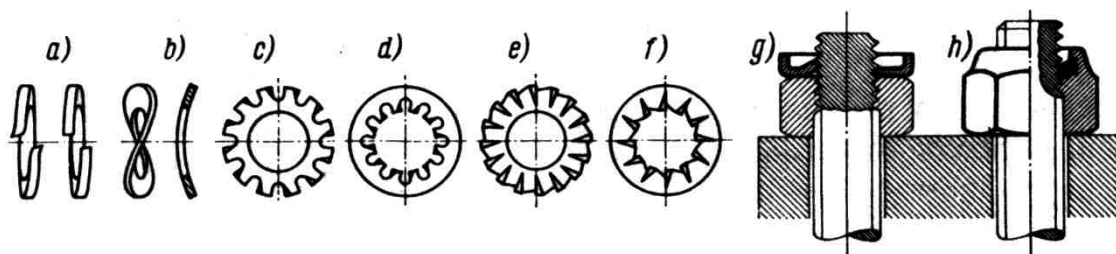
Slika 5.1.9 Vijčani spojevi kod limova, U-nosača i I-nosača[†]Slika 5.1.10 Standardni vijci s glavom prema HRN-i i DIN-u (označen lijevo od vijka)[†][†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.



Slika 5.1.11 Izbor standardnih matica prema HRN-i (oznaka ispod vijka) i DIN-u (oznaka iznad vijka)[†]



Slika 5.1.12 Osiguranje vijka oblikom[†]



Slika 5.1.13 Osiguranje vijka silom[†]

[†] Skenirani crteži: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

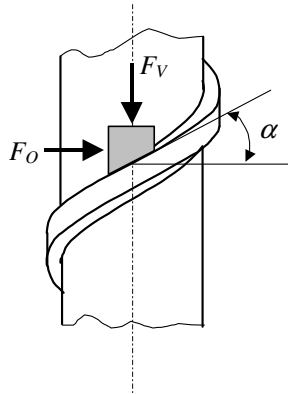
5.1.1 Sile i momenti na vijku te pojam samokočnosti

Pritezanjem matice sumira se pritisak između matice i podloge te pritisak između vijka i matice na samim navojima. Rezultanta sila pritiska na navoju daje aksijalnu silu koja djeluje u osi vijka te ga opterećuje na vlak. Moment kojim se matica priteže (moment ključa M_K), osim što savladava aksijalnu silu F_V , savladava i sile trenja između matice i podloge. Označimo li dio momenta koji se troši na savladavanje aksijalne sile kao M_V , a dio koji se troši na savladavanje trenja između matice i podloge M_P , tada je moment ključa

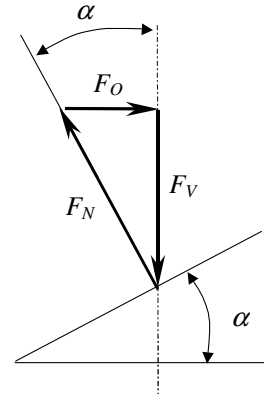
$$M_K = M_V + M_P \quad (5.1.2)$$

U cilju definiranja momenta na vijku M_V , pritezanje matice može se promatrati kao gibanje tereta po kosini (sl. 5.1.14). Pretpostavi li se da nema trenja (sl. 5.1.15), horizontalna sila je prema jednadžbi (5.1.1)

$$F_0 = F_V \operatorname{tg} \alpha. \quad (5.1.2)$$



Slika 5.1.14 Uspon po kosini



Slika 5.1.15 Trokut sila za slučaj bez trenja

Uzevši u obzir trenje (sl. 5.1.16), horizontalna sila je pri pritezanju

$$F_0 = F_V \operatorname{tg}(\alpha + \rho'), \quad (5.1.4)$$

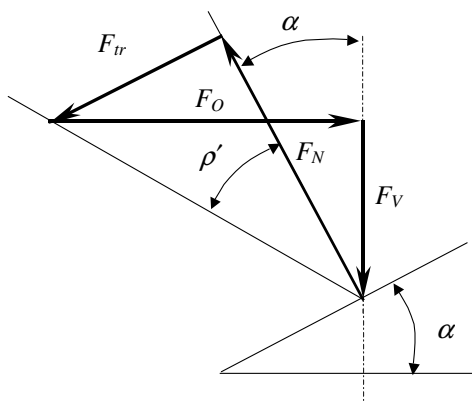
iz čega slijedi moment

$$M_V = F_0 \frac{d}{2} = F_V \frac{d}{2} \operatorname{tg}(\alpha + \rho'). \quad (5.1.5)$$

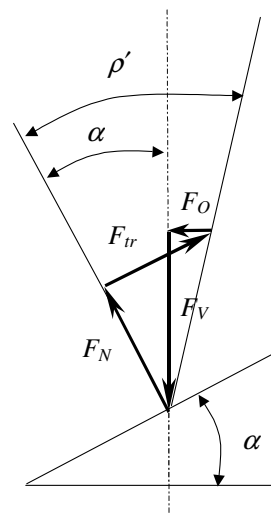
Za slučaj otpuštanja vijka, sila i moment su:

$$F_0 = F_V \operatorname{tg}(\alpha - \rho'), \quad (5.1.6)$$

$$M_V = F_0 \frac{d}{2} = F_V \frac{d}{2} \operatorname{tg}(\alpha - \rho'). \quad (5.1.7)$$



Slika 5.1.16 Sila kod pritezanja vijka



Slika 5.1.17 Sila kod otpuštanja vijka

Realni navoj je izveden tako da zub navoja ima određeni kut te normalna sila ne djeluje paralelno sa površinom vijka već pod kutom $\gamma/2$ (sl. 5.1.18). Označi li se kao i do sada normalna silu kao F_N , normalna sila na podlogu je

$$F'_N = \frac{F_N}{\cos \frac{\gamma}{2}} \quad (5.1.8)$$

te je sila trenja

$$F_{tr} = \mu F'_N = \frac{\mu}{\cos \frac{\gamma}{2}} F_N = \mu' F_N. \quad (5.1.9)$$

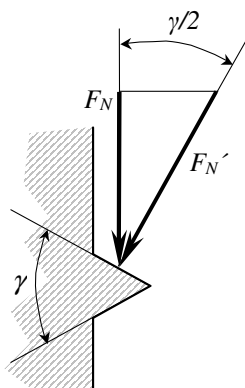
Za trokutni metrički navoj ovaj kut iznosi $\gamma=60^\circ$. Iz izraza (5.1.9) slijedi reducirani koeficijent trenja

$$\mu' = \frac{\mu}{\cos \frac{\gamma}{2}} \quad (5.1.10)$$

pa prema poglavlju 3.1.7 (Trenje, Mehanika) vrijedi

$$\mu' = \operatorname{tg} \rho', \quad (5.1.11)$$

$$\rho' = \operatorname{arctg} \mu'. \quad (5.1.12)$$



Slika 5.1.18 Normalna i aksijalna sila

Ukoliko je pri otpuštanju $\rho' > \alpha$, tada je za otpuštanje potrebno upotrijebiti silu F_O te se za takav vijak kaže da je *samokočan*. Ukoliko je $\alpha > \rho'$, tada za otpuštanje nije potrebna nikakva sila! Matica se sama odvija pod djelovanjem sile F_V te se za ovakav vijak kaže da *nije samokočan*. Uvjet samokočnosti glasi

$$\rho' > \alpha. \quad (5.1.13)$$

Za normalne metričke navoje je $2^\circ \leq \alpha \leq 9^\circ$. Kako je približno $\mu' = 0,12 \div 0,15$, iz (5.1.12) slijedi $\rho' \approx 10^\circ$, odnosno $\rho' > \alpha$. Dakle, normalni metrički navoji su u općem slučaju samokočni.

Kako bi se u potpunosti definirao izraz (5.1.2), potrebno je izvesti izraze za moment trenja podloge. Vrijedi pretpostavka da sila trenja $F_{tr} = F_0$ i djeluje na polumjeru r_p , koji je prema slici 5.1.19

$$r_p = \frac{d_0}{2} + \frac{\frac{s}{2} - \frac{d_0}{2}}{2} = \frac{s + d_0}{4}, \quad (5.1.14)$$

gdje s predstavlja otvor ključa a d_0 promjer rupe kroz koju vijak prolazi. Iz (5.1.14) slijedi

$$F_0 = \mu_0 F_V, \quad (5.1.15)$$

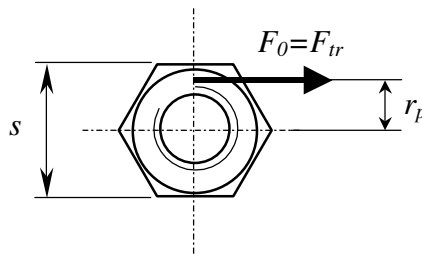
$$M_p = F_0 r_p = \mu_0 F_V \frac{s + d_0}{4}. \quad (5.1.16)$$

Uvrštavanjem (5.1.16) u (5.1.2) dobiva se izraz za ukupan moment pri pritezanju

$$M_K = M_V + M_p = F_V \left[\frac{d_2}{2} \operatorname{tg}(\alpha + \rho') + \mu_0 \frac{s + d_0}{4} \right], \quad (5.1.17)$$

odnosno ukupan moment pri otpuštanju

$$M_K = M_V + M_p = F_V \left[\frac{d_2}{2} \operatorname{tg}(\alpha - \rho') + \mu_0 \frac{s + d_0}{4} \right]. \quad (5.1.18)$$



Slika 5.1.19 Sila trenja podloge

5.1.2 Materijali za vijke

Specifični industrijski zahtjevi uvjetovali su i tehnologiju izrade vijaka, pri čemu su dva faktora imala bitan utjecaj, a to su svojstva materijala i postupak izrade. Opće strojarstvo i metalne konstrukcije nametali su zadovoljavanje zahtjeva za visokim naprezanjima. Pneumatika, hidraulika i zrakoplovstvo nametali su zadovoljavanje zahtjeva za vremenskom izdržljivošću te otpornosti na visoke temperature pa su tako primjenu našle legure čelika sa kromom, niklom, molibdenom, vanadjem i volframom. Kemijska, prehrambena te brodograđevna industrija nametale su zadovoljavanje zahtjeva za opornošću prema koroziji te su tako uz čelične, primjenu

našle bakrene, aluminijeve, niklene i titanove legure. No u masovnoj primjeni može se okvirno reći da se vijci izrađuju iz čelika i mjedi. Pri tome je bitno svojstvo koje materijal mora zadovoljiti, žilavost. Kvaliteta i oznaka materijala određena je standardom i mora biti otisnuta na svim vijcima. Mehanička svojstva materijala vijaka i matica moraju odgovarati navedenoj kvaliteti vijka.

Pri izradi vijčanog spoja od prvenstvenog značaja su mehanička svojstva gotovih vijaka. Tako se prema DIN 267 *klasa mehaničkih svojstava* određuje dvjema skupinama brojeva međusobno odvojenih točkom. Prvi broj (tablica 5.1.1) označava najmanju vlačnu čvrstoću, dok drugi broj (tablica 5.1.2) označava deseterostruki odnos između donje granice tečenja i vlačne čvrstoće.

Dakle, deseterostruki umnožak obaju brojeva daje najmanju granicu tečenja, što je od praktičnog značenja pri korištenju tablica. Tako npr. oznaka "4.6" označava vlačnu čvrstoću vijka

$\sigma_M = 400 \text{ N/mm}^2$, dok se iz drugog broja može očitati da je donja granica tečenja

$\sigma_T = (400 \cdot 6) / 10 = 240 \text{ N/mm}^2$.

Prvi broj	3	4	5	6	8	10	12	14
Vlačna čvrstoća [N/mm ²]	340	400	500	600	800	1000	1200	1400

Tablica 5.1.1 Prvi broj pri označavanju mehaničkih svojstava vijaka

Drugi broj	6	7	8	9
$\frac{\text{donja granica tečenja}}{\text{vlačna čvrstoća}} \cdot 10$ [N/mm ²]	6	7	8	9

Tablica 5.1.2 Drugi broj pri označavanju mehaničkih svojstava vijaka

Od postojećih klasa čvrstoće vijaka, 4.6, 4.8, ... 8.8, 10.8, 12.8, kod metalnih konstrukcija i prednapregnutih vijčanih spojeva koriste se vijci oznake 8.8, 10.8 i 12.8.

5.2 Opruge

Opruge (elastična pera) su elementi strojeva koji omogućavaju elastičnu vezu između strojnih dijelova te posjeduju veliku moć deformiranja.

Opruge se upotrebljavaju kod:

- vozila: automobili, vagoni i sl., gdje služe za prigušivanje udarnih opterećenja
- mehanizama: akumulirana energija u opruzi služi za pogon, regulaciju hoda i sl. (npr. sat)
- sigurnosnih i redukcijskih ventila: opruga ograničava tlak medija

Po obliku opruge se dijele na:

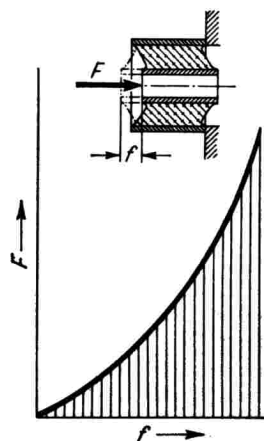
- zavojne
- lisnate
- tanjuraste
- ravne torzijske

Prema načinu na koji se deformiraju razlikuju se:

- tlačne
- vlačne
- savojne
- torzijske

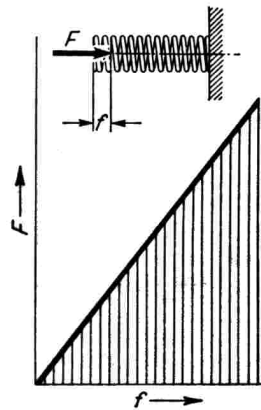
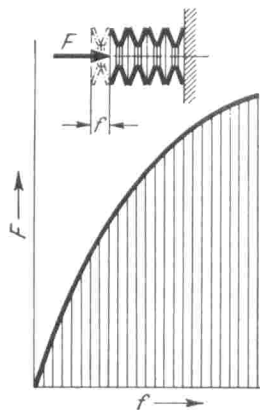
5.2.1 Karakteristika i rad opruge

Svojstva opruge se ocjenjuju prema njenoj karakteristici, koja prikazuje ovisnost pomaka f o sili F . Na slikama (5.2.1-5.2.3) prikazane su neke tipične karakteristike opruga (progresivna, ravna, degresivna).



Slika 5.2.1 Progresivna karakteristika gumene opruge[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Slika 5.2.2 Ravna karakteristika cilindrične zavojne opruge[†]Slika 5.2.3 Degresivna karakteristika tanjuraste opruge[†]

Pri elastičnom deformiranju opruge vrši se određeni rad. Taj rad predstavlja površinu ispod krivulja na slikama (5.2.1 – 5.2.3). U opruzi se pohranjuje energija koju opruga pri otpuštanju predaje okolini. Zanimajući gubitke unutrašnjih i vanjskih otpora, rad opruge s linearnom karakteristikom je

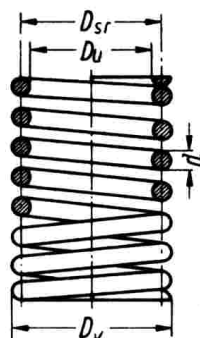
$$W = \frac{F f}{2} \quad (5.2.1)$$

5.2.2 Cilindrične tlačne i vlačne opruge

Cilindrične se opruge najčešće izrađuju iz okrugle žice postupkom namatanja u hladnom ili u zagrijanom stanju. Imaju oblik spirale te je presjek žice opterećen uglavnom torzijski. Ove opruge imaju linearnu karakteristiku pa je odnos između sile i pomaka konstantan. Ovaj odnos naziva se krutost opruge i označava kao

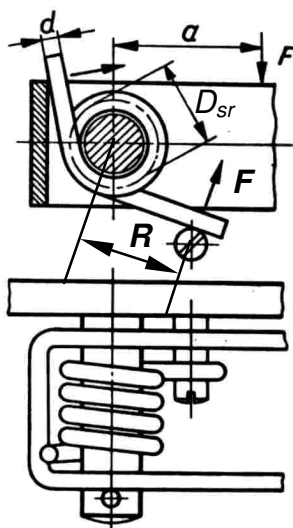
[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

$$C = \frac{F}{f} = konst. \quad (5.2.2)$$

Slika 5.2.4 Cilindrična opruga[†]

5.2.3 Zavojne fleksijske opruge

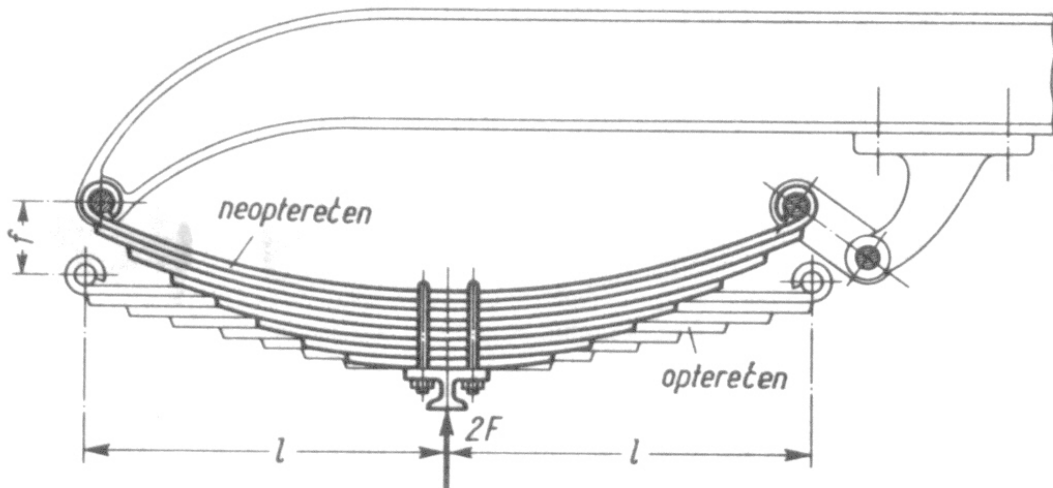
Zavojne fleksijske opruge izrađene su u obliku zavojnice (poput cilindričnih) i opterećene su na savijanje (fleksiju) (sl. 5.2.5). Najčešće se koriste za osiguravanje povratnog hoda poluga mehanizama. Pri tom je najčešće jedan kraj oslonjen na polugu, dok je drugi oslonjen na kućištu (dio koji miruje). Zavojna opruga je vođena svornjakom oko kojeg je namotana, pri čemu između opruge i svornjaka (vodilice) mora uvijek biti osigurana zračnost. Ukoliko zračnosti ne bi bilo, opruga bi se pri deformaciji obmotala oko svornjaka, te uz savojno, bila i vlačno opterećena, čime bi se nepotrebno smanjila nosivost opruge.

Slika 5.2.5 Zavojna fleksijska opruga[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

5.2.4 Lisnate opruge

Lisnate opruge se koriste kod cestovnih i šinskih vozila. Zbog trenja među listovima opruge, koje nastaje uslijed međusobnih pomaka listova pri opterećivanju, prigušuju vibracije. Proračun se provodi određivanjem naprezanja na savijanje.

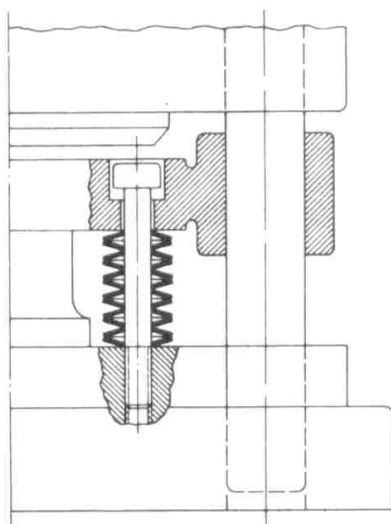
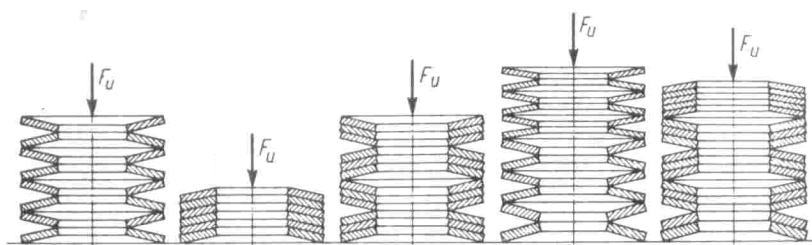


Slika 5.2.6 Lisnata opruga[†]

5.2.5 Tanjuraste opruge

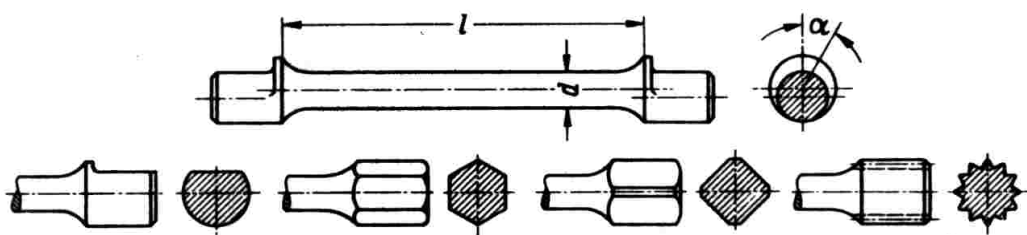
Tanjuraste opruge sastavljene su iz prstenastih elastičnih ploča stožastog oblika koje se slažu u stupove. U sredini se kao vodilica postavlja svornjak (sl. 5.2.7). Osobito su prikladne za prijenos velikih sila uz vrlo mali hod opruge (vrlo su krute). Kao što je prikazano slikom 5.2.3, karakteristika im je degresivna. Karakterističan primjer za ovakvu oprugu su spojke automobila. Tanjure je moguće slagati na različite načine u stupove te time mijenjati karakteristiku opruge sastavljene iz istih elemenata (sl. 5.2.8)

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Slika 5.2.7 Tanjurasta opruga[†]Slika 5.2.8 Slaganje tanjura u stupove[†]

5.2.6 Ravne torzijske opruge

Ravne torzijske opruge (sl. 5.2.9) upotrebljavaju se kao prigušivači torzijskih vibracija, te za mjerenje sila momentnih ključeva, kod elastičnih spojki i sl. Krajevi su im prošireni kako bi se izbjeglo zarezno djelovanje na mjestima gdje se opruge učvršćuju.

Slika 5.2.9 Ravne torzijske opruge[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

5.2.7 Materijali za izradu opruga

Za izradu opruga koriste se materijali vrlo visoke čvrstoće. Tu spadaju toplinski obrađeni čelici i legirani čelici s dodacima kroma, silicija i vanadija (Npr. Č.2130, Č.2131, Č.2132,... Č.4830, Č.4831). Granica razvlačenja svih ovih čelika je iznad 1000 N/mm^2 . Pri dimenzioniranju se uzimaju orijentacijske vrijednosti za dopuštena naprezanja,

$$\sigma_{dop} \approx 350 \div 500 \text{ N/mm}^2, \quad (5.2.3)$$

$$\tau_{dop} \approx 300 \div 400 \text{ N/mm}^2. \quad (5.2.4)$$

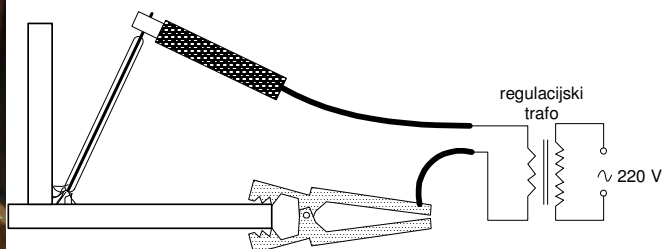
5.3 Zavareni spojevi

Zavarivanje predstavlja postupak spajanja metala njihovim lokalnim zagrijavanjem iznad temperature taljenja, sa ili bez nanošenja dodatnog materijala. Osim metala zavarivanjem se mogu spajati i elementi izrađeni od plastičnih masa. Zavareni spojevi spadaju u nerastavljive spojeve.

Zavareni sklopovi su u odnosu na lijevane ili kovane spojeve i do 50% lakši (uz jednaku čvrstoću i krutost), dok je njihovo oblikovanje jednostavnije. Iz ovih razloga je zavarivanje postalo jedan od najvažnijih načina spajanja metalnih konstrukcija. Zavarivanje se široko primjenjuje u gradnji čeličnih konstrukcija poput mostova, dizalica, krovnih konstrukcija, zgrada, spremnika, elemenata strojeva (zupčanici, remenice,...) te u brodograđevnoj industriji.

Tehnologija zavarivanja se naglo razvila u posljednjih pedesetak godina. Ima mnogo različitih zavarivačkih postupaka. U praksi se najčešće susreću slijedeći postupci:

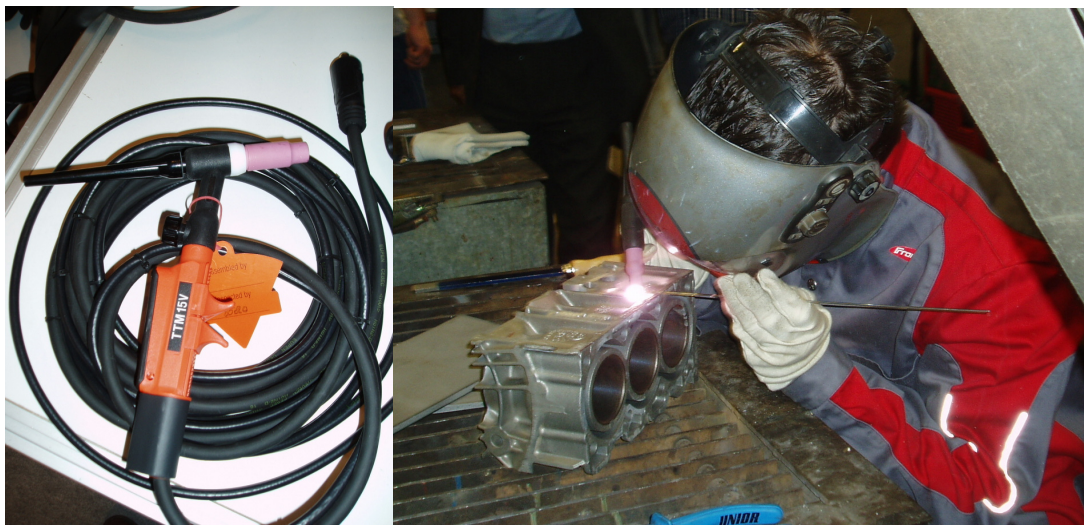
- postupci u kojima se taljenje metala vrši u električnom luku: REL - ručno elektrolučno (sl. 5.3.1), MIG - metal inert gas (sl. 5.3.2), MAG - metal active gas, TIG - tihangstem inert gas (volfram elektroda, sl. 5.3.3), EPP – elektrolučno zavarivanje pod prahom (sl. 5.3.4). Kod MIG, MAG i TIG zavarivanja stvaranje nepoželjnih oksida izbjegava se zavarivanjem u atmosferi zaštitnih plinova). Kod REL zavarivanja zaštitna atmosfera se stvara izgaranjem obloge elektrode, dok kod EPP zavarivanja prah ima istu funkciju kao obloga elektrode. Kod REL zavarivanja obloga elektrode može imati i ulogu dodatnog legiranja zavarenog spoja.
- elektrootporni postupci (sl. 5.3.5): dijelovi koji se zavaruju priključe se na izvor istosmjerne struje te zbog otpora prolasku struje dolazi do lokalnog zagrijavanja u točkama dodira i taljenja materijala. Primjer ovakvog spajanja je točkasto zavarivanje u autoindustriji.
- plinsko zavarivanje (sl. 5.3.6): dijelovi spoja i dodatni materijal se lokalno tale plinskim plamenom (acetilen koji izgara u struji kisika).



Slika 5.3.1 Ručno elektrolučno zavarivanje



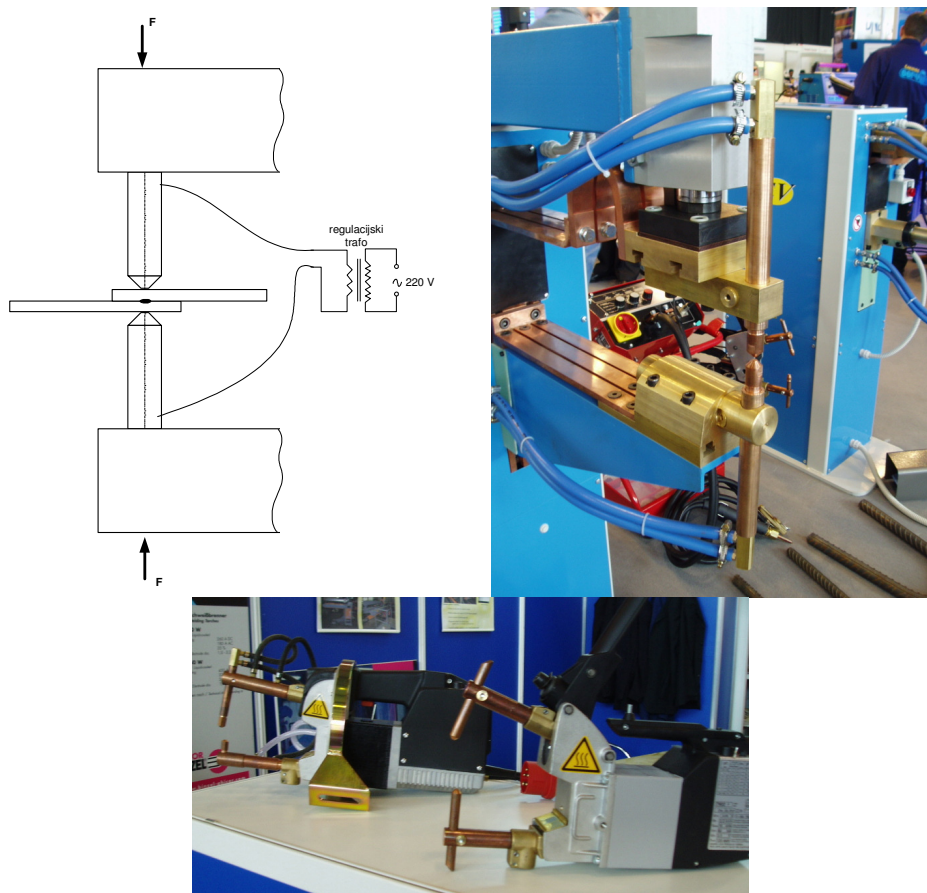
Slika 5.3.2 MIG postupak zavarivanja (automatski dovod dodatnog materijala)



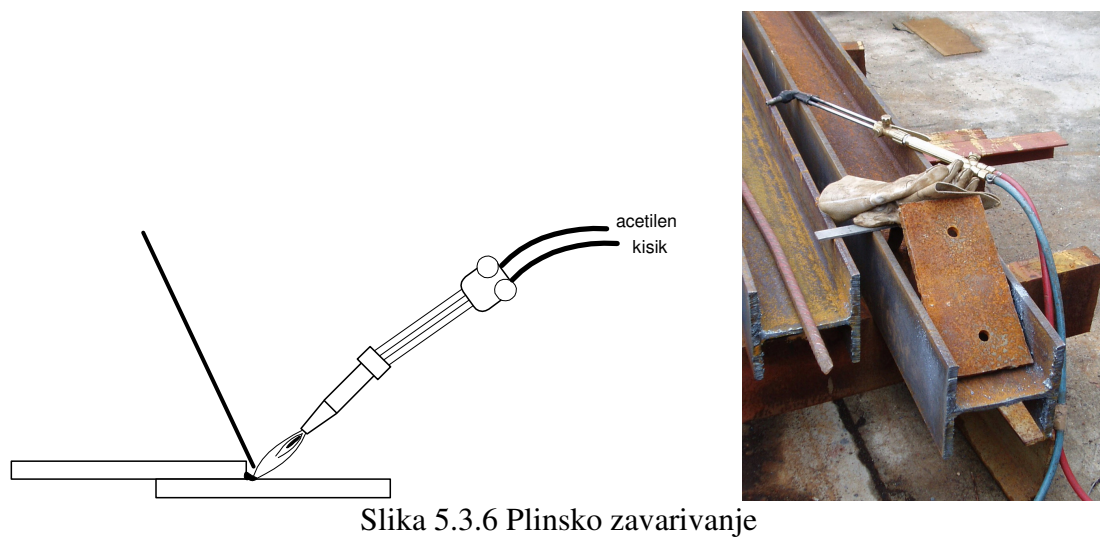
Slika 5.3.3. TIG postupak (dodatni materijal se prinosi ručno)



Slika 5.3.4. Zavarivanje pod prahom (automatski dovod dodatnog materijala)



Slika 5.3.5 Elektrootporno (točkasto) zavarivanje



Slika 5.3.6 Plinsko zavarivanje

Zavareni spojevi se izvide kao (sl. 5.3.7):

- čelni spojevi: razlikujemo (sl. 5.3.8) I-zavar, V-zavar, V-zavar sa provarenim korijenom, X-zavar
- preklopni spojevi
- kutni spojevi
- T-spojevi: izvide se s kutnim zavarom koji može biti ravan, ispupčen i upušten (sl. 5.3.9)

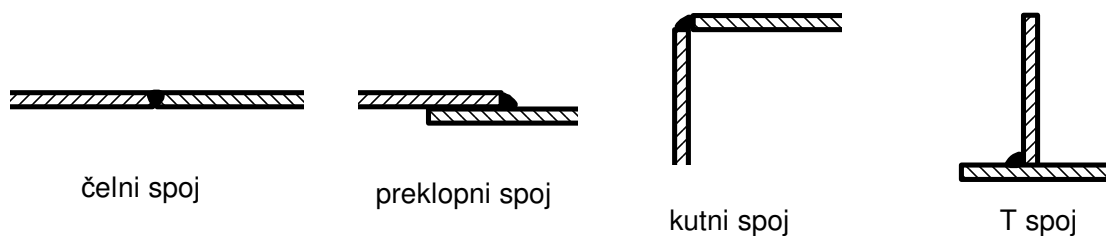
Po položaju zavar, obzirom na smjer djelovanja sile, razlikuje se (sl. 5.3.10):

- poprečni zavar
- uzdužni zavar
- kosi zavar

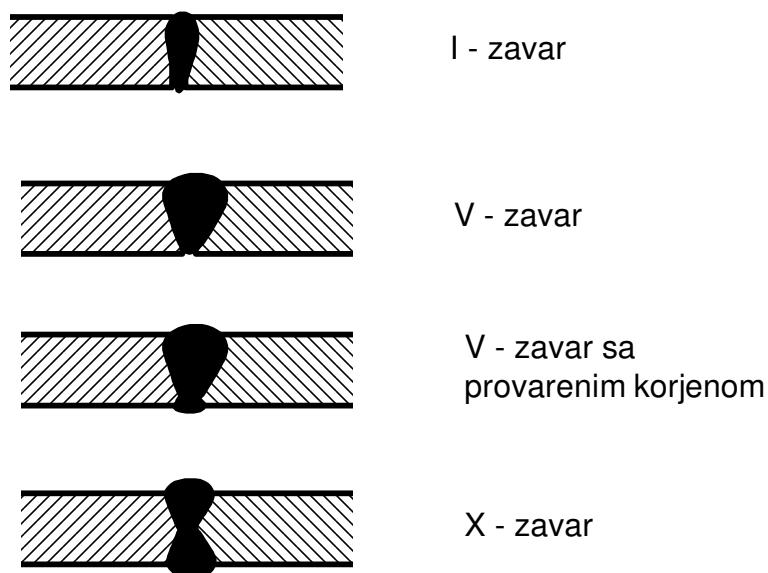
Obzirom na položaj u kojem se zavarivanje izvodi, razlikuje se (sl. 5.3.11):

- horizontalni položaj
- horizontalno vertikalni položaj
- vertikalni položaj
- položaj iznad glave

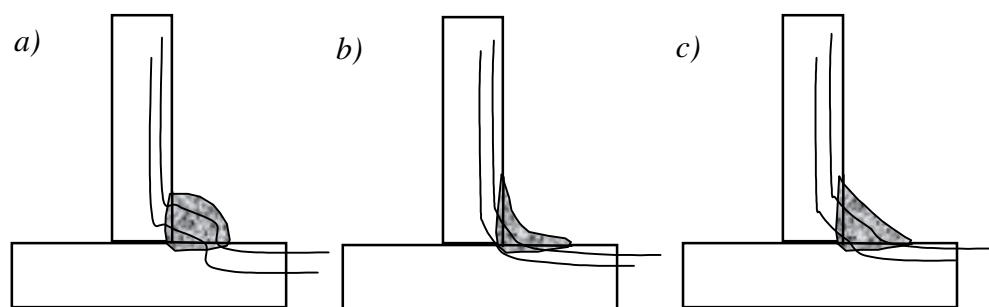
Najlakše i najkvalitetnije se izvodi horizontalni zavar, a najteže zavar iznad glave koji po mogućnosti treba izbjegavati. Kvaliteta zavar kod REL zavarivanja ovisi o sposobnosti varioca koji, prema HRN-u, treba za određene kvalitete zavarivanja posjedovati određeni atest.



