

NERASTAVLJIVE VEZE I SPOJEVI

Zakovicni spojevi

Zakovice s poluokruglom glavom

- za celicne konstrukcije (HRN M.B3.021-1984), (lijevi dio slike)

- zakotlove pod tlakom (desni dio slike)

Nazivni promjer (sirove) zakovice d

Promjer zakovane zakovice d_1

$$\text{Presjek zakovane zakovice } A = \frac{d_1^2 \cdot \pi}{4}$$

Dimenzije zakovica se vide u donjoj tablici. Duljina sirove zakovice l ovisi o ukupnoj debljini limova l_1 .

Proracun zakovicnih spojeva

Zakovice racunamo s obzirom na presjek A u zakovanom stanju, tj. prema promjeru rupe d_1 , što je zakovica pri zakivanju gotovo sasvim ispuni.

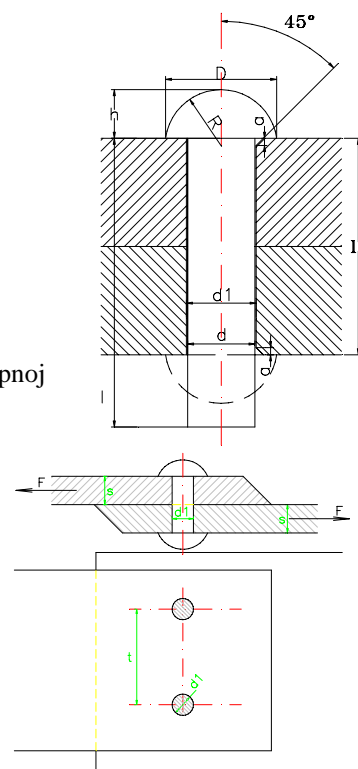
Sila F , koju može prenositi limena traka debljine s i širine, jednake razmaku t među zakovicama u redu, je

$$F = (t - d_1) \cdot s \cdot \delta_{dop} = A \cdot \tau_{s,dop} = d_1 \cdot s \cdot p_{dop}$$

gdje su: δ_{dop} - dopušteno vlačno naprezanje zakovice

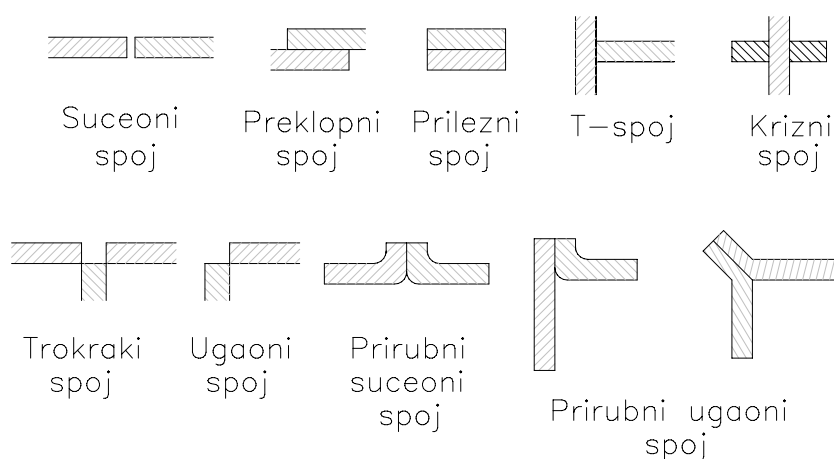
$\tau_{s,dop}$ - dopušteno smicno naprezanje zakovice

p_{dop} - dopušteni bočni pritisak (između zakovice i lima).












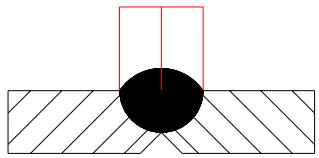
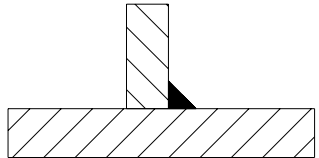
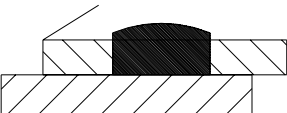
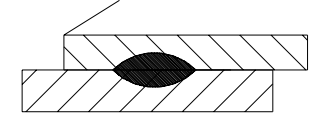
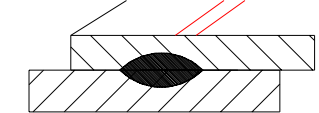
Zavari

Oblici zavarenih spojeva (HRN C.T3.001-1971)



Vrste šavova i njihovi znakovi (HRN C.T3.011-1986)

Naziv šava	Presjek	Znak
I-sav		
V-sav		∇
Polovичni V-sav		∇
Y-sav		Y
Polovичni Y-sav		Y
U-sav		U
Polovичni U-sav		U
X-sav		X
Korijenski zavar		⌒

Naziv šava	Presjek	Znak
Sav iz priruba		⌒
Kutni sav		∇
Koritasti sav		∇
Točkasti sav		○
Kolutni sav		⊕

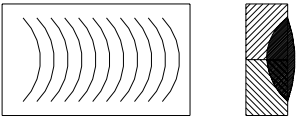
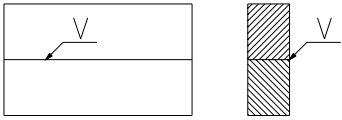

