

# 12. Pokretni elementi

<b>12. Pokretni elementi</b> .....	<b>1</b>
<b>12.1 Osnove pokretnih elemenata</b> .....	<b>2</b>
12.1.1 Uvod u pokretne strojarske elemente.....	2
12.1.2 Klasifikacija pokretnih elemenata.....	3
12.1.3 Osovine .....	5
12.1.4 Zamašnjaci.....	8
<b>12.2 Vratila</b> .....	<b>12</b>
12.2.1 Osnove vratila .....	12
12.2.2 Oblikovanje vratila .....	16
12.2.3 Proračun vratila.....	21
12.2.4 Primjena vratila.....	31
<b>12.3 Spojke</b> .....	<b>32</b>
12.3.1 Osnove spojki .....	32
12.3.2 Oblikovanje spojki.....	38
12.3.3 Proračun spojki .....	38
12.3.4 Primjena spojki .....	39
<b>12.4 Kočnice</b> .....	<b>39</b>
12.4.1 Osnove kočnica.....	39
12.4.2 Oblikovanje kočnica .....	40
12.4.3 Proračun kočnica.....	42
12.4.4 Primjena kočnica.....	42
<b>Dodatak</b> .....	<b>44</b>
<b>Literatura</b> .....	<b>49</b>

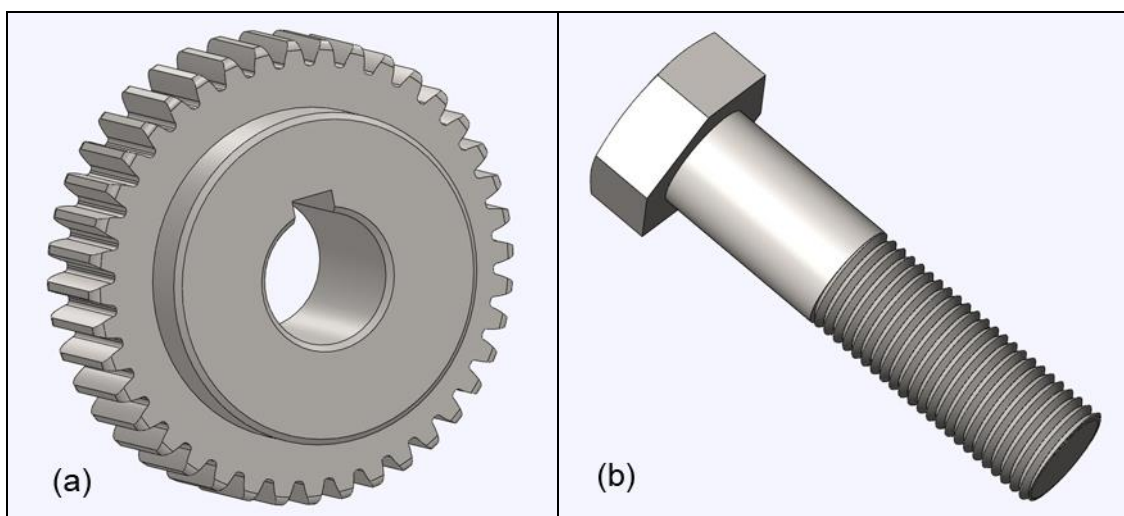
## Ishodi učenja:

- (a) Razumijevanje načela gibanja (*kinematika i dinamika*)
- (b) Usvojeno nazivlje i klasifikacija pokretnih strojarskih elemenata (*namjena, broj dijelova*)
- (c) Razumijevanje funkcioniranja obuhvaćenih pokretnih strojarskih elemenata (*osovina, vratilo, zamašnjak, spojka, kočnica*)
- (d) Umjeti oblikovati vratilo s potrebnim strojarskim elementima (*slikovita shema s legendom i zadanim dimenzijama*)
- (e) **Umjeti provesti proračun vratila** (dimenzije, deformacija, kritična frekvencija).
- (f) Usvojena znanja iz primjene pokretnih strojarskih elemenata (*osovina, vratilo, zamašnjak, spojka, kočnica*) .

## 12.1 Osnove pokretnih elemenata

### 12.1.1 Uvod u pokretne strojarske elemente

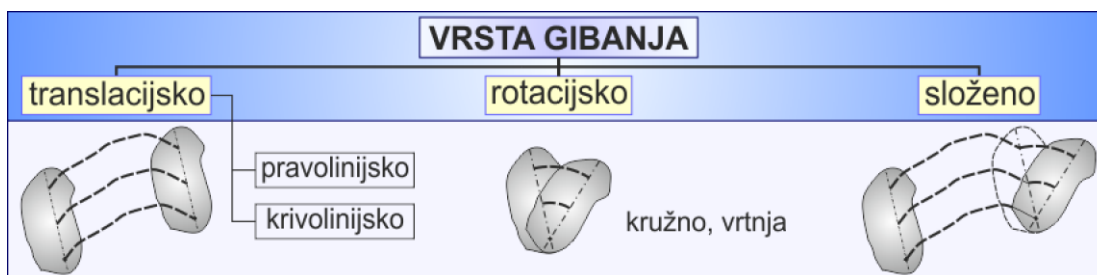
**Pokretni strojarski elementi** (u daljem tekstu, *pokretni elementi*; S-12.01, a) – ispunjavaju postavljene zahtjeve uz relativno gibanje u odnosu na druge elemente sustava u koje su ugrađeni. Nepokretni strojarski elementi (S-12.01, b) miruju ili se gibaju zajedno sa sustavom.



Slika 12.01 Strojarski elementi: (a) pokretni i (b) nepokretni

### Vrste gibanja

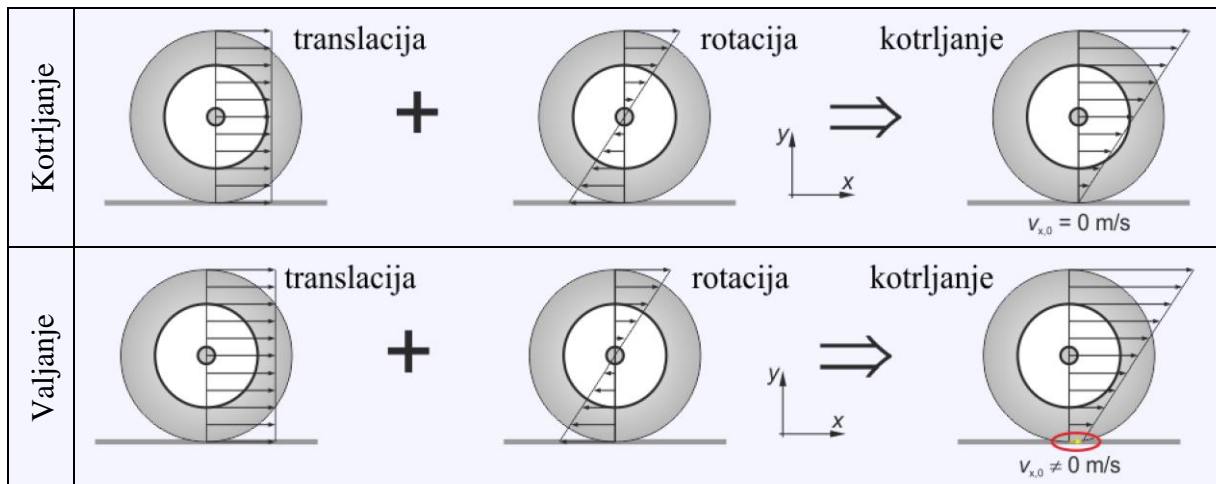
Prema prirodi gibanja razlikuju se:



**Translacijsko gibanje krutog tijela** – sve točke krutog tijela imaju jednake putanje, te je za potpuni opis gibanja dovoljno opisati gibanje samo jedne točke tijela. Putanje translacijskog gibanja mogu biti pravolinijske i krivolinijske.

**Rotacijsko gibanje krutog tijela** – u tijelu ili izvan tijela postoji pravac, **os rotacije**, na kojem sve točke miruju tijekom gibanja. Sve ostale točke tijela se kreću po kružnicama u ravninama okomitim na os rotacije, sa središtem na osi rotacije.

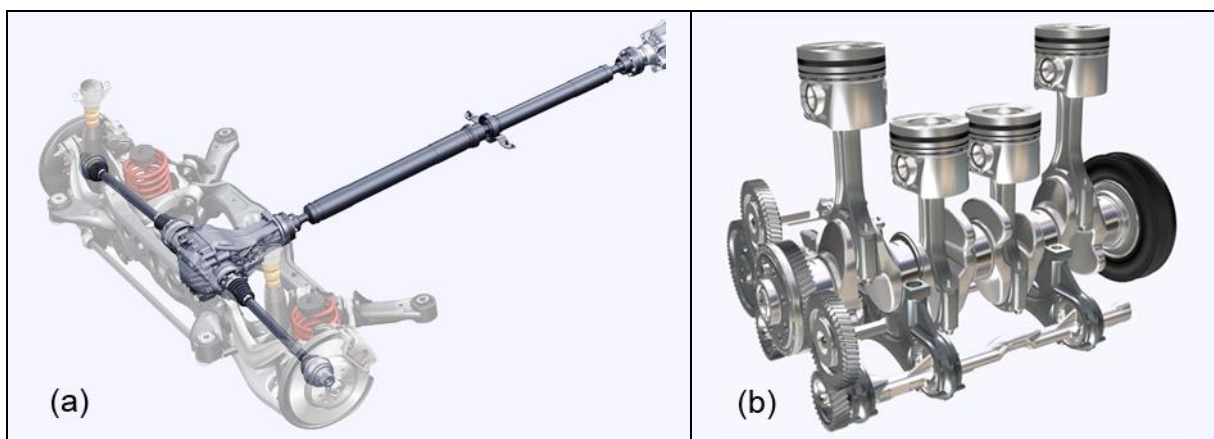
**Složeno gibanje krutog tijela** – može se opisati kombiniranjem translacijskog i rotacijskog gibanja. Dvije su važne posebne vrste složenog gibanja kod strojarskih elemenata prikazane za slučaj kotača na S-12.02.



**Slika 12.02** Složena gibanja kotača – kotrljanje i valjanje

U slučaju kotrljanja je brzina relativnog gibanja kotača u odnosu na podlogu, na mjestu dodira s podlogom (*S-12.02 – kotrljanje*), jednaka nuli ( $v_{x,0} = 0 \text{ m/s}$ ). Kod valjanja je brzina relativnog gibanja kotača u odnosu na podlogu, na mjestu dodira s podlogom (*S-12.02 – valjanje*), različita od nule ( $v_{x,0} \neq 0 \text{ m/s}$ ). Prema tome, kod valjanja se javlja klizanje kotača po podlozi. Slučaj valjanja prikazan na **S-12.02** javlja se pri kočenju.

Za prijenos mehaničke energije od izvora (*pogonski stroj*), uz prilagodbe potrebama (*prijenosnici*), do potrošača (*radni strojevi*) najpogodnije je kružno gibanje – **S-12.03, a**. Pravolinijsko je gibanje u strojarским sustavima za prijenos mehaničke energije praktično neupotrebljivo, a gibanje amo-tamo izbjegava se kada god je to moguće zbog problema koji prate stalne promjene smjera gibanja (*inercijske sile*). Kada to nije moguće – npr. **S-12.03, b**, gibanje amo-tamo se pretvara u vrtnju odmah do izvora (*klip motora SUI – klipni mehanizam*) ili se vrtnja pretvara u gibanje amo-tamo odmah do potrošača (*vijčani prijenosnik – suport tokarskog stroja*).



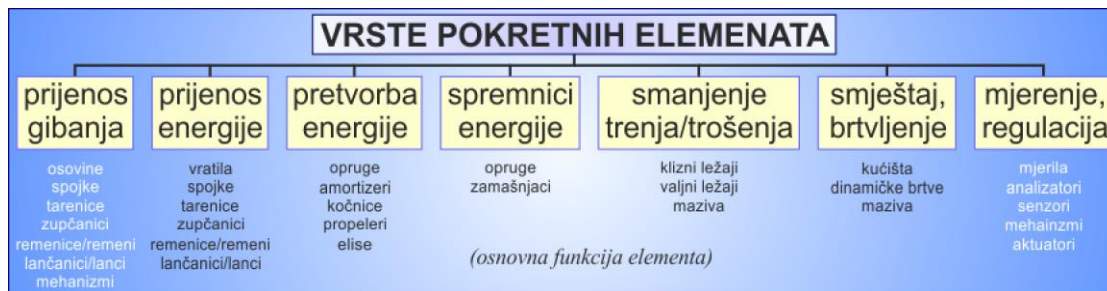
**Slika 12.03** Prijenos energije u motornim vozilima

### 12.1.2 Klasifikacija pokretnih elemenata

Pokretni elementi se klasificiraju na temelju više različitih kriterija (*osnovna funkcija, opterećenje, kontakt sa spregnutim elementom, broj gradbenih dijelova*).

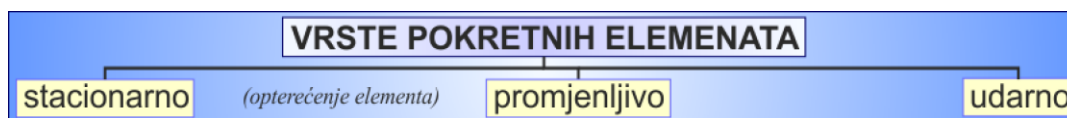
## 4 Elementi strojeva 2

Prema osnovnoj funkciji pokretnih elemenata razlikuju se:



Dio pokretnih elemenata ima različite funkcije. Na primjer, opruga se koristi kao element za pretvorbu energije pretvara kinetičku energiju u elastičnu potencijalnu energiju, a može se koristiti i kao spremnik energije – elastične potencijalne.

Prema opterećenju pokretnih elemenata razlikuju se:



Kod stacionarno opterećenih elemenata („statičko“ opterećenje) naprezanja se ne mijenjaju značajno tijekom vremena, dok se kod promjenljivo opterećenih elemenata („dinamičko“ opterećenje) naprezanja mijenjaju značajno tijekom vremena. U slučajevima udarno opterećenih elemenata (*sudar*) promjene su opterećenja veoma brze i velike.

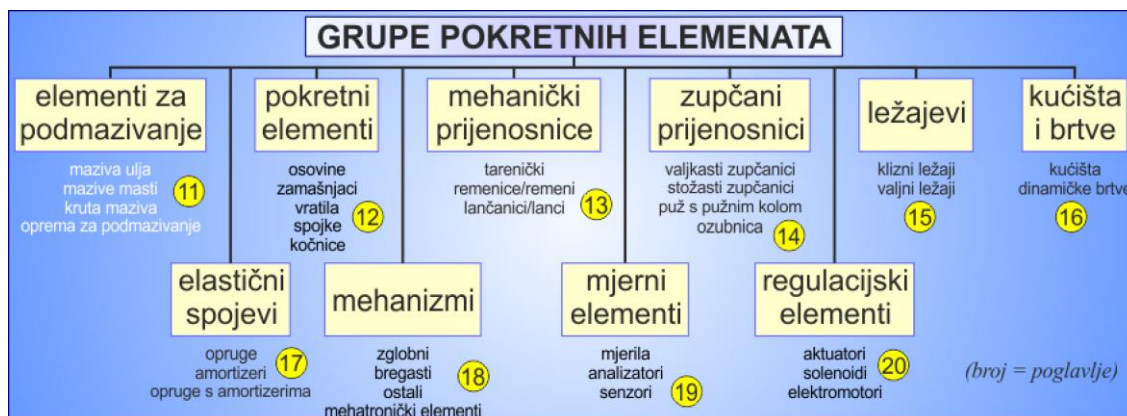
Prema prirodi kontakta spregnutih elemenata razlikuju se:



Prema broju gradbenih dijelova pokretnih elemenata razlikuju se:

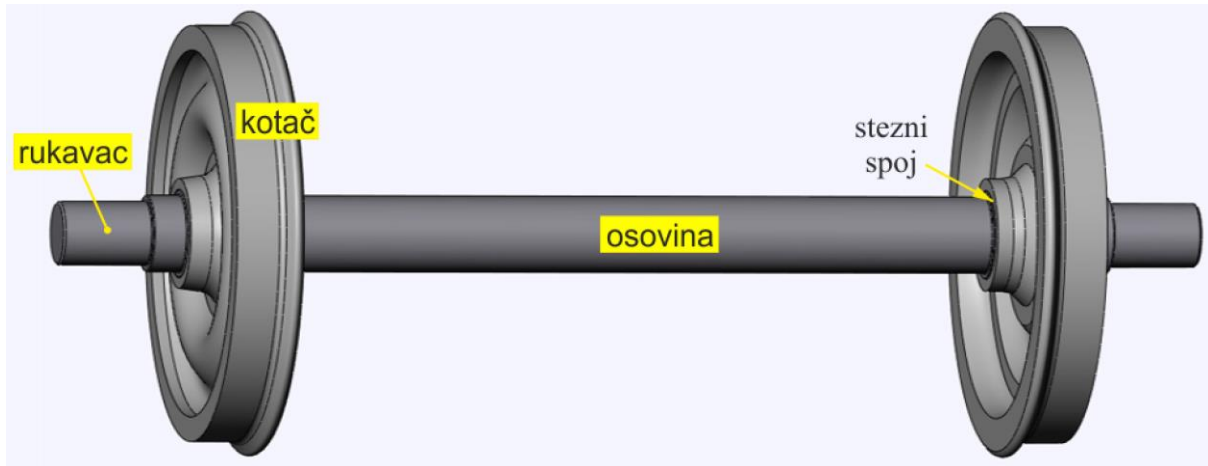


U *Strojarskim elementima 2* obrađeni su elementi po namjenskim grupama:



### 12.1.3 Osovine

**Osovine** – strojarski elementi namijenjeni postavljanju i nošenju različitih strojarskih elemenata (S-12.04) koji sudjeluju u kružnim gibanjima (kotači, užnice) ili ljuľljanju (klackalice ventila). Za razliku od vratila, osovine ne prenose okretne momente (uvijanje je zanemarivo malo).



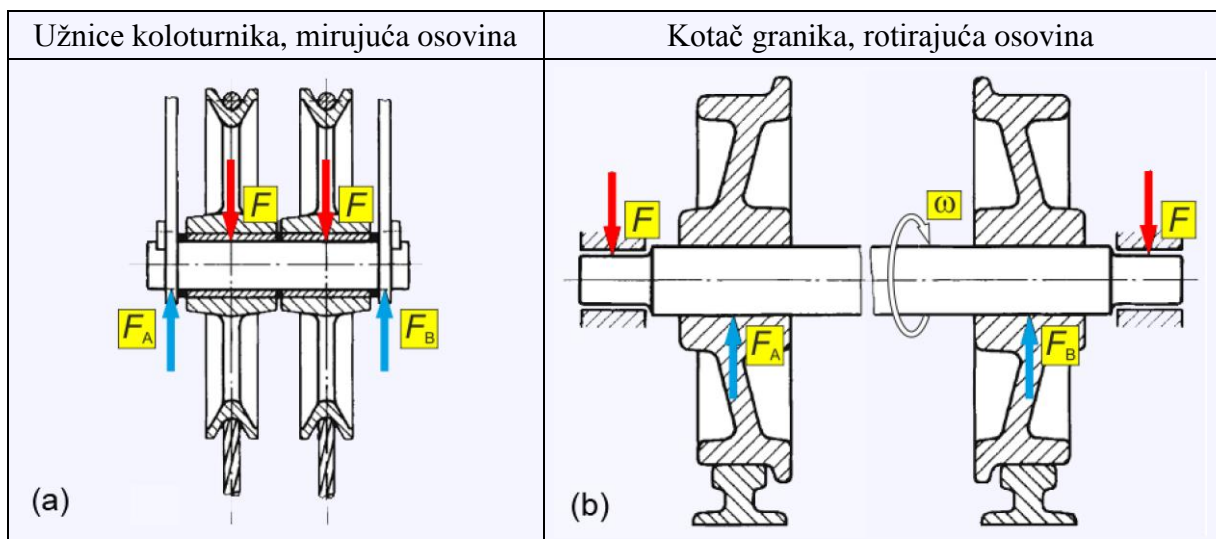
Slika S-12.04 Osovina vagona s kotačima

**Rukavci** – dijelovi osovina preko kojih se one oslanjaju na ležajeve. Osovine u pravilu imaju po dva rukavca.

Osovine mogu mirovati dok elementi na njima rotiraju (užnica koloturnika – S-12.05, a) ili mogu rotirati zajedno s elementima koji su s njima nepokretno spojeni (kotač granika – S-12.05, b).