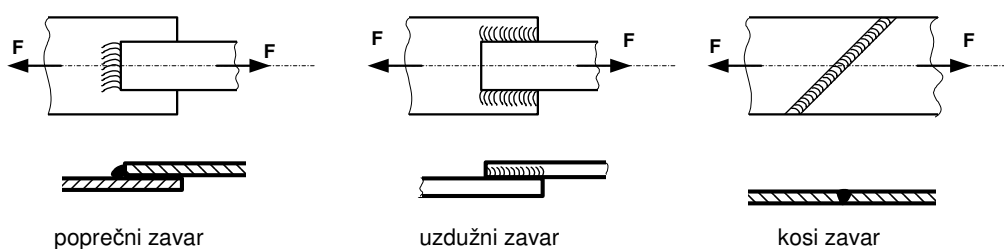
Slika 5.3.7 Izvedbe zavora



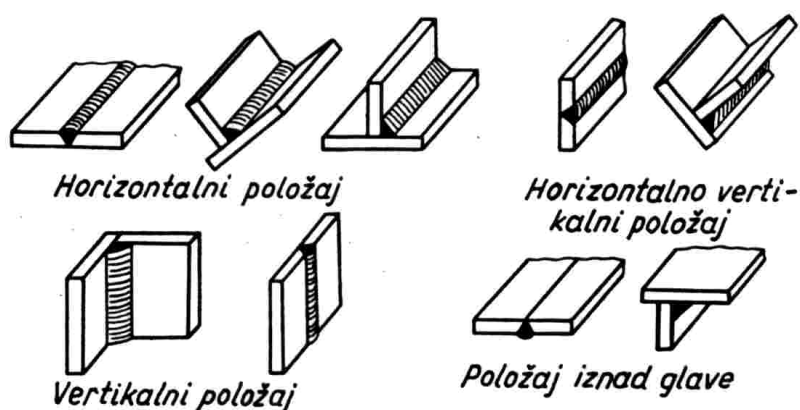
Slika 5.3.8 Vrste zavora kod čelnih spojeva



Slika 5.3.9 Izvedbe kutnih zavora



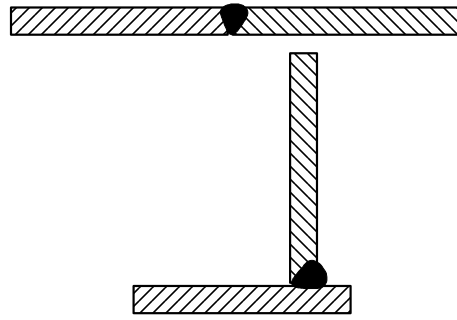
Slika 5.3.10 Zavari obzirom na smjer djelovanja sile

Slika 5.3.11 Položaj izvođenja zavora[‡]

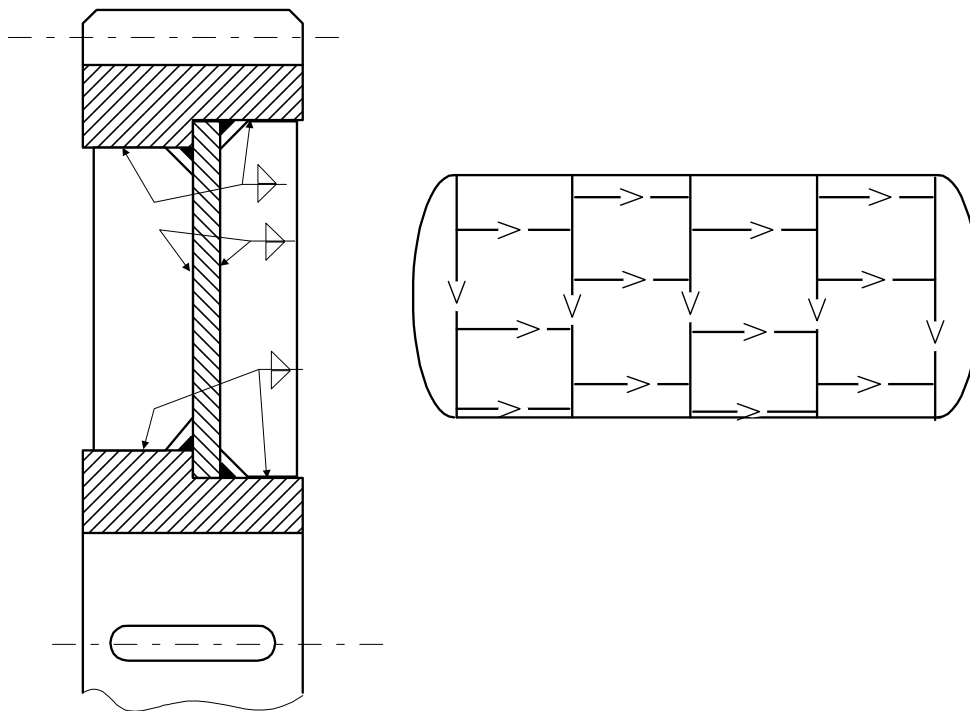
5.3.1 Označavanje zavora na crtežima

Ukoliko je na crtežu zavar vidljiv u presjeku, tada se crta kontura zavora (sl. 5.3.12). Ukoliko se na crtežu vidi uzdužna os zavora, zavar se označava kao što je prikazano slikama 5.3.13, uz korištenje simbola prikazanih tablicom 5.3.1. U aksonometrijskom prikazu zavar se označava nizom prostoručnih lučnih crtica, kao što je prikazano slikom 5.3.14.

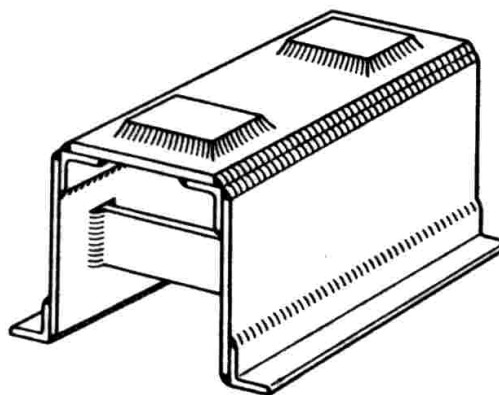
[‡] Skenirani crtež: V. Hrgešić i J. Baldani, *Mehaničke konstrukcije*, Sveučilište u Zagrebu, Elektrotehnički Fakultet, Zagreb, 1990.



Slika 5.3.12 Označavanje zavora u presjeku



Slika 5.3.13 Označavanje zavora kod kojih se na crtežu vidi uzdužna os

Slika 5.3.14 Prikazivanje zavora u aksonometriji[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Vrste i oblici šavova prema DIN 1912 (HRN C.T3.011 i 030) (zavarivanje taljenjem)

Naziv	Sim-bol	Priprema	Izvedba	Naziv	Sim-bol	Priprema	Izvedba
Tupi šavovi							
Zarubljeni šav				Dvostruki U-šav			
I-šav				$\frac{1}{2}$ V-šav			
V-šav				K-šav			
Strmi bočni šav				$\frac{1}{2}$ Y-šav			
X-šav				Plitki K-šav			
Y-šav				J-šav			
Dvostruki X-šav				Dvostruki J-šav			
U-šav							
Rubni šavovi							
Rubni plosnati šav				Rubni V-šav			
Kutni šavovi							
Kutni šav				Ugaoni šav			
Dvostruki kutni šav							

Tablica 5.3.1 Označavanje zavora[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

5.4 Elementi okretnog gibanja

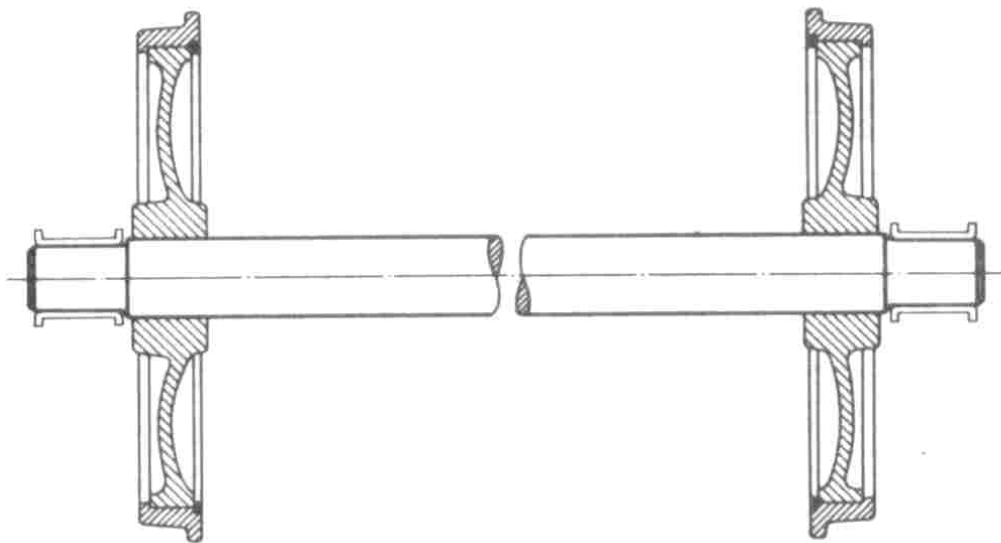
Okretno gibanje je osnovno gibanje dijelova kod većine aparata i strojeva. Najvažniji elementi pri tome su osovine i vratila na koje su elementi za prijenos okretnog gibanja (zupčanici, remenice, tarenice, lančanici) spojeni klinovima, perima, spojka i sl. Vratila se međusobno spajaju spojka, a oslanjaju se u ležajevima.

5.4.1 Osovine i vratila

Osovine i vratila su ravni stupnjevani štapovi kružnog poprečnog presjeka.

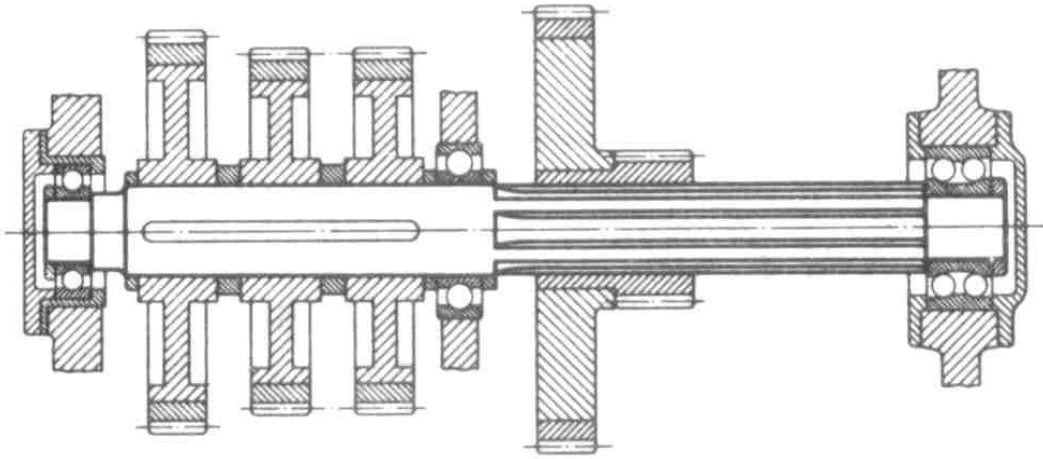
Osovine (sl. 5.4.1) su nosači okretnih dijelova strojeva. Osovine ili miruju, tako da se na njima okreću strojni dijelovi, ili pak rotiraju skupa sa strojnim dijelovima (remenice, zupčanici, rotori i sl.). Osovine su opterećene samo na savijanje i ne prenose okretni moment!

Vratila (sl. 5.4.2) na sebi nose strojne dijelove kao i osovine, ali se ovi dijelovi stalno okreću i prenose okretni moment zajedno s vratilom. Vratila su opterećena na savijanje i uvijanje!

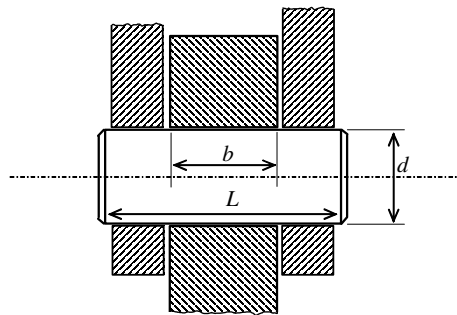


Slika 5.4.1 Osovina[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Slika 5.4.2 Vratilo[†]

Kratke osovine nazivaju se svornjaci (osovinice) (sl. 5.4.6), a najčešće tvore zglobove polužja.



Slika 5.4.3 Svornjak polužnog zgloba

Vratila mogu biti različite konstrukcijske izvedbe:

- glatka vratila (šinska vozila)
- stupnjevana vratila (alatni strojevi, reduktori)
- koljenasta vratila (motori)
- elastična vratila (brojači okretaja, zubne bušilice, mjerila)
- kardanska vratila (automobili i sl.)

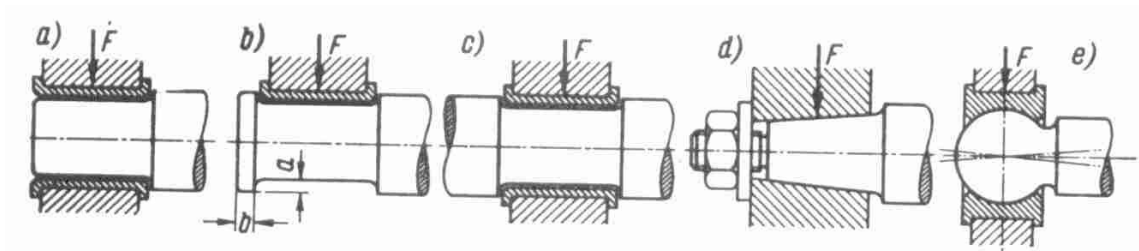
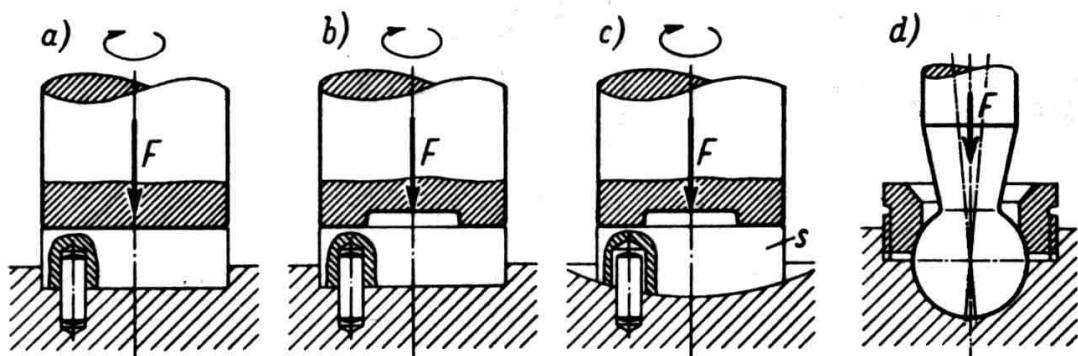
Rukavcima se nazivaju oni dijelovi osovine i vratila kojima se osovine i vratila oslanjaju na ležajeve.

Prema načinu prenošenja opterećenja, postoje slijedeće konstrukcijske izvedbe rukavaca:

- radijalni (sl. 5.4.4):
 - cilindrični: čeon (sl. 5.4.4 a) i unutarnji (sl. 5.4.4 b, c)
 - konični (sl. 5.4.4 d)
 - sferni (sl. 5.4.4 e)

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

- aksijalni (sl. 5.4.5):
 - s punom površinom nalijezanja (sl. 5.4.5 a)
 - s prstenastom površinom nalijezanja: ravna (sl. 5.4.5 b) i lećasta (sl. 5.4.5 c)
 - sferni (kuglasti) (sl. 5.4.5 d)

Slika 5.4.4 Radijalni rukavci[†]Slika 5.4.5 Aksijalni (potporni) rukavci[†]

Pri izboru materijala za osovine i vratila važnu ulogu imaju promjenljiva opterećenja, velika tvrdoća rukavca te zahtjev za dobrom obradivošću. Pri tom se koriste obični konstrukcijski čelici (Č.0460, Č.0545), čelici za poboljšavanje (Č.4131, Č.4730), čelici za cementiranje (Č. 4320, Č.5420) ili ugljični čelici za cementiranje (Č.1121, Č.1221). Upotreba legiranih čelika se isplati samo onda ako ne postoji zarezno djelovanje iz razloga što su ovakvi čelici osjetljivi na zarezno djelovanje. Pri izboru materijala može biti mjerodavna i otpornost na koroziju.

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

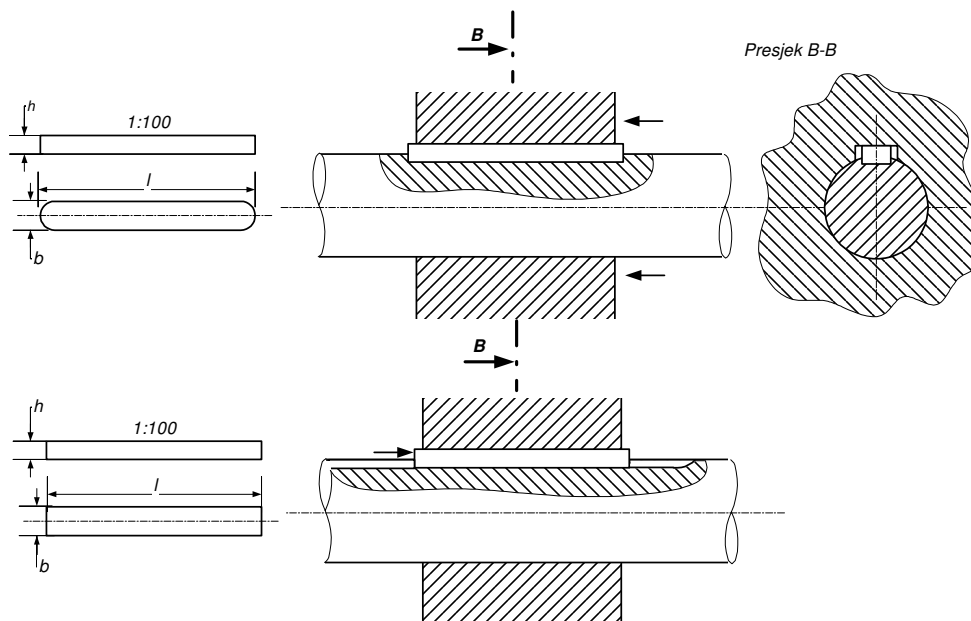
5.4.2 Spajanje okretnih dijelova s osovinama i vratilima

Prilikom spajanja glavina i ostalih dijelova koji rotiraju zajedno s osovinama i vratilima najčešće se koriste slijedeći načini:

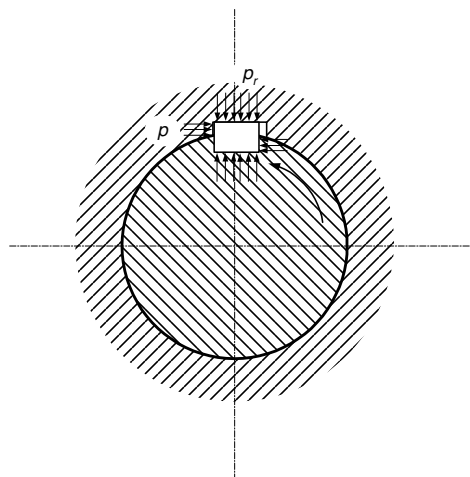
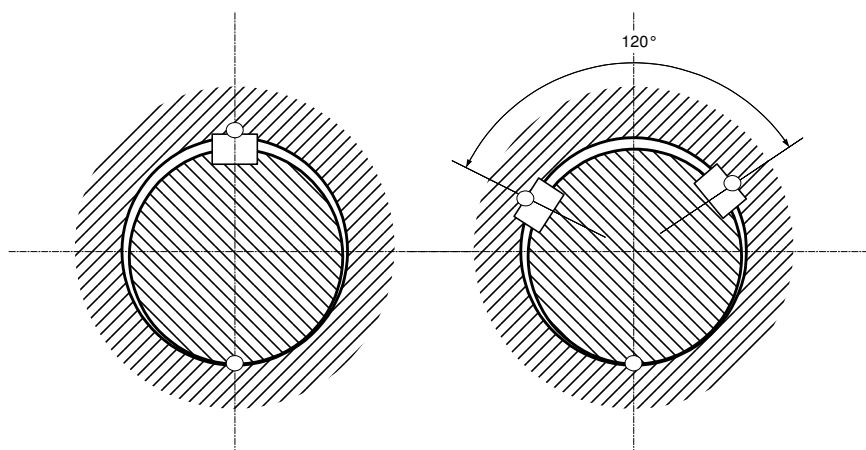
- spojevi uzdužnim klinovima
- spojevi perima (klinovi bez nagiba)
- spojevi klinastim vratilima
- spojevi zupčastim vratilima
- spojevi poligonim profilnim vratilima
- konični spojevi
- spojevi steznim glavama
- spojevi steznim elementima
- spojevi čeonim ozubljenjem
- spojevi zaticima

Spojevi uzdužnim klinovima:

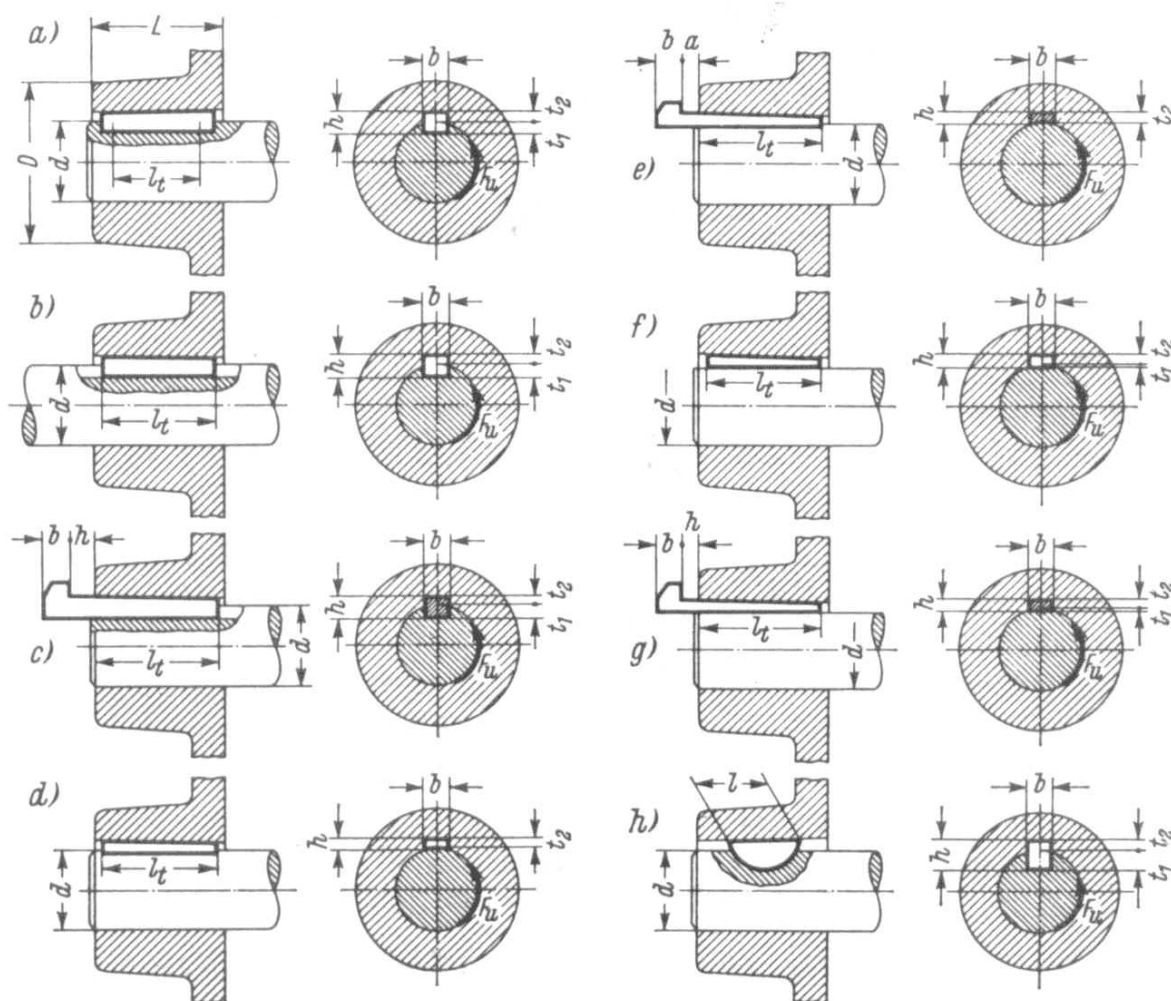
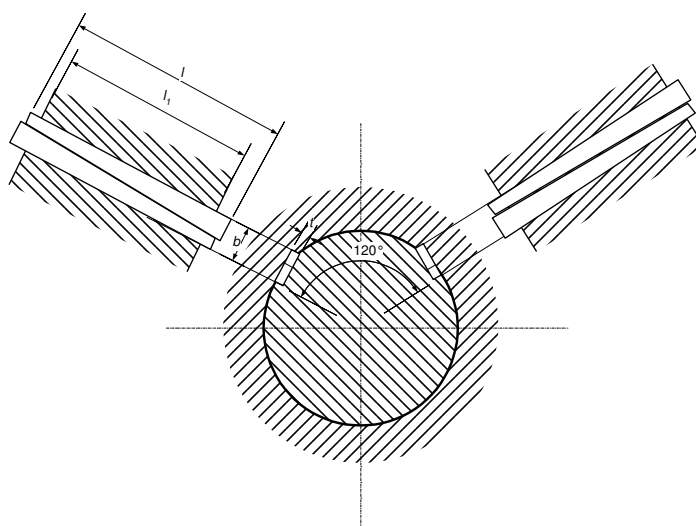
Standardni uzdužni klinovi imaju nagib 1:100 (slika 5.4.6) te omogućuju spajanje silom i oblikom. Prijenos silom (sl. 5.4.7) omogućuje radialni pritisak p_r , dok pri povećanju torzijskog momenta, ukoliko dođe do proklizavanja, oslanjanjem klina na bokove utora vrši se prenošenje momenta oblikom (izaziva pritisak p). Ovakvi su klinovi prikladni za manje i srednje brzine vrtnje, neosjetljivi su na nečistoće te prikladni za poljoprivredne, građevinske i transportne uređaje. Prilikom nabijanja klina dolazi do rastezanja glavine i sabijanja vratila, što dovodi do ekscentriciteta. Dodavanjem još jednog klina pod kutom od 120° u odnosu na postojeći, ostvaruje se kontakt u tri točke (umjesto dvije), čime se ovaj ekscentricitet smanjuje (sl. 5.4.8). Različite izvedbe spojeva s uzdužnim klinom prikazane su na sl. 5.4.9 i 5.4.10.



Slika 5.4.6 Spoj uzdužnim uložnim i uzdužnim utjernim klinom

Slika 5.4.7 Prenosjenje silom (p_r) i oblikom (p)

Slika 5.4.8 Ekscentricitet pri dodiru u dvije i tri točke

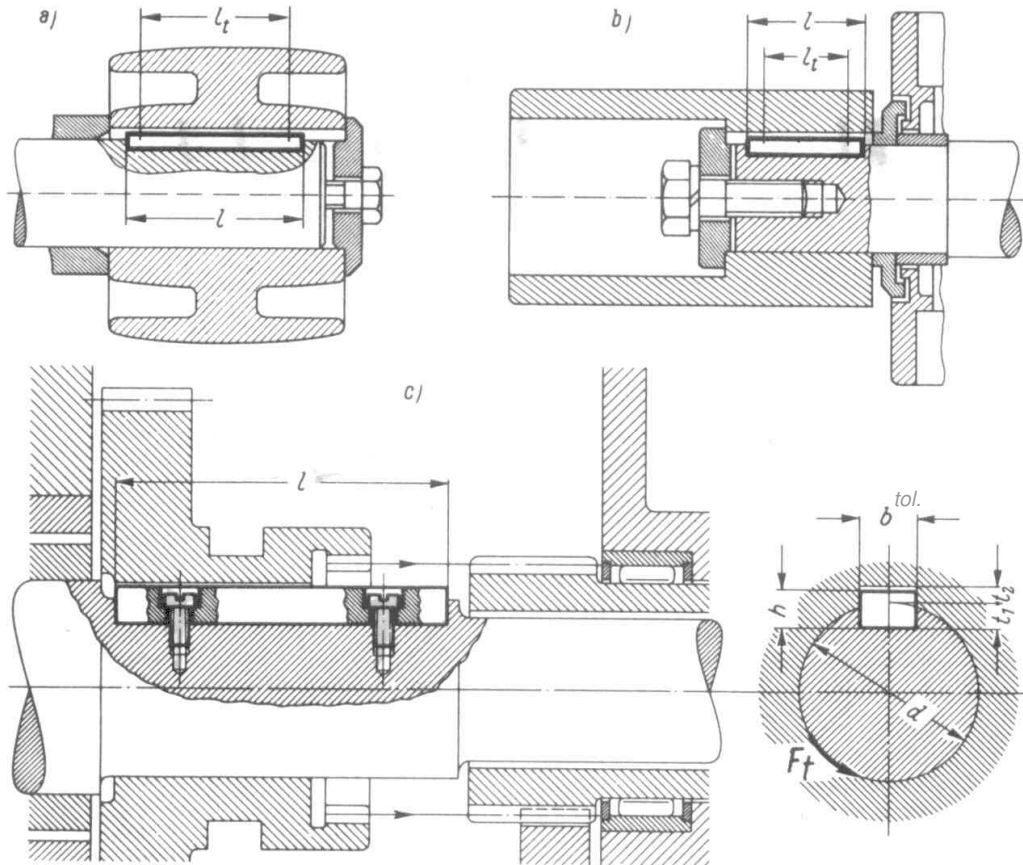
Slika 5.4.9 Neke karakteristične izvedbe klinova[†]

Slika 5.4.10 Tangencijalni klinovi

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

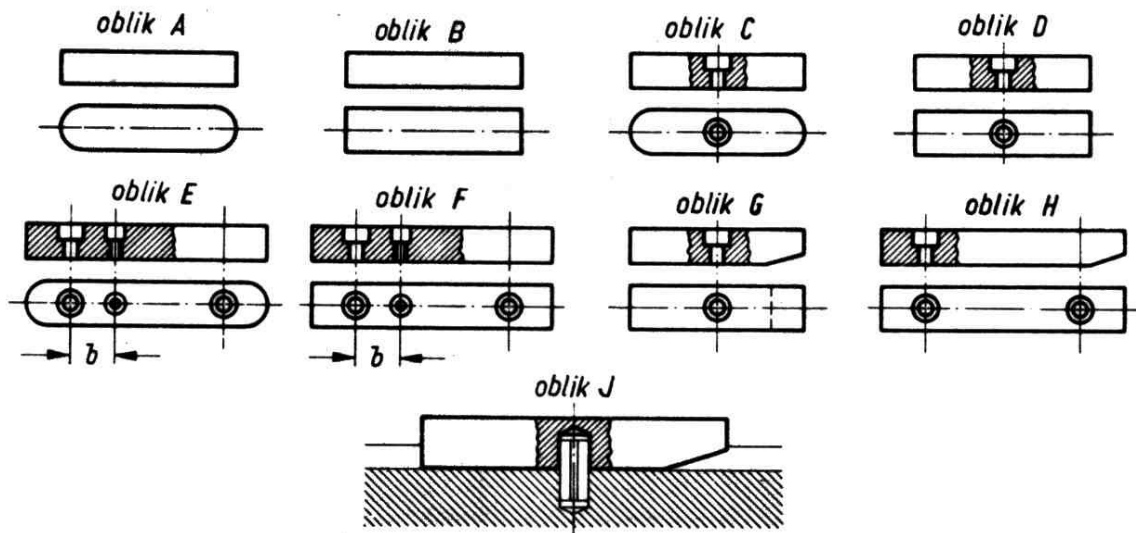
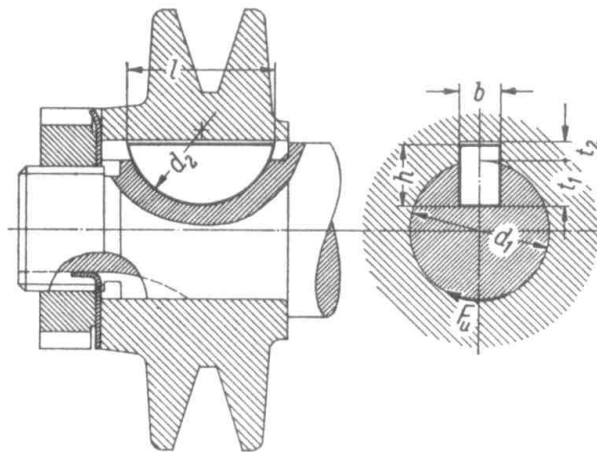
Spojevi perima (klinovi bez nagiba):

Ukoliko je potrebno izbjegnuti ekscentričnost kod spajanja okretnih dijelova, a pri tom omogućiti aksijalni pomak elementa po vratilu, npr. kod zupčanika, koriste se klinovi bez nagiba kod kojih postoji radijalna zračnost. Ovim je osigurano prenošenje okretnog momenta oblikom, pri čemu se pero oslanja na bokove utora. Pri tom ne smije biti zračnosti između pera i utora.

Slika 5.4.11 Spojevi s perom[†]

Najčešće izvedbe pera prikazane su slikom 5.4.12, a posebna izvedba s tzv. segmentnim perom (omogućava samopodesivost elementa) slikom 5.4.13.

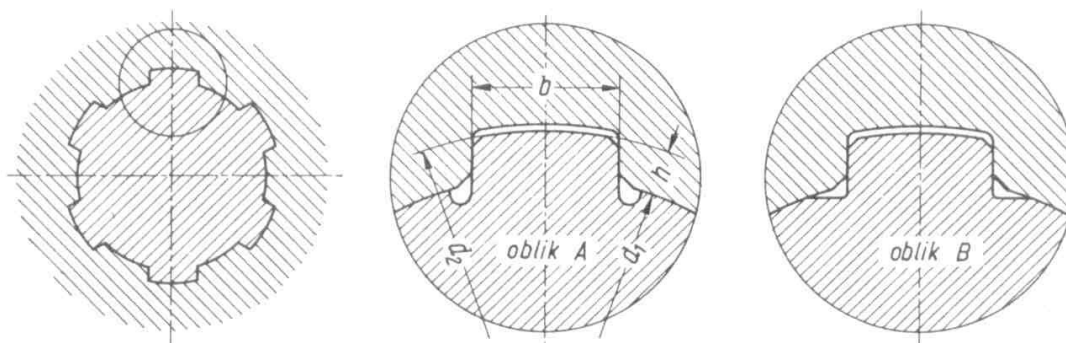
[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Slika 5.4.12 Izvedbe pera[†]Slika 5.4.13 Spoj segmentnim perom[†]

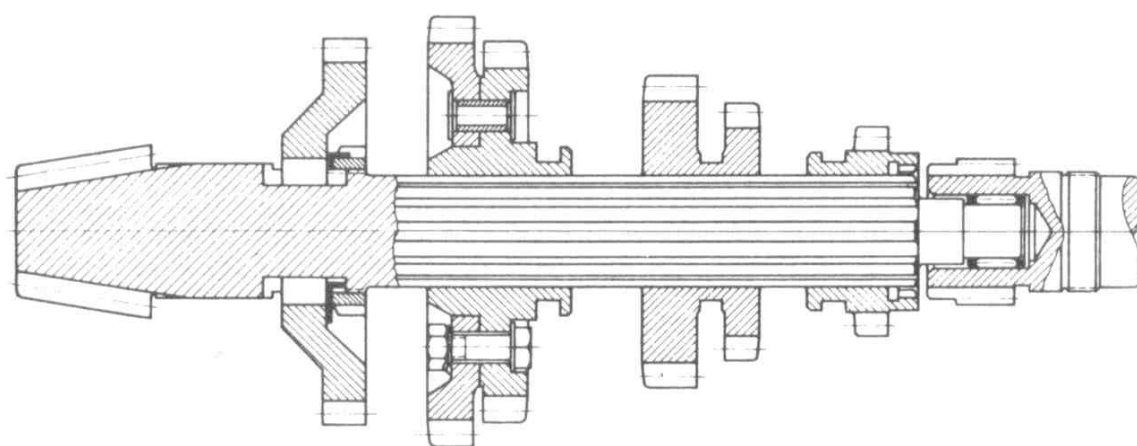
[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Spojevi klinastim vratilima:

Ova vratila imaju po opsegu parni broj visokih "klinova" koji funkcioniraju kao pera i prenose okretni moment oblikom. "Klinovi" vratila su, kao i pera, opterećeni na bočni tlak. Najčešće su izvedbe sa 4 i 6 "klinova". Naziv "klinasto" ostao je iz starih napuštenih oznaka gdje su se ova vratila svrstavala u skupinu "klinovi bez nagiba", odnosno pera. Klinasta su vratila izmjenljiva i vrlo točno centriraju glavine te se koriste kod alatnih strojeva.



Slika 5.4.14 Profil klinastog vratila i klinaste glave[†]

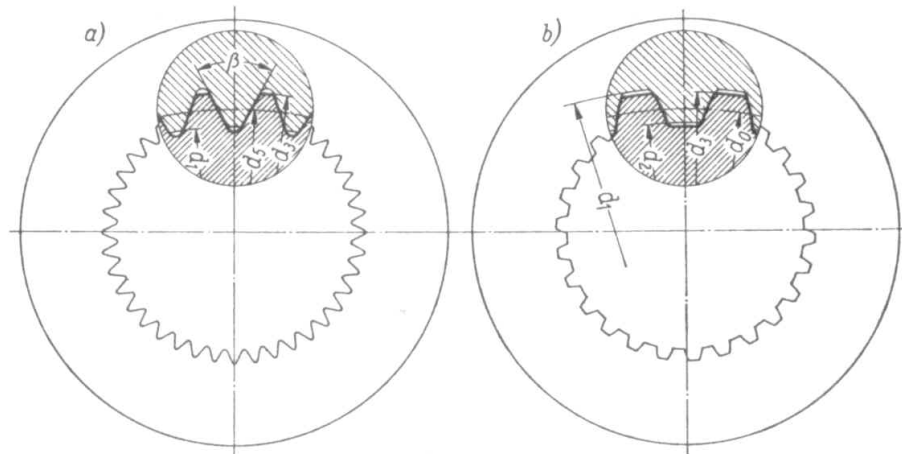


Slika 5.4.15. Klinasto vratilo kod zupčastog prijenosnika[†]

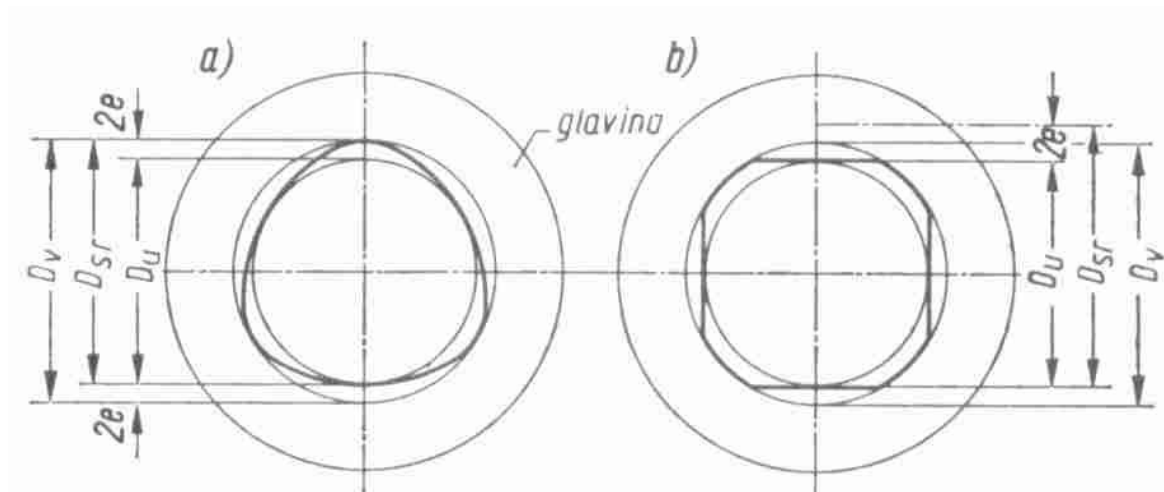
[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Spojevi zupčastim vratilima:

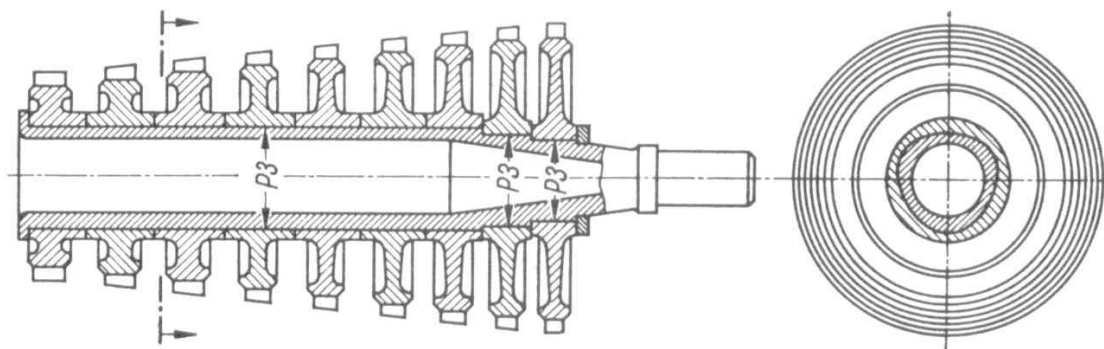
Zupčasta vratila su vratila slična prethodnim gdje okretni moment umjesto "klinova" prenose zubi. Zubi mogu biti trokutastog i zupčastog (evolventnog) profila. Veliki broj zubi može prenijeti vrlo velike udarne sile. Ovakva vratila omogućuju i relativno zakretanje glavine obzirom na vratilo (za po jedan zub) te samim time i regulaciju, npr. kod podešavanja kuta poluga. Kao i kod "klinastih", i ovi zubi omogućavaju vrlo točno centriranje glavine.