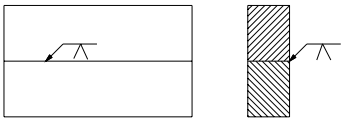
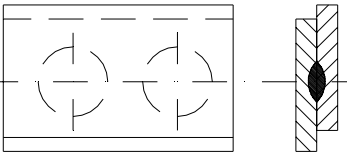
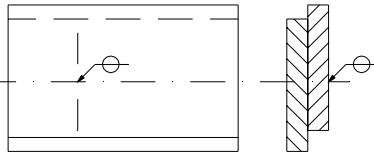
Dopunske oznake za oblik površine šava:

ravna: -

ispupčena: ⌒

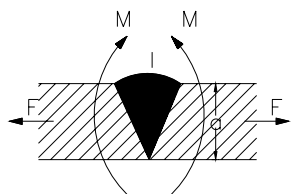
udubljena: ∇

Oznacavanje zavara na crtežima - strelicom

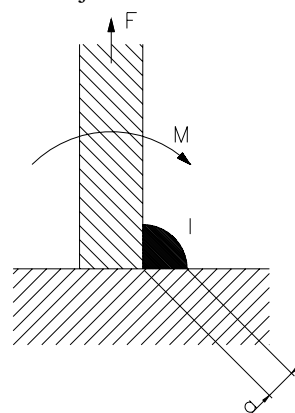
Prikaz	Oznacavanje	
		<p>nad crtom strelice, ako je tjeme zavara na strani strelice</p>
		<p>pod crtom strelice ako je tjeme zavara na suprotnoj strani strelice</p>
		<p>kroz crtu strelice, ako je zavar na prekrivenim plohama spoja</p>

Proracun zavarenih spojeva

Naprezanja na vlak (tlak) δ zbog djelovanja sile F i naprezanje na savijanje δ_f zbog djelovanja momenta M iznose u osnovnim slucajevima zavarenih spojeva debljine zavara a i duljine l :

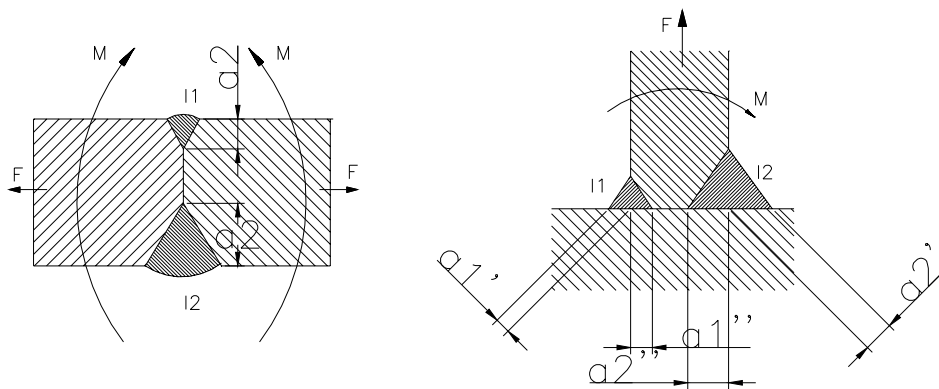


$$\delta = \frac{F}{a \cdot l}$$



$$\delta_f = \frac{6 \cdot M}{a^2 \cdot l}$$

Naprezanja u dvostranim zavarima:



$$\delta = \frac{F}{a_1 \cdot l_1 + a_2 \cdot l_2}$$

$$a_1 = a_1' + a_1''$$

$$\delta_f = \frac{M}{W}$$

$$a_2 = a_2' + a_2''$$

Dopuštena naprezanja u zavaru $\delta_{dop\ zav}$ znatno su manja od normalnih dopuštenih naprezanja

$$\delta_{dop} : \delta_{dop\ zav} = \alpha \cdot \delta_{dop}$$

Koeficijent zavarivanja α veoma ovisi o statickom i dinamičkom opterećenju, vrsti zavarenog spoja i izvedbi zavara. Njegove su vrijednosti približno u slijedecim granicama:

--

Pri običnoj izvedbi zavarenog spoja te se vrijednosti mogu smanjiti i do 50%.

Lemljeni spojevi

Proračun lemljenih spojeva

Lemljene spojeve računamo uglavnom na smik, iznimno na vlak. Sila F , koju prenosi lemljeni spoj opterećen na

smik, iznosi $F = \frac{b}{\tau_s}$ gdje su: b - širina spoja

l - debljina spoja

Naprezanje τ_s u spoju, opterećenom na smik, ne smije biti veće od dopuštenog naprezanja $\tau_{s\ dop}$

$$\tau_s \leq \tau_{s\ dop}$$

cvrstoca na smik je najveća pri debljini lemnog spoja 0,05...0,2 mm.

Meki lemovi pri opterećenju puze; njihova cvrstoca s vremenom jako popušta (npr. meki lem S.Sn 40) ima kratkotrajnu cvrstocu na smik 35 N/mm², a nakon 10⁵h samo još 2 N/mm²). cvrstoca mekih lemova veoma ovisi i o temperaturi (pa npr. pri 150°C može iznositi još samo 15% od vrijednosti pri 20°C).

cvrstoca lemljenih spojeva mnogo ovisi također o dinamičkom opterećenju (npr. srebrni lem pri 10⁴ titraja ima cvrstocu 210 N/mm², a pri 10⁷ titraja, samo još 170 N/mm²).