Osovine mogu mirovati dok elementi na njima rotiraju (užnica koloturnika – S-12.05, a) ili mogu rotirati zajedno s elementima koji su s njima nepokretno spojeni (kotač granika – S-12.05, b).



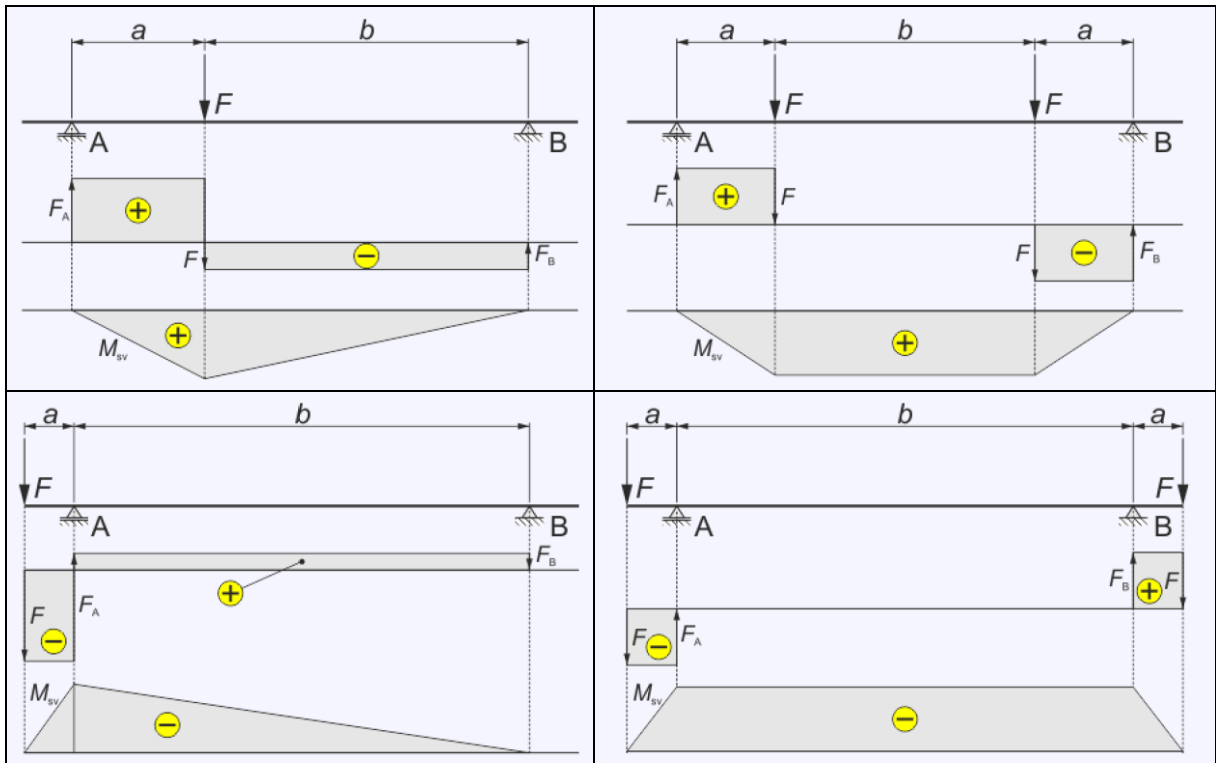
Slika 12.05 Osovine s nosećim strojnim elementima

## 6 Elementi strojeva 2

Osovine mogu biti pune i šuplje, s centralnim aksijalnim provrtom.



Osovine su opterećene poprečnim silama te su značajno napregnuta na savijanje (S-12.06).



**Slika 12.06** Osovine s nosećim strojnim elementima

Dvije su osnovne formule za proračun pune osovine kružnog presjeka:

1. naprezanje na savijanje:

$$\sigma_{sv} = \frac{M_{sv}}{W} \leq \sigma_{sv,doz} \quad \text{F-12.01}$$

gdje je:  $M_{sv}$  – moment savijanja, N·m,  
 $W$  – moment otpora poprečnog presjeka osovine, m<sup>3</sup>,  
 $\sigma_{sv,doz}$  – dozvoljeni moment savijanja, N/m<sup>2</sup>.

kako je za punu osovinu kružnog presjeka:

$$W \approx 0,1 \cdot d^3 \quad \left( W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = 0,0982 \cdot d^3 \approx 0,1 \cdot d^3 \right)$$

2. promjer vratila:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M_{sv}}{0,1 \cdot \sigma_{sv,doz}}} \quad \text{F-12.02}$$

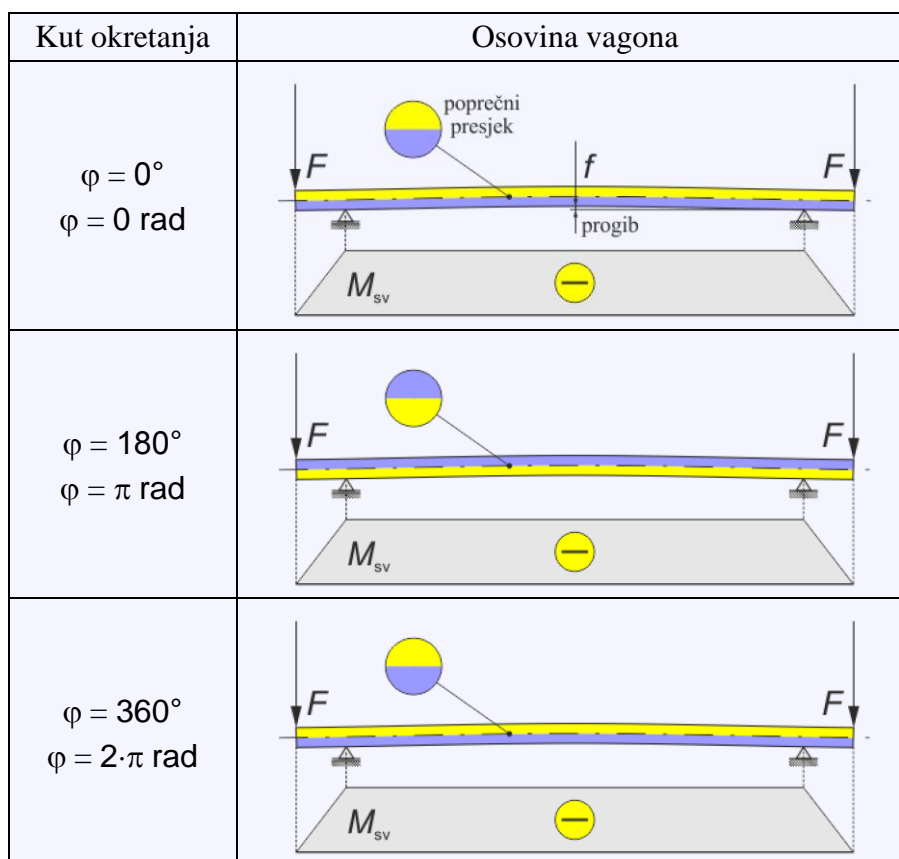
Kako ne prenose okretne momente, kod osovina nisu značajna naprezanja na uvijanje (npr. male razlike trenja u ležajevima), u pravilu su smična naprezanja zanemarivo mala a rijetki su i značajni vlakovi/tlakovi.

U literaturi su obuhvaćeni:

- detalji potrebni za proračun s primjerima – Haberhauer [2011, s. 279÷284],
- dva primjera s detaljnim rješenjima – Niemann [2005, s. 758÷768],
- primjeri s kratkim uputama za rješavanje i rješenjima – Wittel [2010, s. 69, 71÷75],
- hodogram proračuna, prilagodba profila i rukavci osovina – Wittel [2011, s. 348÷75],
- detalj proračuna osovina, radijalnih i aksijalnih rukavaca – Vitas [2, 1988, 28÷45].

Dalji detalji potrebni za oblikovanje i proračun osovina nalaze se u odjeljku 12.2. *Vratila*.

Pri konstantnim opterećenjima na savijanje mirujuće osovine na kojima se vrte elementi opterećene su statički dok su rotirajuće osovine s pričvršćenim elementima dinamički izmjenično opterećene (S-12.07).

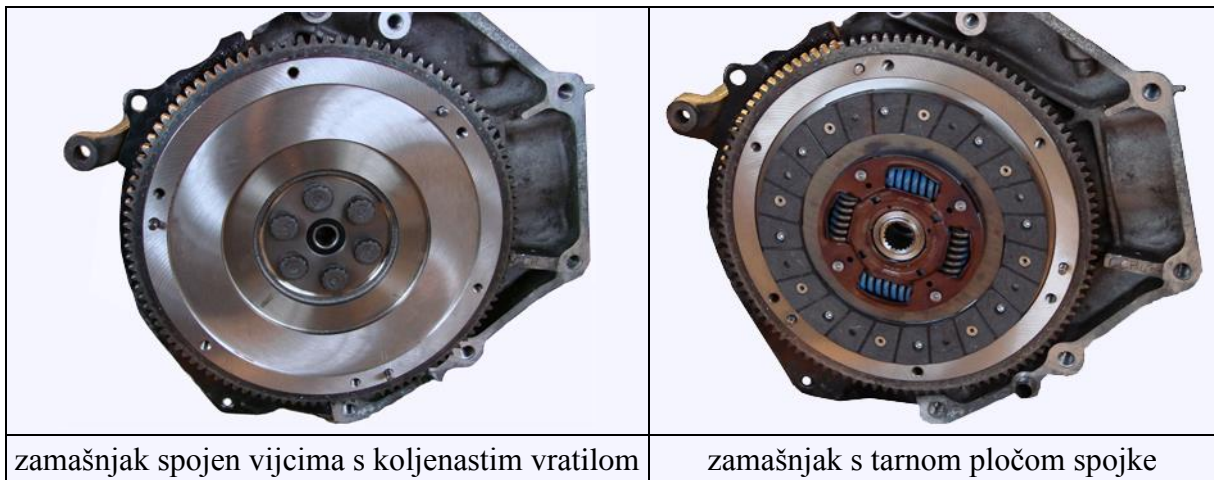


**Slika 12.07** Opterećenja osovine vagona

Prema tome, u slučaju jednakih dimenzija i istih materijala, osovine koje se vrte (*statičko savijanje*) imaju manje nosivosti od osovina koje miruju (*izmjenično dinamičko savijanje*). S druge strane, rotirajuće osovine s pričvršćenim elementima se lakše sklapaju i rasklapaju, a ležajevi lakše čiste i podmazuju.

### 12.1.4 Zamašnjaci

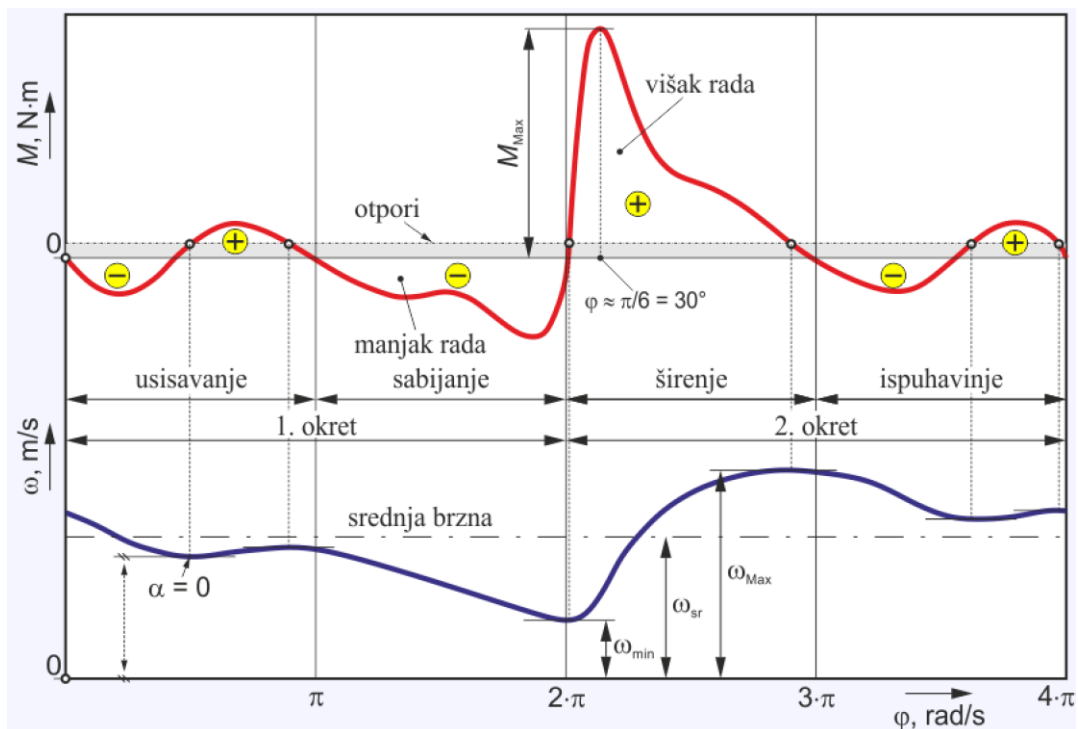
**Zamašnjak** – strojarski element koji pri promjenljivom opterećenju (*pogon*) smanjuje promjene brzina vrtnje (*vlastite i strojarskih elemenata s kojima je spojen*). – **S-12.08**.



**Slika 12.08** Zamašnjak motora SUI

Sa zamašnjaka motora SUI okretni se moment trenjem prenosi na tarnu ploču spojke koja je radialno nepokretnim ožljebljenjem spojena na ulazno vratilo mjenjača (*S-12.08*).

Zamašnjak smanjuje promjene brzine vrtnje koljenastog vratila motora SUI (*taktovi: usisavanje, sabijanje, širenje, ispuhavanje*). Na **S-12.09** su prikazane promjene okretnog momenta i kutne brzine radilice.



**Slika 12.09** Promjene okretnog momenta i kutne brzine vrtnje radilice

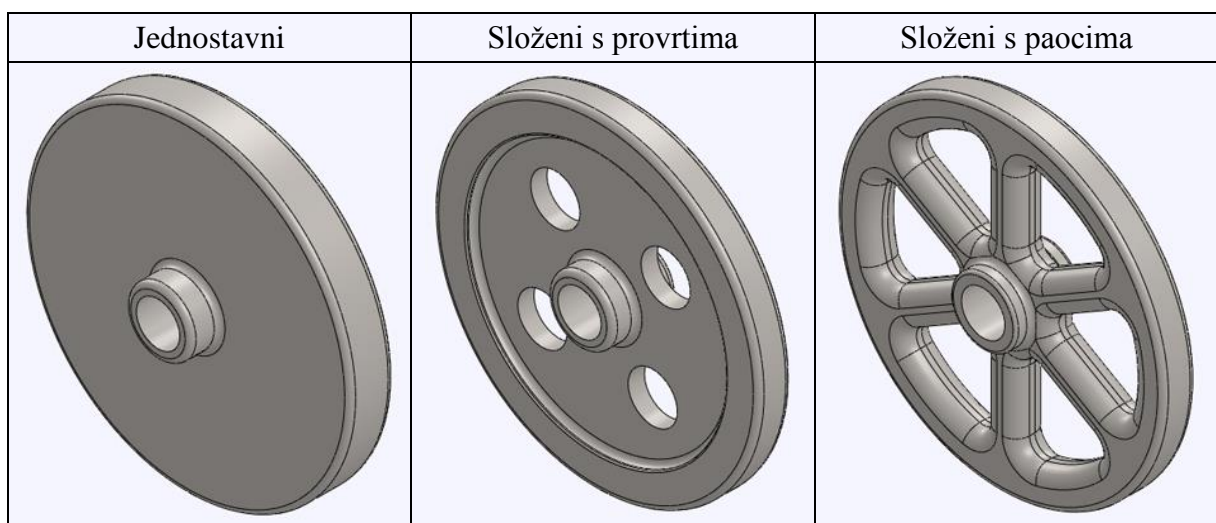


Na **S-12.09** treba zapaziti kako je u trenucima kada je okretni moment  $M$  upravo jednak otporima kutno ubrzanje radilice  $\alpha$  jednako je nuli – kutna brzina se ne mijenja (*tangenta na krivulju  $\omega = f(\varphi)$  paralelna s  $\varphi$  osi*). U područjima manjka rada (*znakovi –*) kutna brzina opada (*dolazi do usporjenja vrtnje*), a u područjima viška rada raste (*rad se koristi za ubrzanje vrtnje*).

Prema geometriji razlikuju se:



Jednostavni su u obliku diska, a kod složenih, u cilju optimalizacije, usvojene su manje ili više složene geometrije sa provrtima ili paocima (**S-12.10**).



**Slika 12.10** Vrste zamašnjaka

Prema broju dijelova razlikuju se:



U pravilu su jednodijelni manji zamašnjaci a višedijelni veliki.

### Oblikovanje zamašnjaka

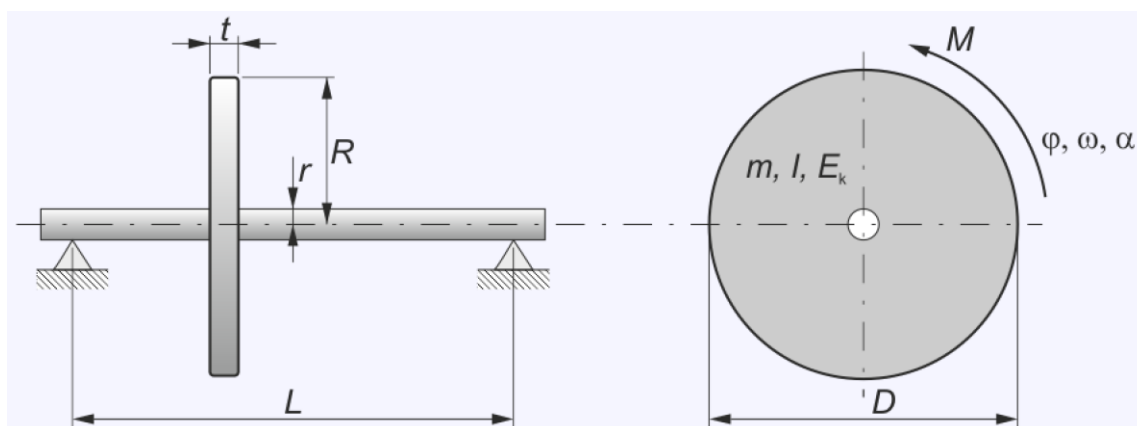
Zamašnjak se dimenzionira prema dozvoljenom koeficijentu promjenljivosti brzina kao i dozvoljenim naprezanjima u pogonskim uvjetima. Koeficijent je promjenljivosti brzina:

$$C_{\omega} = \frac{\omega_{\text{Max}} - \omega_{\text{min}}}{\omega_{\text{sr}}} \quad \text{F-12.03}$$

gdje je:  $\omega$  – kutna brzina, rad/s,  
 $\omega_{\text{Max, min, sr}}$  – maksimalno, minimalno, srednje

Pri usvajanju zamašnjaka treba biti iznimno oprezan jer pojavu loma zamašnjaka u pravilu prate leteći dijelovi, koji mogu imati velike brzine i izazvati teže ozljede.

Karakteristike su zamašnjaka (*jednostavnog, jednodijelnog*) dane na **S-12.11**. Za oblike zamašnjaka složenije od jednostavnog diska potrebne su dodatne geometrijske karakteristike.



**Slika 12.11** Zamašnjak

Moment tromosti je kod jednostavnog zamašnjaka (*S-12.14*):

$$I = \frac{m}{2}(R^2 - r^2)$$

a kinetička energija:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2$$

te su razlike kinetičkih energija pri maksimalnoj i minimalnoj brzini vrtnje:

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} \cdot I (\omega_{\text{Max}}^2 - \omega_{\text{min}}^2)$$

Prema tome, moment tromosti je jednostavnog zamašnjaka:

$$I = \frac{\Delta E_k}{\omega_{\text{sr}}^2 \cdot C_\omega}$$

**F-12.04**

Preporučene su vrijednosti  $C_\omega$  dane **T-12.01**.

**Tablica 12.01** Preporučene vrijednosti koeficijenta promjenljivosti brzina:

Dozvoljena promjenljivost brzina	$C_\omega$ , 1
izrazita jednolikost	$\leq 0,003$
srednja jednolikost	$0,003 \div 0,012$
mala odstupanja	$0,012 \div 0,05$
srednja odstupanja	$0,05 \div 0,2$
velika odstupanja	$\geq 0,2$

U literaturi [Shigley, 2004, s. 180, 182] nalaze se primjeri proračuna zamašnjaka s usvojenim  $C_\omega = 0,1$  za udarnu prešu i  $C_\omega = 0,05$  ( $\pm 2,5\%$ ) za motor s unutarnjim izgaranjem.