Slika 5.4.16 Trokutasti i zupčasti (evolventni) profil ozubljenja[†]**Spojevi poligonim profilnim vratilima:**

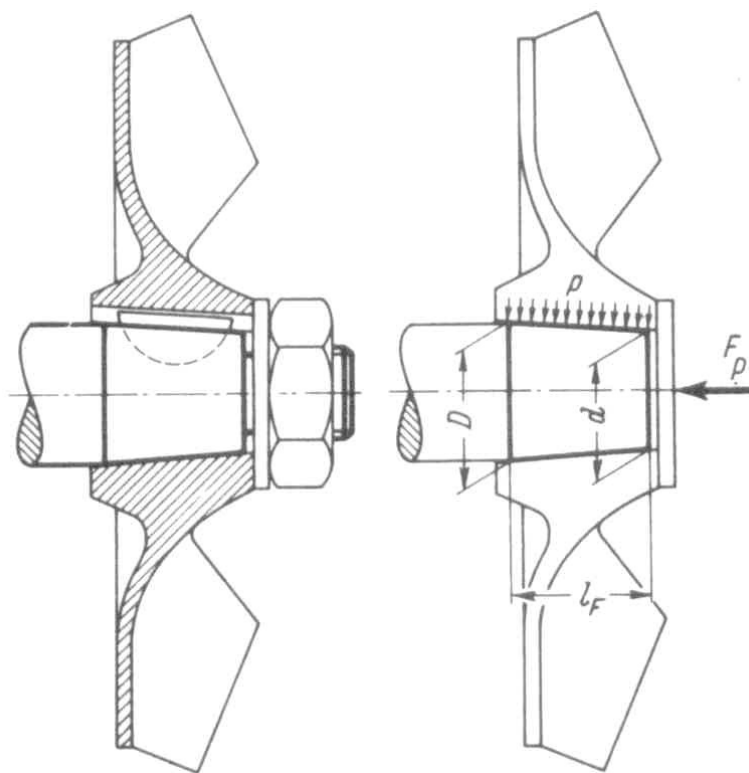
Izvedbom neokruglih poligonih vratila omogućava se, poput klinova i zubi, prenošenje oblikom. Ovakvom izvedbom vratila izbjegavaju se zarezna djelovanja koja su inače vrlo velika u utorima (kod klinova i pera) ili u korjenima zubi klinastog i zupčastog vratila. Kao i kod klinastog i zupčastog vratila, ovakvom izvedbom omogućava se dobro centriranje glavina na vratilu.

Slika 5.4.17 Poligoni profil vratila[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Slika 5.4.18 Primjer rotora sa vratilom poligonog profila[†]**Konični spojevi:**

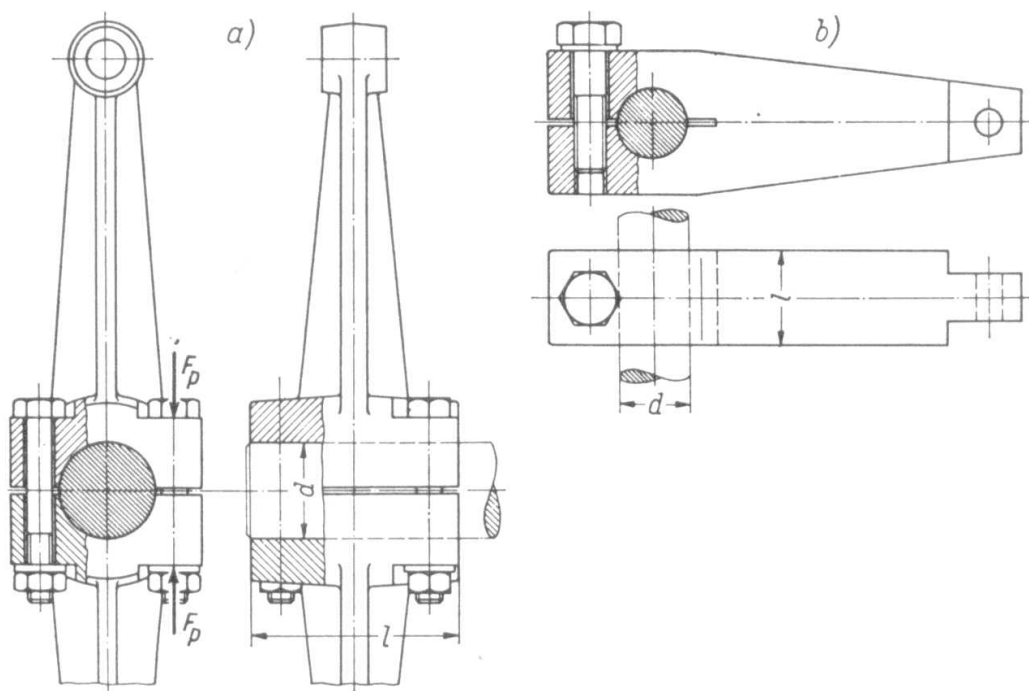
Konus omogućava centriranje glavine koja se montira na osovinu ili vratilo. Pritezanje konusa vrši se vijčanim spojem ili nabijanjem (sl. 5.4.19) čime se na dodirnim površinama ostvaruje potreban tlak, čime se ostvaruje veza silom. Pero osigurava položaj glavine na osovini te u slučaju proklizavanja prenosi okretni moment oblikom. Dakle, konični spojevi omogućuju vezu silom i oblikom. Što je manji nagib konusa, to je veći dodirni pritisak (prenošenje silom).

Slika 5.4.19 Konični spoj[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Spojevi steznim glavinama:

Kod ovih se spojeva prenošenje silom ostvaruje pritezanjem glavine vijcima. Pritisak na površini se ne ostvaruje preklopom, nego stezanjem glavine na vratilo putem vijaka. Postoje podijeljene (dvodijelne) glavine i razrezane glavine (slika 5.4.20). Prenosnje silom, zbog malog dodirnog pritiska, je kod ovakvih spojeva dosta nesigurno te se ovi spojevi koriste samo kod malih i jednoličnih okretnih momenata. Katkad se ovakvi spojevi dodatno osiguravaju zaticima. Tipičan primjer korištenja ovakvog spoja je pričvršćivanje raznih poluga na vratilo.

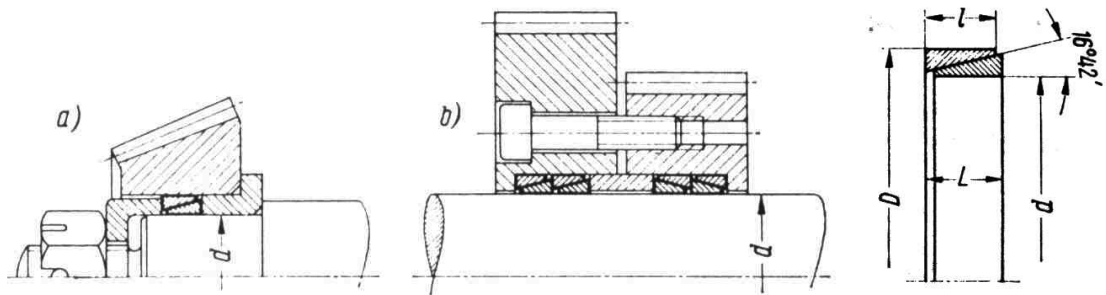
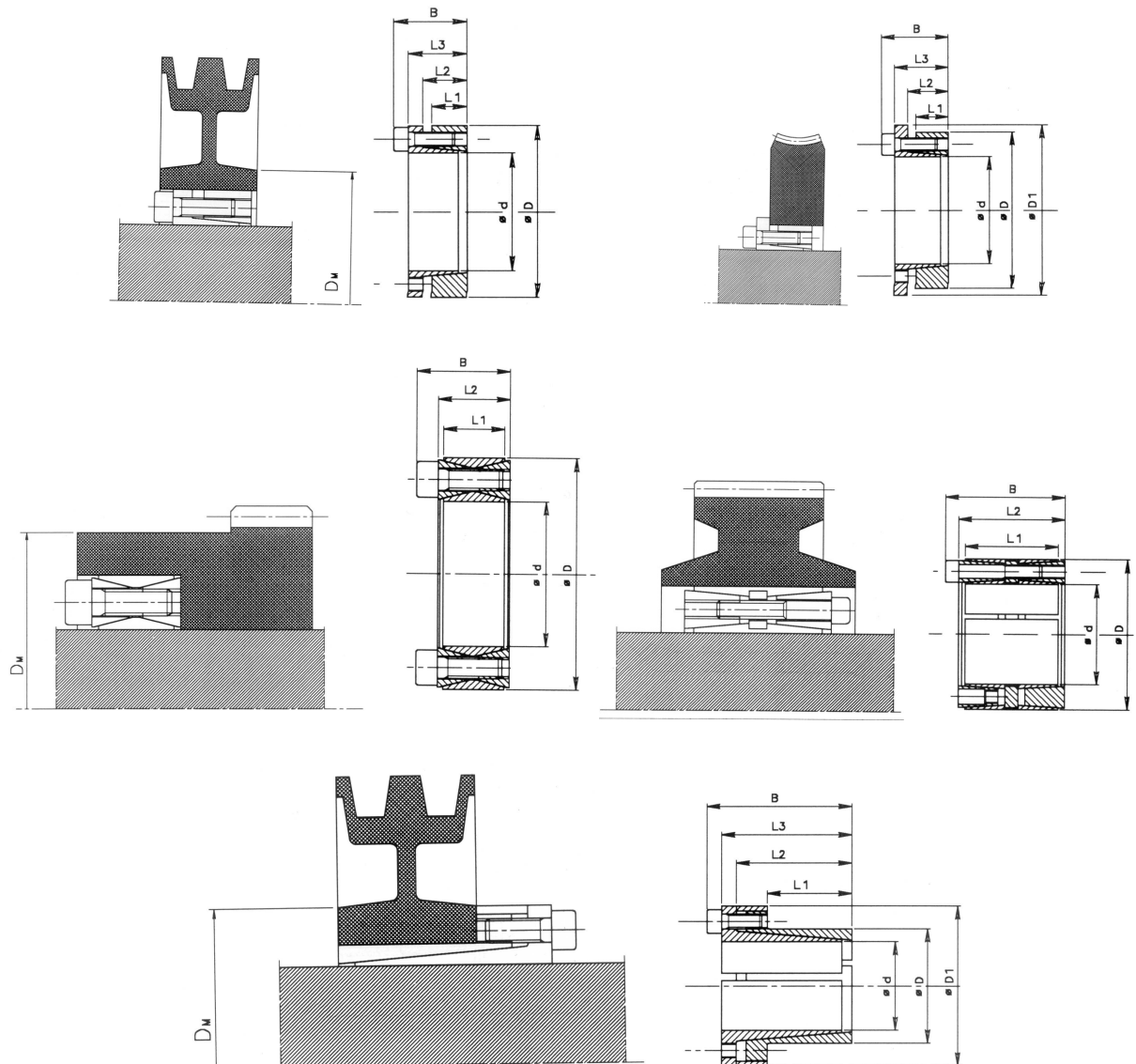


Slika 5.4.20 Spoj sa dvodijelnom i razrezanom steznom glavinom[†]

Spojevi steznim elementima:

Korištenjem prstenastih opruga (sl. 5.4.21), kao steznih elemenata bez zračnosti, ostvaruje se prenošenje okretnog momenta silom. Dva stožasta prstena (sl. 5.4.21), koji klize jedan po drugom, pritišću se aksijalnom silom vijka, međusobno se radijalno šire te ostvaruju pritisak između glavine i vratila. Za pritezanje spoja može se predvidjeti jedan ili više steznih elemenata (sl. 5.4.21). Postoje izvedbe gdje stezni elementi nisu izvedeni kao zasebni elastični prsteni već su izrađeni u obliku gotovih koničnih elemenata za stezanje, koji se međusobno pritežu vijcima. Neke od izvedbi koničnih nateznih elemenata prikazane su slikom 5.4.22. Karakteristika ovakvih spojeva je da se njima mogu prenijeti veliki okretni momenti, centriranje na vratilo je osigurano, a zarezno djelovanje eliminirano.

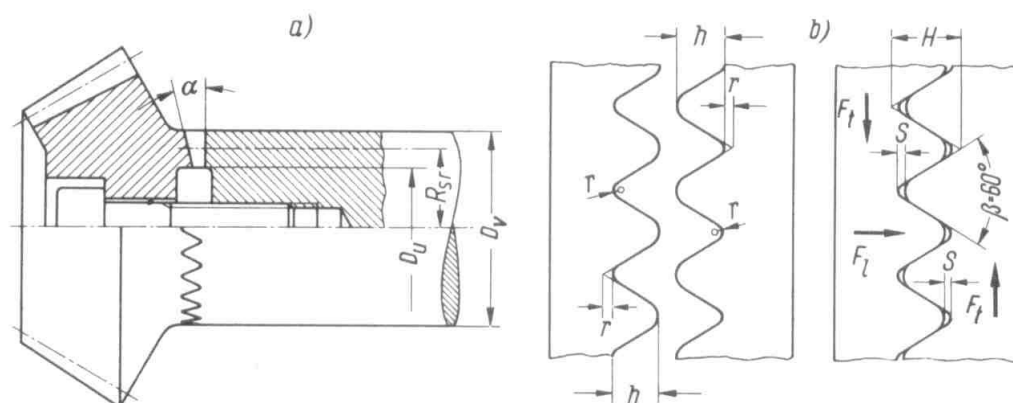
[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Slika 5.4.21 Prstenaste opruge kao stezni element[†]Slika 5.4.22 Konični natezni elemneti^{*}

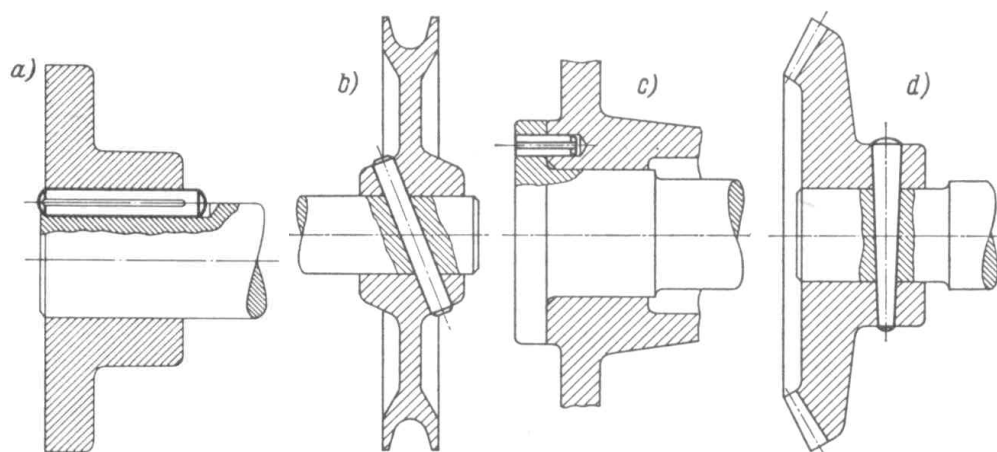
^{*} Skenirani crtež: *Konnus Spannenelemente*, Bibus/Tollok katalog koničnih nateznih elemenata

Spojevi čeonim ozubljenjem:

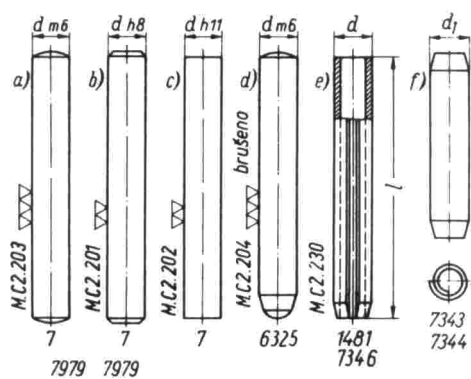
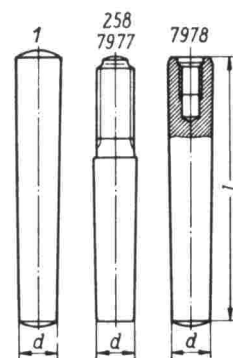
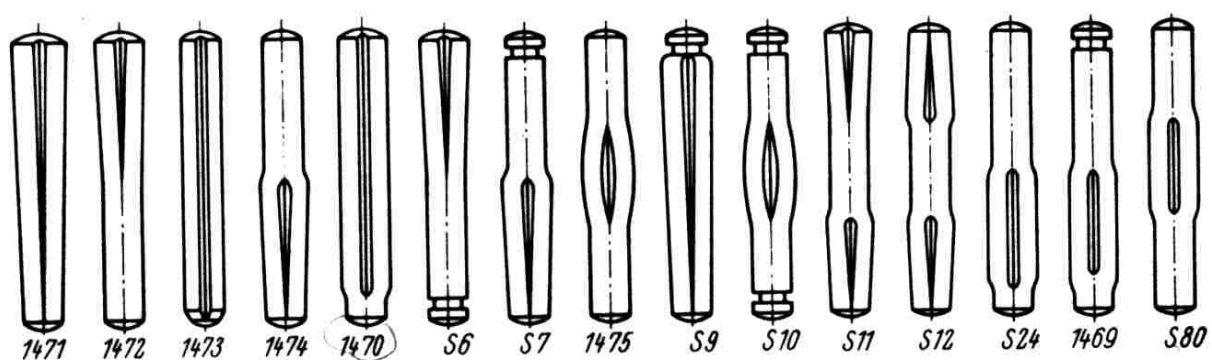
Čeonim ozubljenjem ostvaruje se prenošenje okretnog momenta oblikom. Ovo ozubljenje se često, prema proizvođaču, naziva i "Hirth-ozubljenje". Ovakvim je spojem moguće prenijeti velika promjenjiva i udarna opterećenja. Aksijalnim vijkom (sl. 5.4.23) vrši se međusobno pritezanje dijelova u spoju.

Slika 5.4.23 Spoj čeonim ozubljenjem[†]**Spojevi zaticima:**

Zaticima se ostvaruje prenošenje okretnog momenta oblikom. Kroz vratilo i glavinu zabuši se rupa u koju se umeće zatic (sl. 5.4.24). Standardne izvedbe zatika prikazane su slikama 5.4.25, 5.4.26 i 5.4.27.

Slika 5.4.24 Veza zaticom[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

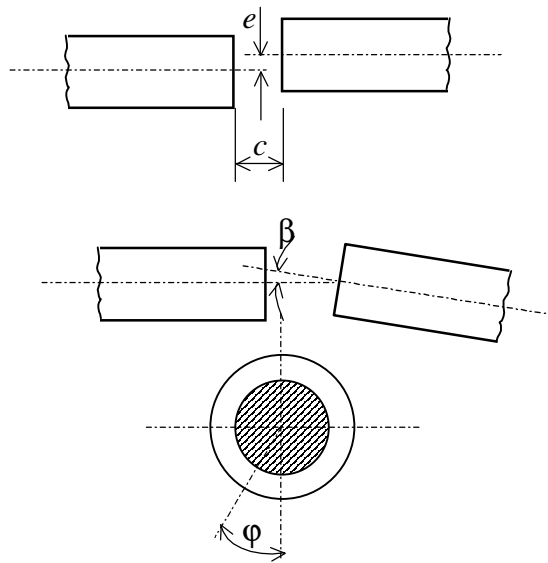
Slika 5.4.25 Cilindrični zatici[†]Slika 5.4.26 Konični zatici[†]Slika 5.4.27 Zasječni zatici[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

5.4.3 Spojke

Zasebna vratila se spajaju u jednu cjelinu pomoću spojki. Osim što vrše međusobno povezivanje vratila, spojke i ispravljaju netočnosti (sl. 5.4.28) koje se mogu javiti između vratila:

- ekscentričnost e
- čeonu razmak c
- kutno odstupanje osi β
- kutno odstupanje u čeonoj ravnini φ



Slika 5.4.28 Netočnosti koje se javljaju među vratilima

Prema izvedbi, spojke se dijele na:

- krute spojke
- dilatacijske (uzdužno pomične) spojke
- neelastične kompenzacijske spojke
- isključno-uključne spojke
- specijalne spojke

Na izbor spojke utječu uvjeti rada poput opterećenja, netočnosti u izradi i sl.

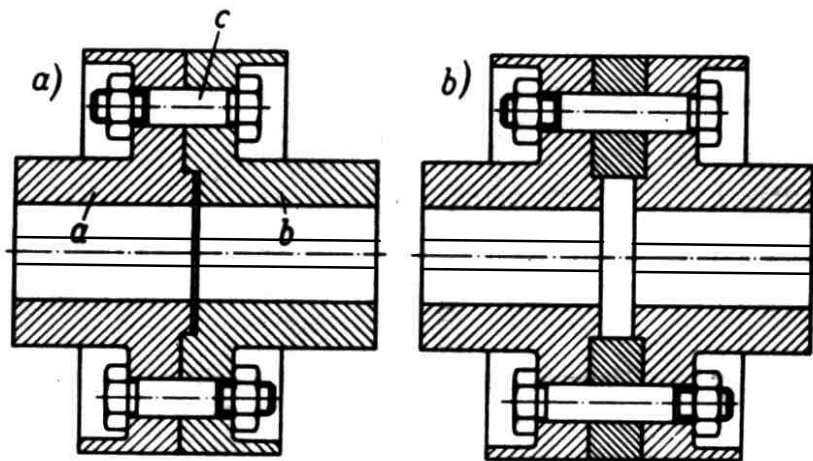
Krute spojke:

Krute (čvrste) spojke uzdužno spajaju dva vratila kako bi se prenio okretni moment. Za ove spojke uvijek vrijedi pretpostavka da se osi vratila međusobno poklapaju. U suprotnom je potrebno izvršiti centriranje vratila.

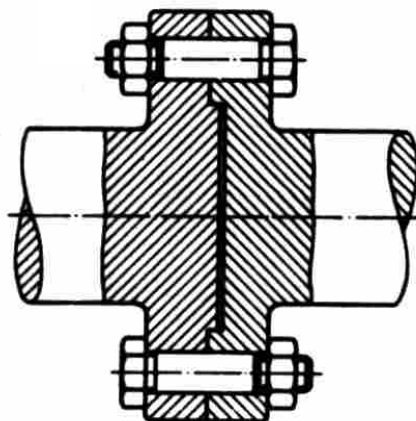
U ovu skupinu spadaju:

- kolutne spojke: na krajevima vratila pričvršćuju se dva koluta iz sivog lijeva povezana perima za vratila. Koluti imaju nastavke za centriranje, a dosjednim se vijcima prenosi okretni moment (sl. 5.4.29).
- prirubne spojke: krajevi vratila raskovani su u obliku prirubnica s nastavcima za centriranje. Spajanje se vrši dosjednim vijcima (sl. 5.4.30).
- školjkaste (ljuskaste) spojke: okretni moment prenosi se silom trenja uz osiguranje perom (sl. 5.4.31).

Za sve ove spojke karakteristično je da ih odlikuju male ugradbene mjere.

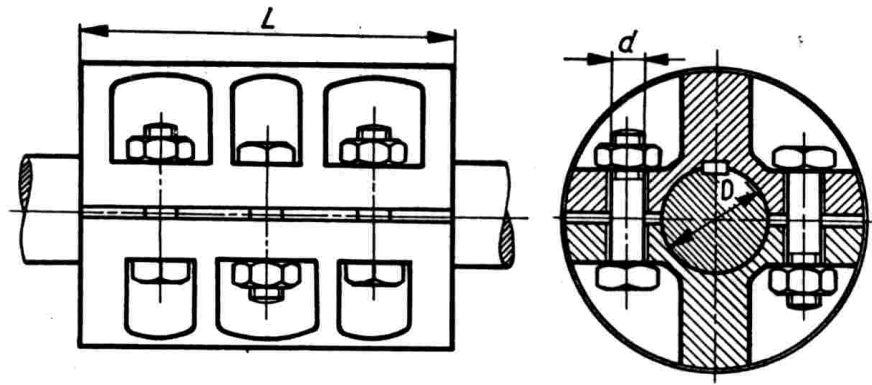


Slika 5.4.29 Kolutne spojke[†]

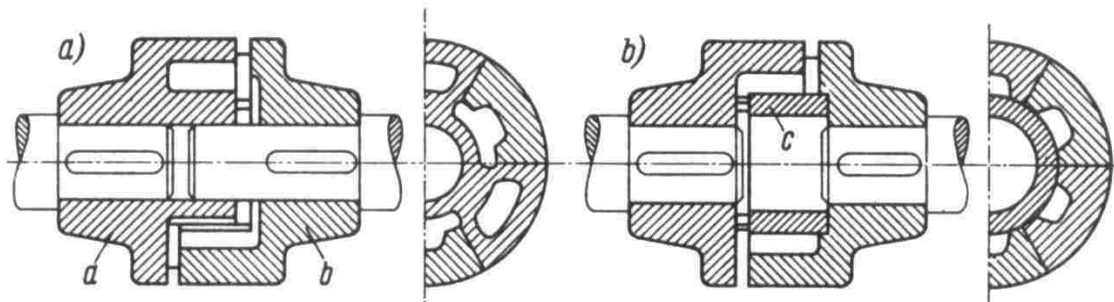


Slika 5.4.30 Prirubna spojka[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

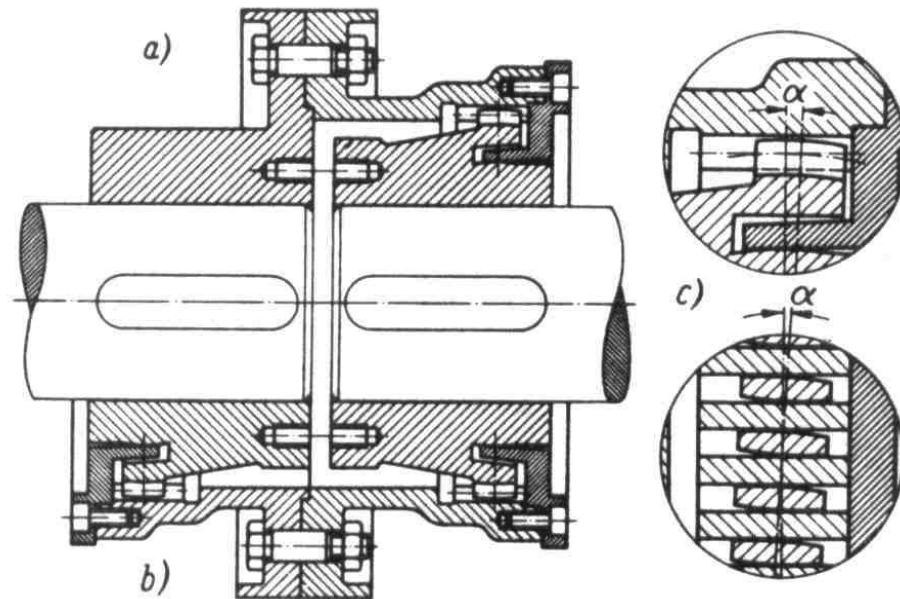
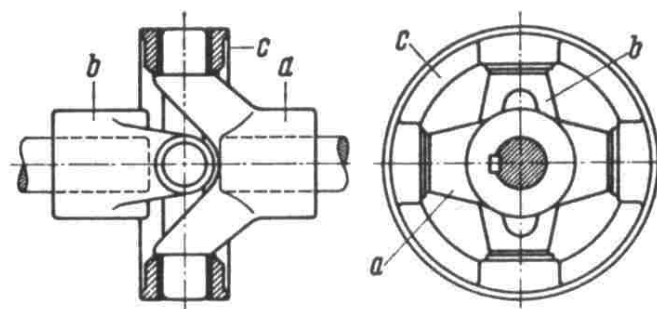
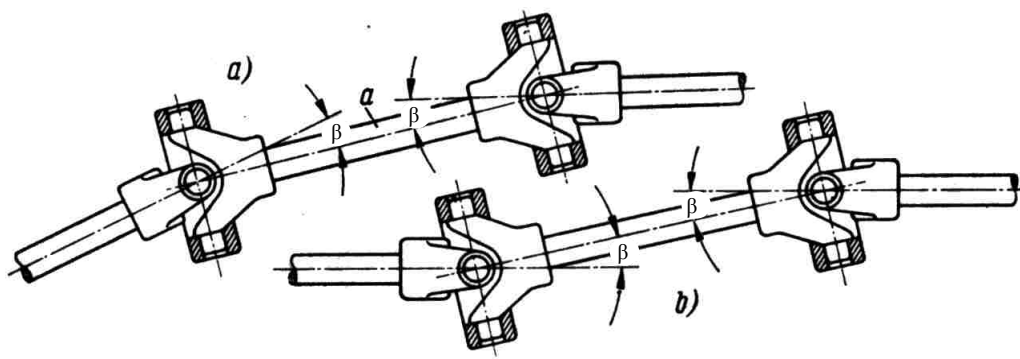
Slika 5.4.31 Školjkaste spojke[†]**Dilatacijske (uzdužno pomične) spojke:**

Za razliku od krutih spojki, dilatacijske spojke mogu kompenzirati uzdužne pomake vratila, odnosno čeonu razmak c (sl. 5.4.29). Uzdužne dilatacije često su izazvane temperaturnim produljenjima vratila. Osim što omogućuju uzdužne dilatacije, ove spojke vrše aksijalno i radijalno centriranje vratila. U ovu skupinu spadaju kandžaste spojke koje se izrađuju kao dvodijelne (sl. 5.4.32 a) i trodijelne (sl. 5.4.32 b).

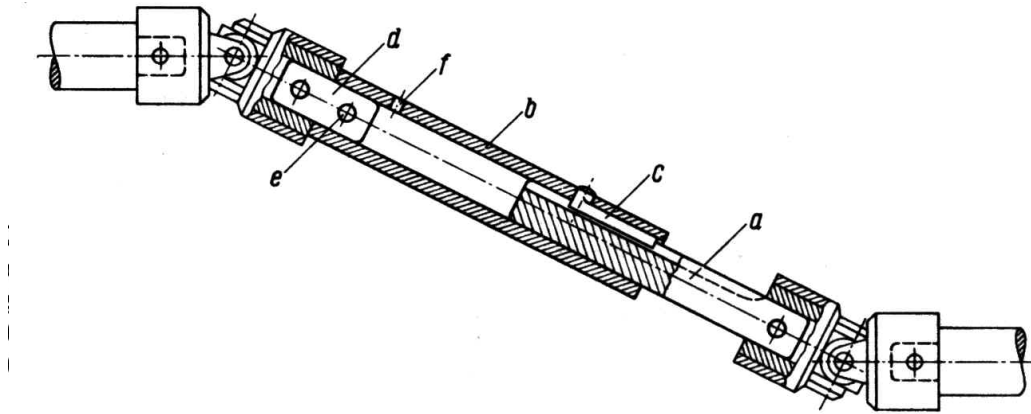
Slika 5.4.32 Kandžaste dvodijelne i trodijelne spojke[†]**Neelastične kompenzacijske spojke:**

Ukoliko je uz aksijalne dilatacije potrebno kompenzirati i kutno odstupanje osi β , koriste se zubne spojke s lučnim zubima (sl. 5.4.33) kod kojih je, uz aksijalni pomak, moguće ostvariti i kutno odstupanje od $\alpha = 1^\circ$. Kutno odstupanje do $\beta = 15^\circ$ moguće je ostvariti kardanskim spojkama (spojka s križnim zglobovom) (sl. 5.4.34). Kod kardanskih spojki u kombinaciji s međuvratilom moguće je ostvariti kutna odstupanja do $\beta = 30^\circ$, odnosno ostvariti prijenos između paralelnih vratila s ekscentričnim osima (sl. 5.4.35). Ukoliko se međuvratilo izvede teleskopski, moguće je kompenzirati i aksijalne dilatacije (sl. 5.4.36).

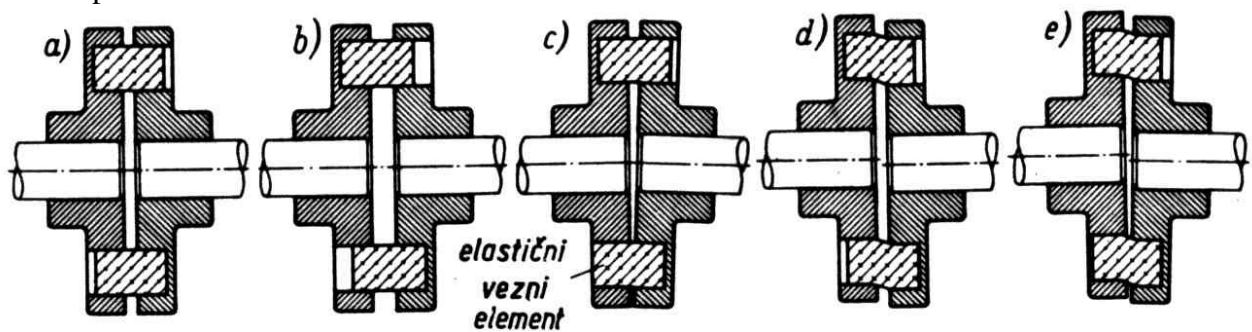
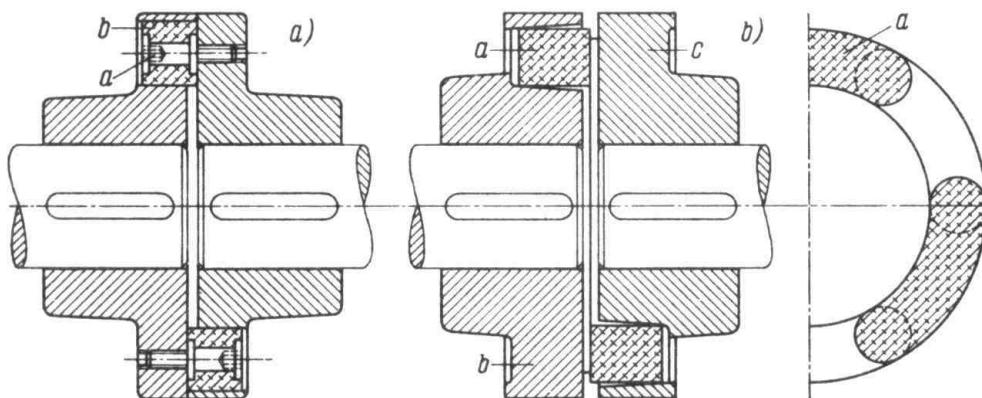
[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Slika 5.4.33 Zubna spojka s lučnim zubima[†]Slika 5.4.34 Kardanska spojka[†]Slika 5.4.35 Kardanske spojke s međuvratilom[†]

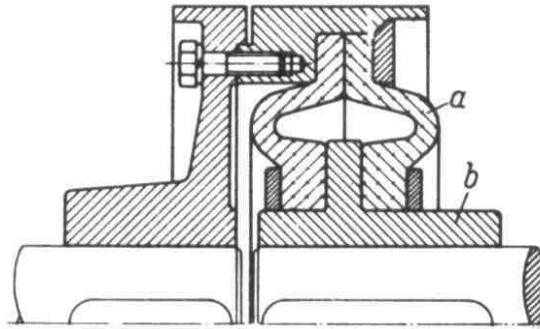
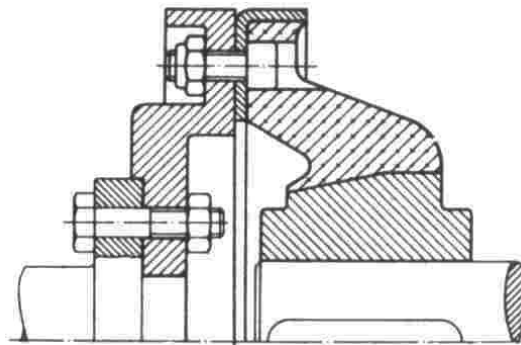
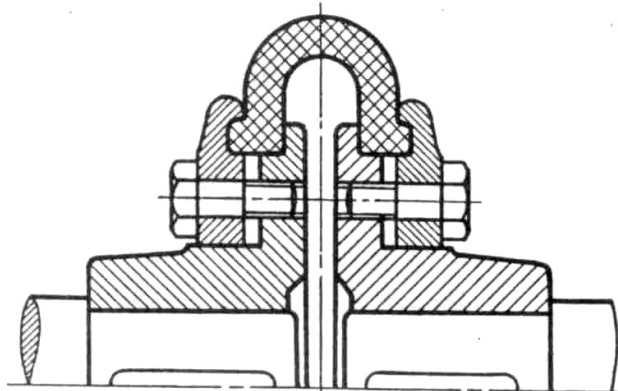
[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Slika 5.4.36 Kardanske spojke s teleskopskim vratilom[†]**Elastične spojke:**

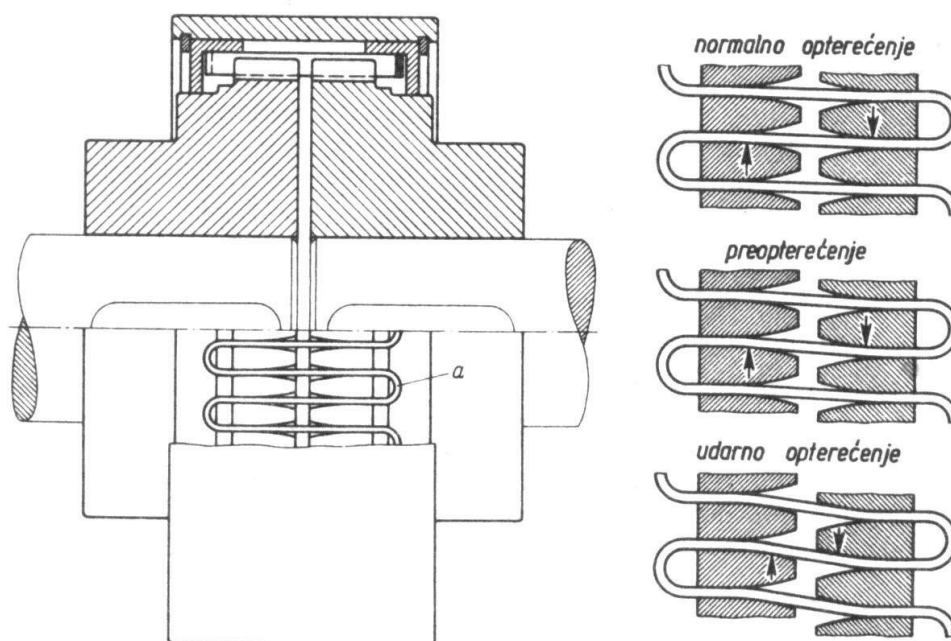
Elastične spojke kompenziraju sve navedene netočnosti koje se mogu javiti među vratilima (sl. 5.4.37). Uz to, elastične spojke kompenziraju i kolebanje okretnog momenta, odnosno torzijske udare. Između dvije metalne ploče spojke nalazi se elastični vezni element iz gume (sl. 5.4.38-5.4.41), kože, umjetnih masa, tekstilnih tkanina, čeličnih opruga (5.4.42) i sl. Izvedbe s gumom su najčešće, a njihova proizvodnja je jednostavna i zasniva se na vulkaniziranju gumene mase na čelične ploče.