Lijepljeni spojevi

Lijepljeni se spojevi upotrebljavaju pri spajanju kovina i nekovina (drveta, umjetnih tvari, gume, stakla, porculana itd.). Za međusobno spajanje kovina dolazi u obzir lijepljenje narocito tamo gdje treba spriječiti gubitak svojstava, postignutih termičkom obradom (npr. kod termički obradenog duralumina) ili kod vrlo tankih dijelova.

Kao ljepljiva se upotrebljavaju tvari na bazi umjetnih smola (trgovacka imena: araldit, reduks, bostik, metalon itd). Pri njihovoj upotrebi treba se strogo pridržavati uputa proizvođača.

cvrstoca lijepljenih spojeva posljedica je adhezije između ljepljiva i slijepljenog dijela (dok je značenje mehanickog usidrenja mnogo manje). Deblji sloj ljepljiva ima manju cvrstocu (pri debljini 0,05 mm može iznositi npr. 38 N/mm², a pri debljini 1 mm još samo 15 N/mm²).

cvrstoca se lijepljenog spoja mnogo smanjuje pri višim temperaturama (ako npr. između -50 i +80°C iznosi oko 25 N/mm², pri +150°C može se smanjiti na samo 2 N/mm²).

Nadalje cvrstoca lijepljenog spoja jako ovisi o broju titraja (pa se može između 10³ i 10⁸ titraja smanjiti za 80%, a da pri 10⁹ titraja još nije postignuta trajna dinamička cvrstoca).

Stezni spojevi

Stezne spojeve dobivamo navlacenjem obruca unutarnjeg promjera d^2 na rukavac većeg vanjskog promjera D^1 , i to - obično - hlađenjem rukavca i zagrijavanjem obruca.

Relativna deformacija ε rukavca i obruca (s obzirom na prvobitni promjer rukavca) iznosi:

$$\varepsilon = \frac{D_1 - d_2}{D_1} = \frac{\Delta d}{D_1}$$

Pritisak p na plohi između rukavca i obruca u stegnutom stanju ovisi o dopuštenim naprezanjima u rukavcu $\delta_{1 \text{ dop}}$ i obrucu $\delta_{2 \text{ dop}}$:

$$p \leq \frac{\delta_{1 \text{ dop}} \cdot \left[1 - \left(\frac{d_1}{D_1} \right)^2 \right]}{2} \qquad p \leq \frac{\delta_{2 \text{ dop}} \cdot \left[1 - \left(\frac{d_2}{D_2} \right)^2 \right]}{2}$$

Po Hookeovu zakonu vrijedi za rukavac i obruc

$$\frac{\varepsilon}{p} = \frac{1}{E_1} \cdot \left[\frac{1 + \left(\frac{d_1}{D_1} \right)^2}{1 - \left(\frac{d_1}{D_1} \right)^2} - \frac{1}{m} \right] + \frac{1}{E_2} \cdot \left[\frac{1 + \left(\frac{d_2}{D_2} \right)^2}{1 - \left(\frac{d_2}{D_2} \right)^2} - \frac{1}{m_2} \right]$$

gdje su: E_1 i E_2 - moduli elastičnosti za rukavac i obruc, m_1 i m_2 - Poissonovi koeficijenti za rukavac i obruc.

Stezna deformacija

$$\Delta d = D_1 \cdot p \cdot \left(\frac{\varepsilon}{p} \right)$$

Temperaturne razlike, potrebne pri navlacenju:

Hlađenje rukavca za temperaturnu razliku $T_0 - T_1$ uzrokuje suženje rukavca za Δd_1 dok zagrijavanje obruca za temperaturnu razliku $T_2 - T_0$ uzrokuje proširenje obruca za Δd_2 :

$$\Delta d_1 = \alpha_1 \cdot D_1 \cdot (T_0 - T_1) \qquad \Delta d_2 = \alpha_2 \cdot d_2 \cdot (T_2 - T_0)$$

gdje su: T_0 - temperatura okoline, T_1 - temperatura ohlađenog rukavca, T_2 - temperatura zagrijanog obruca, α_1 i α_2 - koeficijenti temperaturnog rastezanja rukavca i obruca (v. str. 158).

Ukupna promjena promjera treba biti veća od tražene stezne deformacije

$$\Delta d_1 + \Delta d_2 > \Delta d$$

Prijenosna sila F steznog spoja je

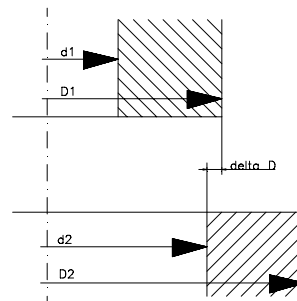
$$F = \mu \cdot D_1 \cdot \pi \cdot l \cdot p$$

gdje je l duljina korisne prijenosne površine rukavca.

Koeficijent trenja μ na plohi između rukavca i obruca u stegnutom stanju iznosi 0,05...0,19 (za srednje tvrdi celik oko 0,16).