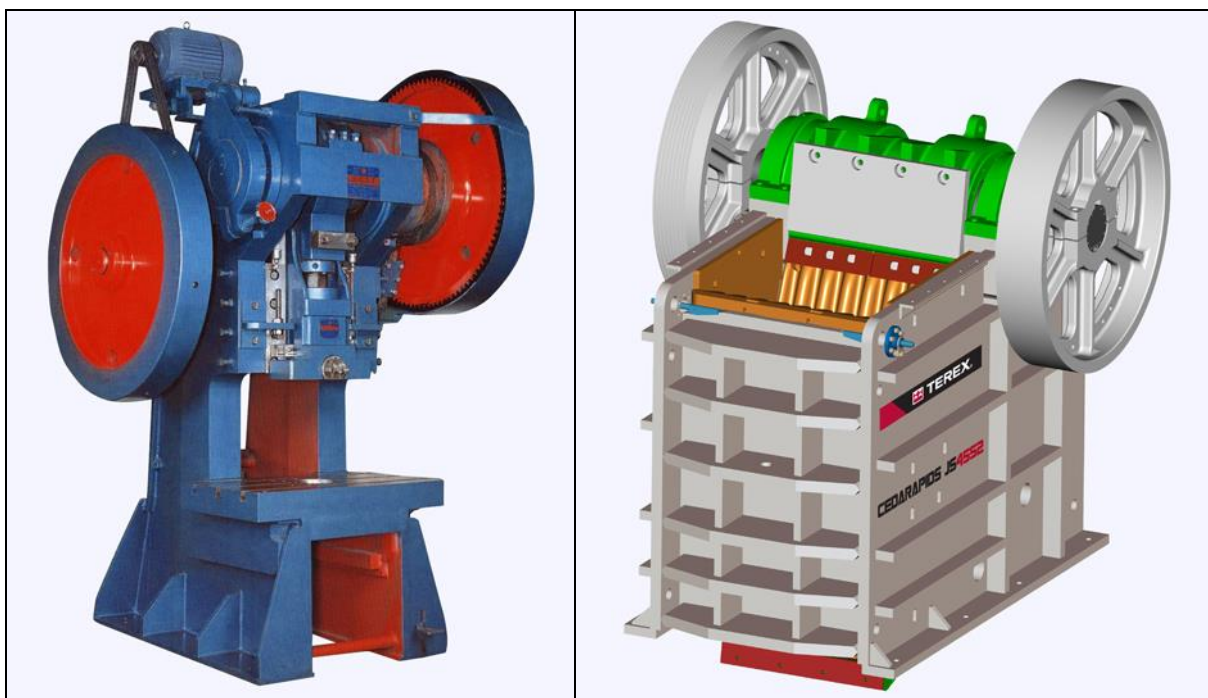
## Proračun zamašnjaka zamašnjaka

U literaturi su obuhvaćeni:

- formule te zadaci s rješenjima i bez rješenja – Hall [1968, s. 320÷328],
- formule za proračun zamašnjaka – Lingaiah [1968, s. 445÷449],

## Primjena zamašnjaka

Pored motora SUI zamašnjaci se ugrađuju u klipne kompresore, udarne preše i drobilice kamena (S-12.12).



**Slika 12.12** Udarne preša i drobilica kamena

Zamašnjaci se sreću i kod bunara te sprava za vježbanje (S-12.13).



Slika 12.13 Bunar i orbitrek

Ravnomjerno opterećeni (*gonjeni*) strojevi ne trebaju zamašnjak. Na primjer, kod stroja za šivanje primjer je neravnomjernog pogona ručni/nožni pogon (*S-12.14*), a primjer ravnomjernog pogona elektromotorni.



Slika 12.14 Strojevi za šivanje

### Literatura

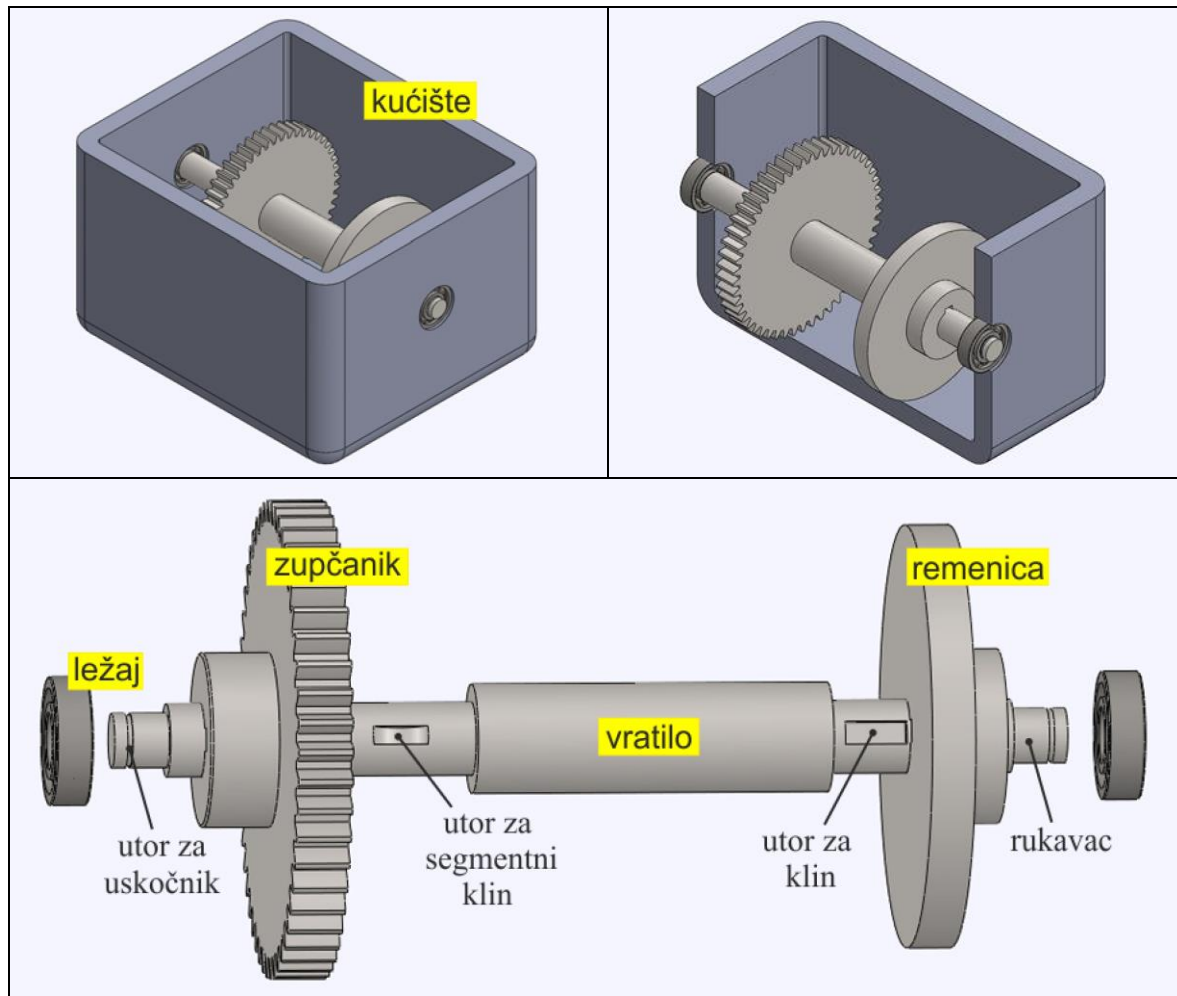
Brown2005/406=425, Budynas2011/866=871, Elčić1973/671=675, Hall1968/320=328, Lingaiah2004/445=449, Norton2006/560=578, Oberg2008/3321=3332, Shigley2004/177=201

## 12.2 Vratila

### 12.2.1 Osnove vratila

**Vratila** – strojarski elementi namijenjeni postavljanju i nošenju različitih strojarskih elemenata (*S-12.15*) koji sudjeluju u kružnim gibanjima (*zupčanci, lančanci, remenice*) prenoseći ok-

retne momente (*okretno gibanje, snagu*). Vratila su po obliku slična osovinama (*najčešće, punog kružno presjeka*).



Slika 12.15 Vratilo s postavljenim elementima

### Klasifikacija vratila

Prema uzdužnom presjeku razlikuju se:



Prema poprečnom presjeku razlikuju se:



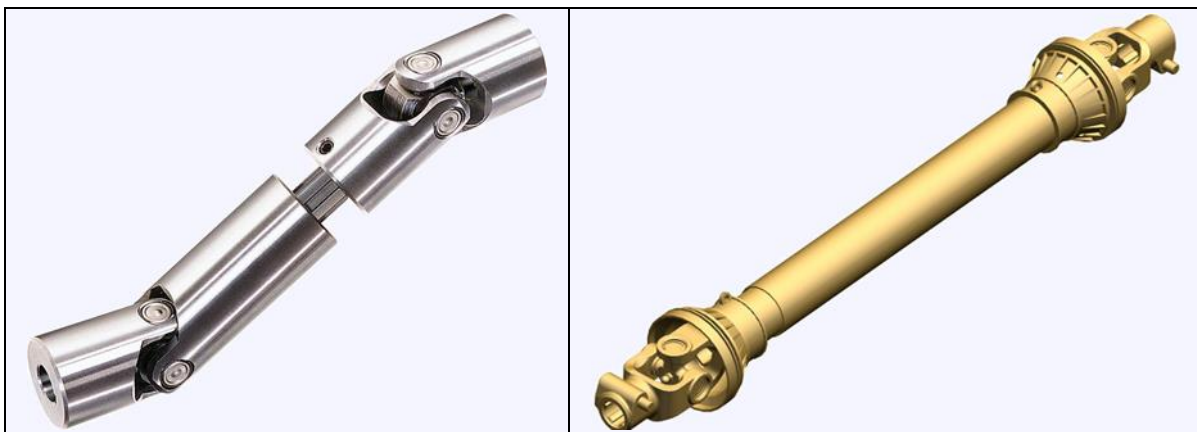
Specifične su vrste vratila koja se često koriste:

- **zglobna vratila** – S-12.16,
- **savijljiva vratila** – S-12.17,

- koljenasta vratila – S-12.18 i
- bregasta vratila – S-12.19.

Zglobna i savitljiva vratila prenose okretni moment s krajnjeg pogonskog dijela na krajnji gonjeni dio. Krajnji dijelovi zglobnih i savitljivih vratila nisu koaksijalni (*suosni*) a uzajamni položaji im se mogu mijenjati, u značajno većoj mjeri u slučaju savitljivih vratila.

Koljenasta vratila (*motori SUI, klipni kompresori*) i bregasta vratila (*motori SUI*) koriste se za pretvorbu pravolinijsko  $\Leftrightarrow$  kružno gibanje.



Slika 12.16 Zglobna vratila

Kako bi se vrtnja zglobnih vratila (*S-12.16*) mogla neometano odvijati između krajnjih dijelova su izvedena dva zgloba i međuvratilo promjenljive dužine (*teleskopsko vratilo*). Ugrađuju se u motorna vozila (*veza izlaznog vratila mjenjača i ulaznog vratila diferencijala*), alatne strojeve (*pogon radnog stola glodalice*) i radne strojeve (*građevinski i poljoprivredni*).



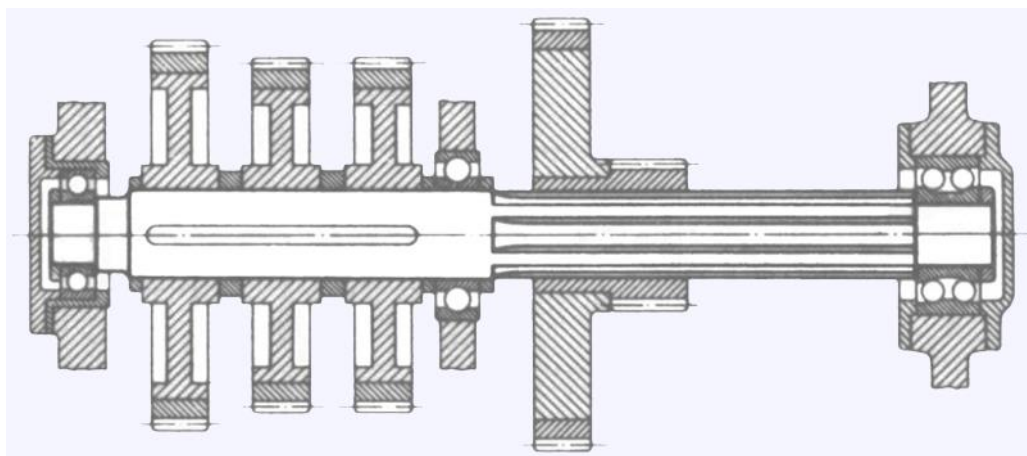
Slika 12.17 Savitljiva vratila

Krajevi savitljivih vratila (*S-12.13*) spojeni su zavojitom čeličnom žicom koja se nalazi u zaštitnom savitljivom zavojitom metalnom omotaču, dodatno obloženom plastičnom masom. Savitljiva se vratila koriste u prijenosu manjih snaga kod strojeva kod kojih se uzajamni položaji pogonskih i/ili radnih dijelova u velikoj mjeri mogu slobodno mijenjati. Savitljivo se vratilo vrti u smjeru suprotnom od smjera zavojnice metalnog omotača.



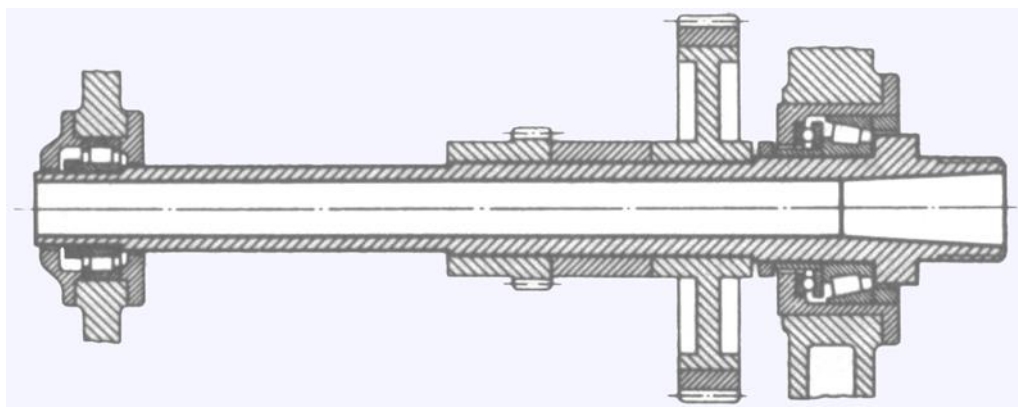
### Primjeri

Vratila su rijetko konstantnog presjeka po cijeloj dužini. Najčešće su stupnjevana (*pojedini dijelovi imaju različite promjere*), te često profilirana – ožljebljena ili ozubljena (*S-12.20*).



**Slika 12.20** Stupnjevano ožljebljeno vratilo mjenjača motora SUI

Šuplja vratila su skuplja, ali je korist od smanjenja težine veća nego šteta od smanjenja čvrstoće i krutosti. Na primjer, vratilo s promjerom provrta  $0,5 \cdot d$  je lakše 25 %, a momenti otpora  $W$  i  $W_p$  se smanjuju samo oko 5 %.



**Slika 12.21** Šuplje vratilo s dva zupčanika

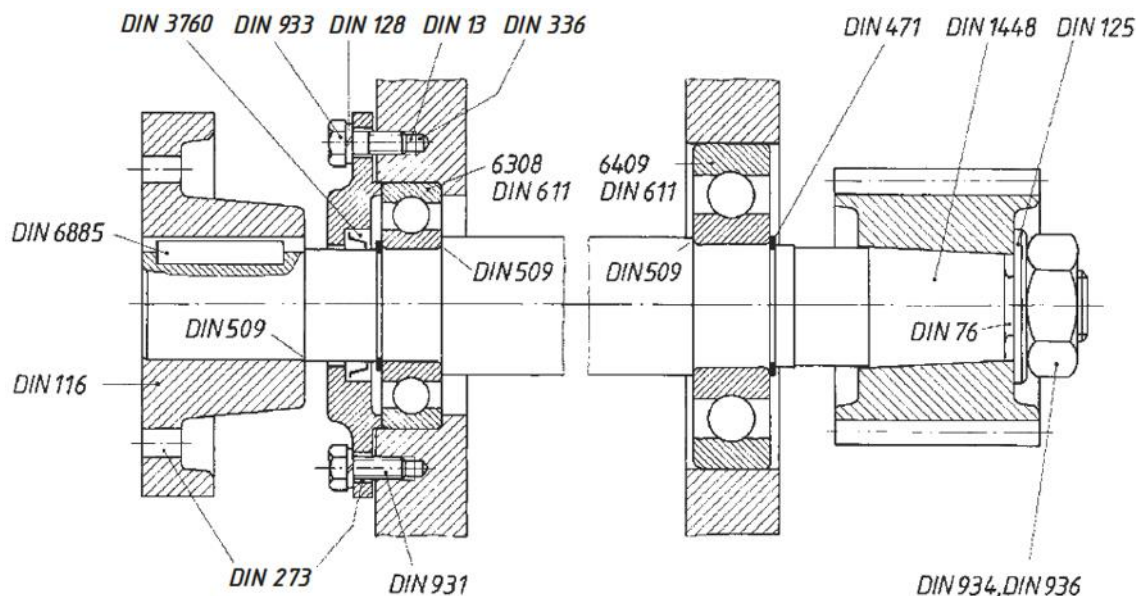
## 12.2.2 Oblikovanje vratila

Pri oblikovanju vratila:

1. lista elemenata koje nosi vratilo i nalaženje relevantnih normi,
2. izbor materijala za izradu vratila,
3. skica vratila s postavljenim elementima,
4. razrada detalja geometrije vratila,
5. statički proračun.

### Norme

Za oblikovanje vratila s postavljenim elementima (S-12.13) značajne su norme navedene u Böge-u [2011, s. 681].



**Slika 12.21** Norme u oblikovanju vratila s postavljenim dijelovima [Böge, 2011, s. 681, 687]

- DIN EN 10278 Maße und Grenzabmaße von Blankstahlerzeugnissen
- DIN 743 Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen
- DIN 13 Teil 1 Metrisches ISO-Gewinde, Regelgewinde
- DIN 76 Teil 1 Gewindeausläufe; Gewindefreistich für Metrisches ISO-Gewinde
- DIN 116 Antriebselemente; Scheibenkupplungen, Maße, Drehmomente, Drehzahlen
- DIN EN ISO 7089 Scheiben
- ISO 273 Durchgangslöcher für Schrauben
- DIN 336 Durchmesser für Bohrwerkzeuge für Gewindekernlöcher
- DIN 471 Teil 1 Sicherungsringe für Wellen
- DIN 509 Freistich
- DIN 611 Wälzlagerenteile, Wälzlagerzubehör und Gelenklager



- DIN 931,  
DIN EN ISO 4017 Sechskantschrauben
- DIN 748           Zylindrische Wellenenden
- DIN 1448, 1449   Kegelige Wellenenden mit Außen-, Innengewinde
- DIN 3760           Radial-Wellendichtringe
- DIN 6885 Teil 1   Passfedern, Nuten

U literaturi [DIN, 2008, s 429-432] dani su izvodi iz normi za razmak osi vratila od temelja prijenosnika (DIN 747) i rukavce (DIN 748-1 – cilindrični, DIN 1448-1 – stožasti s vanjskim navojem, DIN 1449 – stožasti s unutarnjim navojem).

## Materijali

Najčešće se koriste: S275JR / St 44-2 / Č0451, E295 / St 50-2 / Č0545, a za veća opterećenja E335 / St 60-2 / Č0645.

Kod strožih zahtjeva se koriste čelici za poboljšanje: C35E / Ck 35 / Č1431, C45E / Ck45 / Č1531, 34Cr4 / 34Cr4 / Č4130, 41Cr4 / 41Cr4 / Č4131, 42CrMo4 / 42CrMo4 / Č4732.