Slika 5.4.37 Kompenzacija netočnosti elastičnom spojkom[†]Slika 5.4.38 Kolutna spojka s gumenim ulošcima[†]

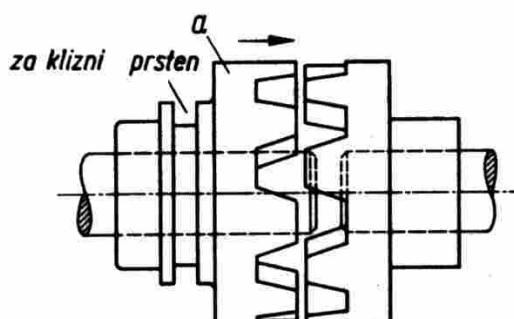
[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Slika 5.4.39 Spojka "Vulkan" (gumene prsteni)[†]Slika 5.4.40 Spojka sa stožastim gumenim ulošcima[†]Slika 5.4.41 Periflex spojka[‡]

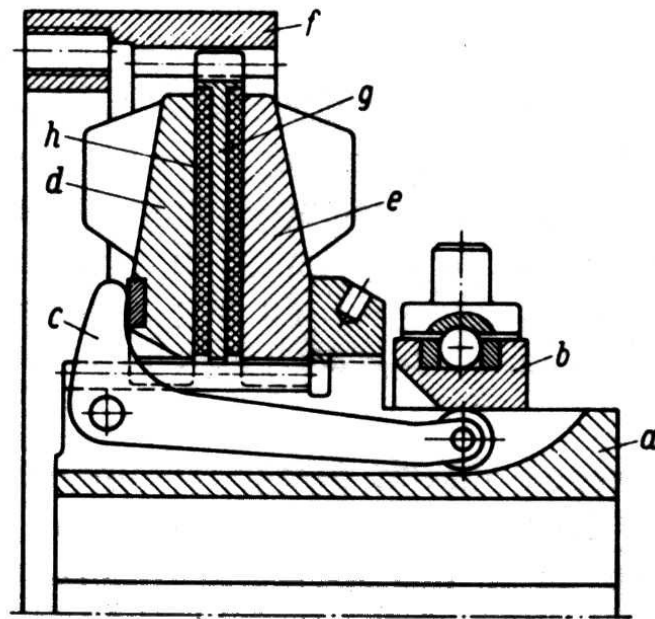
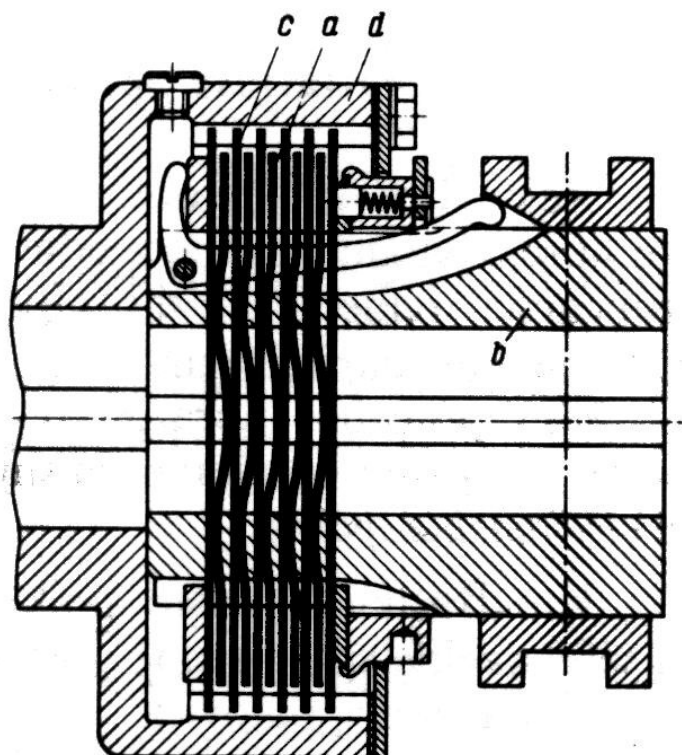
[†] Skenirani crtež: V. Hrgešić i J. Baldani, *Mehaničke konstrukcije*, Sveučilište u Zagrebu, Elektrotehnički Fakultet, Zagreb, 1990.

Slika 5.4.42 Spojka s čeličnim opružnim trakama ("Malmedie-Bibby")[†]**Isključno-uključne spojke:**

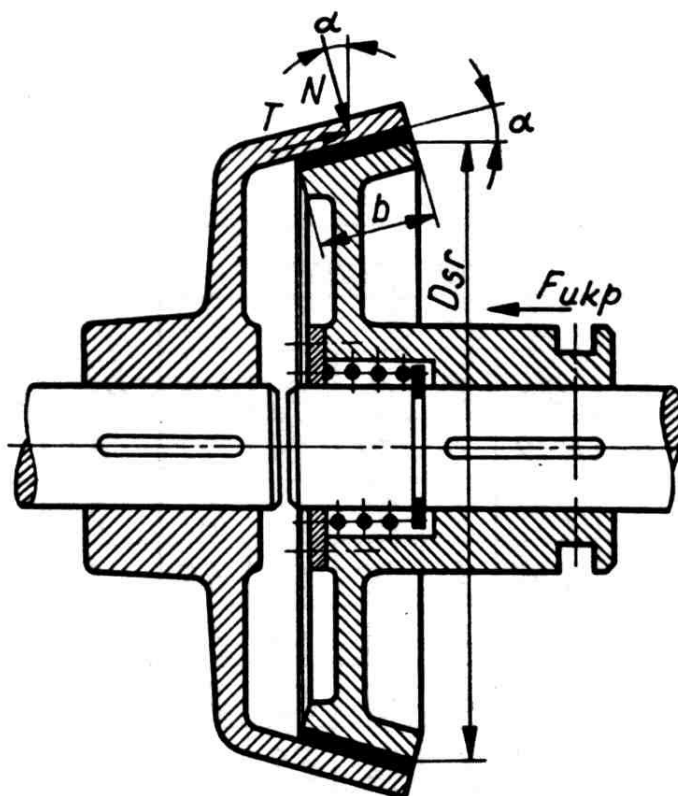
Ove spojke omogućavaju kontrolirano (putem poluge) uključivanje i isključivanje vratila koja povezuju (automobilski i slični pogoni). Najjednostavnija je isključna kandžasta spojka koja omogućava isključivanje vratila i njegovo uključivanje, ali samo pri mirovanju oba vratila (sl. 5.4.43). Kod reduktora, kada je potrebno odvojiti reduktor od vratila te mijenjati prijenosne odnose zupčanika (sprezati razne zupčanike), koriste se tarne spojke s jednom tarnom pločom (sl. 5.4.44) ili više lamela (sl. 5.4.45). Tarna spojka s jednom tarnom pločom može se izvesti i kao konična (slika 5.4.46), čime se osigurava prenošenje većih okretnih momenata. Uključivanje i isključivanje tarnih spojki moguće je i pri radu (rotaciji) vratila. Postoje normalno uključene (npr. automobilske spojke) i normalno isključene tarne spojke. Zbog trenja pri uključivanju i isključivanju (različite brzine diskova) tarnih spojke lamele se znatno troše, te se koriste tarne obloge. Njihovim istrošenjem, obloga, odnosno lamela, se mijenja.

Slika 5.4.43 Kandžasta isključna spojka[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

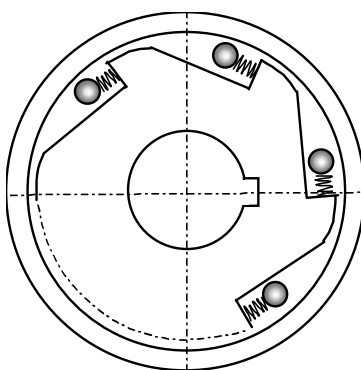
Slika 5.4.44 Tarna spojka s jednom tarnom pločom[†]Slika 5.4.45 Lamelarna tarna spojka[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Slika 5.4.46 Konična tarna spojka[‡]**Specijalne spojke:**

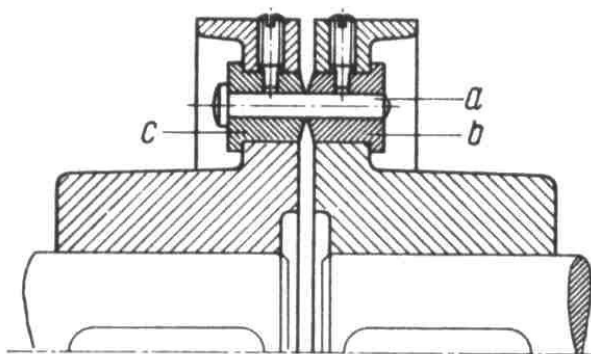
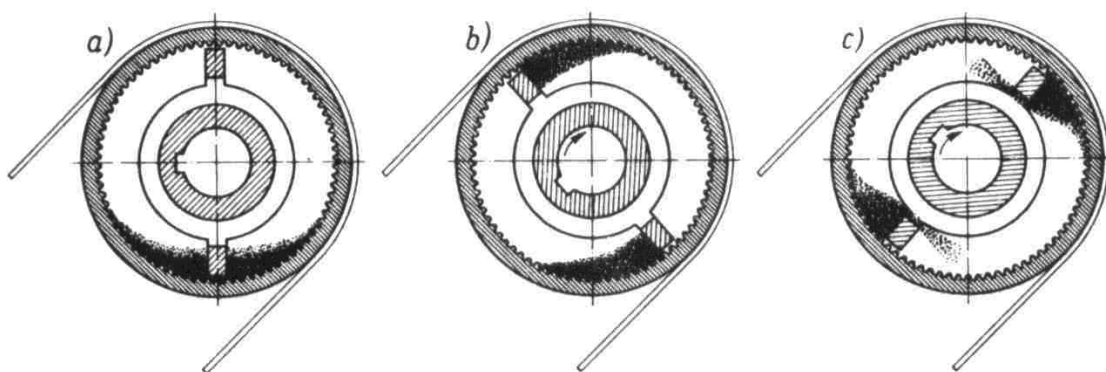
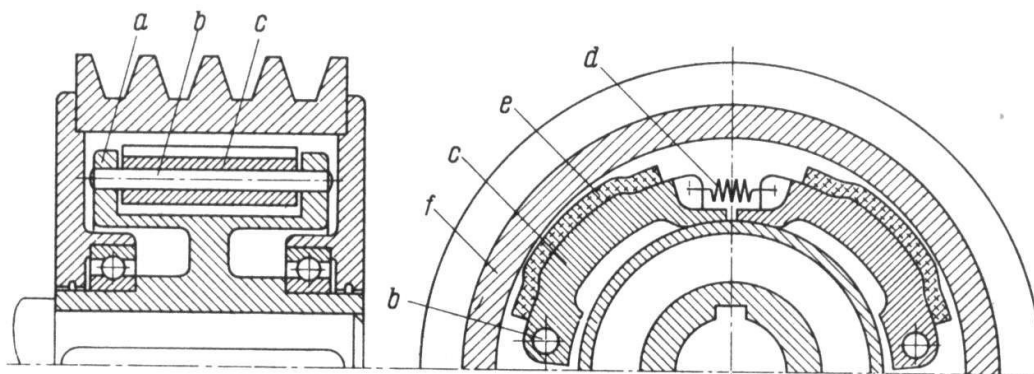
U ovu grupu spojki spadaju:

- jednosmjerne spojke: prenose okretni moment samo u jednom smjeru (npr. kotač bicikle) (sl. 5.4.47)
- sigurnosne spojke: u slučaju prekoračenja okretnog momenta vrše razdvajanje vratila (sl. 5.4.48)
- spojke za upuštanje u rad (sl. 5.4.49 i 5.4.50)



Slika 5.4.47 Jednosmjerna spojka

[‡] Skenirani crtež: V. Hrgešić i J. Baldani, *Mehaničke konstrukcije*, Sveučilište u Zagrebu, Elektrotehnički Fakultet, Zagreb, 1990.

Slika 5.4.48 Sigurnosna spojka s prekidnim svornjacima[†]Slika 5.4.49 "Pulvis" spojka ispunjena kalibriranim čeličnim kuglicama[†]Slika 5.4.50 Čeljusna centrifugalna spojka[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

5.4.4 Ležaji

Ležaji su elementi strojeva koji služe kao oslonci osovina i vratila. Obzirom na vrstu trenja koje se u ležajima javlja postoje:

- klizni ležaji u kojima se javlja trenje klizanja
- valjni (kotrljajući) ležaji u kojima se javlja trenje kotrljanja

Kako bi se smanjilo trenje i habanje, a samim time i gubici, ležaji se obavezno podmazuju.

Klizni ležaji:

Služe kao oslonci rukavaca osovina i vratila. Razlikuju se:

- radijalni (nosivi) ležaji koji preuzimaju radijalne (poprečne) sile
- aksijalni (potporni) ležaji koji preuzimaju aksijalne (uzdužne) sile

Prednosti korištenja kliznih ležaja su:

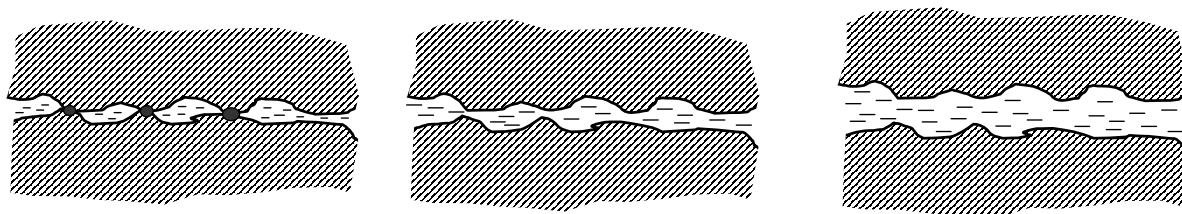
- miran rad bez buke zbog uljnog filma između rukavca i blazinice koji prigušuje vibracije
- relativno jednostavne konstrukcije
- jeftiniji od valjnih ležajeva

Nedostaci kliznih ležaja su:

- izražen problem osiguranja podmazivanja koje zahtjeva stalan nadzor nad ležajem
- potrošnja maziva
- imaju veće dimenzije od valjnih ležaja za isto opterećenje

Klizni se ležaji uglavnom koriste kod preuzimanja velikih snaga (npr. brodski strojevi, turbine) te kad je potreban izrazito miran rad (alatni strojevi).

Rukavci rotiraju podmazani uljem ili mastima te se između rukavca i blazinice (tuljka) ležaja ostvaruje hidrodinamičko podmazivanje pa rukavci "plivaju" na tankom sloju ulja ili maziva. Prilikom pokretanja vratila najprije se javlja suho trenje (sl. 5.4.51₁), koje prelazi u mješovito (sl. 5.4.51₂) i naposljetku u tekuće trenje (sl. 5.4.51₃). Djelovanje mješovitog, a pogotovo suhog trenja, potrebno je izbjeći, odnosno pošto je ovakvo trenje neminovno pri pokretanju, potrebno ga je prijeći čim prije.

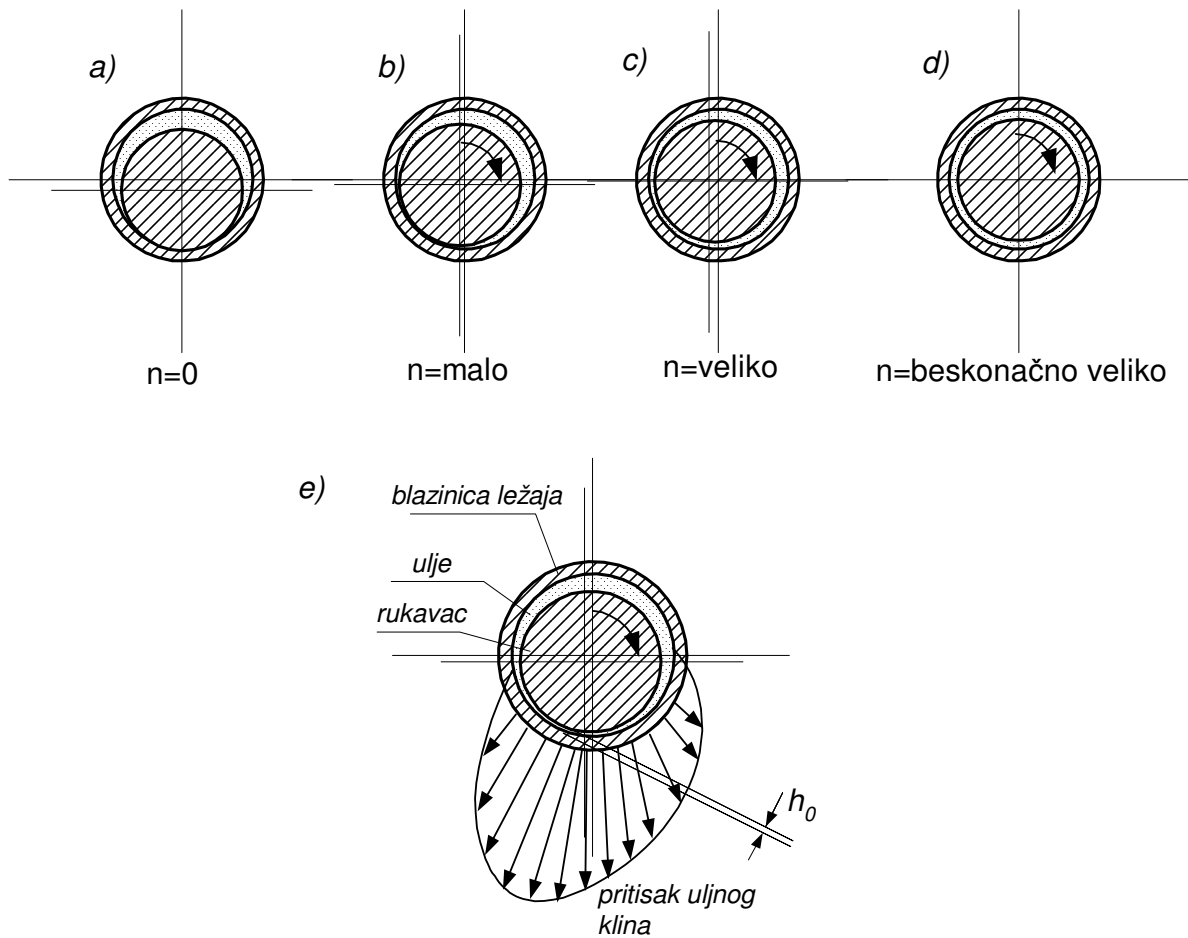


Slika 5.4.51 Suho, mješovito i tekuće trenje

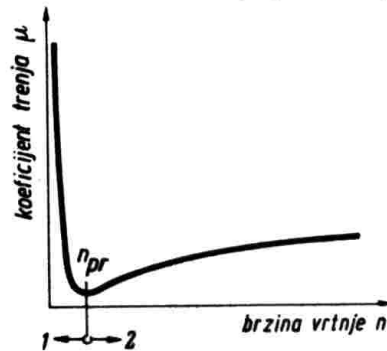
Na slici 5.4.52 prikazan je način nastajanja nosivog uljnog sloja u ležaju. U početku rukavac leži ekscentrično u blazinici (sl. 5.4.52 a). Kada se rukavac započne okretati (sl. 5.4.52 b), dolazi do mješovitog trenja, nastaje uljni klin te rukavac svojom rotacijom utiskuje ulje u klinasti međuprostor. Daljnjim povećanjem brzine vrtnje, povećava se tlak te rukavac "zapliva" na

uljnom klinu, čime dolazi do tekućeg trenja. Daljnjim povećanjem brzine vrtnje i tlaka između rukavca i blazinice, ekscentricitet se sve više smanjuje i za beskonačno veliku brzinu vrtnje taj bi ekscentricitet teoretski nestao (sl. 5.4.52 d). Raspodjela tlaka prikazana je na slici (5.4.52 e).

Koeficijent trenja, koji se opire rotaciji rukavca, nije konstantan i mijenja se u ovisnosti o brzini rotacije, što je prikazano Stribeckovom krivuljom (sl. 5.4.53), gdje područje označeno kao "1" prikazuje područje mješovitog trenja, a područje "2" tekućeg trenja. U području tekućeg trenja (hidrodinamičko podmazivanje), zbog viskoziteta, povećanjem brzine vrtnje neznatno raste i koeficijent trenja. Debljina mazivog sloja h_0 (sl. 5.4.52 e) ovisi o brzini vrtnje i o opterećenju rukavca. Povećanjem sile debljina mazivog sloja se smanjuje te može doći do probijanja mazivog sloja (suhog ili mješovitog trenja). Što je veći površinski tlak, a brzina okretanja manja, potrebno je mazivo sa većom viskoznošću i obrnuto. Povećanjem viskoznosti raste i unutrašnje trenje u ulju (viskozitet), što dovodi do zagrijavanja i povećanja energetske gubitaka.



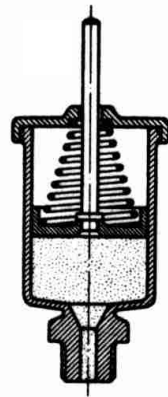
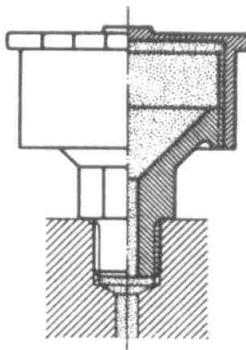
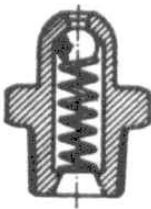
Slika 5.4.52 Položaj rukavca kod raznih brzina vrtnje



Slika 5.4.53 Koeficijent trenja u ovisnosti o brzine vrtnje (Stribeckova krivulja)[†]

Koriste se dvije vrste maziva i to:

- masti: omogućavaju jeftino podmazivanje niskooterećenih, sporednih ležajeva. Mast se, najčešće putem mazalica (sl. 5.4.54), tlači u kanale koji su spojeni sa ležajnim mjestima. Postoje i drugi načini podmazivanja poput Staufferove mazalice (sl. 5.4.55) te mazalice s oprugom (sl. 5.4.56).
- ulja: koriste se kod brzohodnih ležajeva i velikih opterećenja. Podmazivanje se vrši ručno kod sporednih ležajeva, pomoću pumpnih agregata za podmazivanje više ležajeva te uranjanjem (mazivim prstenom), čime se omogućava jednostavno i jeftino podmazivanje (sl. 5.4.57).

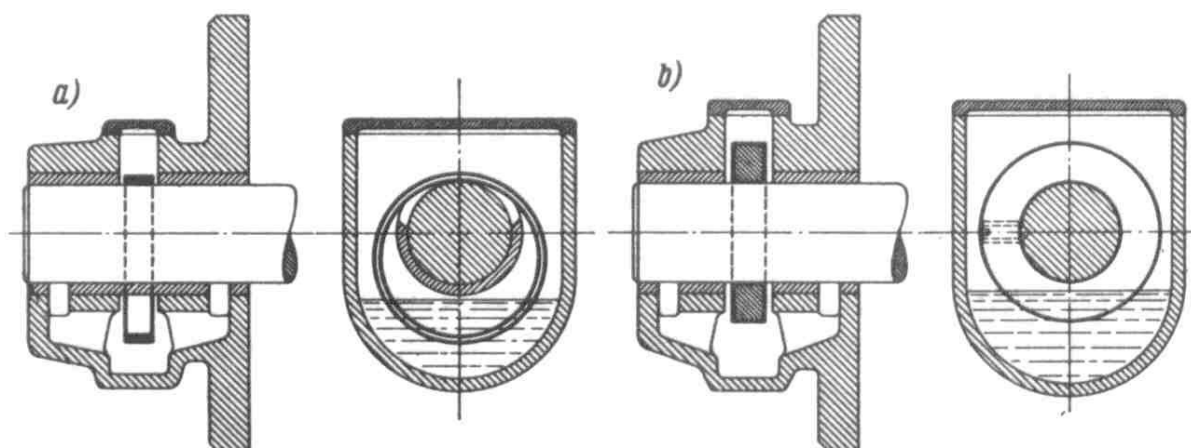


Slika 5.4.54 Mazalica[†]

Slika 5.4.55 Staufferova mazalica[†]

Slika 5.4.56 Mazalica s oprugom[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.



Slika 5.4.57 Podmazivanje prstenom za podmazivanje (a-slobodni, b-čvrsti)[†]

Zahtjevi kojima treba udovoljiti materijal kliznog ležaja od kojih se izrađuju tuljci ili blazinice su:

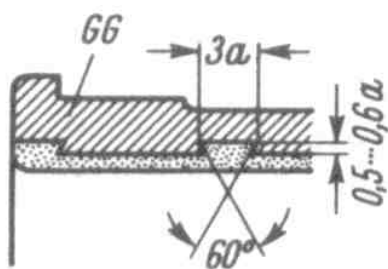
- mora biti mekši od materijala rukavca pošto je popravak rukavaca skuplji
- treba biti otporan prema habanju
- mala sklonost stvaranju brazdi
- veliku tlačnu čvrstoću
- neosjetljiv prema zaribavanju (svojstvo da se pri temperaturi taljenja ne zavaruje sa materijalom rukavca)
- dobra toplinska vodljivost
- dobra sposobnost uhodavanja
- sposobnost klizanja pri nepovoljnom podmazivanju i pokretanju

Kao ležajni materijali najčešće se koriste:

- bijele kovine: legure kositra, olova, bizmuta i antimona. Imaju osobito dobra svojstva uglaćavanja, prilagodljivosti, otpornosti prema habanju i sposobnost klizanja pri nepovoljnom podmazivanju. Problem je nisko talište te se koriste za pogonske temperature do 110°C.
- olovne i aluminijske bronce: pogodne za visoko opterećenje ležaji. Mana im je što slabije provode (odvode) toplinu od bijele kovine.
- sivi lijev: zbog postojanja grafitnih lamela pogodan ležajni materijal. Loše se uhadava, loša sposobnost klizanja pri nepovoljnom podmazivanju, osjetljiv na rubne pritiske pa je povoljan za manje brzine vrtnje i rubne pritiske.
- sinter metali: pogodni za manje ležaji bez nadzora i s malim brzinama vrtnje. Ulje se zadržava u šuplinama između prešanog metala te osigurava dobro podmazivanje pri mješovitom trenju. Nepovoljni za osiguravanje tekućeg trenja, a samim time i veće brzine vrtnje.
- umjetne mase: koriste se poliamidi (nylon, "sipes" i sl. - visoka čvrstoća i dobra klizna svojstva, otpornost trošenju te svojstvo prigušivanja vibracija), poliuretani (poput poliamida, ne upijaju vodu), poliacetali (prema čeliku pokazuju dobra klizna svojstva, lako se obrađuju) i dr.

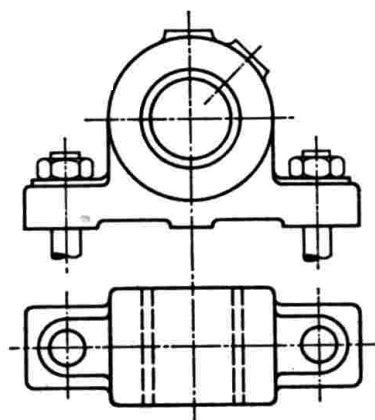
[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Ležaji se najčešće izrađuju dvoslojno (sl. 5.4.58), gdje blazinica daje krutost, a ležajna kovina osigurava dobra klizna svojstva (ovaj sloj se obično nanosi centrifugalnim lijevanjem).

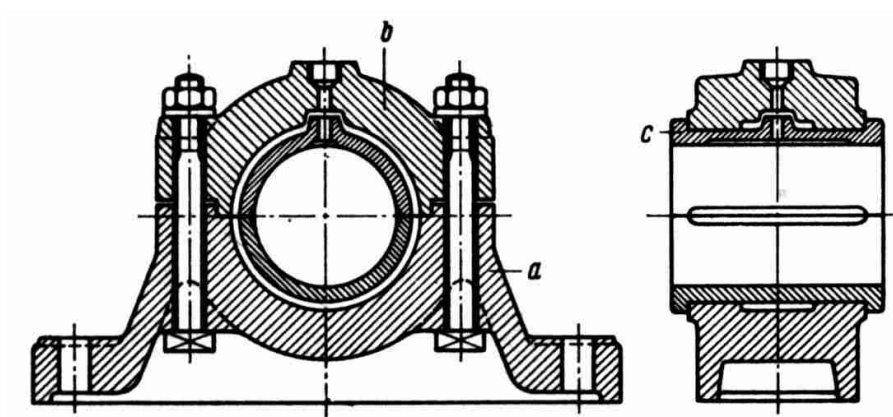


Slika 5.4.58 Blazinica i ležajna kovina[†]

Radijalni klizni ležaji se izvedu kao jednodijelni (sl. 5.4.59) i dvodijelni (sl. 5.4.60). Radijalni ležaji mogu biti izvedeni sa blazinicama okretnim u kuglastom zglobu (sl. 5.4.61) te kao konusni kod kojih se može pritezanjem blazinice podešavati zračnost (sl. 5.4.62).

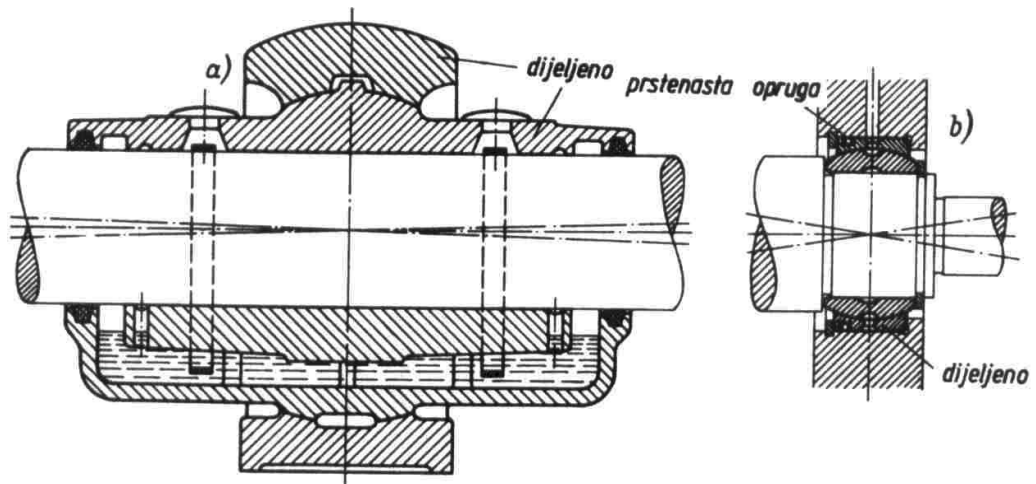


Slika 5.4.59 Jednodijelni radijalni klizni ležaj[†]

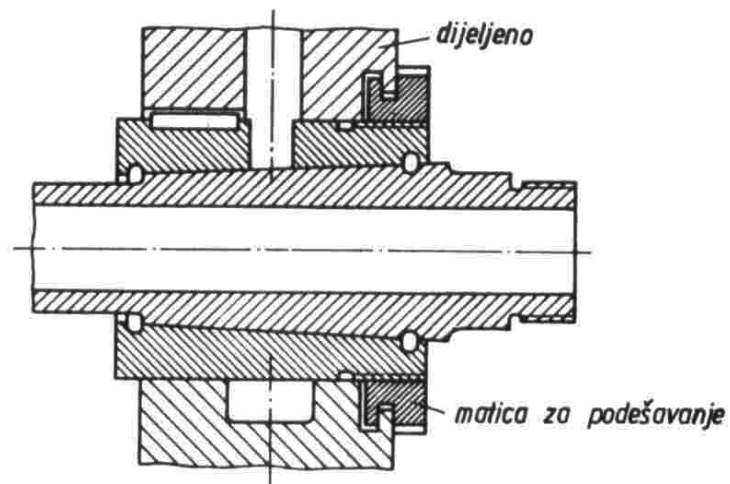


Slika 5.4.60 Dvodijelni radijalni klizni ležaj[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.



Slika 5.4.61 Klizni ležaj s okretnim blazinicama u kuglastom zglobu[†]

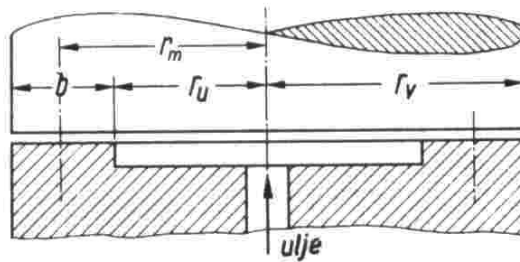


Slika 5.4.62 Podesiv konusni klizni ležaj[†]

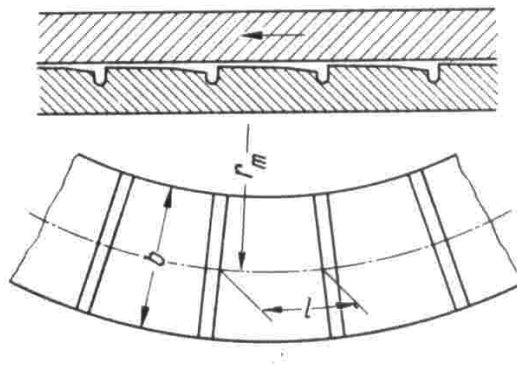
[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Aksijalni klizni ležaji izvedu se kao hidrostatski i hidrodinamički. Kod hidrostatskih ležajeva, koji imaju ravne plohe nalijeganja, ne može se postići uljni klin te se tekuće trenje postiže tlačenjem ulja među klizne površine (sl. 5.4.63). Ulje iz ovakvih ležajeva stalno istječe. Uz dobru konstrukciju ovakvi se ležaji praktički ne troše.

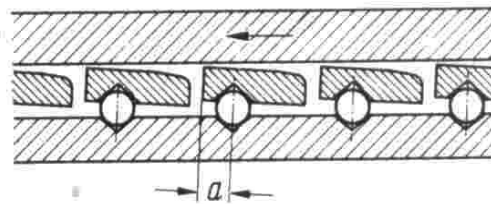
Hidrodinamički aksijalni ležaji imaju niz segmenata koje stvaraju uljni klin. Segmenti mogu biti izvedeni kao nepokretni segmenti (sl. 5.4.64) ili pak pomični kod kojih se segmenti sami postavljaju u potrebni položaj obzirom na režim rada (sl. 5.4.65).