Prijenosni moment M_t steznog spoja je

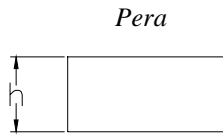
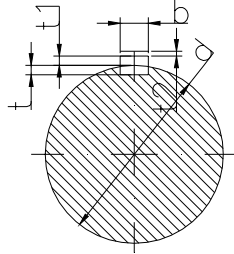
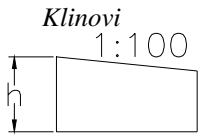
$$M_t = \frac{d_2}{2} \cdot F$$



Rastavljivi spojevi

Spojevi klinovima

Razlikujemo klinove (s nagobim 1:100) i pera.



d - promjer osovine
 b - širina klina, pera
 h - visina klina, pera
 dubina utora:

t - na osovini

t_1 - na glavini za klinove

t_2 - na glavini za pera

Osnovni standardizirani klinovi i pera

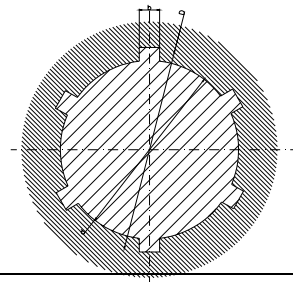
prema HRN:

Klinovi (HRN M.C2.020 - 1957). - Plosnati klinovi (HRN.M.C2.021 - 1957). - Pera, visoka (HRN M.C2.060 - 1957). - Pera, niska (HRN M.C2.061 - 1957).

Utorni spojevi

Utorni spojevi s ravnim bokovima (HRN M.C1.410 - 1958)

Unutarnji promjer	d
Vanjski promjer	D
- za laku izvedbu	D_1
- za srednju izvedbu	D_2
[irina utora	b
Broj utora	n



Spojevi svornjacima i zaticima

Svornjaci

Standardizirani promjeri d

3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	30
32	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100

Obradeni svornjaci bez glave (HRN M.C3.040 - 1954)

$d = 3 \dots 100\text{mm}$

Obradeni svornjaci s malom glavom (HRN M.C3.020 - 1954)

$d = 3 \dots 100\text{mm}$

Poluobradeni svornjaci s velikom glavom (HRN M.C3.021 - 1954)

$d = 6 \dots 100\text{mm}$

Poluobradeni svornjaci s malom glavom (HRN M.C3.022 - 1954)

$d = 5 \dots 100\text{mm}$

Zatici

Standardizirani promjeri d

0,6	0,8	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10	13	16	20	25	30	40	50
-----	-----	---	-----	---	-----	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----

Cilindricni zatici

- u tolerancijskom polju h 8 (HRN M.C2.201 - 1952)
- u tolerancijskom polju h 11 (HRN M.C2.202 - 1952)
- u tolerancijskom polju m 6 (HRN M.C2.203 - 1952)

$d = 0,8 \dots 50\text{mm}$

$d = 0,8 \dots 50\text{mm}$

$d = 1 \dots 50\text{mm}$

Zakaljeni cilindricni zatici (60 HRC)

- u tolerancijskom polju m 6 (HRN M.C2.204 - 1952)

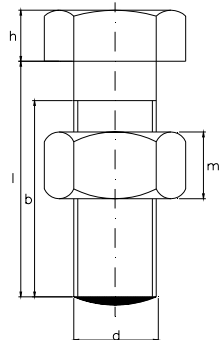
$d = 0,8 \dots 20\text{mm}$

Konicni zatici (1:50), (promjer d mjeri se na užem kraju) (HRN M.C2.205 - 1952)

$d = 0,6 \dots 50\text{mm}$

Vijcani spojevi

Standardiziranih vijaka i matica ima mnogo. Najobicniji su vijci sa šesterokutnom glavom i maticom (ISO).



Nazivne duljine tijela vijka i duljine navoja
(HRN M.B1.019 - 1972)

Duljine tijela l (mm):

2	(7)	14	(28)	45	75	(105)	140	200
2,5	8	16	30	50	80	110	150	220
3	(9)	(18)	(32)	55	85	(115)	160	240
4	10	20	35	60	90	120	170	260
5	(11)	(22)	(38)	65	(95)	(125)	180	280
6	12	25	40	70	100	130	190	300

Treba se kloniti duljina tijela u zgradama !

Duljine navoja b : za $l \leq 125$ mm

$$b = 2d + 6 \text{ mm}$$

za $l = 125$... 200 mm

$$b = 2d + 12 \text{ mm}$$

za $l > 200$ mm

$$b = 2d + 25 \text{ mm}$$

Ako je $l \leq b$, navoji se izvode do glave vijka.

Vijci sa šesterokutnom glavom - izrade C i B (HRN M.B1.050/051 - 1976)

[šesterokutne matice za opće svrhe (HRN M.B1.600 - 1965)]

Materijal: celik ili mjed - bez propisanih mehanickih svojstava. Mjere u mm

Vijci sa šesterokutnom glavom izrade A: HRN M.B1.052 - 1976, s navojem do glave: HRN M.B1.053/055 - 1976, s finim navojem: HRN M.B1.057/060 - 1976.