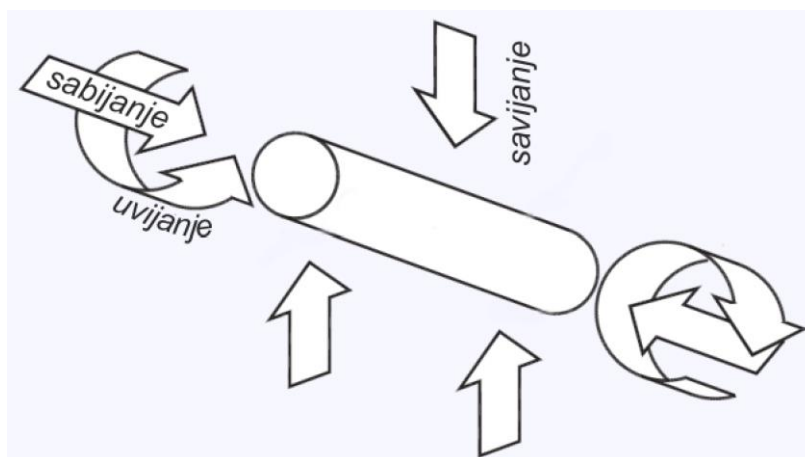
Za vratila vozila se koriste čelici za cementiranje: C15 / C15 / Č1220, 16MnCr5 / 16MnCr5 / Č4320, 20MnCr5 / 20MnCr5 / Č4321, 18CrNi8 / 18CrNi8 / Č5421.

Čelici za cementaciju su potrebni jer je na pojedinim mjestima (npr. na rukavcu u ležaju) potrebno da vratilo ima tvrdu površinu, dok jezgra vratila ostaje mekana i žilava. Pri tome se koncentracija naprezanja na površini mora maksimalno smanjiti jer su čelici visoke čvrstoće vrlo osjetljivi na zarez.

Koljenasta vratila motora s unutarnjim izgaranjem se mogu izrađivati i iz nodularnog lijeva NL 600 s kuglastim grafitom.

Radi uštede se vratila mogu izrađivati i zavarivanjem iz dva dijela od različitih materijala, npr. od jeftinog Č0545 i skupog Č5421 za zupčanike.

## Statički proračun



Slika 12.21 Opterećenja vratila

## 18 Elementi strojeva 2

Za razliku od osovina, vratila prenose okretne momente i **opterećena su na uvijanje**. Po-  
red toga, vratila su značajno opterećena:

- često, poprečnim silama na savijanje,
- rijede, uzdužnim silama na sabijanje ili razvlačenje,
- rijetko, poprečim silama na smicanje.

U proračunu vratila, značajno opterećenih samo na savijanje, koriste se iste formule kao i  
za osovine **F-12.01** i **F-12.02**.

Kod vratila opterećenih na uvijanje značajne su dvije formule: [Böge, 2011, s. 681]

1. naprezanje na uvijanje:

$$\tau_{uv} = \frac{M_{uv}}{W_p} \leq \tau_{uv,doz} \quad \text{F-12.03}$$

gdje je:  $M_{uv}$  – moment uvijanja, N·m,  
 $W_p$  – polarni moment otpora poprečnog presjeka osovine, m<sup>3</sup>  
 $\sigma_{sv,doz}$  – dozvoljeni moment savijanja, N/m<sup>2</sup>.

kako je za punu osovinu kružnog presjeka:

$$W_p \approx 0,2 \cdot d^3$$

2. promjer vratila:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M_{uv}}{0,2 \cdot \tau_{uv,doz}}} \quad \text{F-12.04}$$

Ako su zadani snaga ( $P$ , kW) koju prenosi vratilo i broj okretaja vratila ( $n$ , %/min):

$$M_{uv} = 9,55 \cdot 10^6 \quad \text{N} \cdot \text{m}$$

Kada je vratilo opterećeno na uvijanje i savijanje (S-12.xx) u prvom se koraku određuje  
promjer vratila na temelju uvijanja: [Böge, 2011, s. 681]

$$d \approx c_1 \cdot \sqrt[3]{M_{uv}} \approx c_2 \cdot \sqrt[3]{\frac{P}{n}} \quad \text{F-12.05}$$

gdje su:

Materijal	$c_1$ , 1	$c_2$ , 1
S 235 JR i S 275 JR	0,69	146
E295 i E3355	0,625	133
čelici velike čvrstoće	0,58	123

Dalji je tijek opisuje detaljnije Böge [2011, s. 682]:

- usporedno naprezanje:

$$\sigma_{usp} = \sqrt{\sigma_{sav}^2 + 3 \cdot (\alpha_0 \cdot \tau_{uv})^2} \leq \sigma_{sav,doz} \quad \text{F-12.06}$$

- usporedni moment:

$$M_{\text{usp}} = \sqrt{M_{\text{sav}}^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot M_{\text{uv}})^2} \quad \text{F-12.07}$$

- promjer vratila:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M_{\text{usp}}}{0,1 \cdot \sigma_{\text{sav,doz}}}} \quad \text{F-12.08}$$

Pored toga su u Böge-u opisani proračuni:

- (a) dugih vratila, temeljenih na dozvoljenom kutu uvijanja [Böge, 2011, s. 682-683],
- (a) rukavaca [Böge, 2011, s. 683],
- (b) trajne nosivosti osovina i vratila, s riješenim primjerom [Böge, 2011, s. 687-691].

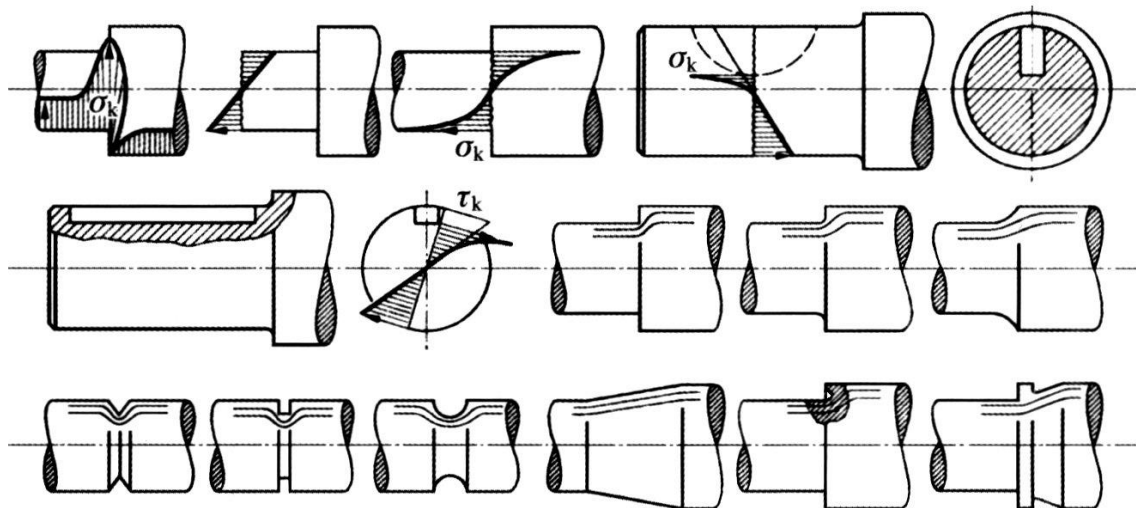
### Detalji geometrije

Promjenljivo naprezanje pri savijanju izaziva na svim mjestima gdje postoji koncentracija naprezanja (*utori, promjene presjeka, provrti*) stalnu opasnost od loma usljed zamora materijala. Stoga oblikovati treba tako da skretanje silnica – zamišljenih linija po kojima se prenosi sila – bude što blaže. To će se postići ako na osovini/vratilu ne bude naglih promjena oblika.

Pogledati [Budynas, 2011, s. 372-373], [Childs, 2004, s. 100-112],

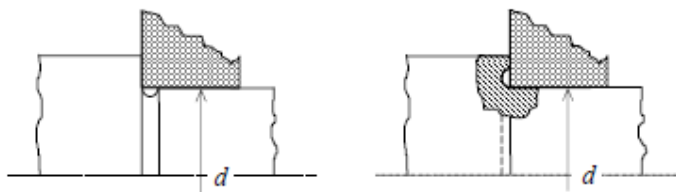
Opasnost od zamornog loma će se smanjiti ako površinska obrada na mjestima skretanja sila bude što finija (*faktor b1 u formuli za  $\sigma_{\text{dop,din}}$* ).

Povećana naprezanja  $\sigma_k$  i  $\tau_k$  na mjestu koncentracije naprezanja i tok sile kod povoljnog i nepovoljnog oblikovanja: [Decker, 1987, s. 172]



Slika S-04.xx Koncentracije naprezanja kod vratila

Ukoliko na promjenama promjera ne smije biti zaobljenje radi bočnog oslanjanja pojedinih elemenata (*valjnog ležaja, zupčanika itd.*), izrađuju se žljebovi za izlaz alata koji također smanjuju koncentraciju naprezanja.



**Slika S-04.xx** Smanjenje koncentracije naprezanja kod vratila

[Childs, 2004, s. 112]

In general, the following principles should be used when designing to avoid fatigue failures.

- Calculations should allow an appropriate safety factor, particularly where stress concentrations occur (e.g. keyways, notches, change of section).
- Provide generous radii at changes of section and introduce stress relief grooves, etc.
- Choose materials if possible that have limiting fatigue stresses, e.g. most steels.
- Provide for suitable forms of surface treatment, e.g. shot-peening, work-hardening, nitriding. Avoid treatments which introduce residual tensile stresses, such as electroplating.
- Specify fine surface finishes.
- Avoid corrosive conditions.
- Stress relieving should be used where possible, particularly for welded structures.

# **Materijali:** [Wittel 2011, s. 347],

# **Približni proračun:** podloge [Böge, 2011, s. 681÷683], primjer [Böge, 2011, s. 685],

# **Geometrija:** upute [Böge, 2011, s. 683÷684], koncentracije naprezanja [Decker, 1987, s. 172],

Böge2011/681÷691, Budynas2011/359÷408,934÷951, Carvill2003/49÷57, Childs2004/94÷121, Decker1987/169÷186, DIN2008/429÷432, Haberhauer2011/284÷309, Oberšmit 1973/254÷284, Hall1968/108÷137, Hering2004/398, Jelaska2005/137÷151, Klebanov2008/43÷67, Lingaiah2004/426÷444, Mott2004/546÷590, Muhs2006/141÷155, Niemann2005/762÷801, Norton2006/524÷597, Pandžić2008/91÷99/146, Parmley2005/D10, Podrug2008/47÷50, Shigley1996/1241-1261, Shigley2004/523÷543, Spotts1961/59-83, Steinhilper12008/388-423, Timings2005/467÷488, VitasII1988/6÷34, Wittel2010/69÷79/180÷183/284÷292, Wittel2011/343÷374, Vöth2007/22÷29,

## Čvrstoća [Wiettel, 2011, str. 344]

### Elastične deformacije [Wietel 2011, str. 347]

Tolerancije pogledati [Budynas, 2011, s. 395÷400]

### Rukavci

[Decker, 1987, s. 172]

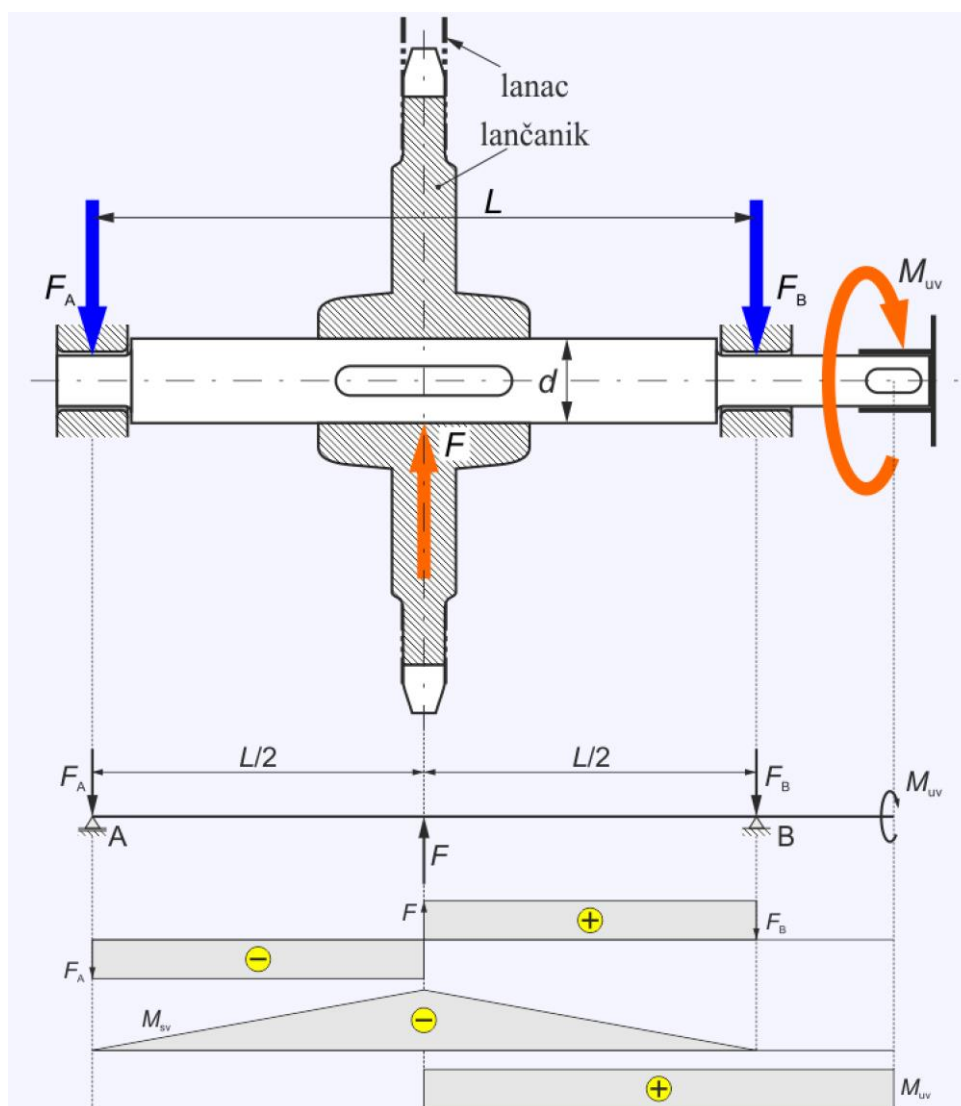
#### 12.2.3 Proračun vratila

1. odrediti dimenzije i raspored komponenti
2. odabrati materijal
3. odrediti deformacije i krutost (*savijanje, uvijanje, nagibe uz ležajeve, smik*)
4. odrediti naprezanja i čvrstoću (*statika, umor, pouzdanost*)
5. odrediti parametre titranja
6. odrediti tehnološka ograničenja

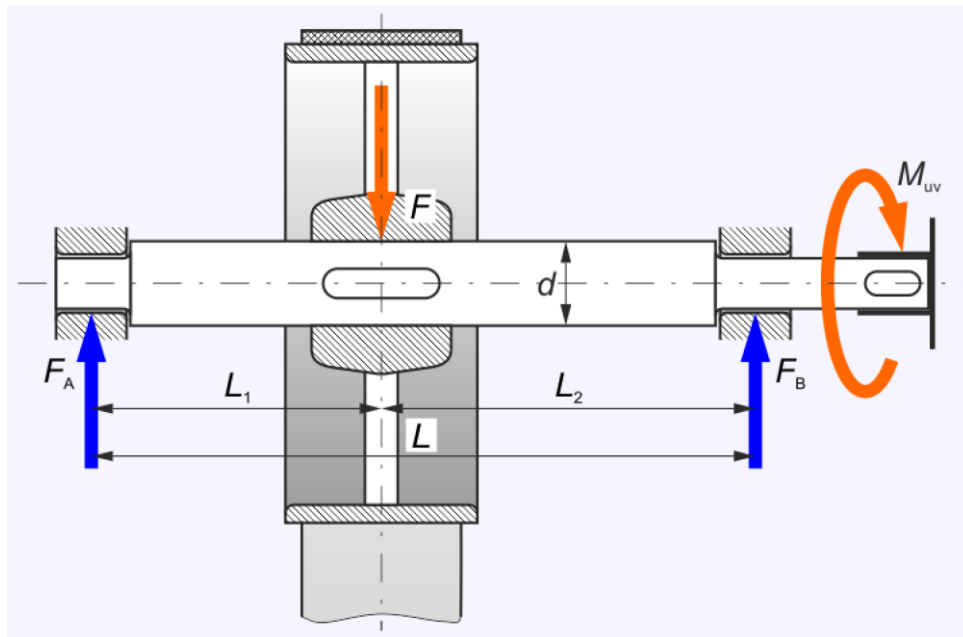
[Childs, 2004, s. 94÷97],

1. size and spacing of components (as on a general assembly drawing), tolerances
2. material selection, material treatments
3. deflection and rigidity
  - bending deflection
  - torsional deflection
  - slope at bearings
  - shear deflection
4. stress and strength
  - static strength
  - fatigue
  - reliability
5. frequency response
6. manufacturing constraints.

Pogledati [Decker, 1987, s. 173÷186]



Slika 12.xx Opterećenje vratila lančanog prijenosnika



**Slika 12.xx** Remenica i vratilo opterećeno na uvijanje i savijanje

Primjere proračuna obuhvaćaju:

- s detaljnim rješenjem – [Böge, 2011, s. 685÷686],
- određivanje stupnjeva sigurnosti proizvedenog vratila [Budynas, 2011, s. 370÷372], detaljni proračun s koncentracijama naprežanja [Budynas, 2011, s. 374÷378], detaljni proračun deformacija [Budynas, 2011, s. 380÷382], detaljni proračun kritične brzine vrtnje [Budynas, 2011, s. 386÷388], niz primjera – za dio su data rješenja na kraju knjige [Budynas, 2011, s. 400÷408] (anglosaksonske jedinice)
- niz primjera s rješenjima [Childs, 2004, s. 118÷120], riješeni primjeri za deformacije i kritične brzine vratila [Childs, 2004, s. 100÷116],

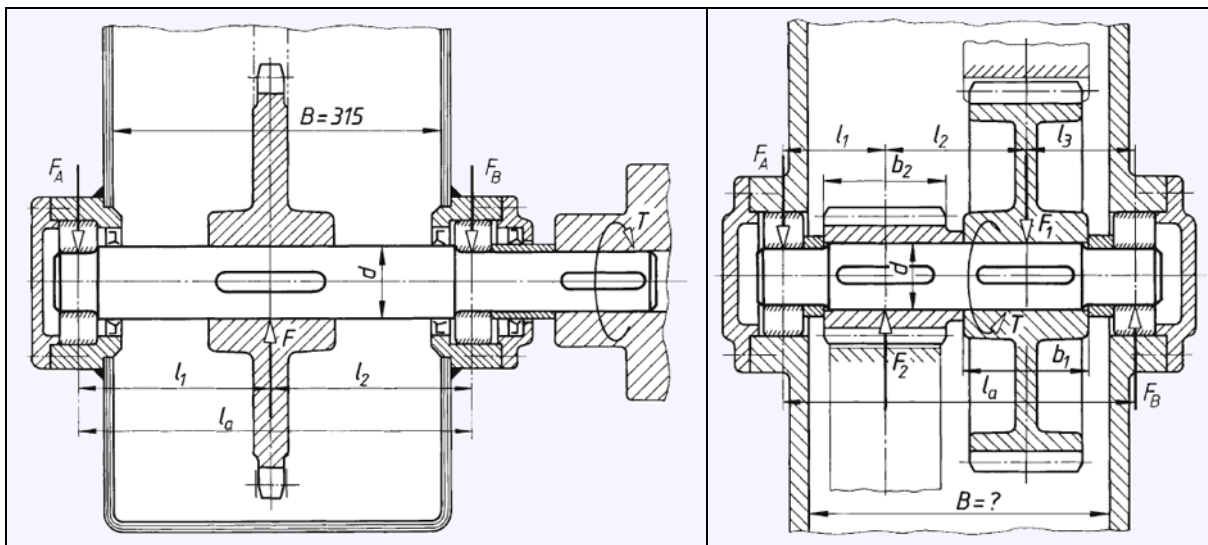
Tipična su dva slučaja proračuna:

**PRORAČUN VRATILA**  
dimenzije ugradbenog prostora

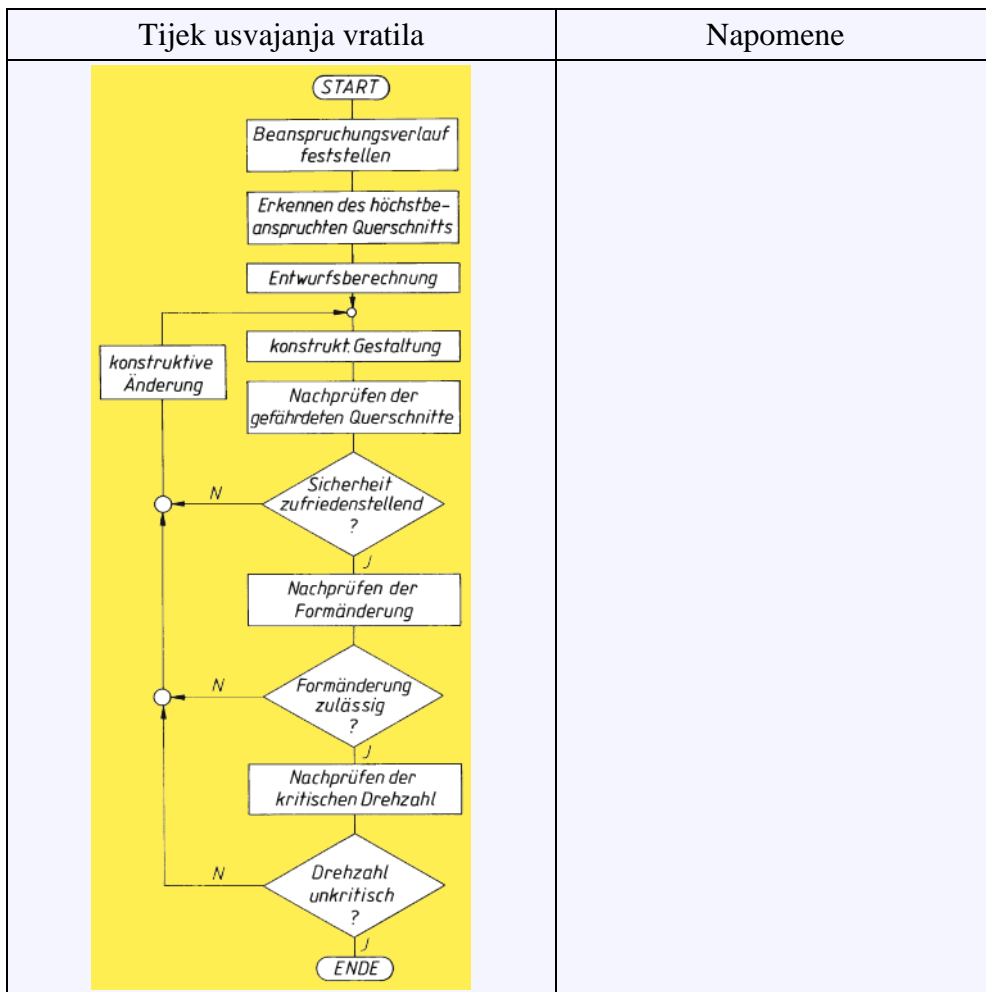
određene

neodređene

<p>Određene dimenzije kućišta – lančani prijenosnik</p>	<p>Neodređene dimenzije kućišta – zupčani prijenosnik</p>
---	---



Slika 04.xx Proračun vratila – tipični zadaci





**Fall 1:** Der Einbauraum für die Achse oder Welle ist durch die bereits festliegenden Abmessungen der Gesamtkonstruktion vorgegeben, z. B. für eine Fahrzeugachse durch die Breite des Fahrzeuges (**Bild 11-1b**) oder für die Antriebswelle eines Kettenförderers durch die aufgrund der Förderleistung bedingte Trogbreite (z. B.  $B = 315 \text{ mm}$  in **Bild 11-7**). In solchen Fällen liegen die Abstandsmaße für Lager, Räder u. dgl. fest oder lassen sich zumindest gut abschätzen, so dass mit den relativ genau zu bestimmenden Biege- und Torsionsmomenten die Achsen bzw. Wellen für den Entwurf schon ausreichend genau berechnet werden können.

**Fall 2:** Der Einbauraum ist nicht vorgegeben, da die Abmessungen der Gesamtkonstruktion im wesentlichen erst durch die vom zunächst noch unbekanntem Achsen- bzw. Wellendurchmesser  $d$  abhängigen Größen der Radnaben, Lager u. dgl. bestimmt werden müssen, wie z. B. bei der Getriebewelle (**Bild 11-8**). In solchen Fällen liegen die Lager- und Radabstände und damit auch die Wirklinien der Kräfte noch nicht fest, so dass die Biegemomente auch nicht ermittelt werden können. Hier muss durch eine *Entwurfsberechnung* nach 11.2.2-3 der Durchmesser  $d$  zunächst überschlägig ermittelt werden und damit die Größen der Radnaben, Lager u. dgl. annähernd bestimmt und die Abstandsmaße durch einen Vorentwurf festgelegt werden. Erst danach kann eine „genauere“ Berechnung nach 11.3 (meist in der Form der Nachprüfung) erfolgen und anschließend, falls erforderlich, eine entsprechende Korrektur der Abmessungen vorgenommen und der endgültige Entwurf erstellt werden.

Die Vorgehensweise für eine überschlägige rechnerische Auslegung von Achsen und Wellen ist im **Bild 11-9** dargestellt.

Osovine i vratila su nosači na dva ili rjeđe na više oslonaca.

Na osovine djeluju momenti savijanja  $M_s$ , a ponekad i aksijalne sile  $F_a$ .

Na vratila djeluju okretni momenti (momenti torzije)  $T$ , najčešće i momenti savijanja  $M_s$ , a ponekad i aksijalne sile  $F_a$ .

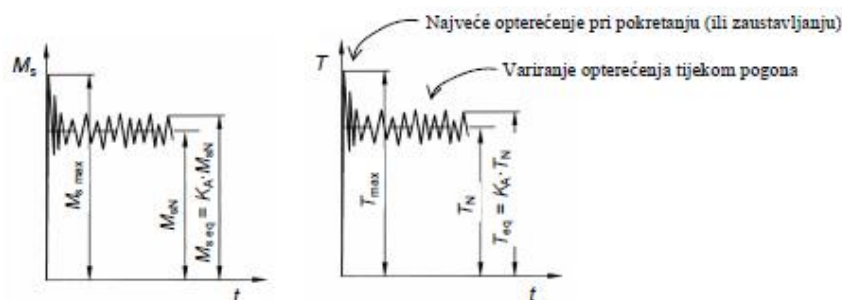
Opterećenja tijekom rada nisu konstantna, nego se mijenjaju, ovisno o radnom i pogonskom stroju.

Srednje vrijednosti opterećenja tijekom rada se nazivaju nazivnima:

$M_{sv,N}$  = nazivni moment savijanja

$T_{uv,N}$  = nazivni okretni moment (*nazivni moment torzije*)

Najveći moment savijanja  $M_{s \max}$  i najveći okretni moment  $T_{\max}$  se obično javljaju pri pokretanju ili zaustavljanju stroja i veći su najčešće za 2...3 puta od nazivnog momenta savijanja  $M_{sN}$ , odnosno nazivnog okretnog momenta  $T_N$ .



Najveća opterećenja  $M_s \max$  i  $T_{\max}$  izazivaju maksimalna naprezanja koja ne smiju uzrokovati trajne plastične deformacije.

*Veličinama  $M_s \max$  i  $T_{\max}$  vrši se kontrola plastičnih deformacija osovina i vratila.*

Radni stroj, a ponekad i pogonski stroj (npr. motor s unutarnjim izgaranjem), proizvode u trajnom pogonu udare pa opterećenja variraju. To se uzima u obzir faktorom primjene  $K_A$  (u tablici) kojim se množe nazivni momenti  $M_{sN}$  i  $T_N$ .

Tako se dobivaju ekvivalentni – jednakovrijedni – momenti:

ekvivalentni moment savijanja:  $M_{s \text{ eq}} = K_A \cdot M_{sN}$

ekvivalentni okretni moment:  $T_{\text{eq}} = K_A \cdot T_N$

Oni će u proračunu rezultirati istom sigurnošću protiv oštećenja kao i realni promjenjivi momenti.

*Veličinama  $M_{s \text{ eq}}$  i  $T_{\text{eq}}$  vrši se kontrola zamora materijala osovina i vratila pri dinamičkim opterećenjima, kad može nastupiti zamorni lom.*

Ekvivalentni moment savijanja  $M_{s \text{ eq}}$  se ne smije zamijeniti s ekvivalentnim

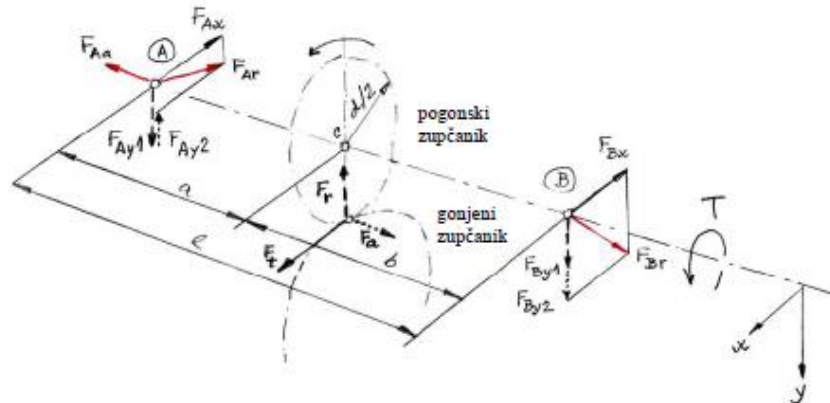
$$\text{momentom } M_e = \sqrt{M_s^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T)^2}.$$

Faktor primjene  $K_A$  (pogonski faktor, faktor udara)

RADNI STROJ	POGONSKI STROJ		
	El. motor Parna turbina Hidromotor	Klipni motori 4-6 cilindara	Klipni motori 1-3 cil.
<u><i>Strojevi s jednakomjernim radom-mali udari</i></u> Turbopuhalo (ventilator) sa $P/n \leq 0,007$ ; centrifugalna pumpa za niskoviskozne fluide; vijčana pumpa (za vodu i slici); strojevi za punjenje boea i slična pakiranja	1	1,25	1,5
<u><i>Strojevi sa srednjim udarima u radu</i></u> Turbopuhalo sa $P/n \leq 0,07$ ; mješalica za beton; građevinarska dizalica; strojevi cestogradnje; turbokompresor; konvejer za rasuti teret; vijčani konvejer; teretni liift; osobni liift; zakretni mehanizam dizalice; mehanizam promjene nagiba dohvatnika dizalice; generator; gen. za zavarivanje; stroj za pranje rublja; glavni pogon alatnog stroja; pumpa naftovoda; ekstruder plastike; aerator vode	1,25 – 1,75	1,5 – 2	2 – 2,25
<u><i>Strojevi s jakim i snažnim udarima u radu</i></u> Turbopuhalo s $P/n > 0,07$ ; klipni kompresor; konvejer za komadni teret; teška dizala; mehanizam hoda dizalice; mehanizam dizanja tereta kod dizalice; veći gen. za zavarivanje; stroj za hladno gnječenje; preše i čekići za kovanje; preša za probijanje lima; uređaj za bušenje (nafta); klipna pumpa; drobilica kamenja; preša za brikete; mlin sa kuglama; mlin čekićar; vertikalni mlin sa valjcima	1,75-2	2 – 2,75	2,5 i više

Ukoliko sve sile i momenti savijanja ne djeluju u jednoj ravnini, radi jednostavnosti proračuna se rastavljaju u komponente u dvije međusobno okomite ravnine i zatim izračunava njihova rezultanta.

Primjer: vratilo s pogonskim cilindričnim zupčanikom s kosim zubima. Sila koja s gonjenog djeluje na pogonski zupčanik rastavlja se u tangencijalnu (obodnu)  $F_t$ , radijalnu  $F_r$  i aksijalnu komponentu  $F_a$ . Ležajevi A i B predstavljaju oslonce u kojima spomenute komponente izazivaju odgovarajuće reakcije.



Reakcije u ležajevima se izračunavaju tako da se postavljaju jednadžbe ravnoteže sila  $\Sigma F = 0$  i ravnoteže momenata  $\Sigma M = 0$ .

Obodna sila  $F_t$  izaziva radijalne reakcije

$$F_{Ax} = \frac{F_t \cdot b}{l} \quad F_{Bx} = \frac{F_t \cdot a}{l}$$

Radijalna sila  $F_r$  izaziva radijalne reakcije

$$F_{Ay1} = \frac{F_r \cdot b}{l} \quad F_{By1} = \frac{F_r \cdot a}{l}$$

Aksijalna sila  $F_a$  izaziva moment prevrtanja  $F_a \cdot \frac{d}{2}$  i radijalne reakcije u ležajevima

$$F_{Ay2} = F_{By2} = \frac{F_a \cdot \frac{d}{2}}{l}$$

Sile  $F_{Ay2}$  i  $F_{By2}$  su suprotno usmjerene.

Rezultirajuće radialne reakcije u ležajima:

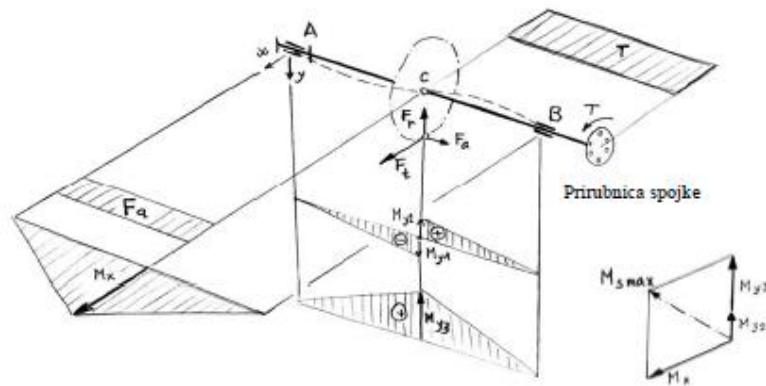
$$F_{Ar} = \sqrt{F_{Ax}^2 + (F_{Ay1} - F_{Ay2})^2}$$

$$F_{Br} = \sqrt{F_{Bx}^2 + (F_{By1} + F_{By2})^2}$$

Aksijalnu silu na zupčaniku  $F_a$  može preuzimati samo jedan ležaj. Aksijalna reakcija će biti npr. u ležaju A:

$$F_{Aa} = F_a$$

Nakon određivanja reakcija u ležajevima mogu se proračunati momenti savijanja.



Sila  $F_t$  izaziva najveći moment savijanja  $M_x$ .

Sila  $F_r$  izaziva najveći moment savijanja  $M_{y3}$ .

Sila  $F_a$  izaziva reakcije  $F_{Ay2}$  i  $F_{By2}$  koje izazivaju momente savijanja

$$-M_{y1} = F_{Ay2} \cdot a \quad M_{y2} = F_{By2} \cdot b$$

Najveći moment savijanja je neposredno uz točku C s desne strane i iznosi

$$M_s = \sqrt{M_x^2 + (M_{y2} + M_{y3})^2}$$

Torzijski moment  $T$  (Nm) često se izračunava iz snage  $P$  (W) i brzine vrtnje  $n$  ( $s^{-1}$ ), odnosno kutne brzine  $\omega$  ( $s^{-1}$ ):

$$T = \frac{P}{\omega}, \quad \omega = 2 \cdot \pi \cdot n$$

Ekvivalentni moment (koji obuhvaća djelovanje i savijanja i torzije) po hipotezi najvećeg deformacijskog rada neposredno uz točku C s desne strane iznosi

$$M_e = \sqrt{M_s^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T)^2}$$

Ovaj moment treba razlikovati od ekvivalentnog momenta savijanja  $M_{s,eq} = K_A \cdot M_{sN}$ .

Ekvivalentno naprezanje

$$\sigma_e = \frac{M_e}{W}$$

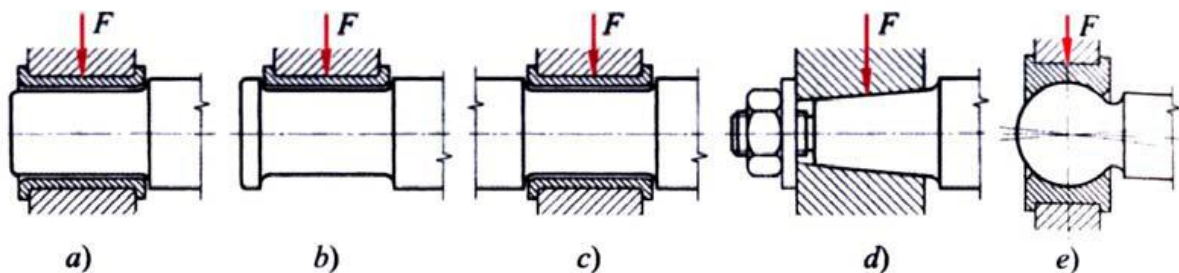
Ekvivalentno naprezanje se može izračunati i iz pojedinačno izračunatih normalnih naprezanja uslijed savijanja i tangencijalnih naprezanja uslijed torzije.

Križan 12

## Usvajanje rukavca

*Zapfen* sind die zum Tragen und Lagern (Funktion) dienenden, meist abgesetzten Enden von Achsen und Wellen oder auch Einzelelemente, wie z. B. Spurzapfen und Kurbelzapfen. Sie können zylindrisch, kegelig oder kugelförmig ausgebildet sein (s. **Bilder 11-13** und **11-14**).

Rukavci su oni dijelovi osovina i vratila kojima se oslanjaju na klizne ili valjne ležaje ili na nepokretne dijelove. Rukavci koji se nalaze na kraju osovine/vratila se nazivaju *čelnim*, a ostali *unutarnjim*.



**Slika 4.4.** Nosivi rukavci

a) cilindrični čelni rukavac; b) cilindrični unutarnji rukavac s ojačanjem; c) cilindrični unutarnji rukavac; d) konični nepokretni rukavac; e) kuglasti pokretni ili nepokretni rukavac

**Slika S-04.xx** Nosivi rukavci

Osovine i vratila imaju obično dva rukavca, tj. ležaja, a dugačka i jače opterećena vratila više njih, npr. koljenasto vratilo motora.

Achszapfen werden auf Biegung beansprucht, und zwar Lagerzapfen umlaufender Achsen wechselnd, Tragzapfen feststehender Achsen ruhend oder schwellend. Zapfendurchmesser werden meist konstruktiv festgelegt und dann nachgeprüft. Für den gefährdeten Querschnitt  $A - B$  (Bild 3) muss die *Biegespannung*  $\sigma_b$  sein:

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{F \frac{l}{2}}{0,1 d_1^3} \leq \sigma_{b \text{ zul}} \quad (11)$$

$\sigma_b$	$F$	$l, d_1$
$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	N	mm

zulässige Biegespannung  $\sigma_{b \text{ zul}}$  je nach Belastungsfall, siehe Abschnitt Festigkeitslehre.