Slika 5.4.63 Hidrostatski aksijalni ležaj [†]



Slika 5.4.64 Hidrodinamički aksijalni ležaj s nepokretnim segmentima [†]



Slika 5.4.65 Hidrodinamički aksijalni ležaj s pomičnim segmentima [†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Valjni (kotrljajući) ležaji:

Prednosti valjnih ležajeva nad kliznim su:

- trenje kotrljanja je oko 50% manje od trenja klizanja
- rade s manjim zračnostima, što je od velikog značaja kad se zahtjeva preciznost
- relativno malih dimenzija te zahtijevaju malo maziva bez čestog nadgledanja
- standardizirani su te je omogućena široka primjena i izmjenljivost

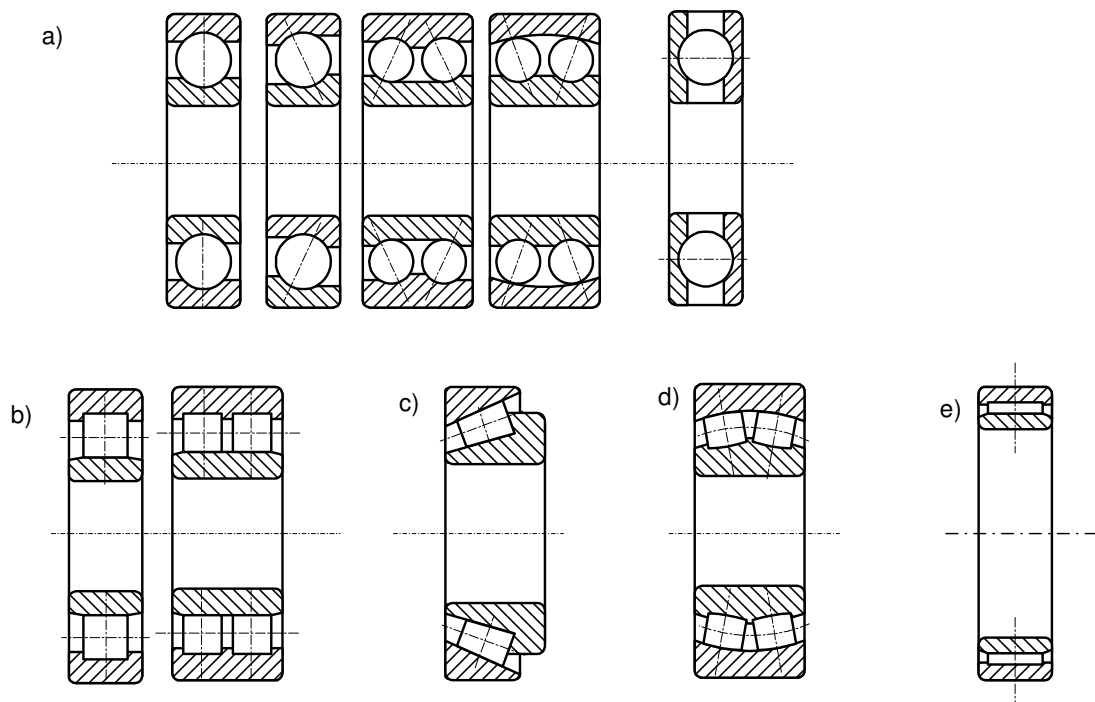
Nedostaci valjnih ležajeva su:

- osjetljivost na udarna opterećenja
- bučan rad u usporedbi s kliznim ležajima
- relativno visoka cijena u usporedbi s kliznim ležajima

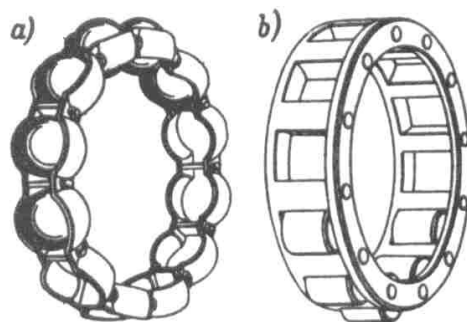
Prema obliku valjnih tijela, ležaji se dijele na:

- kuglične (sl. 5.4.66 a)
- valjkaste (sl. 5.4.66 b)
- stožaste (sl. 5.4.66 c)
- bačvaste (sl. 5.4.66 d)
- igličaste (sl. 5.4.66 e)

Uz valjna tijela u ležaju se nalazi i kavez koji drži valjna tijela na međusobno konstantnoj udaljenosti te sprječava međusoban dodir valjnih tijela (sl. 5.4.67).

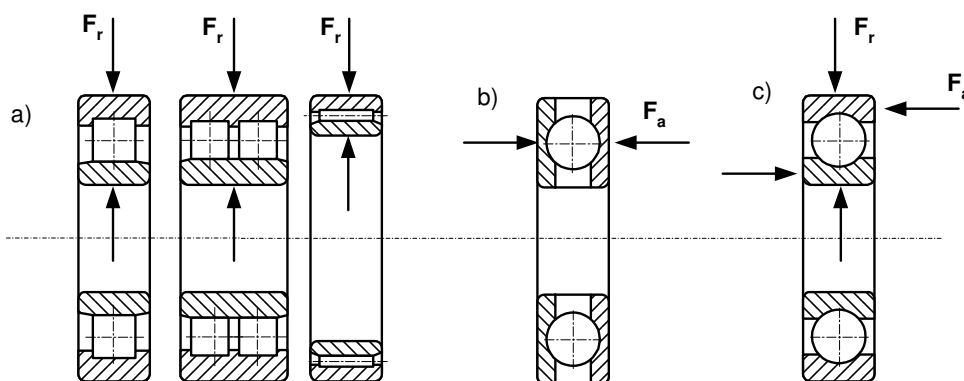


Slika 5.4.66 Izvedbe valjnih tijela

Slika 5.4.67 Kavez kugličnih i valjkastih ležaja[†]

Obzirom na sile koje ležaji preuzimaju na sebe, postoje:

- radijalni (sl. 5.4.68 a)
- aksijalni (sl. 5.4.68 b)
- utorni kuglični radijalni (preuzimaju i radijalne i aksijalne sile) (sl. 5.4.68 c)

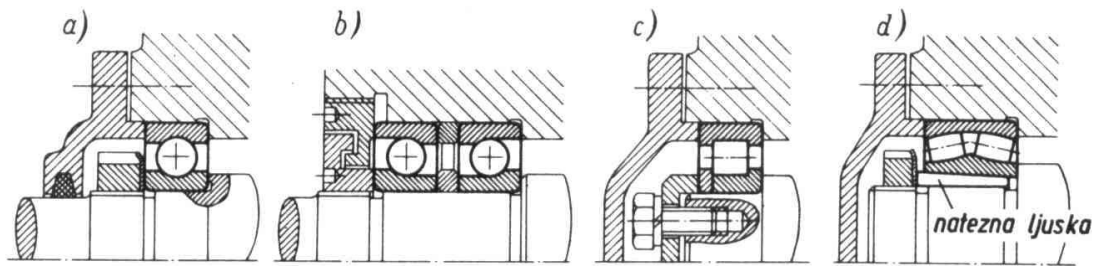
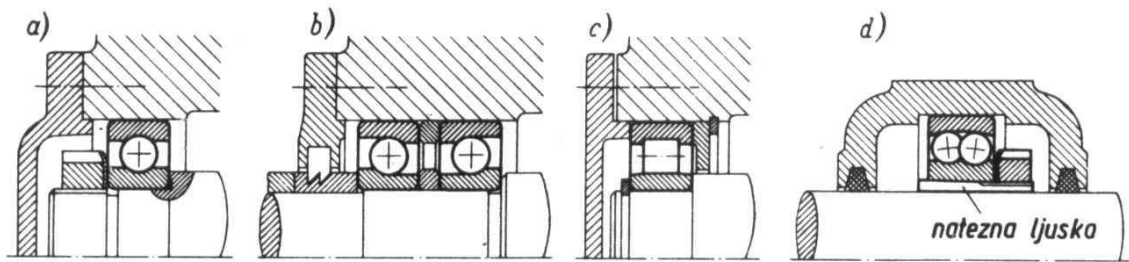


Slika 5.4.68 Radijalni, aksijalni i utorni kuglični ležaji

Valjkasti ležaji izvedu se isključivo za preuzimanje radijalnih opterećenja (sl. 5.4.66 a, sl. 5.4.68 a). Stožasti (konični) ležaj preuzima velike radijalne te jednosmjerne aksijalne sile (sl. 5.4.66 c). Bačvasti ležaj je samopodesiv čime se omogućava kompenzacija manjih kutnih odstupanja (sl. 5.4.66 d). Igličasti ležaji su malih dimenzija i preuzimaju velike radijalne sile, dok aksijalne sile ne mogu preuzimati (sl. 5.4.66 e, 5.4.68 a).

Ugradnja ležaja ovisi o tipu ležaja, opterećenju te obliku vratila i kućišta. Zbog učvršćenja vratila u uzdužnom smjeru, jedan se ležaj uvijek izvodi kao čvrsti ležaj (prenosi aksijalne i radijalne sile, sl. 5.4.69). Zbog omogućavanja aksijalnih dilatacija vratila uslijed temperaturnih promjena, drugi se ležaj obavezno izvodi kao slobodni ležaj (omogućava aksijalne pomake, sl. 5.4.70).

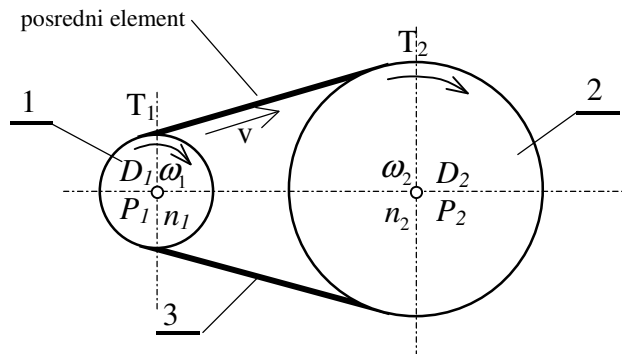
[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Slika 5.4.69 Primjeri oblikovanja čvrstih ležaja[†]Slika 5.4.70 Primjeri oblikovanja slobodnih ležaja[†]

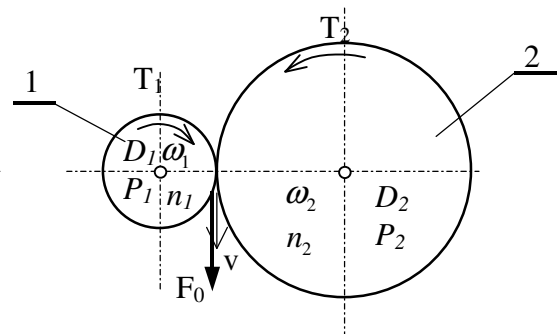
[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

5.5 Elementi za prijenos okretnog gibanja

Namjena elemenata za prijenos okretnog gibanja je prijenos okretnog gibanja i energije od pogonskog do radnog stroja, pri čemu se najčešće mijenja kutna brzina i okretni moment. Prema načinu rada ovi elementi mogu biti posredni i neposredni. Npr. remenski prijenos (sl. 5.5.1) je posredni gdje remen predstavlja posredni element, dok je prijenos tarenicama (sl. 5.5.2) neposredni.



Slika 5.5.1 Remenski prijenos



Slika 5.5.2 Tarni prijenos

Osnovne veličine su:

- obodna brzina: $v = r \omega = \frac{D}{2} \frac{2\pi n}{60} = \frac{D\pi n}{60}$ [m/s]
- kutna brzina: ω [rad/s ili s⁻¹]
- brzina vrtnje: n [o/min ili min⁻¹]
- pošto se pri prijenosu redovito javljaju gubici snage, stupanj iskoristivosti je definiran kao

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} < 1 \quad (5.5.1)$$

- okretni moment i obodna sila

$$T_1 = \frac{P_1}{\omega_1} \quad [Nm] \quad T_2 = \frac{P_2}{\omega_2} \quad [Nm] \quad (5.5.2)$$

$$F_{01} = \frac{2T_1}{D_1} \quad [N] \quad F_{02} = \frac{2T_2}{D_2} \quad [N] \quad (5.5.3)$$

- prijenosni omjer

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{T_2}{\eta T_1} \quad (5.5.4)$$

gdje je z broj zubi pogonskog zupčanika 1, odnosno gonjenog zupčanika 2.

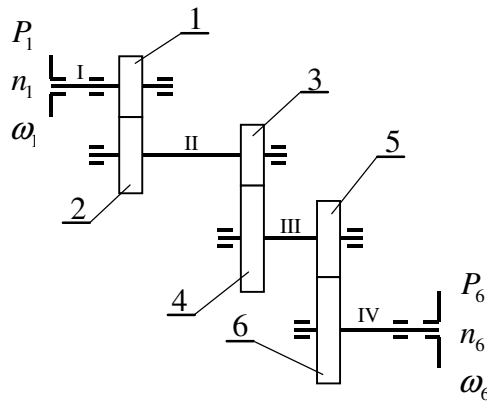
Ukoliko se brzina vrtnje povećava, tj. multiplicira, dakle $n_2 > n_1$, prijenosnici se zovu multiplikatori. Ukoliko se brzina smanjuje, dakle $n_2 < n_1$, prijenosnici se zovu reduktori. Ukoliko je brzina kontinuirano promjenljiva, $n_2 = f(n_1)$, riječ je o varijatorima.

Prijenosni omjer može biti složen iz više stupnjeva, kao što je prikazano slikom 5.5.3. Ukupni prijenosni omjer se računa prema

$$i = \frac{n_1}{n_6} = \frac{n_I}{n_{IV}} = \frac{n_1}{n_2} \frac{n_3}{n_4} \frac{n_5}{n_6} = i_1 i_2 i_3, \quad (5.5.5),$$

pri tom, obzirom da se radi o zupčanicima na istim vratilima, brojevi okretaja vrtila II su $n_{II} = n_2 = n_3$ te brojevi okretaja vrtila III su $n_{III} = n_4 = n_5$. Ukupni stupanj iskorištenja je

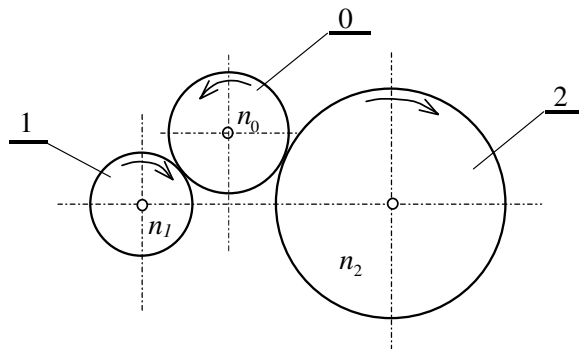
$$\eta = \frac{P_{IV}}{P_I} = \frac{P_2}{P_1} \frac{P_4}{P_3} \frac{P_6}{P_5} = \eta_1 \eta_2 \eta_3. \quad (5.5.6)$$



Slika 5.5.3 Stupnjevani prijenos

Kod neposrednih prijenosnika smjer okretanja kola je suprotan (ukoliko se ne radi o kombinaciji unutarnjeg i vanjskog ozubljenja), dok je kod posrednih prijenosnika (ukoliko se ne radi o križanim remenima) i neposrednih sa umetnutim prijenosnikom, istog smjera. Umetnuti prijenosnik (zupčanik ili tarenica), osim što mijenja smjer vrtnje, ne utječe na prijenosni omjer (sl. 5.5.4)

$$i = i_1 i_2 = \frac{n_1}{n_0} \frac{n_0}{n_2} = \frac{n_1}{n_2}. \quad (5.5.7)$$



Slika 5.5.4 Mijenjanje smjera vrtnje međuelementom

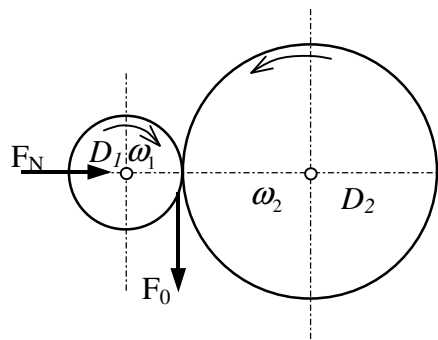
Prijenosnici energije na malim udaljenostima mogu biti mehanički, hidraulički i pneumatski, no u okviru ovog kolegija izučavaju se samo mehanički prijenosnici snage.

Prema konstrukcijskoj izvedbi razlikuju se:

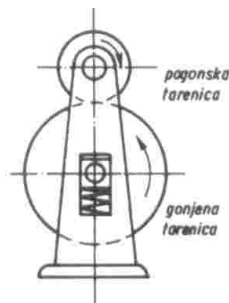
- tarni prijenosnici
- zupčasti prijenosnici
- remenski prijenosnici
- lančani prijenosnici

5.5.1 Tarni prijenosnici

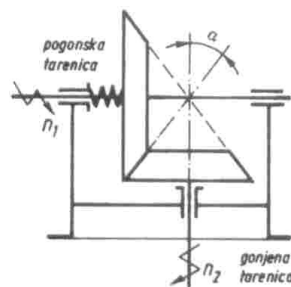
Tarni prijenosnik je najjednostavnije konstrukcije te se sastoji od dva tarna kola koja prenose okretno gibanje putem sile trenja na njihovim dodirnim površinama (sl. 5.5.5). Prema obliku tarenica razlikuju se cilindrične (sl. 5.5.6) i konične (slika 5.5.7) tarenice.



Slika 5.5.5 Osnovni princip rada tarnih prijenosnika



Slika 5.5.6 Cilindrične tarenice[†]



Slika 5.5.7 Konične tarenice[†]

Prednosti tarenica su:

- omogućavaju vrlo jednostavne izvedbe varijatora (sl. 5.5.8)
- omogućavaju ravnomjerno okretanje i bežuman rad
- vrlo su jednostavne konstrukcije i samim time jeftine
- sigurne su od loma zbog mogućnosti proklizavanja pri preopterećenju

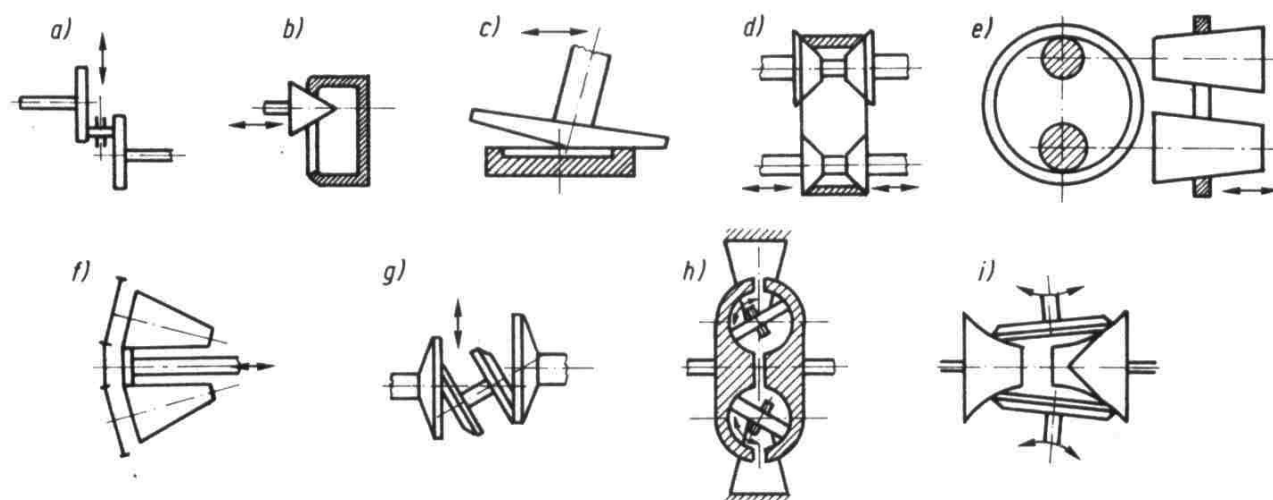
[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Nedostaci tarenica su:

- brzo trošenje tarnih ploča
- zahtijevaju velike sile međusobnog pritiska kako bi se ostvarilo dovoljno veliko trenje
- loš stupanj iskorištenja, $\eta = 75 \div 95\%$
- zbog proklizavanja nestalan prijenosni omjer (proklizavanje iznosi $2 \div 5\%$)

Primjenjuju se za snage do $P=20$ kW, obodne brzine do $v=10$ m/s te prijenosne omjere do $i=6$.

Materijali za izradu tarnih kola moraju biti otporni na trošenje, velike čvrstoće, velikog koeficijenta trenja te velikih modula elastičnosti. Materijali koje se koriste su: čelici, sivi lijev, azbest, tekstolit, plastične mase i guma. Tarenice se najčešće izvedu u kombinaciji različitih materijala.



Slika 5.5.8 Razne izvedbe tarenica sa varijabilnim prijenosom (varijatori)[†]

Proračun cilindričnih tarnih prijenosnika:

Trenje na tarenicama mora biti dovoljno veliko kako bi osiguralo prenošenje okretnog momenta. Kako ne bi došlo do proklizavanja potrebno je da obodna sila F_o (sl. 5.5.5) bude manja od sile trenja $F_T = \mu F_N$, dakle $F_o \leq \mu F_N$. Normalna sila koju je potrebno ostvariti, mora biti dovoljno velika jer upravo ona uvjetuje trenje te je

$$F_N \geq \frac{F_o}{\mu}. \quad (5.5.8)$$

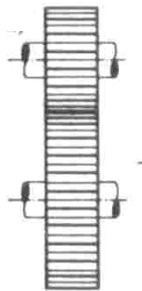
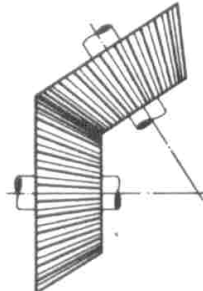
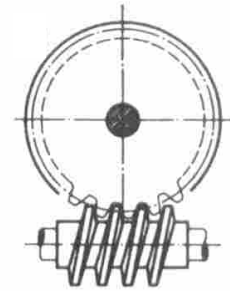
Pri konstruiranju tarenica, radi opterećenja ležaji, potrebno je težiti izvedbi sa čim manjim normalnim silama F_N . Kako bi se i tada ostvarilo dovoljno veliko trenje, koeficijent trenja μ mora biti čim veći, a to se postiže pravilnim odabirom materijala tarenica.

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

5.5.2 Zupčanici

Zupčanički prijenosnik u najjednostavnijoj izvedbi sačinjavaju dva spregnuta zupčanika (zupčanici u zahvatu) koji po obodu imaju ravnomjerno raspoređene zube. Okretno gibanje prenosi se oblikom te nema proklizavanja jednog zupčanika u odnosu na drugi. Zupčanici kojima se prenosi okretno gibanje mogu biti izvedeni s:

- paralelnim vratilima (čelnici)
- vratilima koja se sijeku pod kutom (najčešće 90°) (stožnici)
- vratilima koja se mimoilaze (pužnici)

Slika 5.5.9 Čelnici[†]Slika 5.5.10 Stožnici[†]Slika 5.5.11 Pužnici[†]

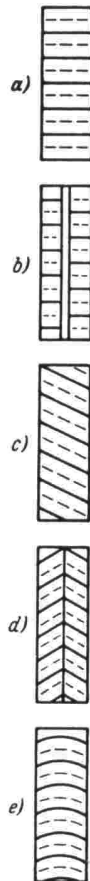
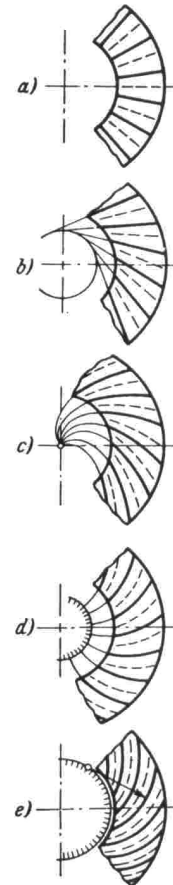
Zubi kod čelnika se izvode kao:

- ravni (sl.5.5.12 a)
- pomaknuti (sl.5.5.12 b)
- kosi (sl.5.5.12 c)
- strelasti (sl.5.5.12 d)
- lučni (sl.5.5.12 e)

Zubi kod stožnika se izvode kao:

- ravni (sl.5.5.13 a)
- kosi (sl.5.5.13 b)
- spiralni (sl.5.5.13 c)
- evolventni (sl.5.5.13 d)
- lučni (sl.5.5.13 e)

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Slika 5.5.12 Izvedbe zubi kod čelnika[†]Slika 5.5.13 Izvedbe zubi kod stožnika[†]**Materijali za izradu zupčanika:**

Osnovi zahtjev prema materijalu iz kojeg će biti izrađeni zupčanici je podnošenje velikih opterećenje uz malo habanje. Materijali pogodni za izradu zupčanika su:

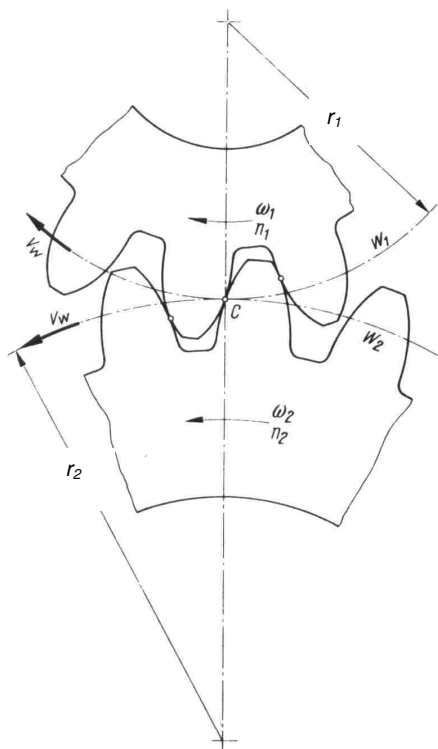
- legirani i termički obrađeni čelici
- niskolegirani termički obrađeni čelici za manja opterećenja
- sivi lijev za mala opterećenja
- čelični lijev za mala opterećenja
- mesing i Al-bronce za zupčanike manjih dimenzija
- plastične mase za mala opterećenja
- kombinacije različitih materijala u sprezi

Osnovne karakteristike ozubljenja:

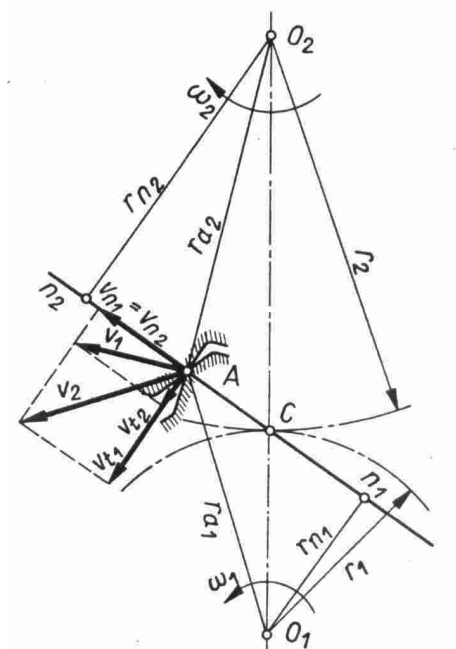
Radi osiguravanja konstantnog prijenosnog omjera potrebno je da bokovi zubi budu tako izrađeni da osiguravaju stalan zahvat između dva zupčanika. Zupčanici se mogu promatrati kao dva glatka cilindra (cilindrične tarenice) koji se valjaju bez klizanja. Ti glatki cilindri po kojima se vrši valjanje predstavljaju kinematske cilindre na kojima su ustvari naneseni zubi (sl. 5.5.14). Površine valjanja ovih zamišljenih cilindara definirane su kinematskim kružnicama r_1 i r_2 . Dvije kinematske kružnice se međusobno dodiruju u kinematskom polu C . Profil zuba treba

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

zadovoljavati osnovni zakon ozubljenja koji traži da normala u trenutnoj točki dodira dvaju bokova prolazi kroz kinematski pol C (sl. 5.5.15).



Slika 5.5.14 Kinematske kružnice i kinematski pol (točka dodira) $C^\dagger$

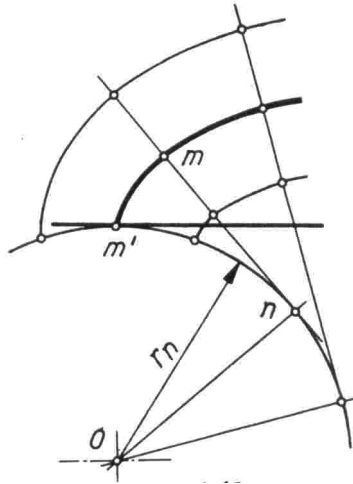
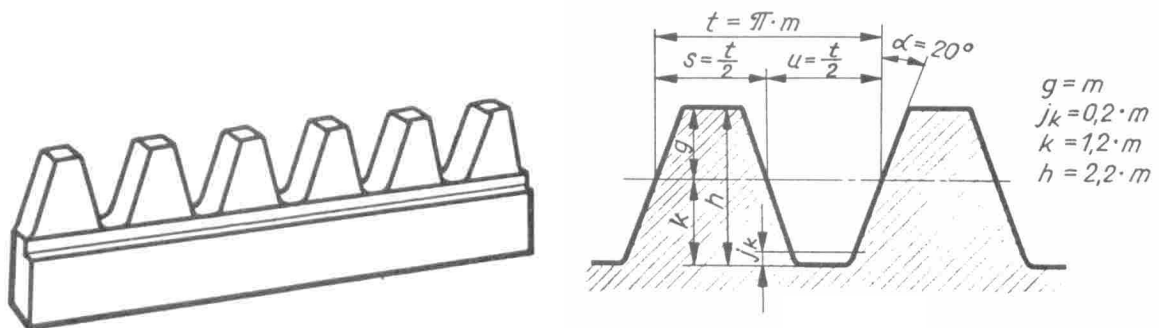
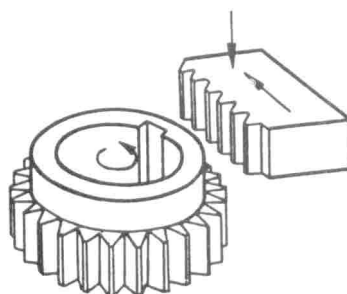


Slika 5.5.15 Zakon ozubljenja[‡]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

[‡] Skenirani crtež: V. Hrgešić i J. Baldani, *Mehaničke konstrukcije*, Sveučilište u Zagrebu, Elektrotehnički Fakultet, Zagreb, 1990.

Za izradu profila zuba koriste se krivulje koje zadovoljavaju osnovni zakon ozubljenja. Od krivulja najčešće se koriste evolventa i cikloida pa se obzirom na to i razlikuje evolventno i cikloidno ozubljenje. Cikloida nastaje kotrljanjem kružnice po kružnici. Takva ozubljenja znatno su skuplja za izradu i rjeđe se koriste. Evolventa nastaje odvaljivanjem (kotrljanjem) pravca po kružnici (sl. 5.5.16). Pri proizvodnji evolventnih zupčanika koristi se ozubljen letva (sl. 5.5.17) s jednostavnim trapeznim zubima. U proizvodnji najpreciznijih zupčanika primjenjuje se odvalni postupak gdje se zubi izrezuju prolascima ozubljene letve uz sinkronizirano okretanje zupčanika i pomicanje ozubljene letve (sl. 5.5.18). Uz ovakvu obradu, za potrebe masovne proizvodnje zupčanici se sve češće izrađuju kovanjem kod kojeg često nije ni potrebna naknadna obrada površine zuba.

Slika 5.5.16 Evolventa[‡]Slika 5.5.17 Ozubljen letva[‡]Slika 5.5.18 Odvalni postupak izrade evolventnog zupčanika[‡]

[‡] Skenirani crtež: V. Hrgešić i J. Baldani, *Mehaničke konstrukcije*, Sveučilište u Zagrebu, Elektrotehnički Fakultet, Zagreb, 1990.

Osnovne mjere zubi i zupčanika:

Zbog jednostavnosti razmatranje će biti ograničit samo na čelnike.

Sprezanje (zahvat) zupčanika moguć je samo ako zubi oba zupčanika imaju jednake osnovne mjere. Kombinacijom različitih brojeva zubi z postižu se različiti prijenosni omjeri

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1}. \quad (5.5.9)$$

Korak zuba t je lučni razmak točaka presjeka okruglog profila dva susjedna zuba, gdje se luk definira na kinematskoj kružnici D_1 (za zupčanik 1), odnosno D_2 (za zupčanik 2), dakle vrijedi

$$t = \frac{D\pi}{z} = \frac{D_1\pi}{z_1} = \frac{D_2\pi}{z_2}. \quad (5.5.10)$$

Za slučaj zubne letve (kinematska kružnica je pravac) korak t prikazuje slika 5.5.17. U cilju jednostavnijeg definiranja koraka zuba i pojednostavljenja izraza za proračun uvodi se modul zuba definiran kao

$$m = \frac{t}{\pi}. \quad (5.5.11)$$

Širina zuba s definira se kao polovina koraka (sl. 5.5.17 za slučaj ozubljenog letve)

$$s = \frac{t}{2} = \frac{m\pi}{2}. \quad (5.5.12)$$

Kut dodirnice (tangente u dodirnoj točki) je kod evolventnog ozubljenja $\alpha = 20^\circ$ (sl. 5.5.21 te za slučaj ozubljenog letve sl. 5.5.17).

Visina zuba je (sl. 5.5.19 te za slučaj ozubljenog letve sl. 5.5.17)

$$h = k + g, \quad (5.5.13)$$

gdje se za k i g uzima

$$g = m, \quad (5.5.14)$$

$$k = 1,2 m \quad (5.5.15)$$

te slijedi visina zuba izražena preko modula

$$h = 2,2 m. \quad (5.5.16)$$

Diobeni promjer je

$$D_0 = m z, \quad (5.5.17)$$

a za nekorrigirano ozubljenje vrijedi da je to ujedno i kinematski promjer $D = D_0$. Zupčanici za koje vrijedi da je $D = D_o$ nazivaju se nultim zupčanicima. Ukoliko se izvodi pomak profila zubi, ta ozubljenja se nazivaju "V-ozubljenja", no to neće biti obrađivano u ovom poglavlju, a više detalja o tome može se pronaći u navedenoj literaturi (Decker [1980], Hergešić-Baldani [1990]). Tjemeni promjer zuba (najveći promjer kod vanjskog ozubljenja) je (sl. 5.5.19)

$$D_g = D_o + 2m, \quad (5.5.18)$$

dok je podnožni (korjenski) promjer,

$$D_k = D_o - 2,4m. \quad (5.5.19)$$

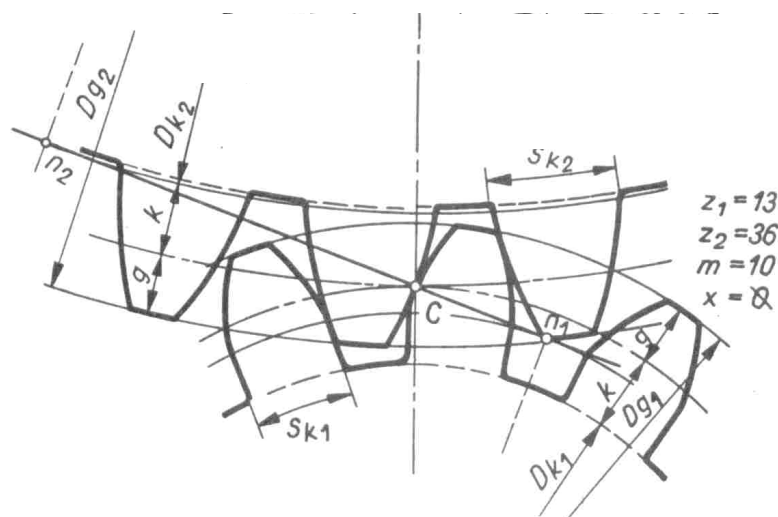
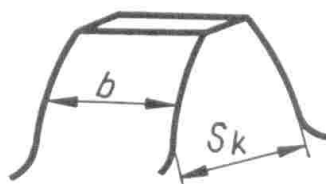
Širina zupčanika (sl. 5.5. 20) je

$$b = \psi m, \quad (5.5.20)$$

gdje se faktor ψ kreće u rasponu $\psi = 6 \div 100$.

Osni razmak zupčanika je

$$a = \frac{D_1 + D_2}{2} = m \frac{z_1 + z_2}{2} = D_1 \frac{i+1}{2}. \quad (5.5.21)$$

Slika 5.5.19 Osnovne mjere evolventnih zupčanika[‡]Slika 5.5.20 Širina zupčanika[‡]

Ovdje navedene mjere predstavljaju najosnovije mjere nultih evolventnih čelnika. Više o ozubljenjima može se pronaći u literaturi Decker [1980], DIN, Hergešić-Baldani [1990] i dr.

Rad zupčanika je moguće ostvariti samo ako je spregnuti par zubi u zahvatu i u trenutku kada slijedeći par zubi ulazi u zahvat. To znači da dužina dodirnog luka mora biti veća od koraka t , odnosno stupanj prekrivanja mora biti veći od 1. Stupanj prekrivanja se definira kao odnos između putanje zahvata i koraka zahvata t .

Ukoliko je broj zubi manjeg zupčanika premali, dolazi do dodirivanja vrha zuba većeg zupčanika sa korijenom spregnutog manjeg zupčanika. Ova pojava se naziva podrezivanje. Podrezanost se može smanjiti povećanjem broja zubi manjeg zupčanika što se izvodi odmicanjem središta manjeg zupčanika prema vani. Kod nultog evolventnog ozubljenja granični broj zubi iznosi

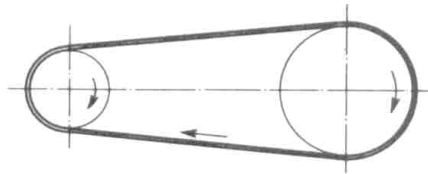
$$z_g = \frac{2}{\sin^2 \alpha}, \quad (5.5.22)$$

te je za slučaj kada je $\alpha = 20^\circ$, granični broj zubi je $z_g = 17$. Kod zupčanika, obzirom da nije štetna, tolerira se i mala podrezanost zuba pa se onda uzima da je granični broj zubi $z_g = 14$.

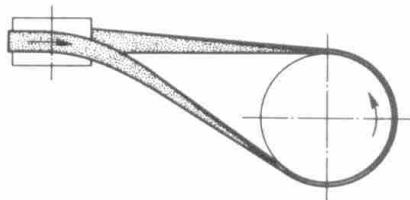
[‡] Skenirani crtež: V. Hrgešić i J. Baldani, *Mehaničke konstrukcije*, Sveučilište u Zagrebu, Elektrotehnički Fakultet, Zagreb, 1990.

5.5.3 Remenski prijenos

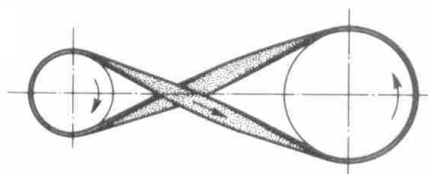
Remenskim prijenosom se, poput tarnog, okretni moment prenosi silama trenja do kojih dolazi radi prednatezanja remena. Remenice su međusobno razmaknute te je remenskim prijenosom moguće savladavati i veće udaljenosti između pogonskog i gonjenog vratila nego što je to bio slučaj kod tarenica i zupčanika. Remenskim se prijenosom može prenositi okretni moment na paralelnim (sl. 5.5.21) i mimosmjernim vratilima (sl. 5.5.22). Smjer okretanja pogonske i gonjene remenice je isti, a moguća je i promjena smjera vrtnje križanjem remena (sl. 5.5.23). Osnovni elementi remenskog prijenosa su remen te pogonska i gonjena remenica. Za povećanje obuhvatnog kuta, o kojem u velikoj mjeri ovisi koliki se okretni moment može prenijeti te za povećanje sile prednatezanja, koristi se zatezna remenica (sl. 5.5.24).