Kvalitetni vijci i matice (HRN M.B1.023 - 1983 i 028 - 1975)

Preporuceni promjeri svrdla za rupe pred narezivanjem navoja
(HRN M.B1.003 - 1972)

Promjeri provrta za vijke s metarskim navojem
(HRN M.B1.004 - 1986)

Proracun vijaka

a) Vijci za pricvršćivanje

Maksimalna sila F_{\max} , koje može prenositi vijak presjeka A (s promjerom jezgre navoja d_1) iznosi: $F_{\max} \leq A \cdot \delta_{dop}$

$$A = \frac{d_1^2 \cdot \pi}{4}$$

Dopušteno naprezanje δ_{dop} za vijke određujemo obično ovisno o naprezanju tecenja R_e ($R_{p,0.2}$)

$$\delta_{dop} \approx 0,3 \cdot R_e$$

Za prednapregnute vijke uzimamo $F_{\max} = (1,3 \dots 1,6) \cdot F$, gdje je F vanjska sila, kojom opterećujemo vijak na vlak.

b) *Vijci za prijenos gibanja* (obično s trapeznim ili pilastim navojem)

Nosiva sila F određuje se - osim proračunom cvrstoće (kao pod a) - još i s obzirom na bočni pritisak p dodirnih ploha u navoju

$$F_{\max} \leq \frac{(d^2 - d_1^2) \cdot \pi}{4} \cdot p \cdot n$$

gdje su: d - vanjski promjer vijka; n - broj nosivih navoja.

Bočni pritisak p kod broncanih matica iznosi:

$$\text{za vijke od mekog celika} \quad p \leq 7,5 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{za vijke od tvrdog celika} \quad p \leq 16 \frac{N}{mm^2}$$

STROJNI DIJELOVI ZA PRIJENOS KRUŽNIH GIBANJA

Osovine

Okrugle osovine promjera d mogu prenositi moment vrtnje T

$$T = W_p \cdot \tau_{t,dop}$$

gdje je W_p polarni moment otpora okrugle osovine

$$W_p = \frac{\pi}{16} \cdot d^3 \approx 0,2 \cdot d^3$$

a $\tau_{t,dop}$ je dopušteno naprezanje na torziju.

Za osovine uzimamo čelik cvrstoće $R_m = 420 \dots 700 \text{ N/mm}^2$. Ako dodatni momenti savijanja nisu poznati, računamo s dopuštenim naprezanjem na torziju $\tau_{t,dop}$ ovisno o promjeru osovine d

d (mm)	...25	25...50	50...80	80...
$\tau_{t,dop}$ (N/mm ²)	10	20	30	40

Ako su, međutim, momenti savijanja poznati, treba osovinu računati pomoću sastavljenih opterećenja (v. str. 123).

Za prijenos momenta vrtnje T treba promjer osovine d biti

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi} \cdot \frac{T}{\tau_{t,dop}}} \approx \sqrt[3]{\frac{5 \cdot T}{\tau_{t,dop}}}$$

Moment vrtnje možemo izraziti snagom P , koju osovina prenosi, i brzinom vrtnje osovine n

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

Remenski prijenos

Zbog trenja između remena i remenice sila F_1 u vucnoj strani remena veća je od sile F_2 u povratnoj strani

$$F_1 > F_2 \quad \frac{F_1 - F_C}{F_2 - F_C} = e^{\pi \cdot \hat{\alpha}} \quad F_C = m_l \cdot v^2 = \rho \cdot A \cdot v^2$$

gdje su: e - baza prirodnih logaritama, μ - koeficijent trenja, $\hat{\alpha}$ - obuhvatni kut (rad) remena na remenici, F_C - sila u remenu zbog centrifugalne sile, m_l - duljinska masa remena (kg/m), ρ - gustoća remena, A - presjek remena, v - brzina remena.

Vrijednosti izraza $e^{\mu \cdot \hat{\alpha}}$

Obodna sila F

$$F = F_1 - F_2 = \frac{(F_1 - F_C) \cdot (e^{\mu \cdot \hat{\alpha}} - 1)}{e^{\mu \cdot \hat{\alpha}} - 1} = (F_2 - F_C) \cdot (e^{\mu \cdot \hat{\alpha}} - 1)$$

Snaga P , koju remen prenosi pri obodnoj brzini $v = d \cdot \pi \cdot n$

$$P = F \cdot v = (F_1 - F_2) \cdot d \cdot \pi \cdot n$$

Sila F_1 , kojom je remen napregnut (u vucnom dijelu):

$$F_1 = \frac{F \cdot e^{\mu \cdot \hat{\alpha}}}{e^{\mu \cdot \hat{\alpha}} - 1} + F_C = A \cdot \sigma_{dop}$$

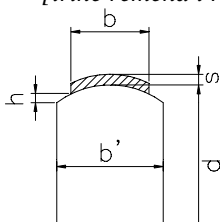
gdje su: A - presjek remena, σ_{dop} - dopušteno naprezanje remena.

Prijenosni omjer i je omjer brzine vrtnje n_1 pogonske remenice i brzine vrtnje n_2 gonjene remenice: $i = n_1/n_2$

a) Plosnati remeni

izrađuju se od kože, gume, tekstila, umjetnih masa itd.