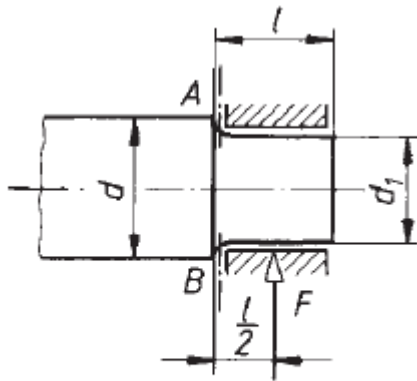


Bild 3. Achszapfen

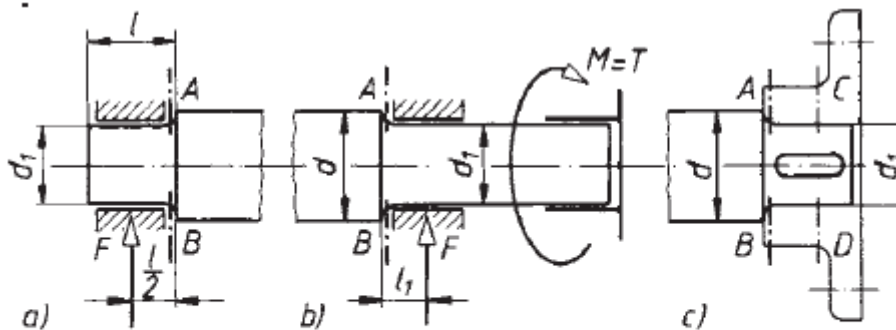


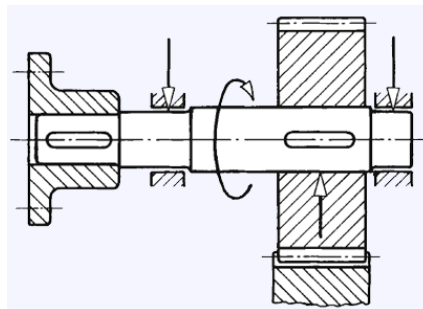
Bild 4. Wellenzapfen

a) biegebeansprucht, b) torsions- und biegebeansprucht, c) torsionsbeansprucht

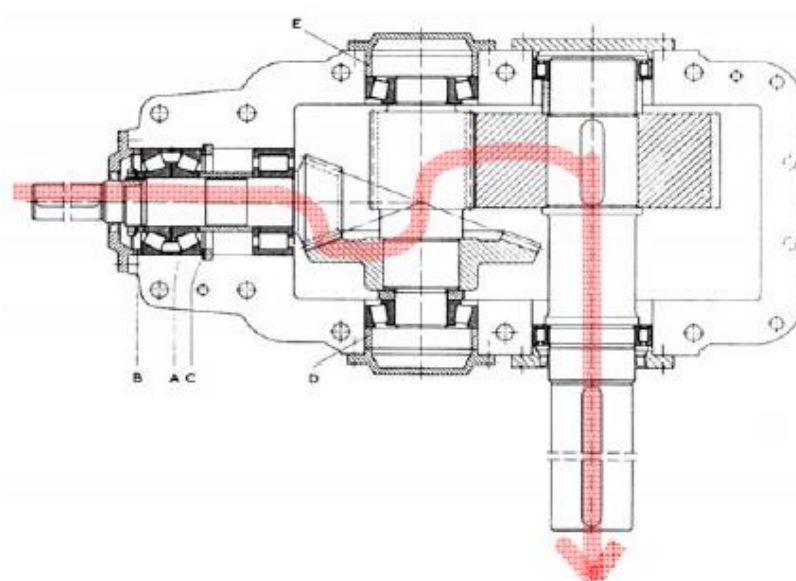
#### 12.2.4 Primjena vratila

Primjeri vratila

[Decker, 1987, s. 170]



Slika 04.xx Vratilo sa spojkom i zupčanicom (rotaciju elemenata na vratilu sprječavaju klinovi)



Slika S-04.xx Reduktor s parom koničnih, parom cilindričnih zupčanika i tri vratila

## Pretvaranje pravocrtno ↔ kružno gibanje

**Koljenasto vratilo**

**Bregasto vratilo**

§§

Böge2011/681÷691, Budynas2011/359÷408,934÷951, Carvill2003/49÷57, Childs2004/94÷121, Decker1987/169÷186, DIN2008/429÷432, Haberhauer2011/284÷309, Oberšmit 1973/254÷284, Hall1968/108÷137, Hering2004/398, Jelaska2005/137÷151, Klebanov2008/43÷67, Lingaiiah2004/426÷444, Mott2004/546÷590, Muhs2006/141÷155, Niemann2005/762÷801, Norton2006/524÷597, Pandžić2008/91÷99,146, Parmley2005/D10, Podrug2008/47÷50, Shigley1996/1241-1261, Shigley2004/523÷543, Spotts1961/59-83, Steinhilper12008/388-423, Timings2005/467÷488, VitasII1988/6÷34, Wittel2010/69÷79/180÷183/284÷292, Wittel2011/343÷374, Vöth2007/22÷29

## 12.3 Spojke

### 12.3.1 Osnove spojki



[6/720]

Hauptaufgabe der Kupplungen ist das Weiterleiten von Rotationsleistung  $P = M\omega$ . Als Zusatzaufgabe kann das Schalten des Drehmoments  $M$  hinzukommen oder die Verbesserung bestimmter dynamischer Eigenschaften. Entsprechend unterteilt man die

1. **Spojke – definicija i vrste** [Wittel 2011, str. 412, str. 476]

[Decker 1987, str. 248]

Spojke su strojni elementi koji služe za stalno ili povremeno spajanje dvaju vratila radi **prenošenja momenta torzije**.

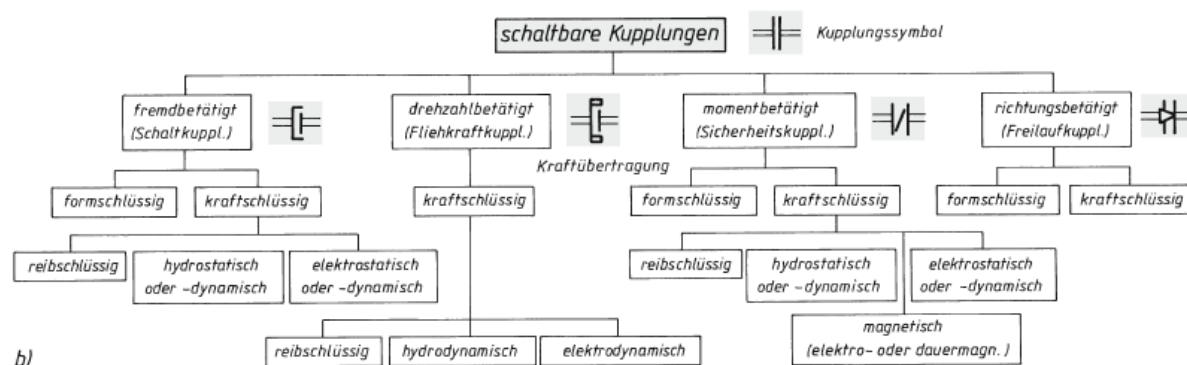
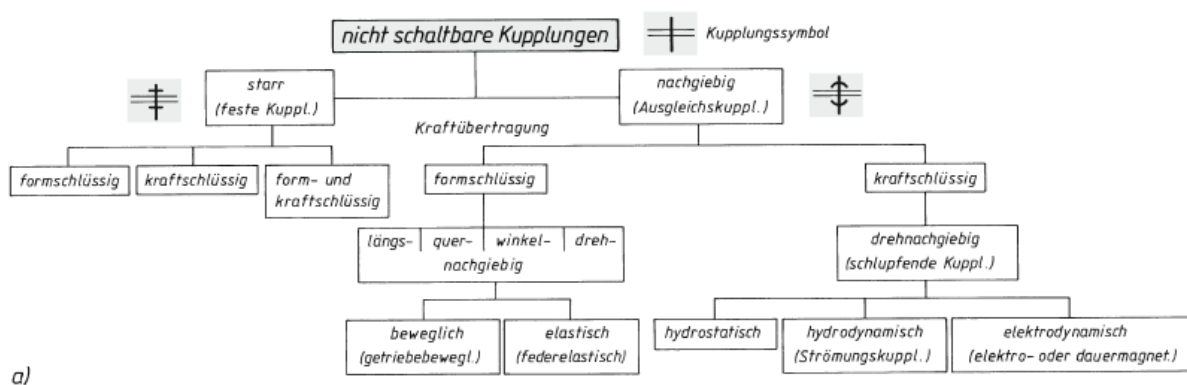
Osim ove osnovne funkcije pojedine vrste spojki mogu imati i dodatnu funkciju:

- prilagodbu odstupanja osi vratila nastalih netočnom izradom, netočnom ugradnjom ili odstupanjima pod djelovanjem opterećenja.
- prigušenje torzionih vibracija
- smanjenje oscilacija momenta torzije i udara pri pokretanju i u radu
- uspostavljanje ili prekid prenosa momenta torzije
- osiguranje od preopterećenja.

#### KRUTE SPOJKE

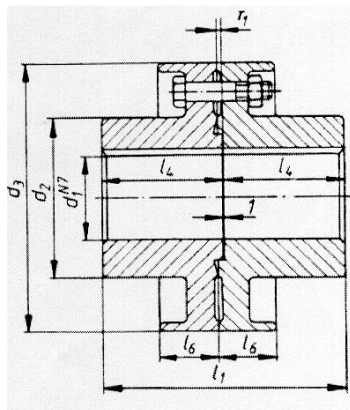
Krute spojke kruto povezuju dva vratila, te ostvaruju **nepokretnu vezu spojenih vratila** pri čemu se ona ponašaju kao jedna cjelina.

Vratila moraju imati dobro poravnate osi i prilikom ugradnje i tokom rada. Kada to ne bi bio slučaj nastajala bi u radu dodatna opterećenja vratila i njihovih oslonaca. **Krutim se spojkama, zato, najčešće spajaju duga i elastična vratila** (transmisijska vratila, a rjeđe vratila pogonskog i radnog stroja).



[Wittel 2011, str. 412, str. 414]

### Kolutne spojke



Sastavljena je od dva koluta iz SL koji pomoću pera montiraju na krajeve vratila, a kolutovi su međusobno povezani dosjednim vijcima. Centriraju pomoću nastavka na jednom kolutu, ili se centriraju dodatnim prstenom.

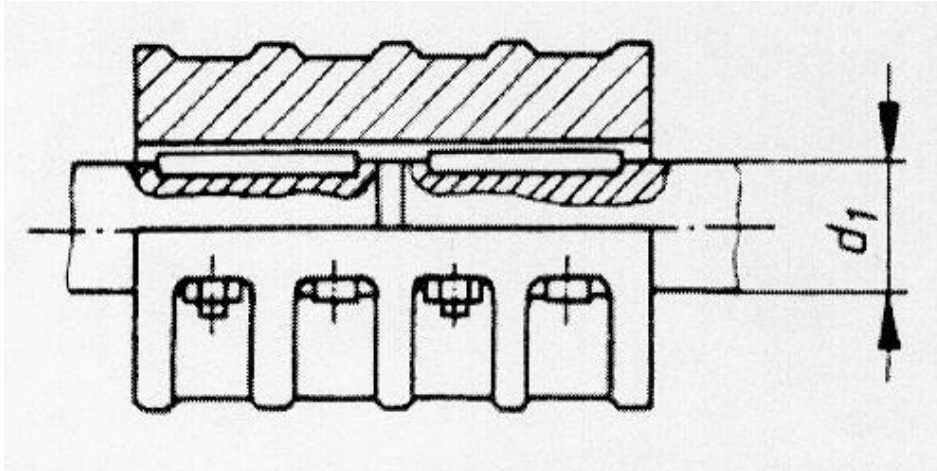
Mogu povezivati i vratila različitih promjera.

Montaža i demontaža je moguća samo ako se vratila odmaknu.

Posebna izvedba kolutnih spojke su *prirubne spojke* koje su spojeni raskovani krajevi vratila u obliku prirubnice.

Rade se za promjere vratila do 160 mm.

## Školjkaste spojke



Sastavljena je od dva dijela međusobno spojenih vijcima.

Lako se postavlja i skida.

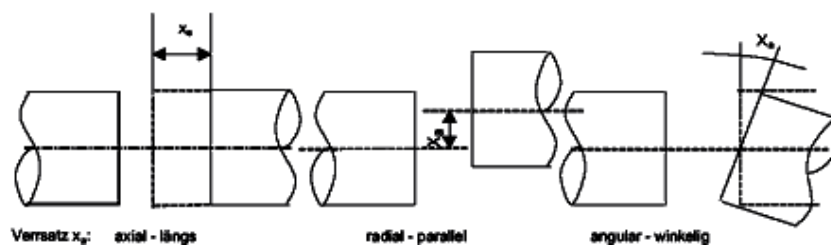
Moment se prenosi obodnom silom trenja i preko uložnog pera.

Kompenzacijske spojke

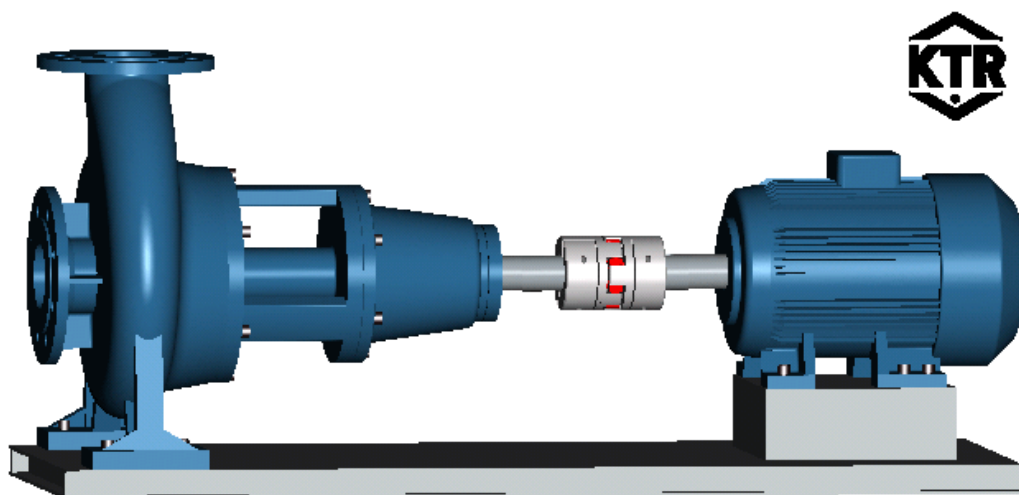
Kompenzacijske spojke omogućavaju međusobne pomake

vratila i to:

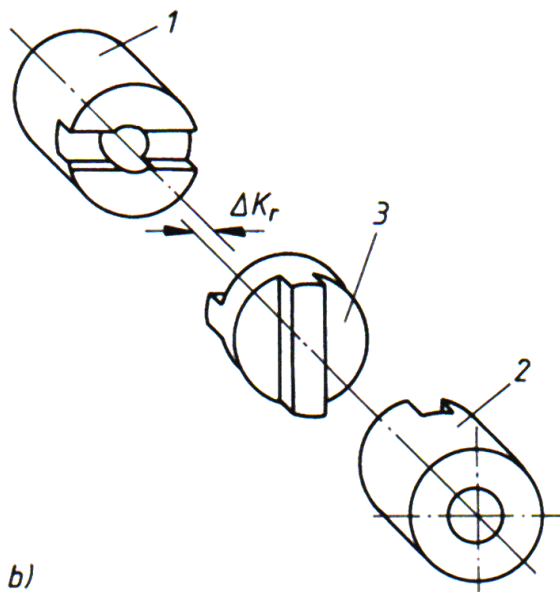
- **uzdužni pomak** – kandžasta spojka
- **poprečni pomak** – Oldhamova spojka, Schmidtova spojka
- **kutni pomak** – zupčasta spojka, Hookeov zglob
- **uzdužni i kutni pomak** – kardansko vratilo



Kandžaste spojke



Oldham spojka s utorima

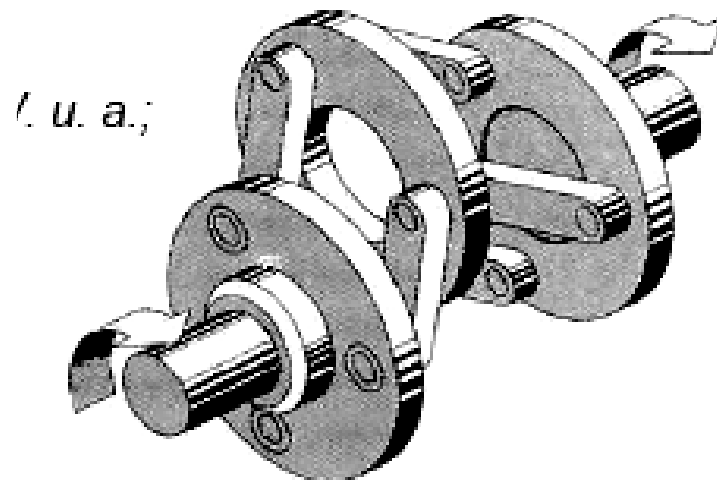


1 i 2 ploče

3 klizač

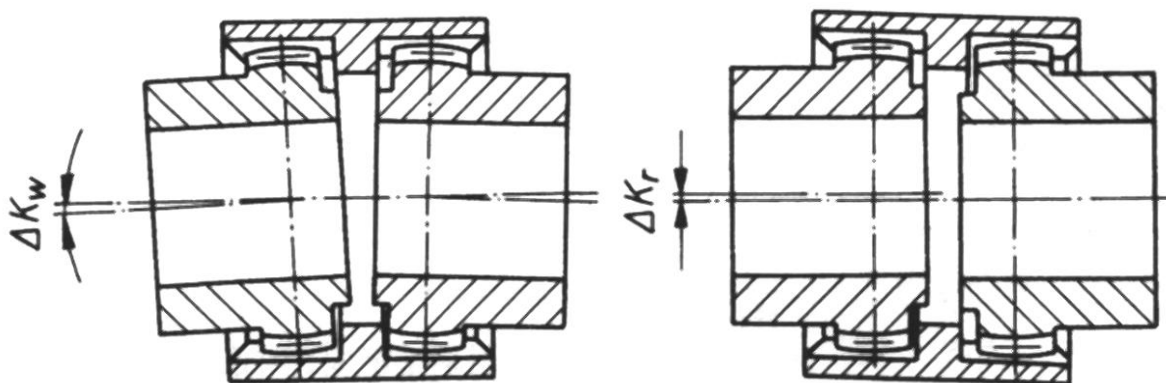
Dozvoljava poprečne i manje uzdužne pomake vratila.

Schmidtova spojka



Upotrebljava se za kompenzaciju velikih poprečnih pomaka.

Zupčaste spojke



Svojstva

Pomična u svim smjerovima

koristi se za velike momente

Za velike brzine vrtnje

Potrebno podmazivanje zupčanika

Mali moment inercije

lagana

skupe

Simianti ppt

## Vrste spojki

[6/720]

Eigenschaften. Entsprechend unterteilt man die Kupplungen in:

*Feste Kupplungen* (drehstarre Kupplungen) dienen der starren, fluchtenden Verbindung von Wellen und anderen Getriebeelementen.

*Bewegliche Kupplungen* (drehelastische Kupplungen) verbinden die Elemente elastisch oder unelastisch, können Fluchtfehler ausgleichen und stoß- und schwingungsdämpfend wirken.

*Schaltkupplungen* ermöglichen durch Unterbrechung und Wiederherstellung der Verbindung das Schalten des Drehmoments.

*Sicherheitskupplungen* unterbrechen die Verbindung bei Überlastung.

*Anlaufkupplungen* werden bei schwer anlaufenden Maschinen eingesetzt.

*Freilauf- und Überholkupplungen* verbinden die Elemente nur bei Gleichlauf und lösen die Verbindung, wenn das antreibende Element langsamer als das getriebene umläuft.

*Steuerbare Kupplungen* ermöglichen Drehmoment- und Drehzahländerungen während des Betriebs.

### 12.3.2 Oblikovanje spojki

Usvajanje spojki

Primjena spojki

Primjeri spojki

### 12.3.3 Proračun spojki

### 12.3.4 Primjena spojki

## 12.4 Kočnice

### 12.4.1 Osnove kočnica

**Kočnice – definicija i vrste** [Wittel 2011, str. 460, str. 476]

**Kočnice** su strojni sustavi namijenjeni smanjivanju brzine gibanja (*reguliranju brzine, zaustavljanju*) elemenata/sustava te opterećenju pogonskih strojeva na pokusnim stolovima.

Prema principu funkcioniranja razlikuju se kočnice:

#### KOČNICE

#### mehaničke

#### električne

Funkcioniranje mehaničkih kočnica temelji na trenju (*krutine, tekućine, plinovi*) a električnih na elektromagnetnim otporima. Mehaničke kočnice senazivaju:

- (c) **tarnim** – trenje površina krutina,
- (d) **virtložnim** – unutarnje trenje tekućina ili plinova.

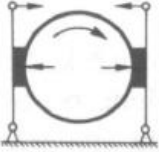



Tijekom kočenja, kinetička se energija transformira u toplinu te mehanički rad i/ili električni rad.

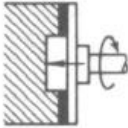
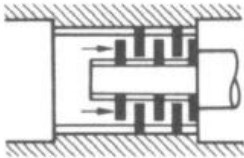
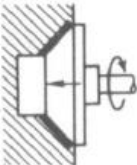
Svaka uključno-isključna spojka može se upotrebiti i kao kočnica. Pri tome se jedan dio spojke mora gibati sporije ili biti nepokretan.

U transportnim sustavima s električnim pogonom često se koristi električno ili elektromagnetno kočenje. Kinetička se energija transformira u toplinu u električnom otporniku ili u električnu energiju u elektro-generatoru.