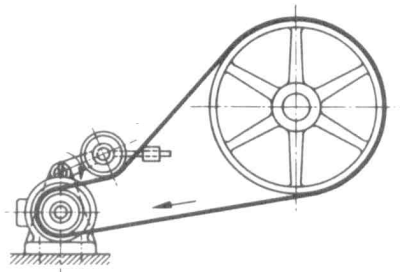
Slika 5.5.21 Paralelna vratila (otvoreni prijenos)[†]



Slika 5.5.22 Mimosmjerna vratila (polukrižni prijenos)[†]



Slika 5.5.23 Promjena smjera vrtnje (križni prijenos)[†]



Slika 5.5.24 Zatezna remenica[†]

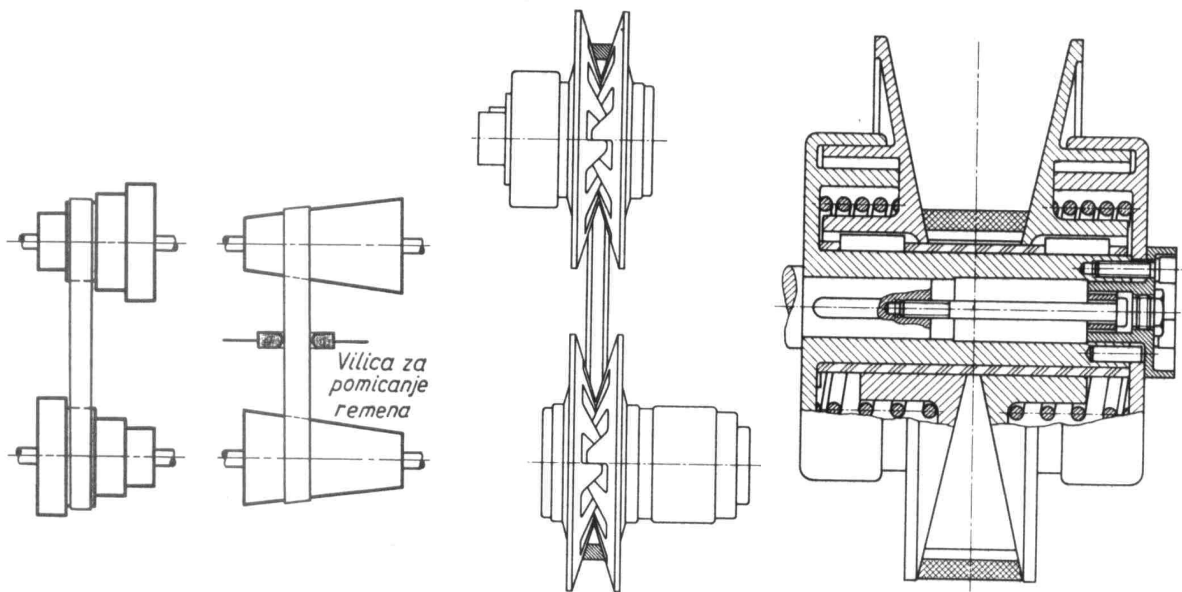
[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Osnovne prednosti remenskog prijenosa su:

- tihi rad
- dobro podnošenje udarnih opterećenja (moguće proklizavanje)
- vrlo jednostavna i jeftina izvedba
- smjer gibanja može biti isti ili protusmjern
- lako se isključuju iz rada (skidanjem remena)
- proklizavanje sprječava lom
- mogućnost jednostavne promjene prijenosnog omjera (varijatori, sl. 5.5.25)

Nedostaci remenskog prijenosa su:

- velikih su dimenzija (zupčanci su znatno manjih dimenzija)
- veliko opterećenje na ležajima (radi ostvarivanja potrebnih sila trenja)
- kod remena nastaju trajne deformacije te ih je potrebno povremeno mijenjati
- faktor trenja μ nije konstantan
- ne može se koristiti kod manjih osnih razmaka (premali obuhvatni kut)



Slika 5.5.25 Variranje prijenosnog omjera^{‡†}

Postoje tri osnovna tipa remenskog prijenosa:

- prijenos plosnatim remenom
- prijenos klinastim remenom
- prijenos zupčastim remenom

[‡] Skenirani crtež: V. Hrgešić i J. Baldani, *Mehaničke konstrukcije*, Sveučilište u Zagrebu, Elektrotehnički Fakultet, Zagreb, 1990.

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Prijenos plosnatim remenom:

Promotri li se sile koje djeluju na pogonsku remenicu (sl. 5.5.26), veličina sile koju remenica može prenijeti ovisi o obuhvatnom kutu α_1 te o koeficijentu trenja μ . Isto vrijedi za gonjenu remenicu. Zamisli li se remenica kao nepokretan cilindar preko kojeg se prevlači plosnati remen (sl. 5.5.27), pri čemu je $F_1 > F_2$, odnos među ovim silama definiran je Eulerovom jednadžbom

$$F_1 = F_2 e^{\mu \tilde{\alpha}}, \quad (5.5.23)$$

gdje je e baza prirodnog logaritma, $e = 2,71828\dots$. Razlika među ovim silama je sila trenja F_T koja predstavlja obodnu silu koju remen može prenijeti. Zbog razlika u silama remen se različito deformira pa to neprestano produljivanje (uslijed vlačne sile) i skraćivanje remena rezultira u puzanju koje iznosi $1 \div 2\%$, što se u proračunu uglavnom može zanemariti. Kako ne bi zbog ovog puzanja došlo do prekomjernog trošenja remena, površina remenice se izvodi sa čim manjom hrapavošću. Sila koja djeluje na vratilo nastaje uslijed djelovanja sile F_1 i F_2 te predstavlja njihovu rezultantu pa se vektorski može zapisati (sl. 5.5.28)

$$\mathbf{F}_v = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2, \quad (5.5.24)$$

odnosno iz kosinusovog poučka slijedi iznos sile na vratilo

$$F_v = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2 \cos \alpha_1}. \quad (5.5.25)$$

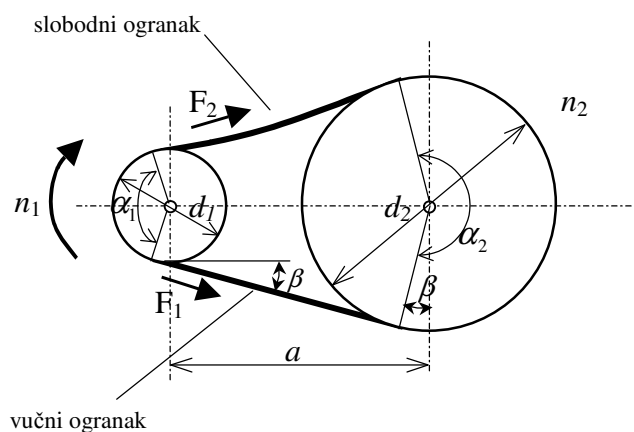
Iz ovih jednadžbi vidljivo je da obodna sila koju remen može prenijeti ovisi o sili prednatezanja remena, a to je upravo ova sila na vratilu, te o obuhvatnom kutu. Kako bi se povećao obuhvatni kut kod manje remenice, remenica treba biti smještena čim dalje od gonjene remenice ili se pak mogu uvesti zatezne remenice (sl. 5.5.24). Veliki razmak među horizontalnim remenicama ima za posljedicu da sama težina remena djeluje prednatezajuće. Centrifugalne sile koje se pri rotaciji javljaju djeluju na način da dolazi do međusobnog razmicanja remena koji nastoji zadobiti kružni oblik te samim time povećava sile u remenu i djeluje samozatezno. Iz ovog razloga često remen koji pri pokretanju proklizava, pri radnom broju okretaja neće više proklizavati. Na obodnu silu utječe i faktor trenja koji ovisi o:

- sparivanju različitih materijala
- kvaliteti površine remena i remenice
- obodnoj brzini remenice
- temperaturi i vlažnosti

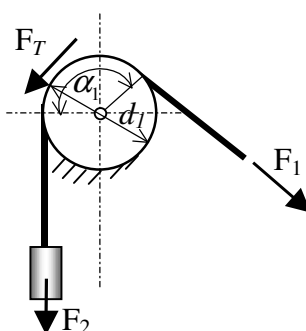
Teorijski prijenosni omjer remenskog prijenosa je

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}. \quad (5.5.26)$$

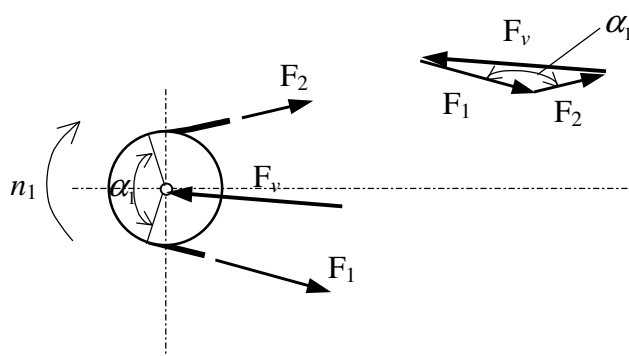
Realni omjer je nešto manji od teorijskog iz razloga što je kod remena uvijek prisutno klizanje.



5.5.26 Geometrijske karakteristike remenskog prijenosa

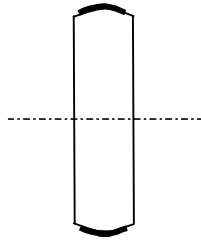


Slika 5.5.27 Odnos među silama na remenici



Slika 5.5.28 Sile na vratilu

Aksijalno vođenje plosnatog remena na remenici ostvaruje se time što se jedna od remenica izvodi zaobljena (bombirana). Ovakva remenica "tjera" remen prema njegovom najvećem promjeru i osigurava vođenje (sl. 5.5.29). Za osiguravanje vođenja dovoljna je jedna ovakva remenica pa se druga remenica izvodi cilindrično.



Slika 5.5.29 Vođenje remena zaobljenom remenicom

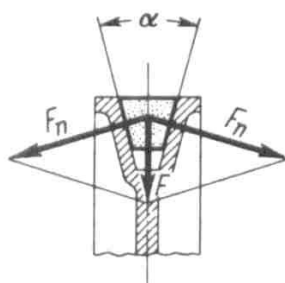
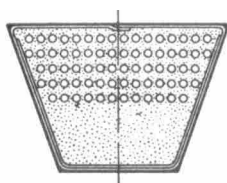
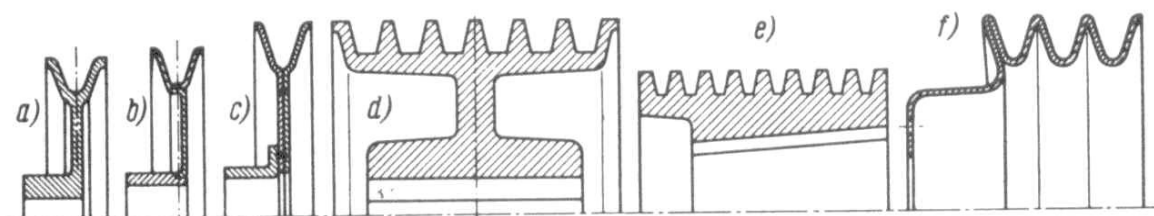
Zahtjevi na materijal remena su: veliki koeficijent trenja, velika čvrstoća na kidanje, velika elastičnost s malom trajnom deformacijom, velika dinamička izdržljivost (radi učestalog savijanja), neosjetljivost na atmosferske utjecaje i ulja te eventualno i kemikalije.

Materijali iz kojih se izvode plosnati remeni su:

- koža: najveći koeficijent trenja. Za izradu se koristi goveđa koža s hrpta (leđa) koja se štavi biljnim štavilima ili kromovom soli kao štavilom. Koža i danas predstavlja jedan od najčešćih materijala za izradu plosnatih remena.
- tkanine: organskog (pamuk, svila, celulozna vuna, konoplja i životinjske dlake) i sintetičnog porijekla (umjetna svila, najlon i perlon). Prednost ovakvih remena nad kožnim je što ih se može tkati kao beskonačne te nisu potrebne spajalice, no dosta su osjetljivi pa se po rubovima lako habaju. Slojevi tkanine se međusobno lijepe ili vulkaniziraju.
- umjetne mase: poliamidi, najlon i perlon. Najčešće se koristi najlon u kombinaciji s gumom ili kožom te se postižu dobra nosiva svojstva, a sloj kože osigurava dobra tribološka svojstva.

Prijenos klinastim remenom:

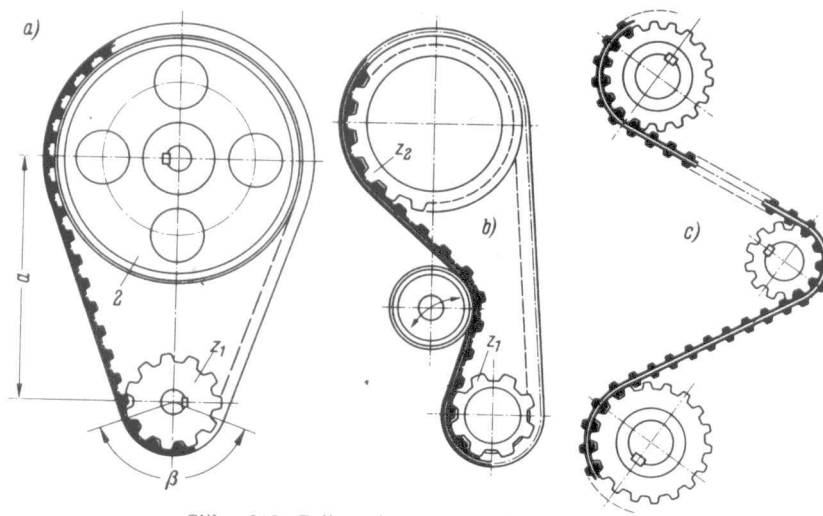
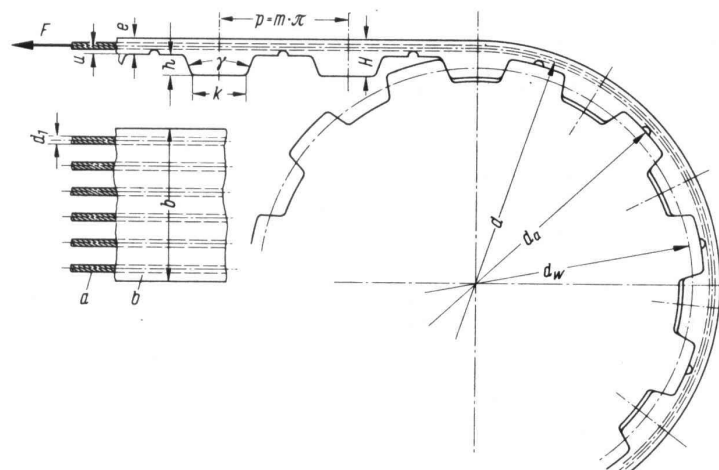
Plosnate remene su danas skoro u potpunosti potisnuli klinasti remeni. Osnovna prednost ovakvih remena je što zbog djelovanja klina (sl. 5.5.30) ovakvi remeni prenose otprilike trostruko veću obodnu silu od one kod plosnatih remena. Samim time sile na vratila remenica su manje. Puzanje im je zanemarivo. Zbog velike obodne sile mogući su puno manji osni razmaci, odnosno manji obuhvatni kutovi te samim time i manje dimenzije prijenosnika. Zbog male širine remena moguće je kod velikih okretnih momenata postaviti nekoliko remena paralelno. Kutovi profila klina su približno $\alpha \approx 36^\circ$ (sl. 5.5.30). Manji kut djelovao bi na remen samokočno te izazvao veliko habanje remena. Klinasto remenje se izvodi uglavnom kao beskonačno (postoje i konačne izvedbe). Materijal remena je guma s upletenim tekstilnim nitima (sl. 5.5.31). Remenice se izvode s jednim ili više utora te kao lijevane, lemljene i točkasto zavarene (sl. 5.5.32). Kod remenskog prijenosa klinastim remenom bitno je da remen ne dodiruje svojim dnom remenicu jer se time onemogućava uklinjenje remena u remenici. Kada uslijed trošenja remena dođe do oslanjanja, remen je potrebno zamijeniti novim. Veličina (profil) remena bira se iz tablice gdje su navedene vrijednosti u ovisnosti o obodnoj sili i brzini vrtnje.

Slika 5.5.30 Djelovanje sila na klinastom remenu[†]Slika 5.5.31 Presjek beskonačnog klinastog remena[†]Slika 5.5.32 Izvedbe klinastih remenica[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Prijenos zupčastim remenom:

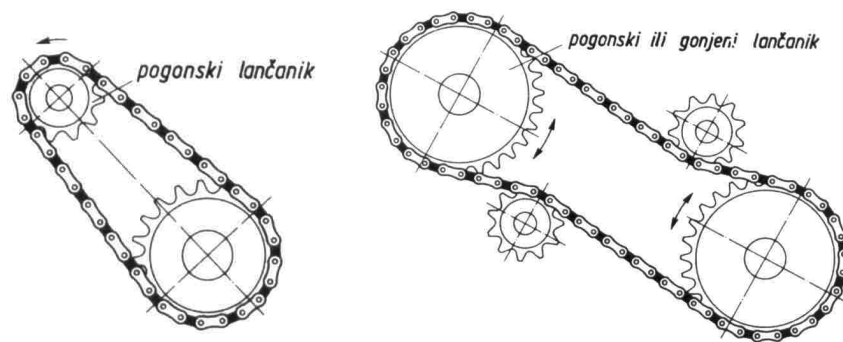
Zupčasti remeni, u spregu s ozubljenom remenicom, prenose okretni moment oblikom (sl. 5.5.33). Vučnu silu preuzima čelično pletivo izrađeno iz beskonačnih prstena od žice (sl. 5.5.34) uloženu u plastičnu masu (neopren). Za velike prijenosne omjere $i \geq 3,5$ (veliki promjer veće remenice), zbog velikog obuhvatnog kuta, moguće su i izvedbe s glatkom većom remenicom (sl. 5.5.33 a). Plastična masa remena vrlo je otporna na trošenje, neosjetljiva na ulje, benzin, alkohol te ozon i sunčanu svjetlost. Sile prednatezanja su vrlo male u odnosu na ostale remenske prijenose. Ozubljene remenice se najčešće izrađuju u tlačnom lijevu. Aksijalno vođenje remena (sprječavanje ispadanja remena) osiguravaju bočni rubovi na remenici koji se postavljaju jednostrano, tako da jedan rub osigurava "vanjsku", a drugi "unutrašnju" stranu remena. Pošto ovakav prijenos prenosi silu oblikom, u izvedbi kada su obje remenice ozubljene, nema proklizavanja remena pa se ovakvim prijenosom često zamjenjuje znatno skuplji i bučniji lančani prijenos. I ovdje se veličina (profil) remena bira u ovisnosti o sili i brzini vrtnje remena.

Slika 5.5.33 Prijenosi sa zupčastim remenom[†]Slika 5.5.34 Zupčasti remen i ozubljeni remenica[†]

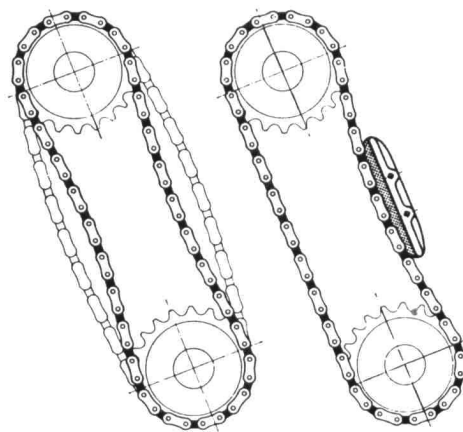
[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

5.5.4 Lančani prijenos

Lančanim prijenosom omogućava se prenošenje okretnog momenta oblikom. Lančani prijenos koristi se kada nije moguć remenski prijenos zbog: malog međuosovinskog razmaka, velikih obodnih sila te u situacijama kada je proklizavanje remena nedopustivo (npr. podizači ventila kod klipnih motora). Lančani prijenos ne zahtjeva nikakvo prednatezanje te su, za razliku od remenskog, vratila vrlo malo opterećena. Lančani prijenos je vrlo krut, nema ublažavanja udara, zahtjeva podmazivanje i bučniji je od remenskog. Lanci su znatno skuplji od remena i remenica. Pogonski lančanik treba po mogućnosti biti na gornjoj strani (sl. 5.5.35), jer bi u suprotnom zbog provjesa lanca moglo doći do slabog zahvata na pogonskom (vučnom) lančaniku. Okomiti položaj vratila lančanika (lančanici rotiraju u horizontalnoj ravnini) treba izbjegavati jer time dolazi do velikog trošenja lanca. Sami lanci se plastično deformiraju te je potrebno predvidjeti mogućnost zatezanja lanca. Lanci su izloženi vibracijama, što je naročito izraženo u slučaju kada postoje udarna opterećenja te je vibracije potrebno prigušiti prigušivačima titraja (sl. 5.5.36).



Slika 5.5.35 Smještaj pogonskog (vučnog) lančanika[†]

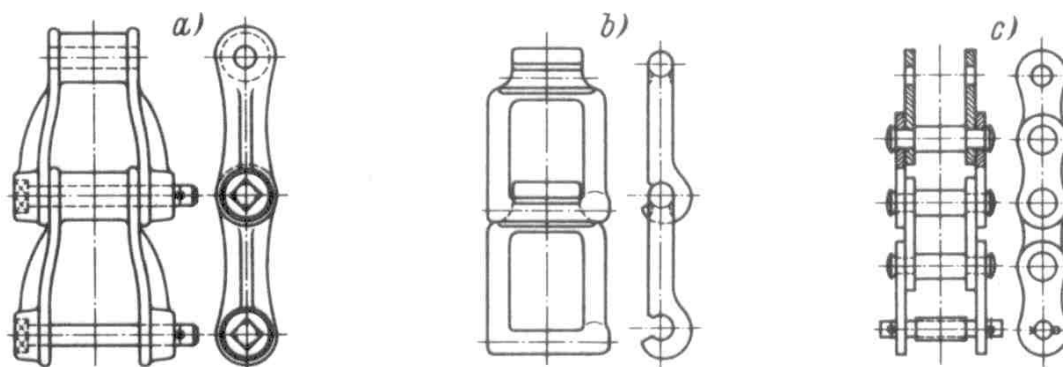


Slika 5.5.36 Vibracije lanca i prigušivači titraja[†]

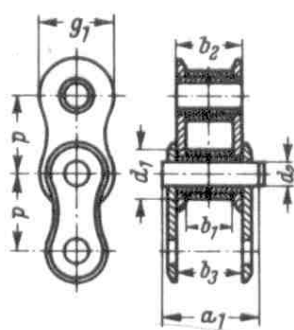
[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Postoje člankasti lanci, koji se koriste isključivo za dizanje tereta, te zglobni lanci gdje se razlikuju:

- lanci s čeličnim svornjacima: iz temper lijeva, koriste se kod poljoprivrednih strojeva i transportnih uređaja (sl. 5.5.37 a).
- rastavljivi zglobni lanci: iz temper lijeva, koriste se kod poljoprivrednih strojeva i transportnih uređaja (sl. 5.5.37 b).
- Gallov lanac: sastoji se iz lamela i svornjaka, nisu za veće brzine vrtnje, koriste se kod dizala (sl. 5.5.37 c).
- valjkasti lanci: unutarnje spojnice (lamelle) su naprešane na tuljke i okretljivo uložene na svornjake. Svornjaci su uprešani (spojeni) na vanjske lamelle. Ovime se između tuljka i svornjaka ostvaruje zglob. Tuljici na sebi imaju kaljene valjke preko kojih se lanac oslanja na lančanic. Ovi su lanci neosjetljivi na vanjske utjecaje, pogodni za sve vrste pogona pa se zato i najčešće koriste. Izvode se kao jednostruki, dvostruki i trostruki (sl. 5.5.38).
- valjci s tuljkom: od valjkastih se razlikuju po tome što nemaju kaljenje valjke, zbog čega imaju manju masu te su pogodni za veće brzine vrtnje. Osjetljivi su na vanjske utjecaje i habanje (sl. 5.5.39 a).
- Rotary lanci: imaju zakrivljene spojnice koje omogućavaju elastičan rad i proizvoljan broj članaka (sl. 5.5.39 b).
- Zupčasti lanci: pogodni za vrlo velike brzine te rade skoro nečujno. Skuplji su od ostalih lanaca (sl. 5.5.40).

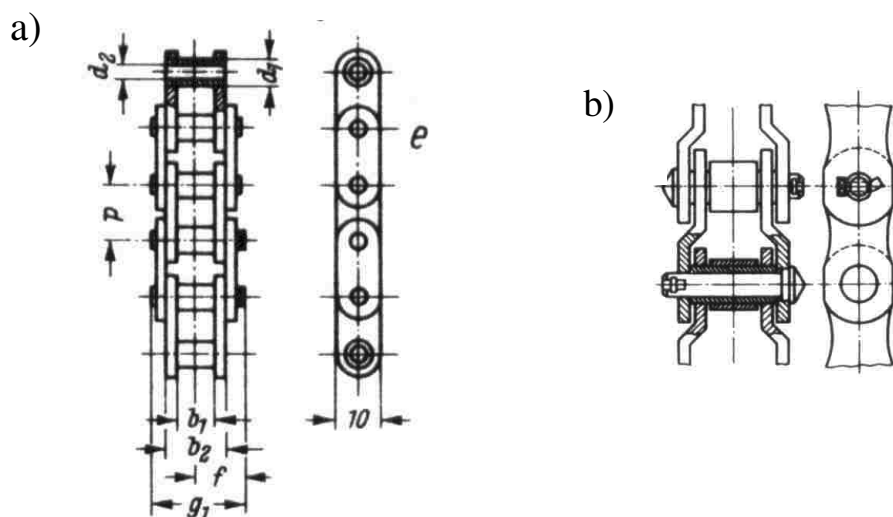
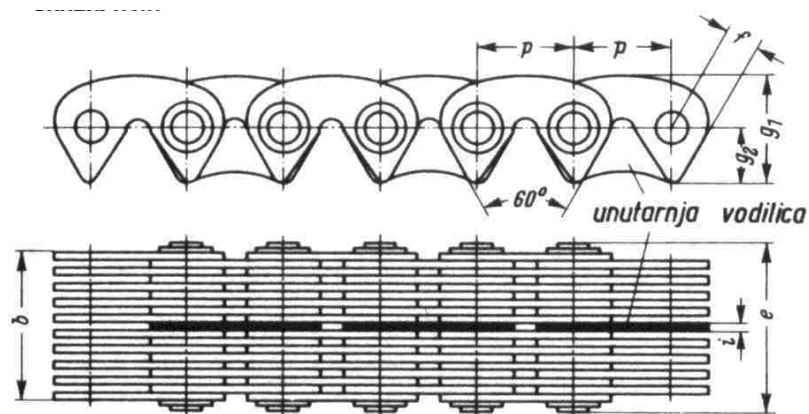


Slika 5.5.37 Lanci sa svornjacima, rastavljivi zglobni lanci i Gallovi lanci[†]



Slika 5.5.38 Valjkasti lanci[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Slika 5.5.39 Lanci s tuljkom i Rotary lanci[†]Slika 5.5.40 Zupčasti lanci[†]

Literatura

V, Hrgešić i J. Baldani, *Mehaničke Konstrukcije*, Sveučilište u Zagrebu, Elektrotehnički Fakultet, Zagreb, 1990.

K.-H. Decker, *Elementi strojeva*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

6. Elementi strojeva u kemijskoj tehnologiji

U ovom poglavlju bit će ukratko obrađeni neki od osnovnih strojarskih elemenata i konstrukcija koji se susreću u kemijskoj industriji. Tu prije svega spadaju elementi za transport cijevima i posude.

6.1 Elementi za transport cijevima

Cjevovodi se koriste za transport fluida (vodovodi, naftovodi, plinovodi), za transport tjestastih i sitnozrnatih krutih tvari te za osiguravanje tlaka u hidrauličkim strojevima (ulje ili komprimirani zrak). Cijevi se izrađuju iz svih vrsta materijala i okruglog su presjeka. Prema konstrukciji se razlikuju:

- jednostavni cjevovodi (gumeno ili plastično fleksibilno crijevo)
- složeni cjevovodi

Složeni cjevovodi se sastoje od:

- cijevi kao osnovnog elementa
- elemenata za spajanje i nastavljjanje
- elemenata za brtvljenje
- elemenata za promjenu pravca (koljena) i kompenzaciju dilatacija
- elemenata za regulaciju i zatvaranje protoka
- sigurnosnih elemenata
- instrumenata
- pratećih elemenata (npr. za odvajanje kondenzata, regulaciju tlaka i sl.)
- elemenata za oslanjanje cijevi

Osnove proračuna cjevovoda:

U proračunu cjevovoda određuje se potrebna debljina stjenke cijevi, gubici u cjevovodu, tlak i pad tlaka na određenim mjestima. Proračun se zasniva na usvojenim polaznim podacima poput protoka Q [m³/s], tlaka [Pa], dužine [m], sastava i rasporeda elemenata te njihovih karakteristika (npr. gubici u koljenima i ventilima).

6.1.1 Cijevi

Cijevi čine osnovni dio cjevovoda, pri čemu namjena diktira izbor materijala, način spajanja, način brtvljenja i sl.

Izbor materijala za izradu cijevi ovisi o mehaničkim svojstvima, temperaturi, kemijskoj agresivnosti medija i cijeni. Materijali koji se koriste za izradu cijevi su:

- sivi lijev: za vodu i plinove, najčešće SL15 koji se koristi za tlakove do 1,6 MPa.
- čelik: osnovni materijal za cijevi, koriste se ugljični čelici do 0,5%C (npr. Č.1212) i legirani čelici. Izrađuju se kao bešavne i šavne (zavarene) cijevi.

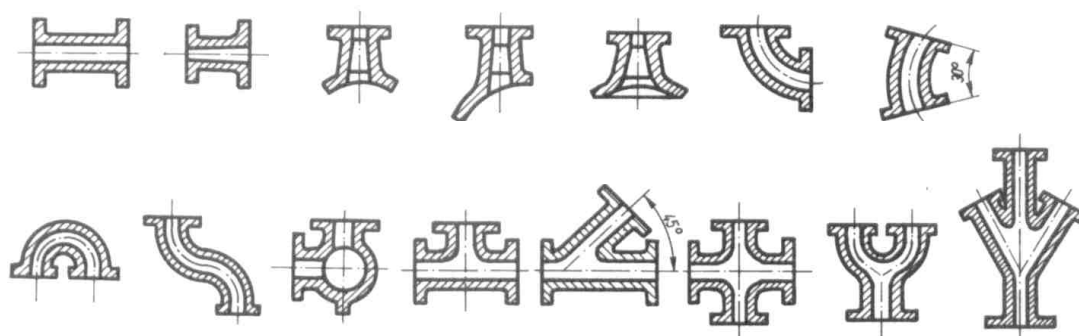
- bakar: koristi se kod izmjenjivača topline, uljnih vodova, u prehrambenoj industriji te kao pokositren u pivarstvu. Lako se oblikuju savijanjem, npr. Cu 99,5, Cu 99,75.
- mesing: primjena slična onoj kod bakrenih, teže se savijaju te su uz neodgovarajuću leguru podložne koroziji.
- olovo: lako se deformira i spaja, kemijski je vrlo postojano. Primjenjuju se u kemijskoj industriji i kućnim kanalizacijskim instalacijama.
- aluminij: zbog male mase koriste se u gradnji cestovnih vozila i avioindustriji. Koristi se kao zamjena bakrenih cijevi za medije koji reagiraju s bakrom.
- umjetni materijali: otporni prema kemikalijama, koriste se u kemijskoj industriji, prehrambenoj industriji te zgradarstvu. Čvrstoća cijevi ovisi o temperaturi. Lako se postavljaju i sve više zamjenjuju ostale materijale. Npr. PVC, polietilen, PTFE (teflon), pleksiglas, faolit, tekstolit i dr.

6.1.2 Fazonski cijevni dijelovi

Ravne cijevi, u odnosu na zakrivljene, račvaste, te promjene presjeka i fazonske cijevi, karakteriziraju:

- manji gubici strujanja i topline
- mali utrošak rada i materijala pri izradi
- veća pogonska sigurnost
- lakša montaža
- niski troškovi materijala i izrade

Kako bi se zadovoljile potrebe promjena smjera toka medija, račvanje toka, promjena presjeka i zatvaranje dijelova toka postoje posebni gotovi dijelovi koji omogućavaju zadovoljenje ovih potreba (sl. 6.1.1).



Slika 6.1.1 Najčešći fazonski cijevni dijelovi[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

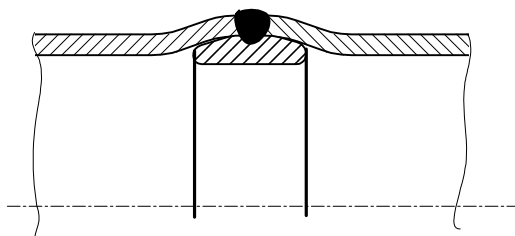
6.1.3 Cijevni spojevi

Cijevni spojevi omogućavaju spajanje niza cijevi u cjevovod, spajanje cijevi s aparatima, spajanje s armaturom, promjenu promjera i smjera cjevovoda, te zatvaranje cjevovoda. Postoje rastavljivi i nerastavljivi spojevi.

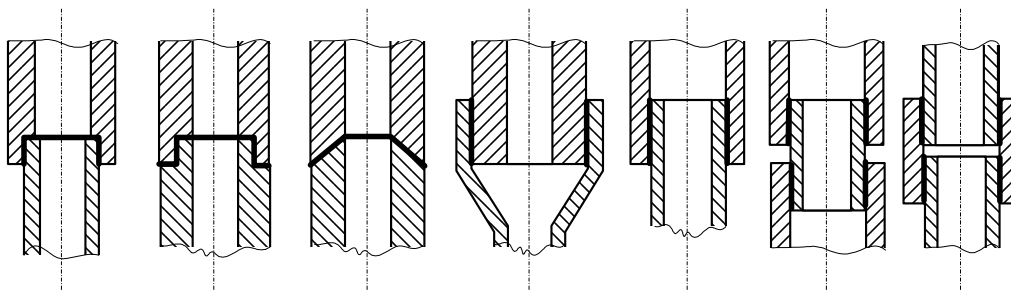
Nerastavljivi spojevi:

Nerastavljivo spajanje vrši se zavarivanjem, lemljenjem i lijepljenjem.

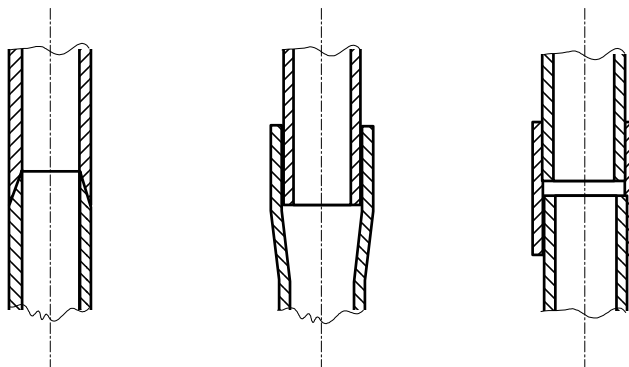
Zavarivanjem se izrade spojevi za najviše radne temperature i tlakove. Zavarivanjem se ostvaruje trajni nepropusni spoj čvrstoće kao i sama cijev. Zavarivanje se vrši autogenim, elektrolučnim i elektrotopnim postupkom. Pri zavarivanju, zbog osiguranja dobrog provara korijena, koriste se prstenasti ulošci koji osiguravaju i dobro centriranje cijevi (sl. 6.1.2). Pri lijepljenju i lemljenju (tvrdom i mekom), spojevi se izrade kao što je prikazano slikama 6.1.3 i 6.1.4.



Slika 6.1.2 Spajanje zavarivanjem te upotreba prstenastog uloška



Slika 6.1.3 Spajanje lijepljenjem



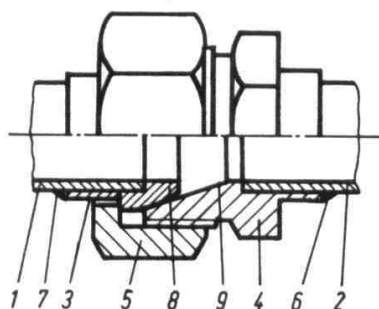
Slika 6.1.4 Spajanje lemljenjem

Rastavljivi spojevi:

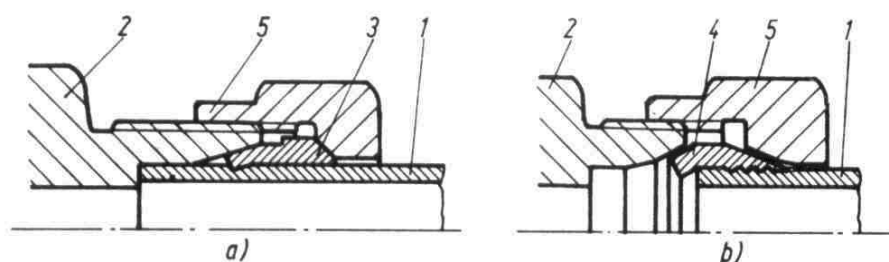
Kod rastavljivih spojeva razlikuje se:

- spajanje navojem
- spajanje kolčacima
- spajanje prirubnicama

Rastavljivi spojevi navojem koriste se kod manjih promjera (do 32 mm) i manjih tlakova (do 0,16 MPa). Ovakvi spojevi omogućavaju brzo i jednostavno spajanje uz male radijalne pomake. Moguće je spajanje dvaju krajeva cijevi na način prikazan slikom 6.1.5 te spajanje cijevi s priključkom na kućište (sl. 6.1.6) i spajanje cijevi s navojem izravno na kućište (sl. 6.1.7). Brtvljenje se kod ovakvih spojeva ostvaruje direktnim kontaktom stožaste ili kuglaste površine (sl. 6.1.5), reznim prstenom koji se ureže u cijev (sl. 6.1.6 a), prstenom u obliku klina (sl. 6.1.6 b) te plosnatom brtvom (sl. 6.1.7). Spajanje same cijevi sa navojnim dijelom vrši se lemljenjem (sl. 6.1.5), zavarivanjem (sl. 6.1.7) te reznim prstenom i prstenom u obliku klina (sl. 6.1.6).