[irine remena i remenica (HRN M.C1.231 - 1965)



Mjere u mm

Promjeri remenica d (mm) (HRN M.C1.241 - 1965)

Izbočenost vijenca remenice h (HRN M.C1.242 - 1965). Mjere u mm

Izbočenost za $d = 400 \dots 2000$ mm iznosi između 1 i 6 mm (ovisi o širini remenice b').

Specifična snaga P/A , tj. prijenosna snaga remena P po jedinici presjeka A , ovisi o materijalu remena, obuhvatnom kutu α , relativnoj debljini s/d (s = debljina remena, d = promjer remenice) i o obodnoj brzini v .

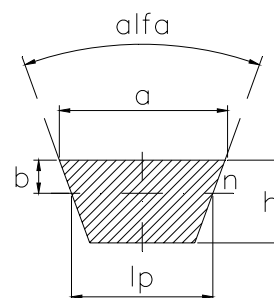
Specifična snaga P/A za plosnati kožnati remen pri obuhvatnom kutu $\alpha = 180^\circ$

Prijenosni je omjer kod plosnatih remena: $i \leq 5$.

b) Beskonacni klinasti remeni

Profil klinastih remena je trapez širine (dulje) osnovice a i visine h , dok bočne stranice zatvaraju kut od 40° .

Normalni klinasti remeni (HRN G.E2.053 - 1964)



Uski klinasti remeni

Racunske duljine L_p (mm) (HRN G.E2.053 - 1964)

200	355	630	1120	2000	3550	6300	11200
224	400	710	1250	2240	4000	7100	12500
250	450	800	1400	2500	4500	8000	14000
280	500	900	1600	2800	5000	9000	16000
315	560	1000	1800	3150	5600	10000	18000

Snaga P , što je prenosi klinasti remen, ovisi o obuhvatnom kutu α , o najmanjem promjeru remenice d_{min} , i o obodnoj brzini v .

Snaga P klinastog remena pri obuhvatnom kutu $\alpha=180^\circ$

Pri manjem obuhvatnom kutu α valja vrijednosti za snagu P pomnožiti s faktorom k

α°	170	160	150	140	130	120	110	100	90
k	0,98	0,95	0,92	0,89	0,86	0,82	0,78	0,73	0,68

Prijenosni je omjer kod klinastih remena $i \leq 10(. . .15)$.

Lancani prijenos

Obodna sila F_0 proizlazi iz snage što je prenosi lanac pri brzini v , odnosno iz momenta vrtnje T lančanika (lancanog zupčanika) i promjera njegove diobene kružnice d_0

$$F_0 = \frac{P}{v} = \frac{2 \cdot T}{d_0}$$

pri čemu brzina lanca, koja je jednaka obodnoj brzini na diobenom valjku, ovisi o brzini vrtnje n

$$v = d_0 \cdot \pi \cdot n$$

U lancu djeluje još i komponenta centrifugalne sile

$$F_c = m_l \cdot v^2$$

gdje je m_l - duljinska masa lanca (kg/m).

Ukupna sila, kojom je opterećen lanac, iznosi

$$F = F_0 + F_c$$

Bocni pritisak p na dodirne plohe članaka A

$$p = \frac{F}{A} < p_{dop}$$

Dopušteni bocni pritisak p_{dop} ovisi o brzini lanca v , a iznosi pri uobicajenim pogonskim prilikama:

v (m/s)	0,1	0,5	1,0	1,5	2	3	4	5,5	7	9	12
p (N/mm ²)	3100	2800	2600	2400	2250	2050	1850	1600	1400	1250	1000

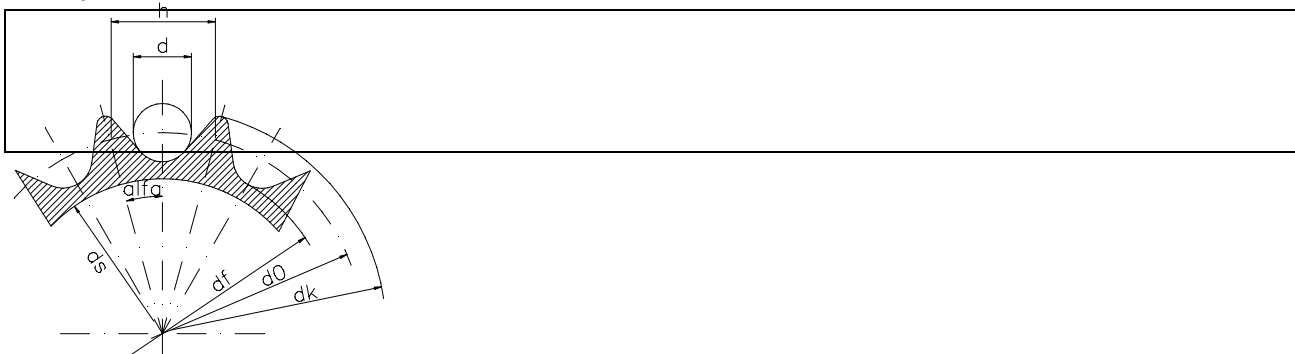
Lancanici

Promjer diobenog valjka d_0

$$d_0 = \frac{h}{\sin \alpha} = h \cdot N \quad \alpha = \frac{180^\circ}{z}$$

gdje su: h - korak lanca; α (°) - polovinski kut među susjednim zupcima; z - broj zubaca lančanika