Na temelju izvedbe razlikuju se kočnice:

**Tablica 04.xx** Vrste kočnica – izvedbe

	Čeljusna kočnica		Pojasna kočnica	
	s vanjskim čeljustima	s unutarnjim čeljustima	vanjska	unutarnja
Princip djelovanja				
Položaj kočionih površina u odnosu na tarne površine				
Oblici tranih površina preko kojih se koči	čeljusti cilindar		pojas cilindar	
Smjer pomicanja kočionih površina	radijalan			

	Pločasta kočnica	Lamelna kočnica	Stožasta kočnica
Princip djelovanja			
Položaj kočionih površina u odnosu na tarne površine			
Oblici tarnih površina preko kojih se koči	ploča ploča	ploče ploče	stožac stožac
Smjer pomicanja kočionih površina	aksijalan		

Prema namjeni razlikuje se:

**KOČNICE**  
za  
sprječavanje gibanja    zaustavljanje gibanja    regulaciju brzine gibanja    opterećenje pogonskog stroja

Kočnice mogu biti jednonamjenske (*ručna kočnica cestovnih vozila*) i višenamjenske (*nožna kočnica cestovnih vozila*).

Kočnice za sprječavanje gibanja se koriste za držanje tereta i uključene su tijekom stanja mirovanja.

Kočnice za zaustavljanje gibanja uključene su dok se ne uspostavi stanje mirovanja, a kočnice za regulaciju brzine gibanja dok se ne uspostavi željena brzina gibanja.

Kočnicama za opterećenja pogonskih strojeva uspostavlja se željeni režim rada pogonskog stroja tijekom ispitivanja na pokusnim stolovima, na primjer, pri mjerenju snage. Pri tome se na prikladan način odvodi (*koristi*) dobivena toplina, mehanički i/ili električni rad.

Na dalje, kočnice se mogu podijeliti prema:

- upotrebi,
- pogonskim karakteristikama,
- okretnom momentu kočenja,
- broju kočenja u jedinici vremena,
- radu potrebnom za aktivaciju,
- dimenzijama sustava za kočenje,
- vijeku trajanja i
- cijeni.

### 12.4.2 Oblikovanje kočnica



Oblikovanje kočnice ovisi o vrsti.

### **Tarne kočnice**

[Decker 1987, str. 441-452]

### **Vrtložne kočnice**

[Decker 1987, str. 452-453]

### **Električne kočnice**

[Decker 1987, str. 453]

#### 2. **Usvajanje kočnica**

Oblikovanje kočnice ovisi o vrsti.

### **Tarne kočnice**

[Decker 1987, str. 441-452]

### **Vrtložne kočnice**

[Decker 1987, str. 452-453]

### **Električne kočnice**

[Decker 1987, str. 453]

#### 3. **Primjena kočnica**

Oblikovanje kočnice ovisi o vrsti.

### **Tarne kočnice**

[Decker 1987, str. 441-452]

### **Vrtložne kočnice**

[Decker 1987, str. 452-453]

### **Električne kočnice**

[Decker 1987, str. 453]

#### 4. **Primjeri kočnica**

Oblikovanje kočnice ovisi o vrsti.

### **Tarne kočnice**

[Decker 1987, str. 441-452]

## Vrtložne kočnice

[Decker 1987, str. 452-453]

## Električne kočnice

[Decker 1987, str. 453]

5. Koljenasto vratilo motora s unutarnjim izgaranjem

\$\$\$

Internet

6. Spojke motornih vozila

\$\$\$

Internet

7. Kotači motornih vozila

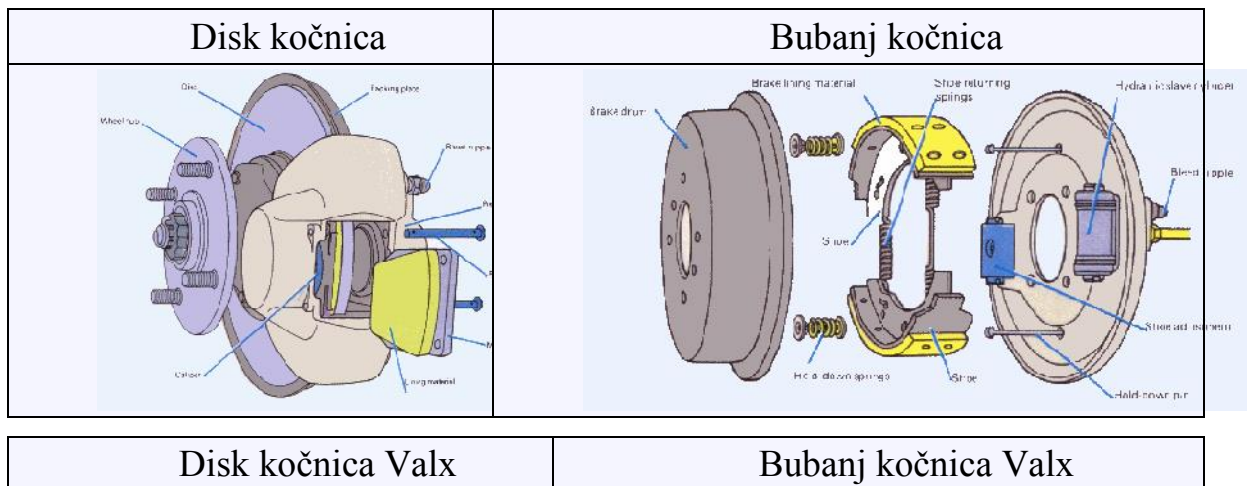
\$\$\$

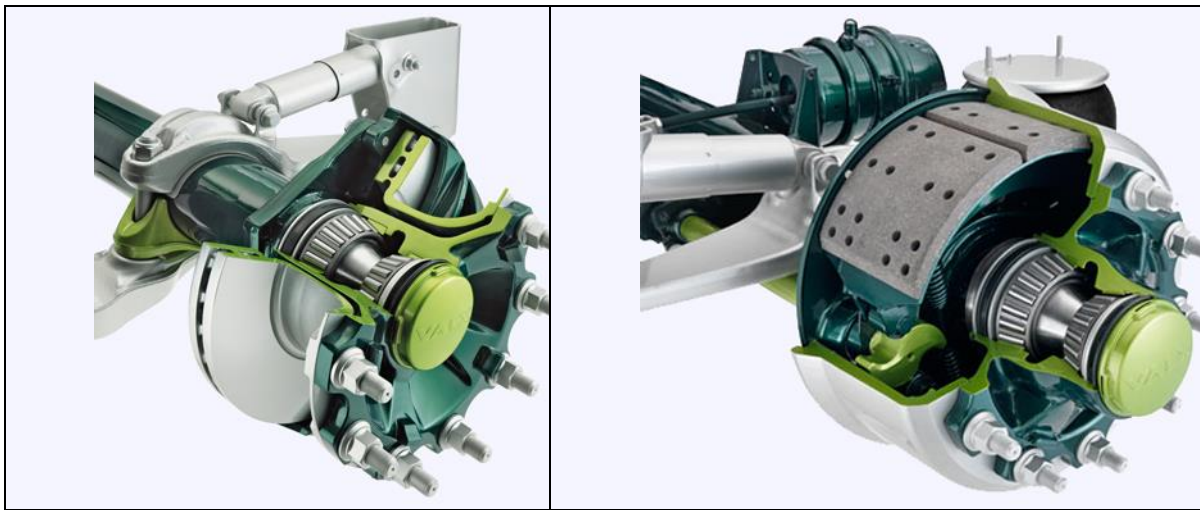
Internet

### 12.4.3 Proračun kočnica

### 12.4.4 Primjena kočnica

## Kočnice motornih vozila





Kočnice motorcikla

Harley-Davidson



Yamaha

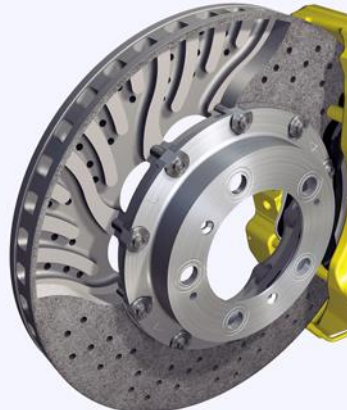


Kočnice automobila

Mercedes-Benz



Porsche



Ferrari



## Dodatak

### Literatura

- 4.1 Osnove aksijalnog prijenosa kružnog gibanja
- 4.1.1 Kinematika i dinamika kružnog gibanja
- 4.1.2 Vrste elemenata prijenosa kružnog gibanja
- 4.1.3 Osovine – Böge2011/681÷691, Oberšmit1973/254÷284, Haberhauer2011/279÷284, Kraut1988/287(sažeto), Jelaska2005/137÷151, Mott2004/546÷590, Muhs2006/141÷155, Niemann2005/762÷801, Norton2006/524÷597, Pandžić2008/91÷99/146, Parmley2005/D10, Podrug2008/47÷50, Shigley2004/523÷543, Steinhilper12008/388-423, Timings2005/467÷488, VitasII1988/6÷34, Wittel2010/69÷79/180÷183/284÷292, Wittel2011/343÷374, Vöth2007/22÷29.
- 4.1.4 Zamašnjaci – Brown2005/406÷425, Budynas2011/866÷871, Elčić1973/671÷675, Hall1968/320÷328, Lingaiah2004/445÷449, Norton2006/539÷547, Shigley1996/582-606, Shigley2004/177÷201.
- 4.2 Vratila – Böge2011/681÷691, Budynas2011/359÷408,934÷951, Carvill2003/49÷57, Childs2004/94÷121, Decker1987/169÷186, DIN2008/429÷432, Haberhauer2011/284÷309, Elčić1973/254÷284, Hall1968/108÷137, Hering2004/398, Jelaska2005/137÷151, Klebanov2008/43÷67, Lingaiah2004/426÷444, Mott2004/546÷590, Muhs2006/141÷155, Niemann2005/762÷801, Norton2006/524÷597, Pandžić2008/91÷99/146, Parmley2005/D10, Podrug2008/47÷50, Shigley1996/1241-1261, Shigley2004/523÷543, Spotts1961/59-83, Steinhilper12008/388-423, Timings2005/467÷488, VitasII1988/6÷34, Wittel2010/69÷79/180÷183/284÷292, Wittel2011/343÷374, Vöth2007/22÷29.
- 4.3 Spojke – Avallone2006/668÷673, Böge2011/709÷715, Bonnick2011/208÷213, Budynas2011/845÷848, Childs2004/207÷218, Czichos2008/K54÷K58, Decker1987/248÷263, Dorf2005/Ch22÷23, Elčić1973/374÷409, Fleisher2009, Garrett2001/696÷725, Grote2007/468÷481, Grote2009/448÷482, Haberhauer2009/393÷438, Haberhauer2011/384÷423, Hall1968/138÷144,172÷184, Hering2004/399÷400, Jelaska2005/176÷190, Klebanov2008/321÷352, Künne22008/198÷262, Jelaska2005/176÷190, Lingaiah2004/586÷628,1034÷1035, Mancuso1999, Mott2004/529÷534, 846÷882 Muhs2006/171÷178, Norton2006/898-925, Oberg2004/2346-2355, Pandžić2008/147÷157, Parmley2005/D7, Podrug2008/63÷74, Shigley1996/975-1024, Shigley2004/203÷252,489÷522, Spotts1961/125-137, Steinhilper22008/286÷374, VitasII1988/35÷52, Vöth2007/114÷144, Wittel2010/87÷94/187÷191/301÷307, Wittel2011/412÷477.
- 4.4 Kočnice – Avallone2006/674÷677, Böge2011/804÷808, Budynas2011/849÷861, Carvill2003/98÷101, Childs2004/218÷239, Decker1987/440÷453, Elčić1973/1400÷1413, Garrett2001/931÷957, Grote/479÷480, Haberhauer2011/425÷431, Hall1968/185÷196, Hering2004/403÷405, Künne22008/263÷276, Lingaiah2004/1078÷1180, Mott2004/846÷882, Muhs2006/171÷178, Norton2006/524÷597, Shigley1996/975-1024, Spotts1961/125-137, Oberg2004/2358÷2362, Pandžić2008/158, Wittel2010/87÷94/187÷191/301÷307, Wittel2011/460÷477.
- 4.5 Primjeri elemenata prijenosnika kružnog gibanja – Böge2007/817÷891(transport),1203÷1206,1134÷1190, 1208÷1216,1191÷1202,1244÷1254,1235÷1243,1217÷1234(alatni strojevi),
- 4.5.1 Kotači – Brown2005/449÷437,
- 4.5.2 Koljenasto vratilo – Lingaiah2004/962÷972,
- 4.5.3 Kočnice vozila
- 4.5.4 Spojke vozila –
- Dodaci: Brown2005/34÷39,153÷157,175÷176,193÷200, Budynas/913÷931, Garrett2001(motorna vozila), Grote/579,

### Internet

Vratila, [Childs, 2004, s. 117]

<a href="http://www.ameridrives.com">www.ameridrives.com</a>
<a href="http://www.couplingcorp.com">www.couplingcorp.com</a>
<a href="http://www.heli-cal.com">www.heli-cal.com</a>
<a href="http://www.magnaloy.com">www.magnaloy.com</a>
<a href="http://www.mayrcorp.com">www.mayrcorp.com</a>
<a href="http://www.rw-america.com">www.rw-america.com</a>
<a href="http://www.servometer.com">www.servometer.com</a>
<a href="http://www.ttvracing.com/">www.ttvracing.com/</a>
<a href="http://www.zero-max.com">www.zero-max.com</a>

## Podloge

### *Glosar*

### *Rječnik*

hrvatski	engleski	njemački
kružno gibanje	circular motion	Kreisbewegung
osovina	axle	Achse
zamašnjak	flywheel	Schwungrad
vratilo	shaft	Welle
spojnica	clutch	Kupplung
kočnica	brake	Bremse
rukavac		Zapfen

### *Oznake*

Vratila, [Childs, 2004, s. 117÷18]

### *Formule*

### *Norme*

### *Podaci*



## Razno

### *Teme*

1. **Elementi prijenosa kružnog gibanja** [Bonnick2011, Wittel2011, Budynas2011]
  8. Jednoliko kružno gibanje
  9. Ubrzano kružno gibanje
  10. Kinetička energija kružnog gibanja
  11. Kružno gibanje – rad i snaga
  12. Vrste elemenata prijenosa kružnog gibanja
  13. Osovine
  14. Vratila – definicija i vrste
  15. Rukavci
  16. Materijali za izradu vratila
  17. Oblikovanje vratila
  18. Usvajanje vratila
  19. Primjena vratila
  20. Primjeri vratila
  21. Zamašnjaci – definicija i vrste
  22. Oblikovanje zamašnjaka
  23. Usvajanje zamašnjaka
  24. Primjena zamašnjaka
  25. Primjeri zamašnjaka
  26. Spojke – definicija i vrste
  27. Oblikovanje spojki
  28. Usvajanje spojki
  29. Primjena spojki
  30. Primjeri spojki
  31. Kočnice – definicija i vrste
  32. Oblikovanje kočnica
  33. Usvajanje kočnica
  34. Primjena kočnica
  35. Primjeri kočnica
  36. Koljenasto vratilo motora s unutarnjim izgaranjem
  37. Spojke motornih vozila
  38. Kotači motornih vozila
  39. Kočnice motornih vozila

### *Izvodi*

## Provjera znanja

*Pitanja*

*Zadaci*



## Literatura

1. Albertos P., Mareels I.: *Feedback and Control for Everyone*; Springer, 2010.
2. Alfirevic I., Sikic Z., Budin I.: *Inzinjerski prirucnik IP 1 – temelji inzenjerskih znanja*; Skolska knjiga, 1996.
3. Ashby M., Shercliff H., Cebon D.: *Materials – Engineering, Science, Processing and Design*; Butterworth-Heinemann, 2007.
4. Astrom K. J., Murray R. M.: *Feedback Systems - An Introduction for Scientists and Engineers*; Princeton University 2008.
5. Avallone E. A., Baumeister T. Sadegh A.: *Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers 11th Edition*; McGraw-Hill Professional 2006.
6. Bachman V.: *Sizing Up Measurement – Activities for Grades K-2 Classrooms*; Math Solutions, 2007.
7. Baker R. C.: *Flow Measurement Handbook – Industrial Designs, Operating Principles, Performance, and Applications*; Cambridge University, 2000.
8. Battikha N. E.: *The Condensed Handbook of Measurement and Control*, 3rd Edition; ISA 2007.
9. Bau H. H., deRooij N. F., Kloeck B.: *Sensors – A Comprehensive Survey – Volume 7 Mechanical Sensors*; VCH, 2004.
10. Beeby S., Ensell G., Kraft M., White N.: *MEMS Mechanical Sensors*; Artech House 2004.
11. Berger H.: *Automatisieren Mit SIMATIC – Controller, Software, Programmierung, Datenkommunikation, Bedienen Und Beobachten*, 4. Auflage; Publics 2010.
12. Berger J.: *Klausurtrainer Technische Mechanik*, 2. Auflage; Vieweg+Teubner, 2005.
13. Bishop R. H.: *Mechatronic Systems, Sensors, and Actuators - Fundamentals and Modeling*, 2nd Edition; CRC, 2008.
14. Böge A., Schlemmer W.: *Aufgabensammlung Technische Mechanik*, 20. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
15. Böge A., Schlemmer W.: *Lösungen zur Aufgabensammlung Technische Mechanik*, 14. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
16. Böge A.: *Formeln und Tabellen zur Technischen Mechanik*, 22. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
17. Böge A.: *Handbuch Maschinenbau – Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik*, 20. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
18. Böge A.: *Technische Mechanik: Statik – Dynamik – Fluidmechanik – Festigkeitslehre*, 29. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
19. Boyes W.: *Instrumentation Reference Book*, 3rd Edition; Butterworth-Heinemann, 2003.
20. Brandt S., Dahmen H. D.: *Mechanik - Eine Einführung in Experiment und Theorie*, 4. Auflage; Springer 2005.
21. Brown H. T.: *Five Hundred and Seven Mechanical Movements - Embracing All Those Which Are Most Important*; Brown, Coombs & Co., 1871.
22. Brown T. H. Jr.: *Mark's Calculations For Machine Design*; McGraw-Hill, 2005.
23. Budynas R. G., Nisbett J. K.: *Shigley's Mechanical Engineering Design*, 9<sup>th</sup> Edition; McGraw-Hill, 2011.
24. Carvill J.: *Mechanical Engineer's Data Handbook*; Butterworth-Heinemann, 2003.
25. Chandsekar V. C.: *Rubber Seals for Fluid and Hydraulic Systems*; Elsevier, 2010.
26. Chang K.-H.: *Motion Simulation and Mechanism Design with COSMOSMotion 2007*; Schroff Development Corporation, 2008.
27. Childs P.: *Mechanical Design*, 2<sup>nd</sup> Edition; Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.
28. Childs R. N.: *Practical Temperature Measurement*; Butterworth-Heinemann, 2001.
29. Czichos H., Habig K.-H.: *Tribologie - Handbuch Tribometrie, Tribomaterialien, Tribotechnik*, 3. Auflage - Studium; Vieweg+Teubner, 2010.
30. Czichos H., Hennecke M.: *Hütte – Das Ingenieurwissen* 33. Auflage; Springer, 2008.
31. Czichos H., Saito T., Smith L.: *Springer Handbook of Materials Measurement Methods*; Springer, 2006.
32. Czichos H.: *Tribology - A Systems Approach to the Science and Technology of Friction Lubrication and Wear*; Elsevier, 1978.
33. Dankert J., Dankert H.: *Statik, Festigkeitslehre, Kinematik / Kinetik*, 6. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.