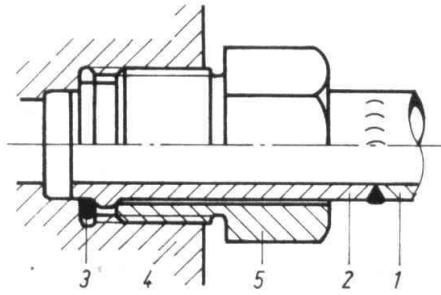


Slika 6.1.5 Spajanje dvaju krajeva cijevi ("Holender")[†]



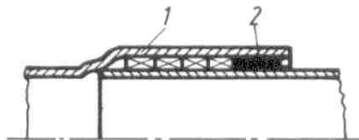
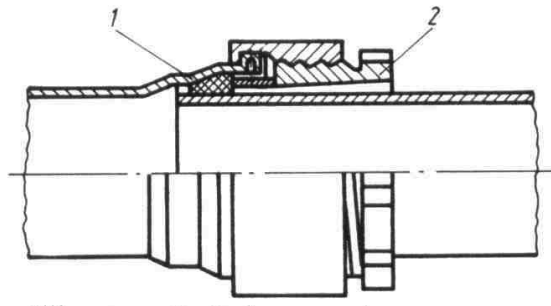
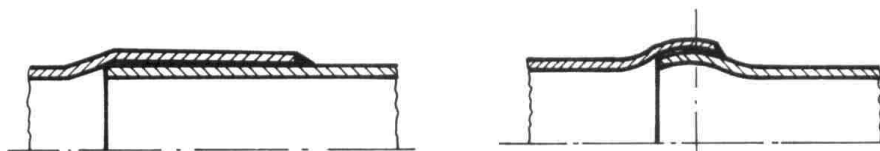
Slika 6.1.6 Spajanje cijevi s priključkom na kućište[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Slika 6.1.7 Spajane navojem izravno na kućište[†]

Spajanje kolčacima vrši se:

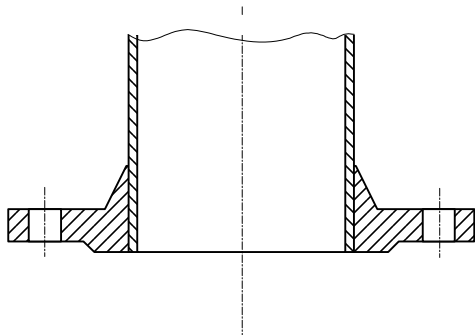
- nabijanjem raznih brtvenih materijala između cijevi i kolčaka za što se koristi kudeljja, drvena vuna te olovni prsteni (sl. 6.1.8)
- kolčacima s navojem i gumenom brtvom (sl. 6.1.9)
- kolčacima za zavarivanje (sl. 6.1.10)

Slika 6.1.8 Kolčak za brtvljenje nabijanjem[†]Slika 6.1.9 Kolčak s navojem[†]Slika 6.1.10 Kolčaci za zavarivanje[†]

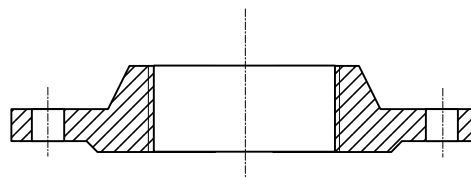
Spajanje prirubnicama koristi se za najveće tlakove i promjere cijevi. Spajanje se ostvaruje vijčanim spojem i brtvama iz metala, gume, teflona, aluminija, bakra, mekog čelika te kombinacije ovih materijala. Demontaža prirubnica je uvijek moguća jer se u slučaju korodiranja

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

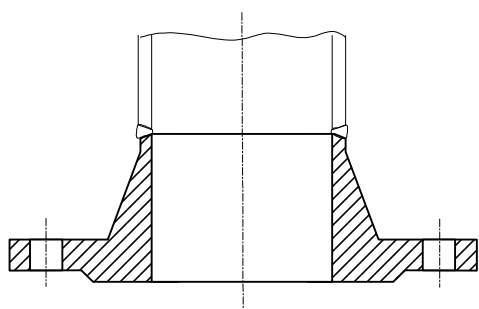
vijaka oni jednostavno prerežu. Prirubnice se mogu izvesti kao: čvrsta prirubnica nalivena direktno na cijev (sl. 6.1.11), prirubnica koja se za cijev pričvršćuje navojem (sl. 6.1.12), prirubnica koje se zavaruje na cijev (sl. 6.1.13) te slobodna prirubnica (sl. 6.1.14). Proračun vijaka i osiguravanje brtvljenja vrši se kao što je prikazano poglavljem 6.1.2 (Proračun vijka, sl. 6.1.14).



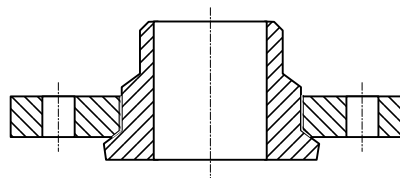
Slika 6.1.11 Prirubnica lijevana zajedno s cijevi iz SL ili ČL



Slika 6.1.12 Prirubnica s navojem



Slika 6.1.13 Prirubnica za zavarivanje



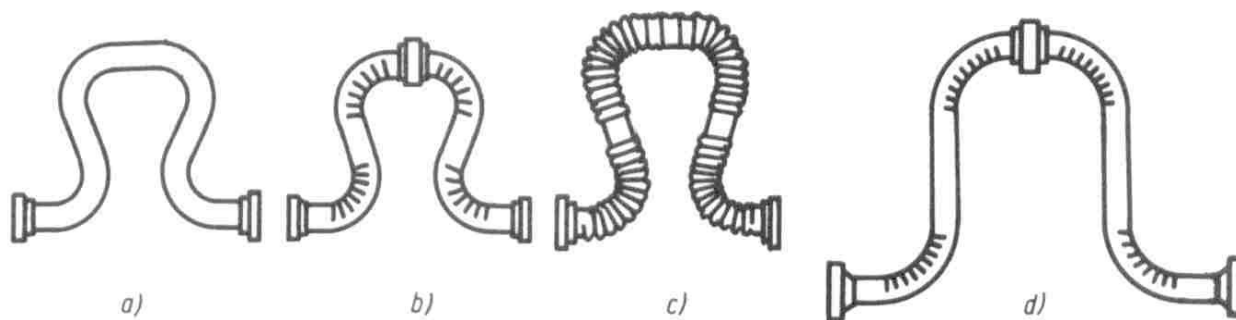
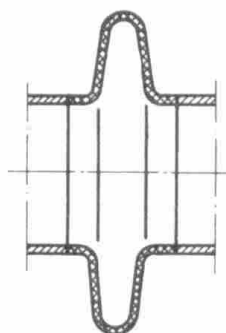
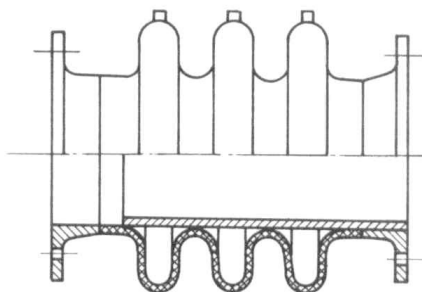
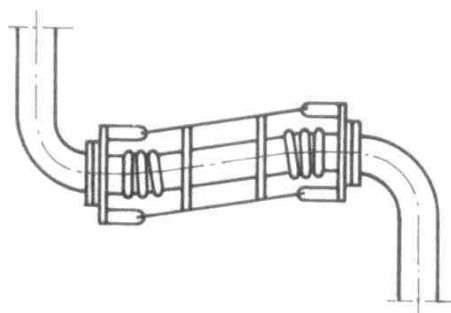
Slika 6.1.14 Slobodna prirubnica

6.1.4 Elementi za kompenzaciju temperaturnih dilatacija

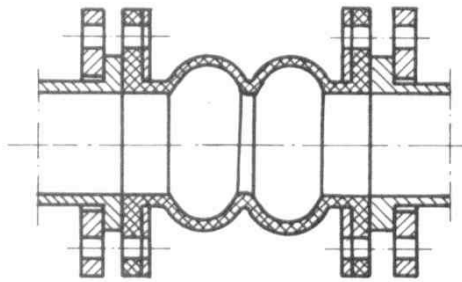
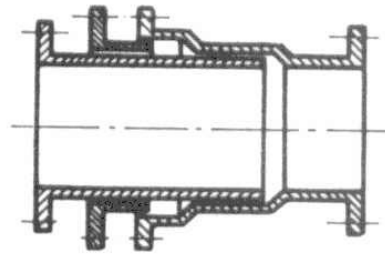
Uslijed velikih temperaturnih razlika koje se između cjevovoda i okoline javljaju, dolazi i do vrlo velikih produljenja i skraćenja cjevovoda (dilatacije cjevovoda). Ukoliko ne bi bila izvršena kompenzacija dilatacija, sigurno bi došlo do lomova cjevovoda koji mogu dovesti do opasnosti za ljudski život, ekoloških katastrofa, požara i sl.

Dilatacije se kompenziraju:

- dilatacijskim lirama: izvode se kao glatke (sl. 6.1.15 a), orebrene (sl. 6.1.15 b), valovite (sl. 6.1.15 c), U-lire (sl. 6.1.15 d)
- valovitim cijevima: izvode se kao lećasti kompenzator (sl. 6.1.16), valoviti kompenzator s unutarnjom cijevi za vođenje (sl. 6.1.17), zglobni kompenzator od valovitih cijevi (sl. 6.1.18)
- gumenim kompenzatorima (sl. 6.1.19)
- deformacijskim brtvenicama (sl. 6.1.20)

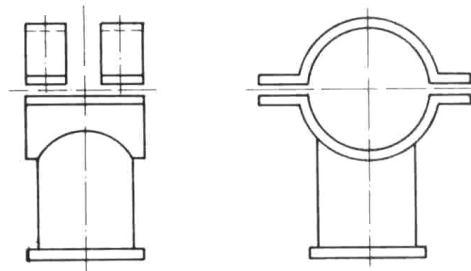
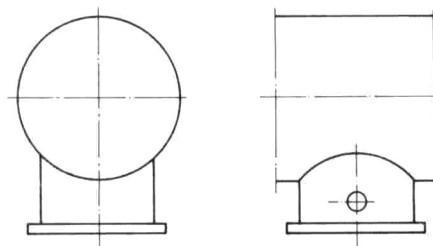
Slika 6.1.15 Dilatacijske lire[†]Slika 6.1.16 Lećasti kompenzator[†]Slika 6.1.17 Valoviti kompenzator s unutarnjom cijevi za vođenje[†]Slika 6.1.18 Zglobni kompenzator[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

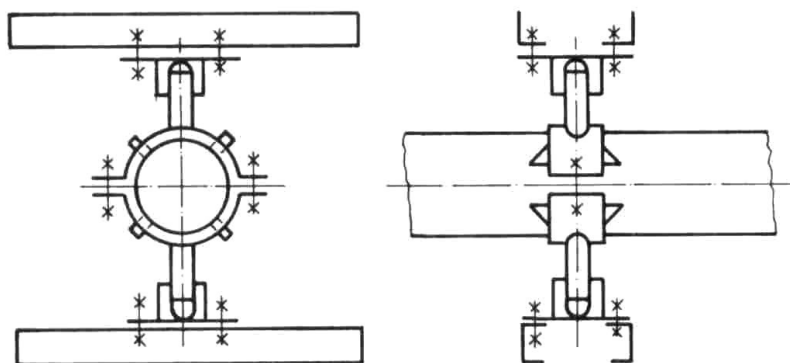
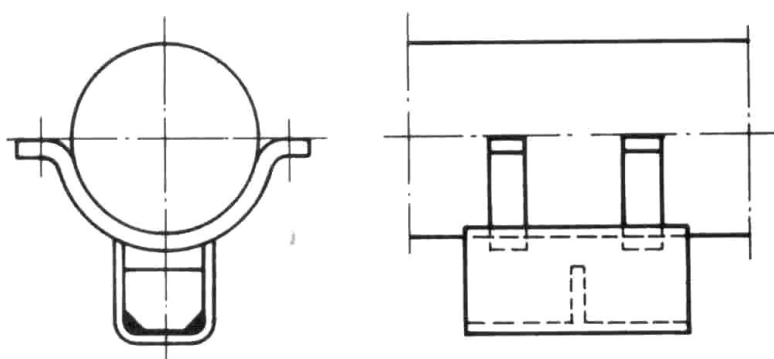
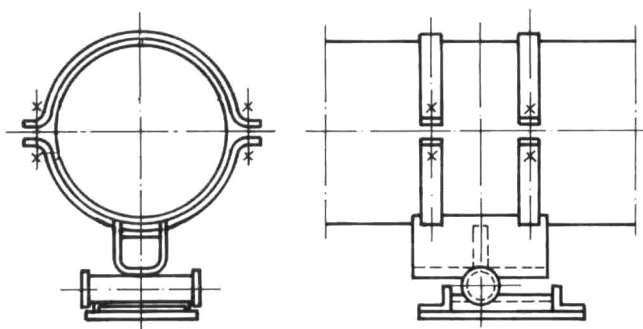
Slika 6.1.19 Gumeni kompenzator[†]Slika 6.1.20 Deformacijska brtvenica[†]

6.1.5 Elementi za oslanjanje cijevi

Elementi za oslanjanje cijevi postavljaju se okomito na uzdužnu os cijevi i moraju biti izvedeni tako da omogućavaju toplinske dilatacije cijevi. Ovješena cijevi izvode se pomoću vijaka (sl. 6.1.21) i u zavarenoj izvedbi (sl. 6.1.22). Postoje uporišta koja onemogućavaju pomicanje cijevi uz preuzimanje vanjskih sila (sl. 6.1.21, 6.1.22, 6.1.23) te postoje ležajevi koji, uz preuzimanje vanjskih sila na cijevi, omogućuju gibanje cjevovoda (sl. 6.1.24 i 6.1.25).

Slika 6.1.21 Uporište izvedeno pomoću vijaka[†]Slika 6.1.22 Zavareno uporište[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Slika 6.1.23 Pomično uporište[†]Slika 6.1.24 Klizni ležaj[†]Slika 6.1.25 Valjni ležaj[†]

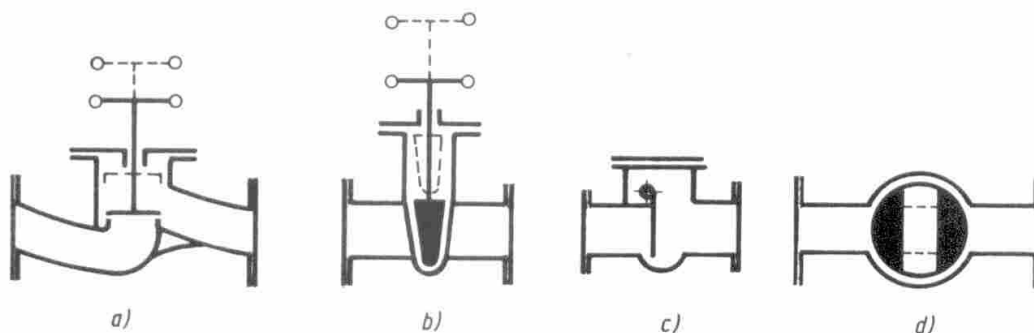
6.1.6 Armature (zapori, sigurnosni i regulacijski elementi)

Armaturama se omogućava djelomično ili potpuno zatvaranje cjevovoda u cilju postizanja određenih sigurnosnih i regulacijskih zahtjeva. Upravljanje armaturom može biti ručno, mehaničko ili automatsko. Obzirom na smjer i način gibanja zapornog elementa potrebno je razlikovati:

- ventile: zaporni element se kreće u smjeru protoka (sl. 6.1.26 a)
- zasune: zaporni element se kreće okomito na smjer protoka (sl. 6.1.26 b)

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

- zaporke: zaporni element se rotira oko osi okomite na smjer protoka (sl. 6.1.26 c)
- pipce: zaporni je element oblikovan kao valjak, stožac ili kugla koja se okreće oko osi okomite na smjer protoka (sl. 6.1.26 d).

Slika 6.1.26 Osnovne vrste zapornih elemenata[†]**Ventili:**

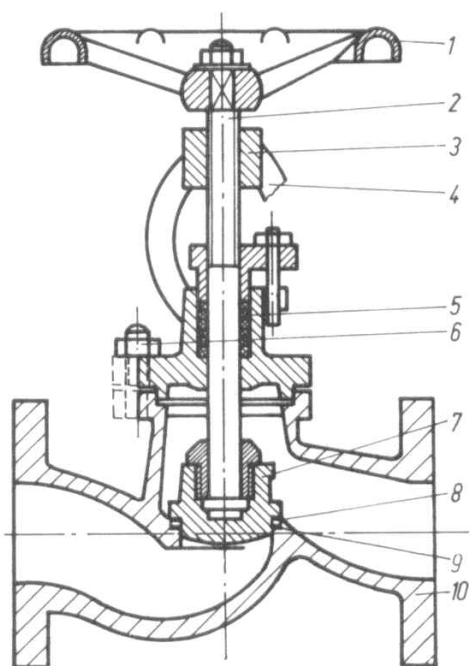
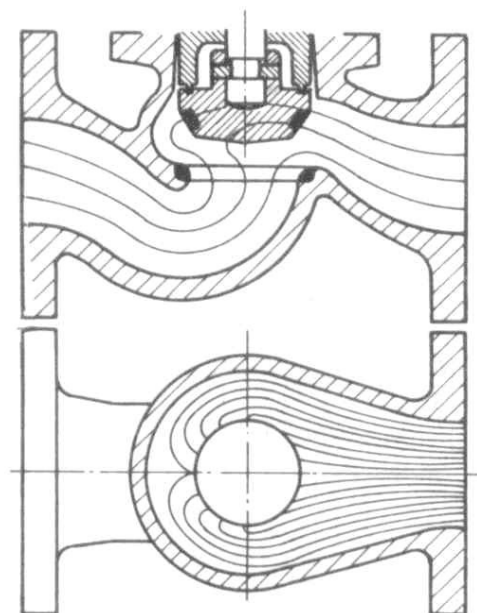
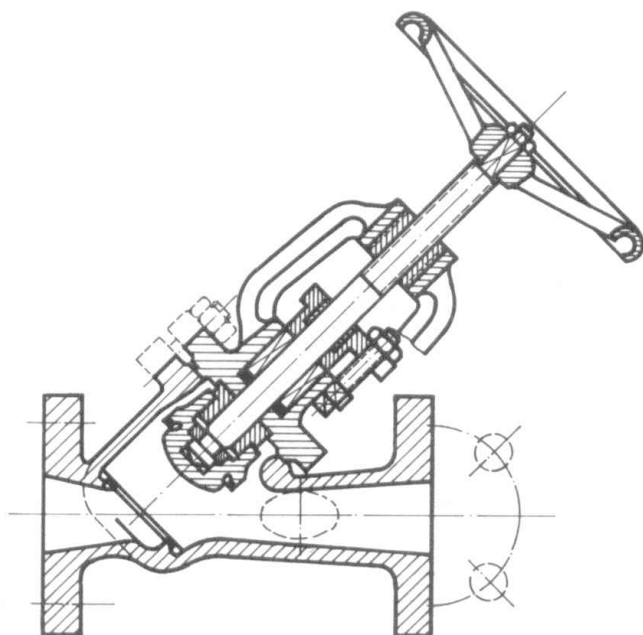
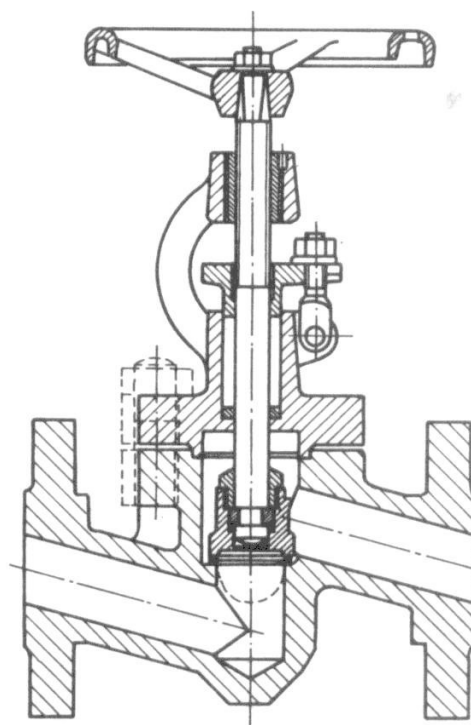
Ventili omogućavaju brzo otvaranje i zatvaranje. Pri proizvodnji površinu brtvljenja lako je obraditi. Nedostaci su im: promjena smjera toka (gubici u strujanju), taloženje nečistoća u mrtvim kutovima te udari tlaka pri otvaranju i zatvaranju. Koriste se za sve raspone tlakova te za srednje promjere cijevi.

Izvedbe ventila se razlikuju obzirom na:

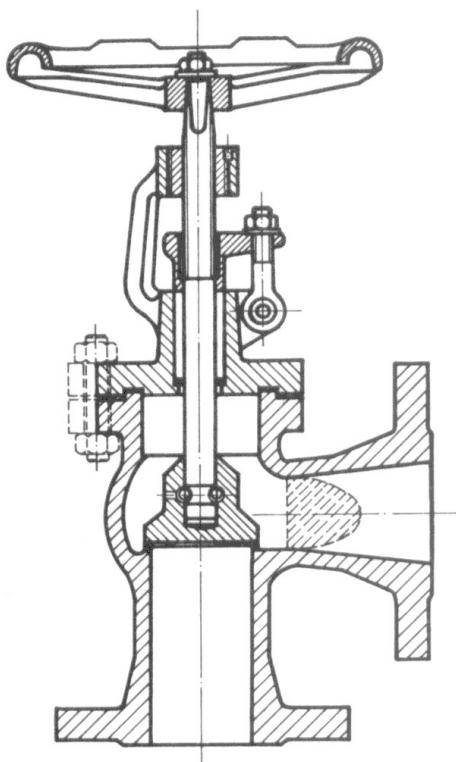
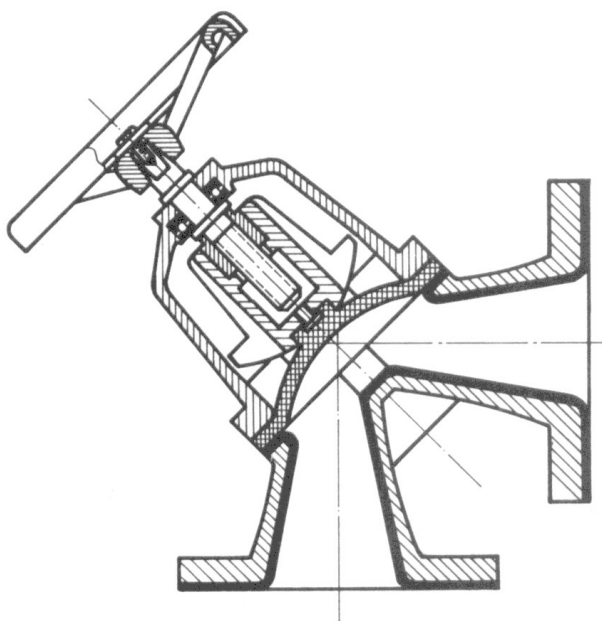
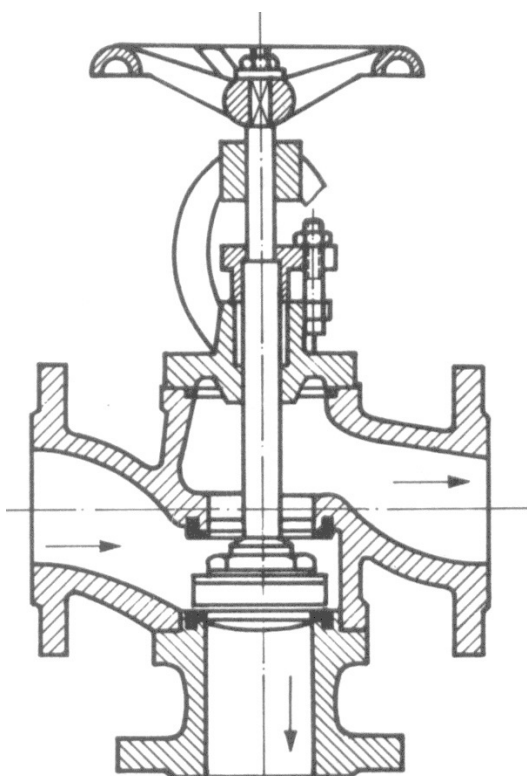
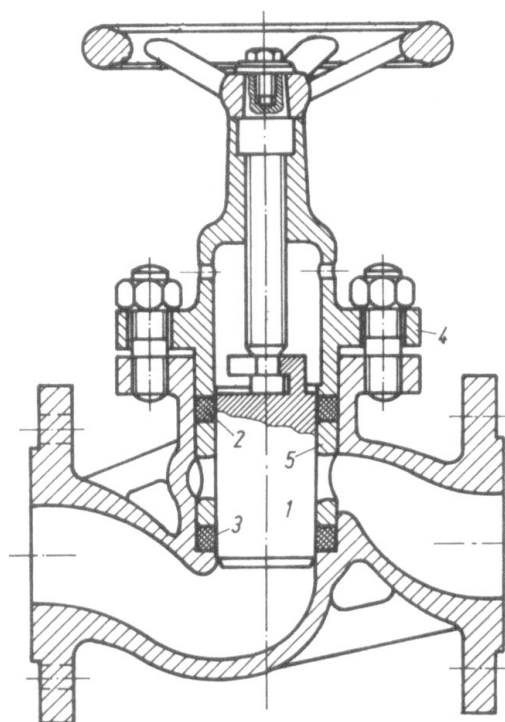
- smjer gibanja medija: prolazni (sl. 6.1.27), kutni (sl. 6.1.31), za promjenu smjera (sl. 6.1.33)
- način izvedbe sjedišta: tanjurasto (sl. 6.1.27), u obliku klipa (sl. 6.1.34), u obliku membrane (sl. 6.1.32)
- položaj sjedišta ventila: ravno (sl. 6.1.27), koso (sl. 6.1.29)
- izvedbu vretena: navoj u unutrašnjosti ventila (sl. 6.1.32) i vanjski navoj (sl. 6.1.27)
- vrstu materijala: SL, ČL, crveni lijev, čelik, keramika, laki metali, plastika
- tehnologiju izrade: lijevani, kovani, zavareni, prešani
- medij: para, voda, plin, zrak, kiseli medij, mulj
- vrstu pogona: ručni, elektromotorni, sigurnosni, brzozatvarajući
- vrstu priključka: prirubnica, navoj, priključak za zavarivanje

Vretno osigurava silu potrebno za brtvljenje. Kao materijal izrade ventila za temperature do 200°C koristi se mesing ili bronca, a preko 200°C nehrđajući čelik. Kako bi se osigurali čim manji gubici strujanja, treba izbjegavati mrtve kutove (sl. 6.1.28). Obzirom na smjer strujanja medija na tanjurić ventila, pritisak može djelovati tako da povećava silu brtvljenja, ili obrnuto.

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Slika 6.1.27 Prolazni ventil[†]Slika 6.1.28 Rhei ventil[†]Slika 6.1.29 Kosi ventil[†]Slika 6.1.30 Kovani ventil[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Slika 6.1.31 Kutni ventil[†]Slika 6.1.32 Membranski ventil[†]Slika 6.1.33 Ventil za promjenu smjera[†]Slika 6.1.34 Klipni ventil[†]

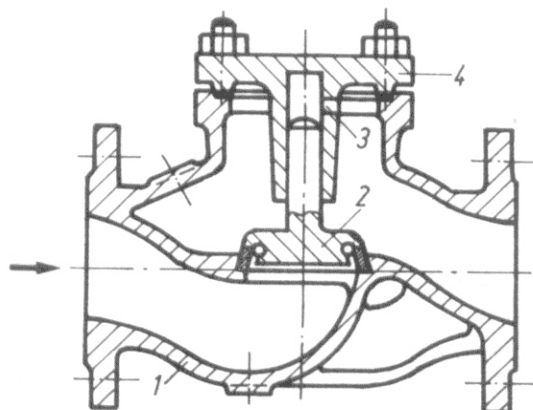
[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Odbojni ventili se sami (automatski) zatvaraju i otvaraju ovisno o razini tlaka (sl. 6.1.35). Npr. osiguravanje od istjecanja tekuće iz cjevovoda kada pumpa prestane s radom.

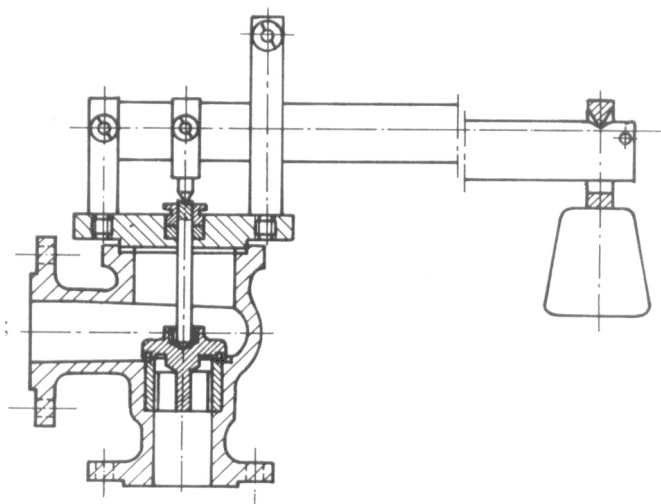
Sigurnosni ventili, osiguravaju sistem u slučaju da dođe do prekoračenja dopuštenog tlaka (sl. 6.1.36 i 6.1.37).

Prigušni ventili, uz potpuno zatvaranje, omogućavaju finu regulaciju protoka (sl. 6.1.38).

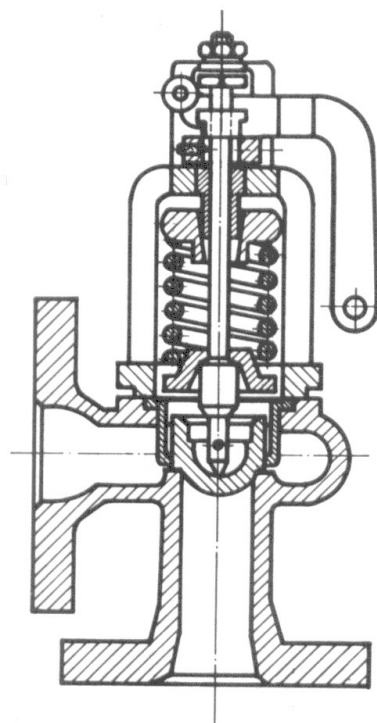
Redukcijski ventili, omogućavaju snižavanje tlaka plina ili pare u dijelu voda iza ventila. Rade po principu ravnoteže između opruge (može se regulirati), koja otvara ventil s jedne strane, i tlaka koji djeluje na tanjurić ventila (te ga tako zatvara) s druge strane.



Slika 6.1.35 Odbojni ventil[†]

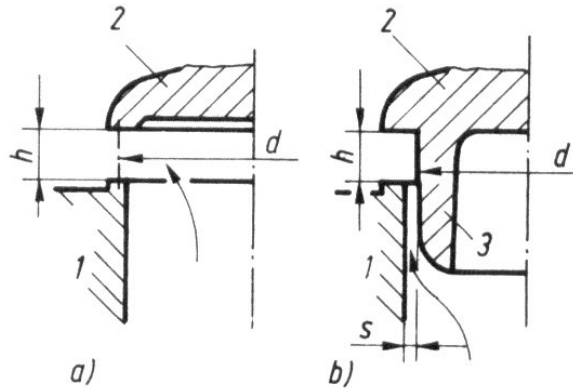


Slika 6.1.36 Sigurnosni ventil s utegom[†]



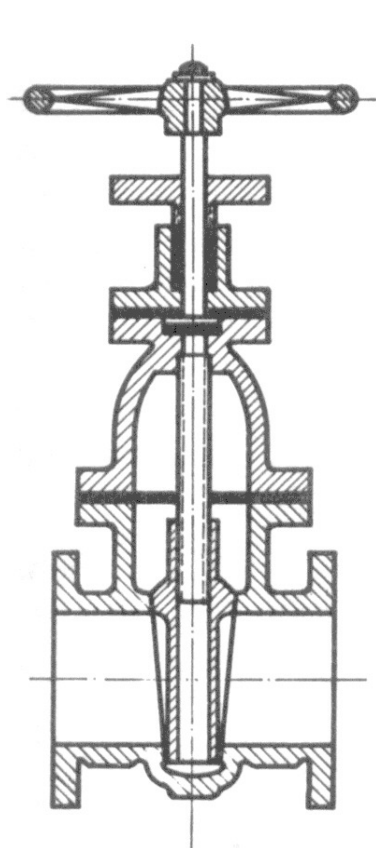
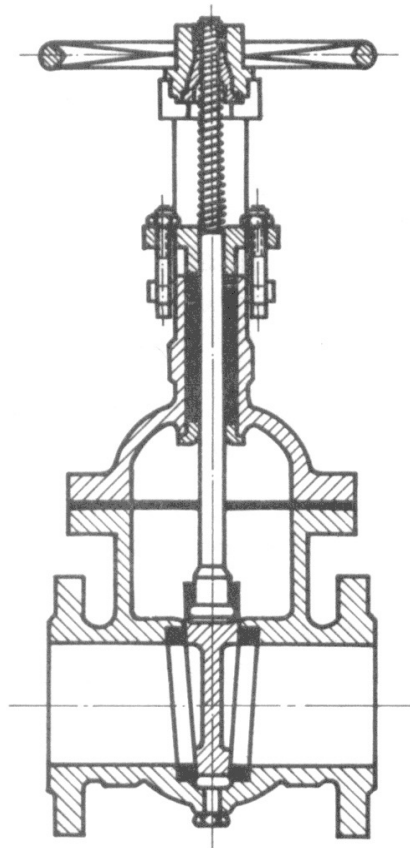
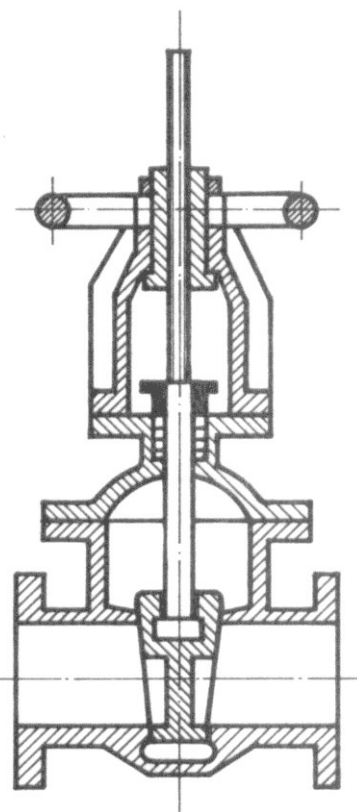
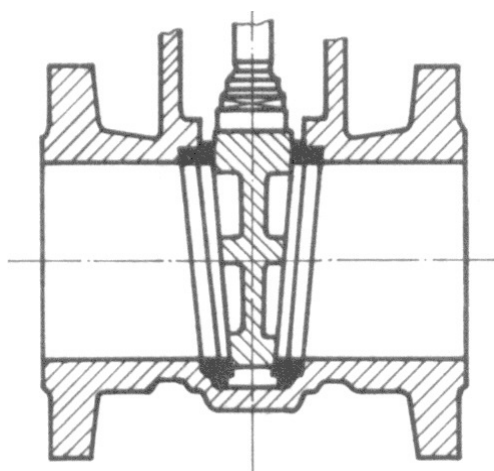
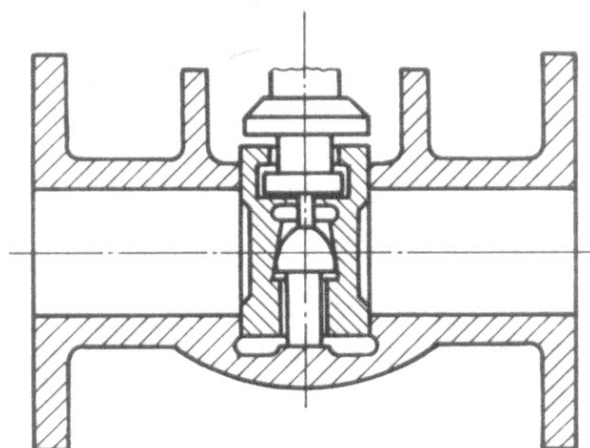
Slika 6.1.37 Sigurnosni ventil s oprugom[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Slika 6.1.38 Tanjurić kod prolaznog i prigušnog ventila[†]**Zasuni:**

Prednost zasuna je mala ugradbena duljina, nema gubitaka radi promjene toka i mrtvih kutova. Nedostatak im je što zahtijevaju veliku ugradbenu visinu, a obrada površine nalijeganja im je kompliciranija od ventila te je izraženo trenje pri pokretanju. Zasuni se koriste za najveće cijevne promjere i srednje tlakove. Razlike u izvedbama ovih ventila uglavnom se odnose na razlike u izvedbi vretena (sl. 6.1.39, 6.1.40, 6.1.41) te na razlike u izvedbi zasuna. Zasuni se izvode kao kruti (sl. 6.1.42) i višedijelni, kod kojih zasun mijenja dimenzije te tako osigurava bolje brtvljenje (sl. 6.1.43). Kao i ventili, zasuni se sa cjevovodom spajaju prirubnicama, navojem i zavarivanjem. Zasunima se ne mijenja smjer protoka.

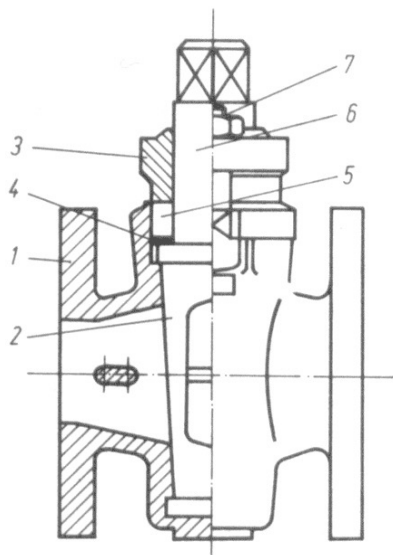
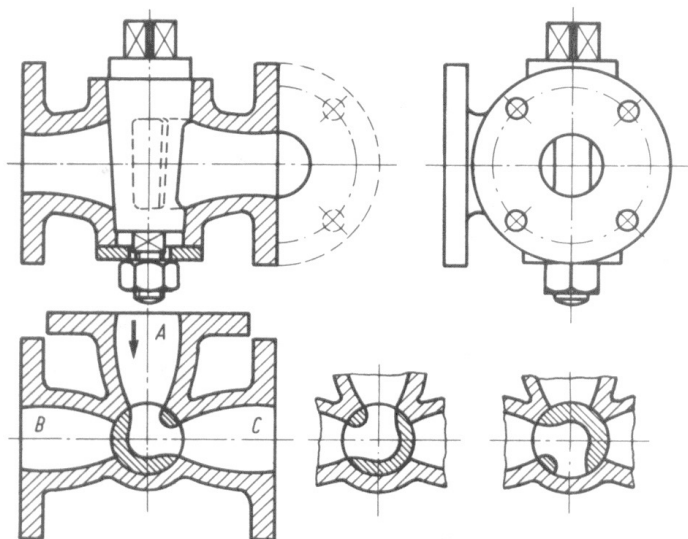
[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Slika 6.1.39 Zasun s aksijalno nepomičnim vretenom[†]Slika 6.1.40 Zasun s aksijalno pomičnim i okretnim vretenom[†]Slika 6.1.41 Zasun s aksijalno pomičnim vretenom[†]Slika 6.1.42 Zasun s krutim jednodijelnim zapornim tijelom[†]Slika 6.1.43 Zasun s podesivim višedijelnim zapornim tijelom[†]

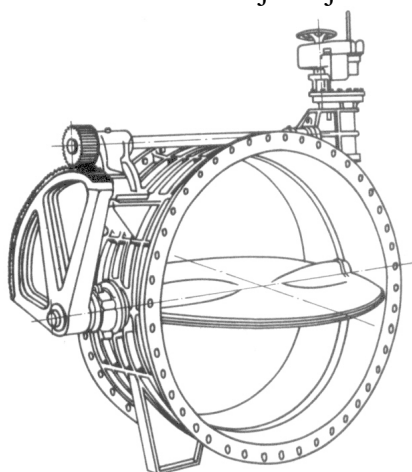
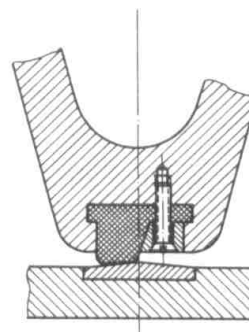
[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Pipci (slavine):

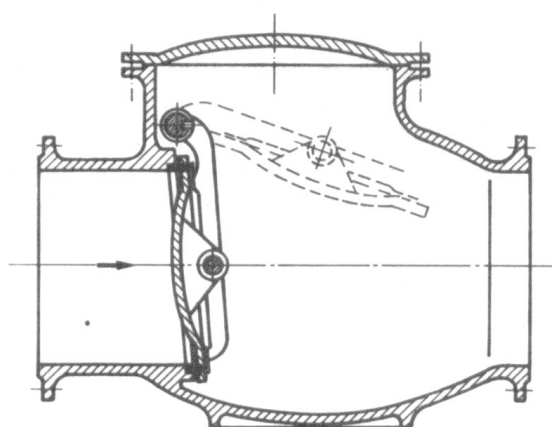
Pipci su jednostavni i jeftini elementi. Udari tlaka su kod pipaca uvijek prisutni. Koriste se za male nazivne promjere i srednje tlakove. Što se izvedbe tiče, postoje ravni (sl. 6.1.44), kutni i trokraki pipci (sl. 6.1.45).

Slika 6.1.44 Ravni pipac[†]Slika 6.1.45 Trokraki pipac[†]**Zaklopke:**

Zaklopke se koriste kao zaporni, regulacijski i sigurnosni elementi. Obično su dimenzija cjevovoda te se ugrađuju kao nastavci na cjevovod. Zaporno tijelo može biti pločasto, lećasto ili sandučasto. U zatvorenom položaju zaporno tijelo stoji okomito na smjer protoka. Brtvljenje zapornog tijela ostvaruje se preko ugrađenih prstenastih brtvi (sl. 6.1.47). Prigušne zaklopke (sl. 6.1.46) karakteriziraju male dimenzije te lagano i brzo rukovanje. Koriste se pri srednjim i velikim tlakovima te za velike promjere cijevi. Povratne zaklopke (sl. 6.1.48) se koriste kod cjevovoda kako bi se zaustavilo istjecanje tekućine pri prestanku rada pumpe.

Slika 6.1.46 Prigušna zaklopka[†]Slika 6.1.47 Brtva lećaste zaklopke[†]

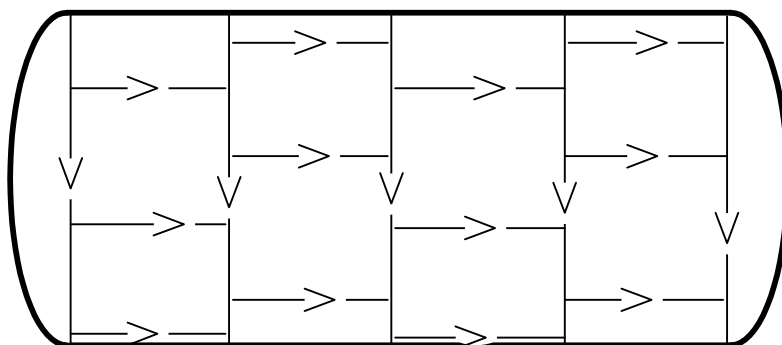
[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Slika 6.1.48 Povratna zaklopka[†]

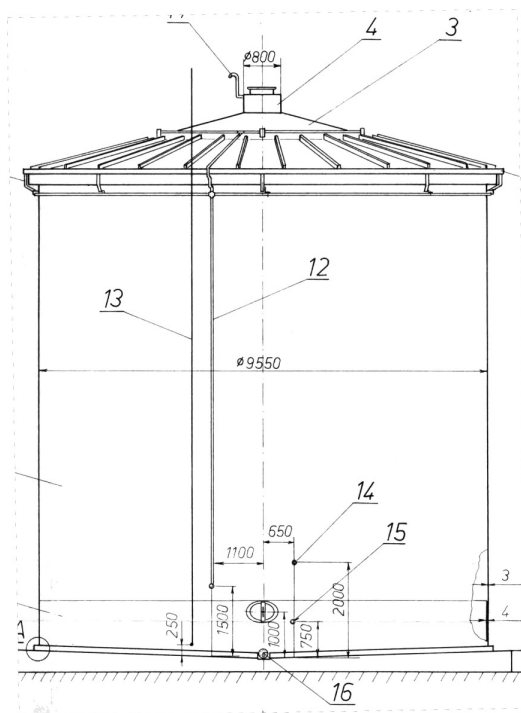
[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

6.2 Posude

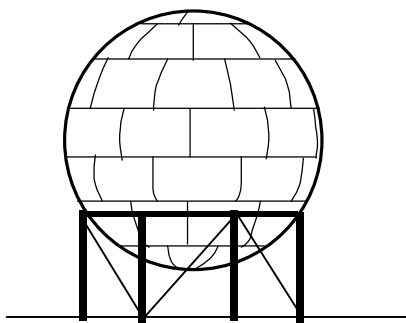
Posude su konstrukcijski oblici određenog volumena, prilagođeni za smještanje tekućine, plina ili rasute krute tvari. Spremnici pod tlakom moraju zadovoljiti uvjete propisane standardima o materijalu, kvaliteti zavarar i sigurnosti. Kotlovi i tlačne posude se danas uglavnom izrađuju zavarivanjem (sl. 6.2.1). Kako se radi o odgovornim konstrukcijama, pri zavarivanju se traži izvođenje zavarar određene kvalitete uz obavezan atest zavarivača. Prilikom zavarivanja ovakvih konstrukcija potrebno je izbjeći gomilanje zavarar, pa se plaševi limova međusobno razmještaju tako da se uzdužni šavovi limova zakreću jedan prema drugom (izbjegavanje križnog zavarar).



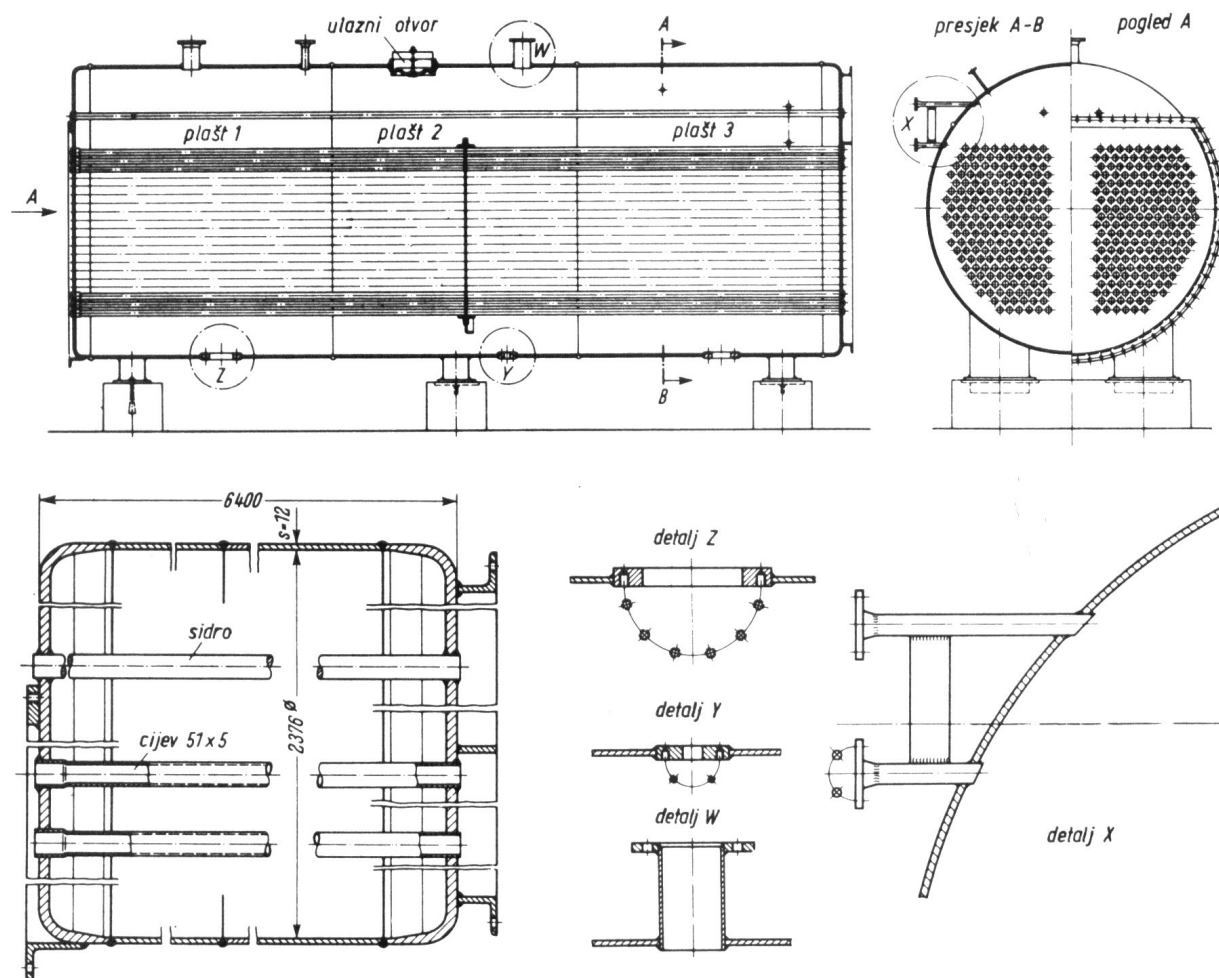
Slika 6.2.1 Tlačni spremnik izveden zavarivanjem



Slika 6.2.2 Spremnik za vino volumena 750 m³



Slika 6.2.3 Spremnik za ukapljeni plin (pod tlakom)

Slika 6.2.4 Zavareni parni kotao[†]

Proračun "grijalica za toplu vodu", "tlačnih posuda za opskrbu vodom", "tlačnih posuda za komprimirani zrak", "ležećih posuda postrojenja" i sl., je prema HRN standardiziran.

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Osnovne geometrijske karakteristike posuda:

Volumen posude s ravnim dnom, ili volumen cilindričnog dijela posude prikazane slikom 6.2.5 se računa prema

$$V_c = \frac{\pi D^2}{4} H_c. \quad (6.2.1)$$

Dno posude ili kako se češće naziva bombirano dno, često se izvodi kao polovina elipsoida (sl. 6.2.6) te se izraz za polovinu volumena elipsoida svodi na $a = c = D/2$,

$$V_d = \frac{\pi}{6} D^2 b. \quad (6.2.2)$$

Kako se za visinu elipsoida obično uzima $b = D/4$, slijedi

$$V_d = \frac{\pi}{24} D^3. \quad (6.2.3)$$

Ukupni volumen posude je zbroj volumena dna i volumena cilindra, $V = V_c + V_d$, odnosno

$$V = \frac{\pi D^2}{4} H_c + \frac{\pi}{24} D^3, \quad (6.2.4)$$

iz čega slijedi potrebna visina cilindričnog dijela za zadani volumen i promjer spremnika

$$H_c = \frac{4V}{\pi D^2} - \frac{D}{6}. \quad (6.2.5)$$

Ukupna visina spremnika je

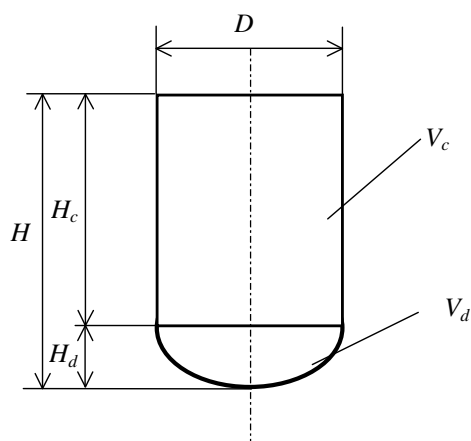
$$H = H_c + H_d = \frac{4V}{\pi D^2} + \frac{D}{12}. \quad (6.2.6)$$

Odnos $H/D = k$ je iz prethodnog izraza

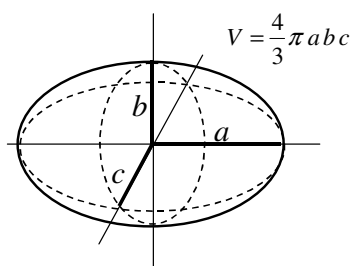
$$k = \frac{H}{D} = \frac{4V}{\pi D^3} + \frac{1}{12},$$

odakle je promjer spremnika

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi \left(k - \frac{1}{12}\right)}}. \quad (6.2.7)$$



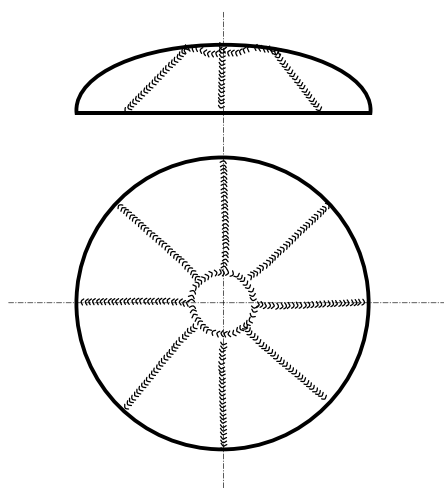
Slika 6.2.5 Posuda s polueliptičkim dnom



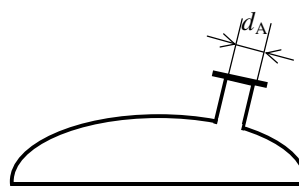
Slika 6.2.6 Elipsoid

Izvedbe dna posuda:

Dno može biti izrađeno kao ravno, eliptično, torisferično i konično. Konstrukcijski dno se izvodi prešanjem iz jednog komada ili zavarivanjem iz više zakrivljenih limova (sl. 6.2.7).



Slika 6.2.7 Zavareno dno



Slika 6.2.8 Dno s otvorom

Torisferična dna izvode se kao što je prikazano slikama 6.2.9 i 6.2.10 te se razlikuju plitka i duboka dna.

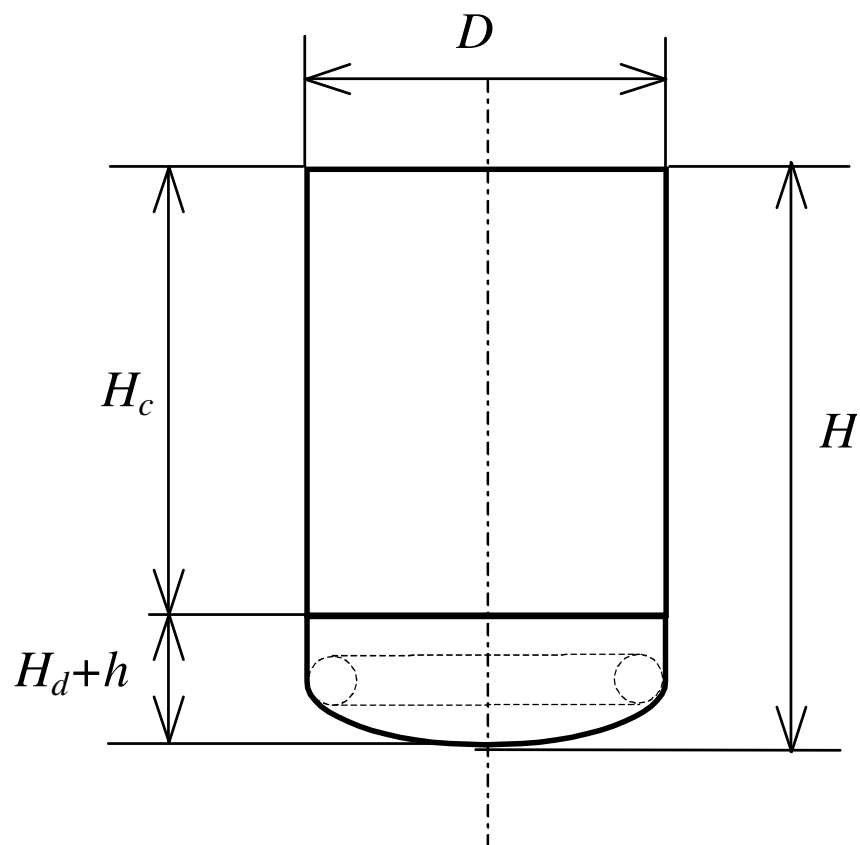
Plitko dno ima slijedeće odnose između karakterističnih veličina:

$$\begin{aligned}
 R &= D, \\
 r &= 0,1 D, \\
 h &\geq 3,5 s, \\
 H_d &= 0,1935 D - 0,455 s, \\
 V_d &\approx 0,1 (D_v - 2 s)^3,
 \end{aligned}
 \tag{6.2.8}$$

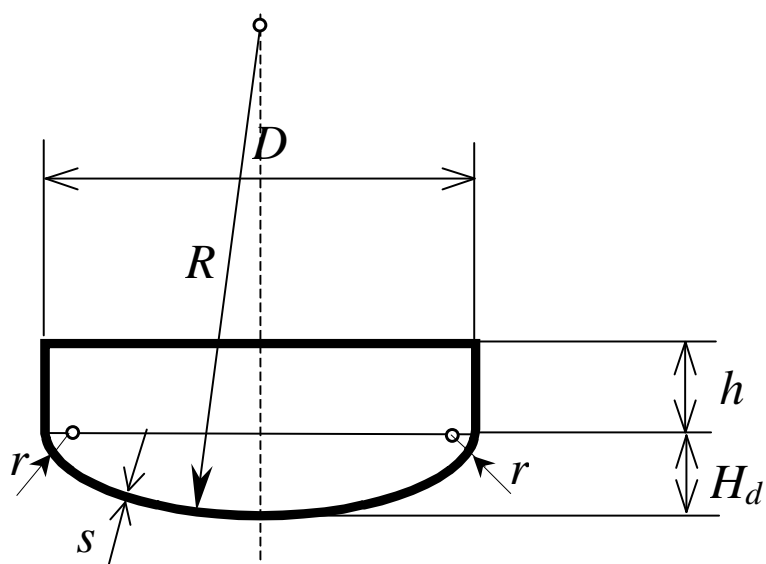
gdje je D_v vanjski promjer dna.

Duboko dno ima slijedeće odnose između karakterističnih veličina:

$$\begin{aligned}
 R &= 0,8 D, \\
 r &= 0,154 D, \\
 h &\geq 3 s, \\
 H_d &= 0,255 D - 0,635 s, \\
 V_d &\approx 0,1298 (D_v - 2 s)^3.
 \end{aligned}
 \tag{6.2.9}$$

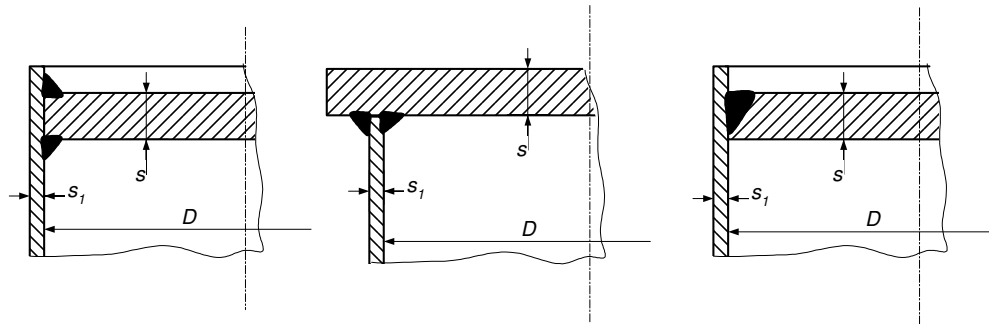


Slika 6.2.9 Posuda s torisferičnim dnom

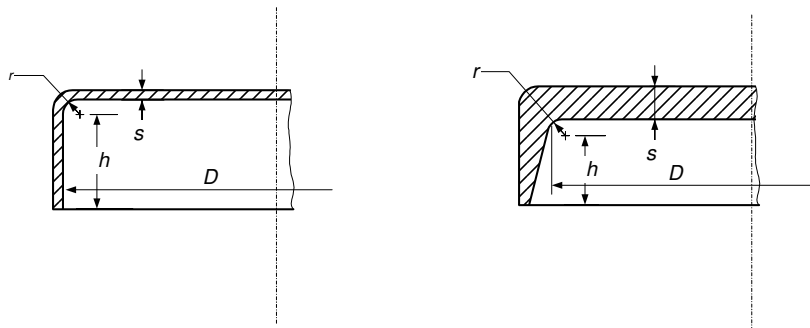


Slika 6.2.10 Geometrija torisferičnog dna

Ravno dno izvodi se kao zavareno i prešano (sl. 6.2.11). Ravna dna podnose manje tlakove nego li eliptična i torisferična.



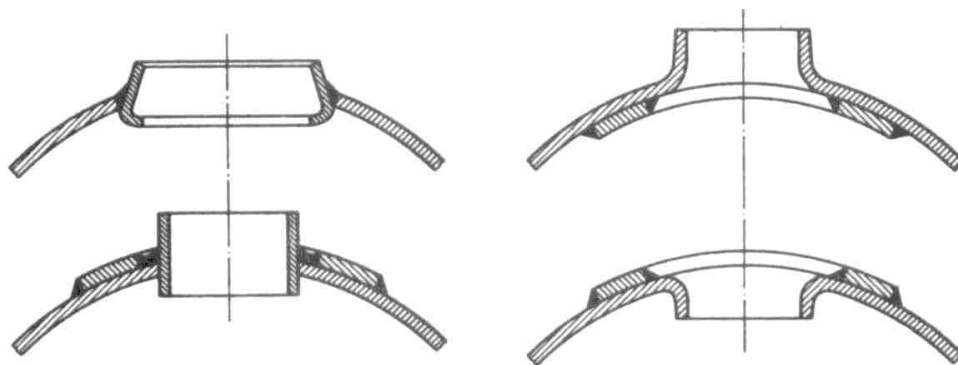
Slika 6.2.11 Zavarena ravna dna



Slika 6.2.12 Prešana ravna dna

Poklopci na spremnicima mogu se demontirati radi punjenja, pražnjenja ili kontroliranja spremnika. ponekad mogu zatvarati i otvore kroz koje se čovjek može uvući u spremnik. Poklopci mogu biti ravni, eliptični, torisferični, sferični te se redovito pričvršćuju vijcima. Između poklopca i posude, odnosno priрубnice, postavljaju se brtve.

Otvori i nastavci veći od 50 mm izvede se tako da se lim u blizini otvora pojača kako ne bi došlo do inicijacije pukotine u blizini otvora (sl. 6.2.13).



Slika 6.2.12 Pojačanja lima u blizini otvora[†]

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Priključci na spremnicima izvede se kao zavarene cijevi koje često na krajevima imaju prirubnice s provrtima za vijke. Potreban promjer D_o ojačanja otvora (sl. 6.2.14) računa se iz zahtjeva da površina poprečnog presjeka rupe

$$A = d s , \quad (6.2.10)$$

bude jednaka površini poprečnog presjeka ojačanja

$$A_o = (D_o - d) h . \quad (6.2.11)$$

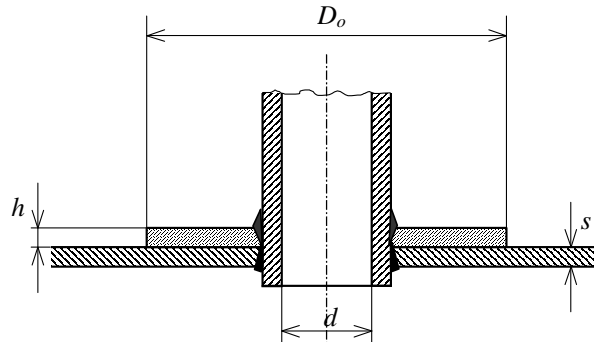
Dakle, promjer ojačanja je

$$D_o = \frac{d s}{h} + d . \quad (6.2.12)$$

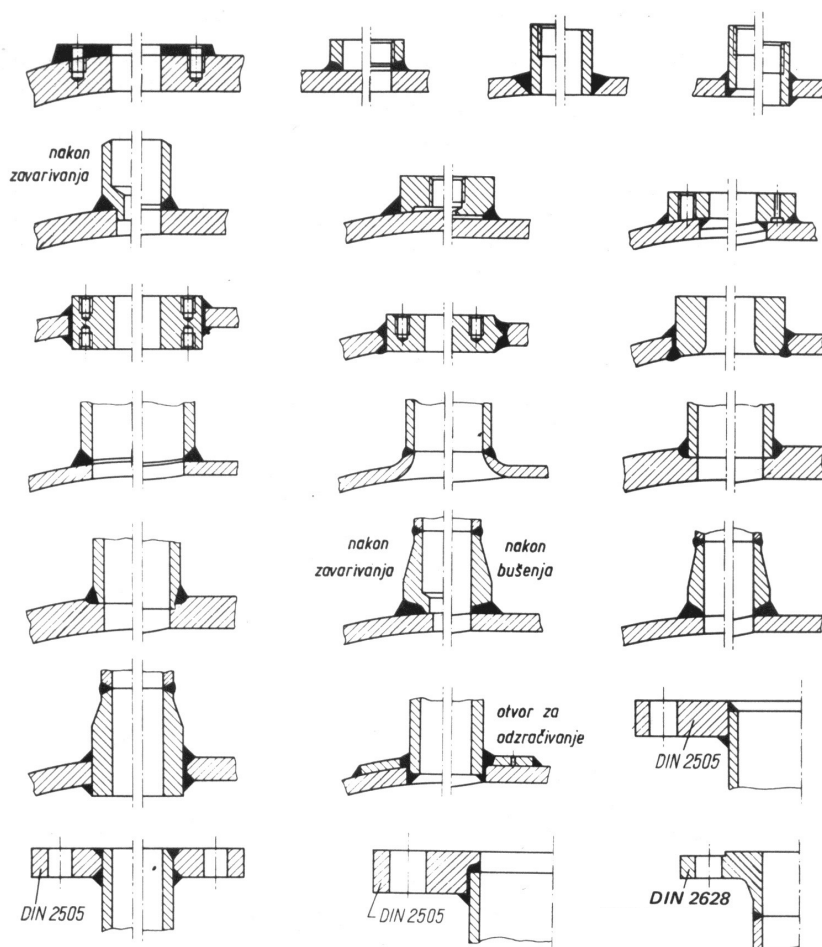
Pri tom se uzimaju vrijednosti

$$D_o \leq 2d , \quad (6.2.13)$$

$$h \leq 2,5 s . \quad (6.2.14)$$



Slika 6.2.14 Ojačanje otvora

Slika 6.2.15 Razne izvedbe priključaka[†]**Materijali za izradu posuda:**

Parametri koji utječu na izbor materijala su:

- karakter i agresivnost medija
- temperatura
- radno opterećenje
- cijena koštanja

Tekućine u spremniku mogu biti kisele, lužnate ili neutralne. Kiseli mediji su agresivni, nagrizaaju ugljične čelike, dok ne nagrizaaju staklo, neke plastične mase te nehrđajuće čelike. Lužnati mediji su naročito opasni za aluminij i aluminijske legure.

Temperature medija imaju slijedeće utjecaje

- visoke temperature povećavaju agresivnost radnog medija i višestruko ubrzavaju koroziju
- visoke temperature slabe mehanička svojstva materijala
- niske temperature djeluju na čelike tako da oni postaju izrazito kruti. Ovo predstavlja veliki problem kod spremnika za ukapljene plinove.

Pod pojmom *radno opterećenje* podrazumijeva se tlak i vlastita težina.

[†] Skenirani crtež: K.H. Decker, *Elementi strojeva*, 2. popravljeno izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.

Sivi lijev (SL), kao materijal za izradu posuda, koristi se kod temperatura medija od $15\div 250^{\circ}\text{C}$ te tlakovima do 6 bara. SL sa 1% Cr karakterizira postojanost prema lužinama. SL sa $5\div 20\%$ Ni i 5% Cr koristi se za temperature do 750°C . SL sa $15\div 30\%$ Cr karakterizira otpornost prema kiselinama.

Konstruktivski ugljični čelici koriste se za posude opće namjene. Tu spadaju kotlovski limovi koji se koriste pri temperaturi $-40\div 450^{\circ}\text{C}$ te tlakovima do 60 bara. U ovu grupu ubrajaju se nehrđajući i vatrootporni čelici sa $15\div 30\%$ Cr i $1\div 30\%$ Ni. Npr. čelik Č.4571 (Prokron 11) se koristi za dijelove izložene dušičnoj kiselini.

Aluminij se koristi za temperature do 150°C i tlakove do 6 bara. Al sa 10% Mg otporan je na kiseline. Aluminij karakterizira i neotpornost na lužine.

Brtvljenje posuda:

Osnovni zadatak brtvljenja je spriječiti nekontroliranu vezu medija s vanjskom atmosferom ili drugim medijem, do čega može doći na mjestima spojeva posuda (poklopci, prirubnice, ventili, nastavci,...). Naročito je bitno osigurati dobro brtvljenje na mjestima prolaza pokretnih dijelova, kao što su osovine miješalica.

Brtvljenje može biti:

- potpuno
- nepotpuno

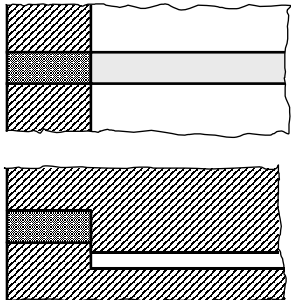
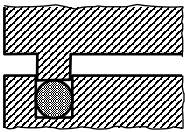
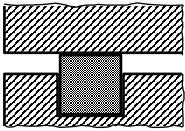
Po karakteru djelovanja razlikuje se:

- stalno na pokretnim dijelovima (vretena, klipovi, vratila..)
- stalno na nepokretnim dijelovima (poklopci, prirubnice,..)
- povremeno na pokretnim dijelovima (ventili)

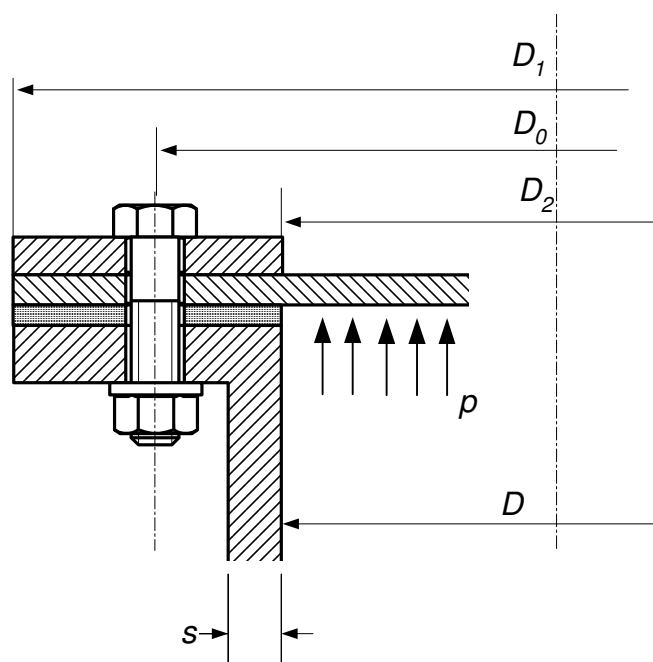
Po obliku površine brtvljenja razlikuje se:

- brtvljenje ravnih površina
- brtvljenje cilindričnih površina
- brtvljenje koničnih površina

Brtve se dijele obzirom na: materijal, radni pritisak, temperaturu, pokretljivost dijelova, agresivnost medija i sl. Najčešće korišteni oblici i materijali brtvi dani su tablicom 6.2.1.

skica brtve	profil brtve	materijal	područje primjene		
			Sredina	Pritisak	Temp.
	pravokutni	guma karton azbest polietilen koža teflon metali (Al, Cu)	slabo agresivna	do 2,5 MPa	do 540°C
	okrugli	vakuumguma metal	agresivna otrovna zapaljiva	do 40MPa	do 250°C
	kvadratni	vakuumguma	inertna	vakuum	do 100°C

Tablica 6.2.1 Česti oblici i materijali brtvi



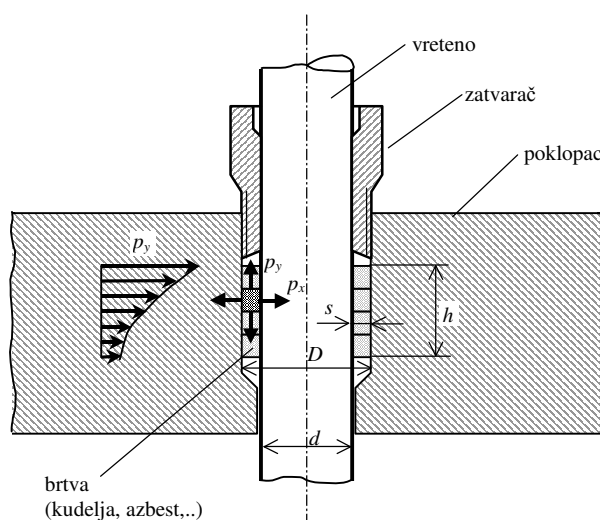
Slika 6.2.16 Pravokutna brtva kod prirubničkog spoja

Brtvljenje vretena i okretnih elemenata posuda:

Brtve za brtvljenje okretnih dijelova izrađuju se iz kudelje natopljene lojem, azbesta, teflona i sl. Debljina brtve s kreće se u granicama $s = 0,7\sqrt{d} \div 1,5\sqrt{d}$ (sl. 6.2.17). Visina brtve (sastavljene iz niza prstena) kreće se u granicama $h = 4s \div 10s$. Proračunom se određuju sile pritezanja zatvarača F_0 te sile trenja između brtve i vretena F_μ . Odnos između aksijalnog p_y i radijalnog (bočnog) p_x pritiska određen je faktorom proporcionalnosti $k = p_y/p_x$. Potrebni aksijalni pritisak koji se ostvaruje pritezanjem zatvarača je

$$p_y = k p_x. \quad (6.2.30)$$

Iznos faktora k , za razne radne tlakove, dan je tablicom 6.2.4.



Slika 6.2.17 Brtvljenje okretnih dijelova

radni tlak p [MPa]	5	10	20	40	60	90
prsten brtve 4x4 mm	5	3	2,3	1,7	1,5	1,4
prsten brtve 6x6 mm	3	2,2	1,8	1,6	1,5	1,4

Tablica 6.2.4 Faktor proporcionalnosti $k = p_y/p_x$

Uvjet brtvljenja traži da bočni (radijalni) pritisak p_x bude veći od radnog pritiska p .



Sveučilište u Splitu
Kemijsko-tehnološki fakultet u Splitu

University of Split
Faculty of Chemical Technology

Teslina 10/V 21000 Split
Hrvatska

Teslina 10/V 21000 Split
Croatia

Telefon: (385) 21 329-422 Fax: (385) 21 329-461 E-mail: dekanat@ktf-split.hr URL: <http://www.ktf-split.hr>

Broj:01-91-331/2
Split, 25. listopada 2006.

Fakultet elektrotehnike strojarstva i brodogradnje

Ruđera Boškovića b.b.

21 000 S P L I T

n/r dr.sc. Željka Domazeta, red.prof.

n/r dr.sc. Lovre Krstulović Opare, doc.

Poštovani,

Slobodni smo Vas izvijestiti da je Povjerenstvo za knjižnicu i izdavačku djelatnost Kemijsko-tehnološkog fakulteta temeljem Vaše zamolbe br.01-91-331 od 13. srpnja 2006. godine prihvatilo dana 5. rujna 2006. godine skriptu autora Željka Domazeta, red.prof. i Lovre Krstulović-Opare, doc. "Osnove strojarstva" kao nastavni materijal za kolegij "Osnove strojarstva" na sveučilišnom i stručnom studiju Kemijske tehnologije.

Predlaže se također skriptu objaviti u vidu "on-line" publikacije na web stranicama Kemijsko-tehnološkog fakulteta.

Uz srdačan pozdrav,



Dekanica
Ivka Klarić
Prof.dr.sc. Ivka Klarić

Dostaviti:

1. Povjerenstvu za uređivanje web stranica Fakulteta