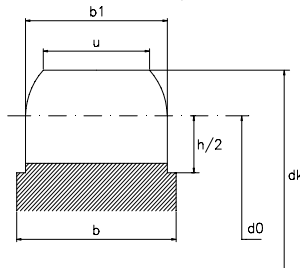
Vrijednosti N



Lancanici za clankaste lance s valjcima



Lancanici za clankaste lance s tuljcima i svornjacima



Tjemeni valjak lančanika:

- za lance s tuljcima

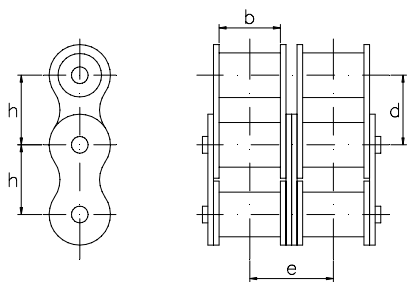
$$d_k = d_0 + (0,8 \dots 1) \cdot d$$

- za lance sa svornjacima

$$d_k = d_0 + (3 \dots 4mm)$$

b je nosiva širina lanca

clankasti lanci



h - korak
 b - nosiva širina clanka
 d - nazivni promjer clanka
 e - razmak medu clancima

clankasti lanci s valjcima (HRN M.C1.820 - 1960), jedno-, dvo- i troredni

clankasti lanci s valjcima:

- za povećano opterećenje (HRN M.C1.821 - 1960)
- s dugim clancima (HRN M.C1.822 - 1960)
- za poljoprivredne strojeve (HRN M.C1.827 - 1967)

clankasti lanci s tuljcima (HRN M.C1.830 - 1960) - jednoredni

clankasti (Gallovi) lanci sa svornjacima (HRN M.C1.840/841 - 1960) - jednoredni

Broj clanka lanca x

$$x = 2 \cdot \frac{a}{h} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{h}{a} \cdot \left(\frac{z_2 - z_1}{2} \right)^2$$

pri čemu znače: a - razmak osi; h - korak lanca; z_1 - broj zubaca malog lančanika; z_2 - broj zubaca velikog lančanika.

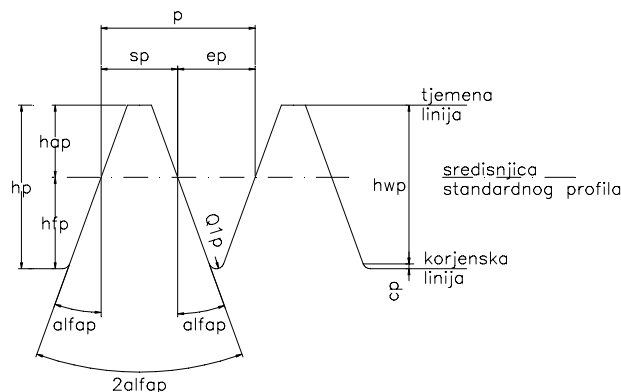
ZUPCANI PRIJENOS

Prijenosni omjer i je omjer brzine vrtnje pogonskog zupčanika n_1 i gonjenog zupčanika n_2 , odnosno broja zubaca gonjenog zupčanika z_2 i malog pogonskog z_1

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

$i > 1$ - prijenos na manju brzinu; $i < 1$ - prijenos na veću brzinu

Standardni profil evolventnih zupčanika (HRN M.C1.016 - 1958) - s novijim oznakama po ISO (DIN 876) osim oznaka po HRN:



Standardni moduli m (mm) po ISO (HRN M.C1.015 - 1965):

1	1,375	2	2,75	3,5	4,5	6	8	11	16	22	32	45
1,125	1,5	2,25	3	(3,75)	5	(6,5)	9	12	18	25	36	50
1,25	1,75	2,5	(3,25)	4	5,5	7	10	14	20	28	40	

Upotrebljavati valja u prvom redu debelo tiskane vrijednosti modula (1. prednost), tanko tiskane u slučaju opravdanih razloga (2. prednost), a vrijednosti u zagradama samo iznimno (3. prednost).

Parovi celnika (cilindričnih zupčanika) (HRN M.C1.012 - 1958) (s oznakama po ISO)

ravno ozubljenje

koso ozubljenje pod kutom β

Pomak profila osnovne ozubnice izražava se umnoškom koeficijenta pomaka profila osnovne ozubnice x (koji je ovisan o broju zubaca i upadnog kuta α) i modula:

pri ravnom ozubljenju: $x \cdot m$ ($x_{min} = 1 - 0,5 \cdot z \cdot \sin^2 \alpha$)

pri kosom izupcanju: $x \cdot m_t$ ($x_{min} = 1 - 0,5 \cdot z \cdot \sin^2 \alpha_t$)

Pomakom profila osnovne ozubnice povećava se nosivost, sprečava podrezivanje pri malom broju zubaca ($z < 17$), a smanjuje relativna brzina klizanja.

Jednadžbe vrijede za vanjsko i unutarnje ozubljenje; kod posljednje treba paziti na predznake zbog negativnog predznaka broja zubi zupčanika s unutarnjim ozubljenjem.

Razmak osi

pri ravnom ozubljenju

pri kosom ozubljenju

- pri vanjskom ozubljenju:

$$a = m \cdot \frac{z_1 + z_2}{2} \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w}$$

$$a = m_t \cdot \frac{z_1 + z_2}{2} \cdot \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_{wt}}$$

dok za pogonski zahvatni kut α_w odnosno α_{wt} vrijedi:

$$\text{inv } \alpha_w = \frac{2 \cdot (x_1 + x_2)}{z_1 + z_2} \cdot \tan \alpha + \text{inv } \alpha$$

$$\text{inv } \alpha_{wt} = \frac{2 \cdot (x_{t1} + x_{t2})}{z_1 + z_2} \cdot \tan \alpha_t + \text{inv } \alpha_t =$$

$$= \frac{2 \cdot (x_{n1} + x_{n2})}{z_1 + z_2} \cdot \alpha_n + \text{inv } \alpha_t$$

Zbroj koeficijenata pomaka profila (za poznati razmak osi)

pri ravnom ozubljenju

$$x_1 + x_2 = \frac{\text{inv } \alpha_w - \text{inv } \alpha}{2 \cdot \tan \alpha_w} \cdot (z_1 + z_2)$$

pri kosom ozubljenju

$$x_{t1} + x_{t2} = \frac{\text{inv } \alpha_{wt} - \text{inv } \alpha_t}{2 \cdot \tan \alpha_{wt}} \cdot (z_1 + z_2)$$

dok za pogonski zahvatni kut α_w odnosno α_{wt} vrijedi:

$$\alpha_w = \arccos \left(\frac{z_1 + z_2}{2 \cdot a} \cdot m \cdot \cos \alpha \right)$$

$$\alpha_{wt} = \arccos \left(\frac{z_1 + z_2}{2 \cdot a} \cdot m_t \cdot \cos \alpha \right)$$

Promjeri kinematičkih kružnica

pri ravnom ozubljenju

$$d_{w1} = d_1 \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} \quad d_{w2} = d_2 \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w}$$

pri kosom ozubljenju

$$d_{w1} = d_1 \cdot \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_{wt}} \quad d_{w2} = d_2 \cdot \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_{wt}}$$

Mjerni broj zubača

$$k = \frac{z}{\pi} \cdot (\tan \alpha_x - \text{inv } \alpha) - \frac{2 \cdot x \cdot \tan \alpha}{\pi} + 0,5$$

$$k = \frac{z}{\pi} \cdot \left(\frac{\tan \alpha_{xt}}{\cos^2 \beta_b} - \text{inv } \alpha_t \right) - \frac{2 \cdot x_t \cdot \tan \alpha}{\pi} + 0,5$$

pri čemu je

$$\tan \alpha_x = \sqrt{\tan^2 \alpha + \frac{4 \cdot \frac{x}{z} \cdot \left(1 + \frac{x}{z}\right)}{\cos^2 \alpha}}$$

$$\tan \alpha_{xt} = \sqrt{\tan^2 \alpha_t + \frac{4 \cdot \frac{x_t}{z} \cdot \left(1 + \frac{x_t}{z}\right)}{\cos^2 \alpha_t}}$$

$$\beta_b = \arcsin(\sin \beta \cdot \cos \alpha_n)$$

Mjerni broj zubača k zaokružujemo na najbliži cijeli broj.

Ako je $x = 0$, dobivamo:

$$k = \frac{z \cdot \hat{\alpha}}{\pi} + 0,5$$

$$k = z \cdot \frac{\hat{\alpha}_t + \tan \alpha_t \cdot \tan^2 \beta_b}{\pi} + 0,5$$

Mjera pomoću zubača:

$$W = m \cdot \cos \alpha \cdot \left[\pi \cdot (k - 0,5) + z \cdot \text{inv } \alpha + 2 \cdot x \cdot \tan \alpha \right]$$

$$W = m_t \cdot \cos \alpha_t \cdot \left[\pi \cdot (k - 0,5) + z \cdot \text{inv } \alpha_t + 2 \cdot x_t \cdot \tan \alpha_t \right] \cdot \cos \beta_b$$

Formule za izračunavanje velicina vrijede za vanjsko i unutarnje ozubljenje, ukoliko se poštuju definicije predznaka za broj zubi, te pomaka profila.

$$M_d = d_K \cdot f_K \cdot D_M$$

Za "sodo" broj zubača je $f_K = 1$, za "liho" broj zubača je $f_K = \cos \frac{\pi}{2 \cdot z}$; D_M je promjer mjernog elementa (valjak ili kuglica).

$$d_K = \frac{d_b}{\cos \alpha_K}$$

$$d_K = \frac{d_b}{\cos \alpha_{Kt}}$$

Kut α_K dobivamo iz:

$$\text{inv } \alpha_K = \frac{s}{d} + \text{inv } \alpha + \frac{D_M}{d_b} - \frac{\pi}{z}$$

$$\text{inv } \alpha_{Kt} = \frac{s_t}{d} + \text{inv } \alpha_t + \frac{D_M}{d_b \cdot \cos \beta_b} - \frac{\pi}{z}$$

Mjera M_d i promjer d_K imaju negativan predznak, dok α_K , α_{Kt} i promjer D_M imaju uvijek pozitivni predznak.