34. Dapkunas S. J.: Surface Engineering Measurement Standards for Inorganic Materials; NIST, 2005.
35. Davis C. S.: Statistical Methods for the Analysis of Repeated Measurements; Springer, 2002.
36. Decker K.-H.: Elementi strojeva, 2. izdanje; Tehnička knjiga, 1987.
37. Decker K.-H.: Elementi strojeva, 3. izdanje; Golden marketing - Tehnička knjiga, 2006.
38. Demtröder W.: Experimentalphysik 1 - Mechanik und Wärme, 4. Auflage; Springer, 2006.
39. Demtröder W.: Experimentalphysik 1 - Mechanik und Wärme, 5. Auflage; Springer, 2008.
40. DIN – Deutsches Institut für Normung: Klein Einführung in die DIN-Normen, 14. Auflage; B.G.Teubner – Beuth, 2008.
41. DiStefano J. J., Stubberud A. R., Williams I. J.: Schaum's Outline of Feedback and Control Systems, 2nd Edition; McGraw-Hill 1994.
42. Dixon J.: The Shock Absorber Handbook, 2nd Edition; Wiley & Sons - Professional Engineering, 2007.
43. Dorf C.: The Engineering Handbook, 2nd Edition; CRC, 2004.
44. Dorf R. C., Bishop R. H.: Modern Control Systems, 12th Edition; Prentice Hall 2010.
45. Dresig H., Holzweißig F.: Maschinendynamik, 7. Auflage; Springer, 2006.
46. Dudas I.: The Theory and Practice of Worm Gear Drives; Penton 2004.
47. Dunn W. C.: Introduction to Instrumentation, Sensors, And Process Control; Artech House, 2005.
48. Elčić Z., Grubješić N., Kostelić A., Mađarević B., Oberšmit E., Račić V., Sentič B., Skalicky B., Vojta D.: Praktičar 3 – Strojstvo 2; Školska knjiga, 1973.
49. Erdmann M.: Experimentalphysik 1 - Kraft, Energie, Bewegung - Physik Denken; Springer 2011.
50. Erdmann M.: Experimentalphysik 2 - Kollision, Gravitation, Bezugssysteme - Physik Denken; AIP - Springer 2011.
51. Erdmann M.: Experimentalphysik 3 - Schwingungen, Wellen, Körperdrehung - Physik Denken; AIP - Springer 2011.
52. Eren E.: Wireless Sensors and Instruments Networks, Design, and Applications; CRC 2006.
53. Eyres D. J.: Ship Construction, 5th Edition; Butterworth-Heinemann, 2000.
54. Fitney R.: Seals and Sealing Handbook, 5<sup>th</sup> Edition; Elsevier Butterworth-Heinemann, 2007.
55. Fleischer B., Theumert H.: Entwickeln Konstruieren Berechnen – Komplexe praxisnahe Beispiele mit Lösungsvarianten, 2. Auflage; Vieweg + Teubner, 2009.
56. Fraden J.: Handbook of Modern Sensors - Physics, Designs, and Applications 3rd Edition; Springer, 2004.
57. Fraden J.: Handbook of Modern Sensors - Physics, Designs, and Applications 4th Edition; Springer, 2010.
58. Frank R.: Understanding Smart Sensors, 2nd Edition; Artech House 2000.
59. Fritz A. H., Schulze G.: Fertigungstechnik; 8. Auflage; Springer, 2008.
60. Gao W.: Precision Nanometrology - Sensors and Measuring Systems for Nanomanufacturing; Springer, 2010.
61. Garrett T. K., Newton K., Steeds W.: Motor Vehicle, 13th Edition; Butterworth-Heinemann, 2001.
62. Gaura E., Newman R.: Smart Mems And Sensor Systems; ICP 2006.
63. Glegg G. L.: The Selection of Design; Cambridge University, 1972.
64. Godin B.: Measurement and Statistics on Science and Technology - 1920 to the Present; Routledge, 2005.
65. Golnaraghi F., Kuo B. C.: Automatic Control Systems, 9th Edition - Solutions Manual; 2009.
66. Golnaraghi F., Kuo B. C.: Automatic Control Systems, 9th Edition; John Wiley & Sons, 2010.
67. Grote K.-H., Antonsson E. K.: Springer Handbook of Mechanical Engineering; Springer, 2009.
68. Grote K.-H., Feldhusen J.: Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau, 22. Auflage; Springer, 2007.
69. Haberhauer H., Bodenstern F.: Maschinenelemente – Gestaltung Berechnung Anwendung, 16. Auflage; Springer, 2011.
70. Hall A. S. Holowenko A. R., Laughlin H. G.: Schaum's Outline of Theory and Problems of Machine Design; McGraw-Hill, 1968.
71. Hebra A. J.: The Physics of Metrology - All about Instruments - From Trundle Wheels to Atomic Clocks; Springer 2010.
72. Hering E., Schröder B.: Springer Ingenieurtabellen; Springer, 2004.

73. Hesse S., Schnell G.: Sensoren für die Prozess- und Fabrikautomation - Funktion - Ausführung - Anwendung - Praxis, 4. Auflage; Vieweg+Teubner, 2009.
74. Higuchi T., Suzunori K., Tadokoro S.: Next-Generation Actuators Leading Breakthroughs; Springer, 2010.
75. Hofmann P.: Hybridfahrzeuge - Ein alternatives Antriebskonzept für die Zukunft; Springer, 2010.
76. Jackson R. G.: Novel Sensors and Sensing; IOP, 2004.
77. James K.: PC Interfacing and Data Acquisition - Techniques for Measurement Instrumentation and Control; Newnes, 2000.
78. Jelaska D.: Elementi strojeva – skripta za studente Industrijskog inženjerstva; Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu, 2005.
79. Kiencke U., Nielsen L.: Automotive Control Systems - For Engine, Driveline, and Vehicle, 2nd Edition; Springer, 2005.
80. Kilian C. T.: Modern Control Technology - Components and Systems, 2nd Edition; Delmar Thomson Learning, 2000.
81. Kirchner E.: Leistungsübertragung in Fahrzeuggetrieben Grundlagen der Auslegung, Entwicklung und Validierung von Fahrzeuggetrieben und deren Komponenten; Springer, 2007.
82. Klebanov B. M., Barlam D. M., Nystrom F. E.: Machine Elements – Life and Design; CRC Taylor & Francis Group, 2008.
83. Kolumbić Z., Kozak D.: Fizika – podloge za studij strojarstva; Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, 2010. <http://www.sfsb.hr/~zkolum/Fizika/>
84. Kolumbić Z., Dunder M.: Materijali v2; Odsijek za politehniku Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, 2011. <http://www.ffri.uniri.hr/~zvonomir/Materijali>
85. König H.: Maschinen im Baubetrieb – Grundlagen und Anwendung 2. Auflage; Vieweg+Teubner, 2008.
86. Kraut B.: Strojarski priručnik, 9. izdanje; Tehnička knjiga, 1988.
87. Kreith F., Goswami D. Y.: The CRC Handbook of Mechanical Engineering, 2<sup>nd</sup> Edition; CRC 2005.
88. Künne B.: Köhler Rognitz Maschinenteile Vol 1, 10. Auflage; Vieweg + Teubner, 2008.
89. Künne B.: Köhler Rognitz Maschinenteile Vol 2, 10. Auflage; Vieweg + Teubner, 2008.
90. Kutz M.: Mechanical Engineers' Handbook – Four Volume Set, 3rd Edition – Volume 1: Materials and Mechanical Design; Wiley, 2005.
91. Kutz M.: Mechanical Engineers' Handbook – Four Volume Set, 3rd Edition – Volume 2: Instrumentation, Systems, Controls, and MEMS; Wiley, 2005.
92. Kutz M.: Mechanical Engineers' Handbook – Four Volume Set, 3rd Edition – Volume 3: Manufacturing and Management; Wiley, 2005.
93. Kutz M.: Mechanical Engineers' Handbook – Four Volume Set, 3rd Edition – Volume 4: Energy and Power; Wiley, 2005.
94. LearningExpress: 501 Measurement and Conversion Questions; LearningExpress, 2004.
95. Leckie F. A., Dal Bello D. J.: Strength and Stiffness of Engineering Systems; Springer, 2009.
96. Lerch R.: Elektrische Messtechnik - Analoge, digitale und computergestützte Verfahren, 3. Auflage; Springer 2006.
97. Levine W. S.: The Control Handbook - Control System Fundamentals, 2nd Edition; CRC 2011.
98. Lingaiah K.: Machine Design Databook, 2<sup>nd</sup> Edition; McGraw-Hill, 2002.
99. Liptak B. G.: Instrument Engineers' Handbook - Volume 1 Process Measurement and Analysis, 4th Edition; CRC, 2003.
100. Lotter B., Wiendahl H.-P.: Montage in der industriellen Produktion – Ein Handbuch für die Praxis; Springer, 2006.
101. Lunze J.: Regelungstechnik 1 - Systemtheoretische Grundlagen Analyse und Entwurf einschleifiger Regelungen, 8. Auflage; Springer, 2010.
102. Lunze J.: Regelungstechnik 2 - Mehrgrössensysteme, Digitale Regelung, 6. Auflage; Springer, 2010.
103. Lurie B. J., Enright P. J.: Classical Feedback Control - With MATLAB; Marcel Dekker, 2000.
104. Mabie H. H., Reinholtz C. F.: Mechanisms and dynamics of machinery, 4th Edition; John Wiley & Sons, 1987.
105. Mancuso J. R.: Couplings and Joints – Design, Selection and Application; Marcel Dekker, 1999.

106. Mandal A. K.: Introduction to Control Engineering - Modeling, Analysis, and Design; New Age International, 2006.
107. Marek J., Trah H.-P., Suzuki Y., Yokomori W.: Sensors Applications - Volume 4 Sensors for Automotive Technology; Wiley-VCH 2003.
108. Marghitu D. B.: Mechanical Engineer's Handbook; Academic Press, 2001.
109. McCarthy M. J., Soh G. S.: Geometric Design of Linkages, 2nd Edition; Springer 2010.
110. McGraw Hill: McGraw Hill – Encyclopedia of Science & Technology - 19 Volume set, 10th Edition; McGraw-Hill Professional, 2007.
111. Meissner M., Schorcht H.-J.: Metallfedern - Grundlagen, Werkstoffe, Berechnung, Gestaltung und Rechnerersatz, 2. Auflage; Springer, 2007.
112. Mims F. M.: Engineer's Mini Notebook - Sensor Projects; Siliconconcept, 1996.
113. Morris A. S.: Measurement and Instrumentation Principles, 3rd Edition; Butterworth-Heinemann, 2001.
114. Mott R. L.: Machine Elements in Mechanical Design, 4<sup>th</sup> Edition; Prentice Hall, 2004.
115. Mühl T.: Einführung in die elektrische Messtechnik - Grundlagen, Messverfahren, Geräte, 2. Auflage; Teubner Verlag, 2001.
116. Muhs D., Wittel H., Jannasch D., Becker M., Voßiek J.: Roloff/Matek Maschinenelemente – Interaktive Formelsammlung auf CD-ROM, 8. Auflage; Vieweg, 2006.
117. Nawrocki W.: Measurement Systems And Sensors; Artech House, 2005.
118. Neale M.: The Tribology Handbook, 2nd Edition; Butterworth-Heinemann, 1999.
119. Niemann G., Winter H., Höhn B.-R.: Maschinenelemente – Band 1 – Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen, 4. Auflage; Springer, 2005.
120. Norton R. L.: Design of Machinery – An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines, 2<sup>nd</sup> Edition; WCB/McGraw-Hill, 1999.
121. Norton R. L.: Machine Design – An Integrated Approach, 3<sup>rd</sup> Edition; Prentice Hall, 2006.
122. Nyce D. S.: Linear Position Sensors - Theory and Application; John Wiley & Sons, 2004.
123. Oberg E., Jones F. D., Horton H. L., Ryffel H. H.: Machinery's Handbook 28<sup>th</sup> Edition; Industrial Press, 2008.
124. Ogata K.: Modern Control Engineering, 4th Edition; Pearson Education International, 2002.
125. Orlowski P. F.: Praktische Regeltechnik - Anwendungsorientierte Einführung für Maschinenbauer und Elektrotechniker, 8. Auflage (VDI); Springer, 2009.
126. Orlowski P. F.: Praktische Regeltechnik - Anwendungsorientierte Einführung für Maschinenbauer und Elektrotechniker, 9. Auflage (VDI); Springer, 2011.
127. Pandžić J., Pasanović B.: Elementi strojeva – udžbenik s DVD-om za 2. razred tehničkih škola u području strojarstva i brodogradnje; Neodidacta, 2008.
128. Parmley R. O.: Machine Devices and Components Illustrated Sourcebook; McGraw-Hill, 2005.
129. Parthier R.: Messtechnik - Grundlagen und Anwendungen der elektrischen Messtechnik für alle technischen Fachrichtungen und Wirtschaftsingenieure, 4. Auflage; Vieweg & Sohn, 2008.
130. Pawlak A. M.: Sensors and Actuators in Mechatronics - Design and Applications; CRC, 2007.
131. Perneder R.: Handbuch Zahnriementchnik - Grundlagen, Berechnung, Anwendungen; Springer, 2009.
132. Petruzzellis T.: Electronics Sensors for the Evil Genius - 54 Electrifying Projects; McGraw-Hill 2006.
133. Placko D.: Fundamentals of Instrumentation and Measurement (Instrumentation and Measurement Series); ISTE, 2007.
134. Podrug S.: Elementi strojeva – predavanja za stručni i preddiplomski studij brodogradnje; Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu, 2008.
135. Polak T. A., Pande C.: Engineering Measurements - Methods and Intrinsic Errors; Professional Engineering Publishing Limited 1999.
136. Pons J. L.: Emerging Actuator Technologies - A Micromechatronic Approach; John Wiley & Sons, 2005.
137. Regtien P. P. L., van der Heijden F., Korsten M. J., Otthius W.: Measurement Science for Engineers; Elsevier Science & Technology, 2004.
138. Reif K.: Bosch Autoelektrik und Autoelektronik - Bordnetze Sensoren und elektronische Systeme, 6. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.

139. Reif K.: Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe - mit Brennstoffzellen und alternativen Kraftstoffen; Vieweg+Teubner, 2010.
140. Reif K.: Sensoren im Kraftfahrzeug; Vieweg+Teubner, 2010.
141. Ripka P., Tipek A.: Modern Sensors Handbook; ISTE, 2007.
142. Rothbart H.: The CAM Design Handbook; McGraw-Hill, 2004.
143. Sacks E. Joskowicz L.: The Configuration Space Method for Kinematic Design of Mechanisms; MIT, 2010.
144. Salkind N. J., Rasmussen K.: Encyclopedia of Measurement and Statistics, 2 Volume Set; Sage, 2007.
145. Sandin P. E.: Robot Mechanisms and Mechanical Devices Illustrated; McGraw-Hill, 2003.
146. Sclater N., Chironis N. P.: Mechanisms and Mechanical Devices Sourcebook, 4th Edition; McGraw-Hill Professional, 2006.
147. Scott D. M.: Industrial Process Sensors; CRC, 2008.
148. Shigley J. E., Mischke C. R.: Standard handbook of machine design, 2<sup>nd</sup> Edition; McGraw-Hill Professional, 1996.
149. Shigley J. E., Mischke C. R.: Standard handbook of machine design, 3<sup>rd</sup> Edition; McGraw-Hill Professional, 2004.
150. Sinclair I. R.: Sensors and Transducers, 3rd Edition; Newnes, 2001.
151. Singh U. K., Dwivedi M.: Problems and Solutions in Mechanical Engineering; New Age International, 2007.
152. Smith C. A., Corripio A. B.: Principles and Practice of Automatic Process Control, 2nd Edition; John Wiley & Sons, 1997.
153. Smith E. H.: Mechanical Engineer's Reference Book 12th Edition; Butterworth-Heinemann, 2000.
154. Sobey E.: A Field Guide to Automotive Technology; Chicago Review, 2009.
155. Sobey E.: A Field Guide to Household Technology; Chicago Review, 2006.
156. Soloman S.: Sensors and Control Systems in Manufacturing, 2nd Edition; McGraw-Hill, 2010.
157. Spotts M. F.: Design of Machine Elements; 3<sup>rd</sup> Edition; Prentice Hall, 1961.
158. Stachowiak G. W., Batchelor A. W.: Engineering Tribology, 2nd Edition; Butterworth-Heinemann, 2000.
159. Stachowiak G. W., Batchelor A. W.: Engineering Tribology, 3rd Edition; Elsevier - Butterworth-Heinemann, 2005.
160. Stachowiak G. W., Batchelor A. W.: Engineering Tribology; Elsevier, 1993.
161. Steinhilper W., Sauer B.: Konstruktionselemente des Maschinenbaus 1 – Grundlagen der Berechnung und Gestaltung von Maschinenelementen, 7. Auflage; Springer, 2008.
162. Steinhilper W., Sauer B.: Konstruktionselemente des Maschinenbaus 2 – Grundlagen von Maschinenelementen für Antriebsaufgaben, 6. Auflage; Springer, 2008.
163. Stolarski T.A.: Tribology in Machine Design; Butterworth-Heinemann, 1990.
164. Strothman J.: ISA Handbook of Measurement Equations and Tables, 2nd Edition; ISA, 2006.
165. Šurina T.: Automatska regulacija, 3. izdanje; Školska knjiga, 1987.
166. Takadoun J.: Materials and Surface Engineering in Tribology; ISTE, Wiley, 2008.
167. ten Hompel M., Büchter H., Franzke U.: Identifikationssysteme und Automatisierung (VDI); Springer, 2008.
168. Thomas M.: Einführung in die elektrische Messtechnik - Grundlagen, Messverfahren, Geräte, 2. Auflage; Teubner 2006.
169. Timings R.: Mechanical Engineer's Pocket Book, 3rd Edition; Newnes, 2005.
170. Tompkins - Interfacing Sensors to the IBM-PC 0134690818 1998
171. Tönshoff I. I.: Sensors Applications - Volume 1 Sensors in Manufacturing; Wiley-VCH 2001.
172. Totten G. E., Liang H.: Mechanical Tribology - Materials Characterization and Applications; Marcel Dekker, 2004.
173. Totten G. E.: Handbook of Lubrication and Tribology - Volume I Application and Maintenance, 2nd Edition; CRC, 2006.
174. Tremayne D.: The Science of F1 Race-Car Design - Expert Analysis of the Anatomy of the Modern Grand Prix Car; Heynes Publishing, 2004.
175. Trzesniowski M.: Rennwagentechnik – Grundlagen, Konstruktion, Komponenten, Systeme, 2. Auflage; Vieweg + Teubner, 2010.

176. Tumanski S.: Principles of Electrical Measurement; CRC, 2006.
177. Ulbrich H., Weidemann H.-J., Pfeiffer F.: Technische Mechanik in Formeln Aufgaben und Lösungen; Teubner, 2006.
178. van Basshuysen R.: Fahrzeugentwicklung im Wandel- Gedanken und Visionen im Spiegel der Zeit - Polulär; Vieweg + Teubner, 2010.
179. Vinogradov O.: Fundamentals of Kinematics and Dynamics of Machines and Mechanisms; CRC, 2000.
180. Vitas D. J., Trbojevic M. D.: Masinski elementi I, 10. izdanje; Naucna knjiga, 1990.
181. Vitas D. J., Trbojevic M. D.: Masinski elementi II, 9. izdanje; Naucna knjiga, 1988.
182. Vitas D. J., Trbojevic M. D.: Masinski elementi III, 4. izdanje; Naucna knjiga, 1978.
183. Vöth S.: Maschinenelemente Aufgaben und Lösungen - Festigkeit, Verbindungen, Antriebe; Teubner, 2007.
184. Walsh R. A.: Electromechanical Design Handbook, 3rd Edition; McGraw-Hill, 2000.
185. Webster J. G.: The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook on CD-ROM; CRC, 1999.
186. Weck M., Brecher C.: Werkzeugmaschinen - 4 Automatisierung von Maschinen und Anlagen, 6. Auflage; Springer, 2006.
187. Whitney D. E.: Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development; Oxford University Press, 2004.
188. Wilson J. S.: Sensor Technology Handbook; Elsevier - Newnes, 2005.
189. Wittel H., Muhs D., Jannasch D., Voßiek J.: Roloff/Matek Maschinenelemente – Aufgabensammlung – Aufgaben, Lösungshinweise, Ergebnisse, 14. Vieweg + Teubner, 2010.
190. Wittel H., Muhs D., Jannasch D., Voßiek J.: Roloff/Matek Maschinenelemente – Lehrbuch und Tabellenbuch – Normung, Berechnung, Gestaltung, 19. Auflage; Vieweg + Teubner, 2009.
191. Wittel H., Muhs D., Jannasch D., Voßiek J.: Roloff/Matek Maschinenelemente – Normung, Berechnung, Gestaltung, 20. Auflage; Vieweg + Teubner, 2011.
192. Xue D., Chen Y.-Q., Atherton D. P.: Linear Feedback Control - Analysis and Design with MATLAB; SIAM, 2001.
193. Yamasaki H.: Handbook of Sensors and Actuators - Volume 3 Intelligent Sensors; Elsevier, 1996.
194. Youden W. J.: Experimentation and Measurement; DoC, TA, NIST, 1997.
195. Yurish S. Y., Smart Sensors and MEMS; Kluwer, 2004.
196. Zacher S., Reuter M.: Regelungstechnik für Ingenieure - Analyse Simulation und Entwurf von Regelkreisen, 13. Auflage; Vieweg + Teubner, 2011.

### [Prethodna Verzija](#)

(e) u prvom se koraku određuje promjer vratila na temelju uvijanja: