

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za strojništvo



*Katedra za strojne elemente in razvojna vrednotenja*



# **Strojni elementi 2**

## **Jermenska gonila s ploščatimi jermeni**

Gorazd Fajdiga, Marko Nagode

## Lastnosti gradiv

- **velik koeficient trenja** → velika sila trenja → velik vrtilni moment
- **velika natezna trdnost** → zagotavlja velike sile prednapetja → prenos velikih obremenitev
- **dobra elastičnost** → zagotavlja zelo majhne trajne raztezke jermena (odpade večkratno napenjanje jermena) in majhne napetosti zaradi upogibanja jermena;
- **neobčutljivost na vplive okolja** (prah, olje, razne kemikalije, temperaturne spremembe itd.)

## Usnjeni jermeni

- hrbtni deli kož mladega goveda,
- glede na vsebnost maščob delimo usnjene jermene v tri kakovostne razrede:
  - **Normalni** (S) z vsebnostjo maščob 14 do 25 % (za manj zahtevna gonila z majhnimi hitrostmi)
  - **Gibki** (G) z vsebnostjo maščob 7 do 14 % (za običajna odprta in križna jermenska gonila s srednjimi hitrostmi jermena)
  - **Zelo gibki** (HG) z vsebnostjo maščob okrog 7 % (za vse vrste gonil (majhna medosja, majhni objemni koti, napenjalne jermenice, polkrižna gonila) z visokimi hitrostmi jermena.
- **prednost:** visoki koeficienti trenja
- **slabosti:** relativno majhna elastičnost (velik trajni raztezek jermena), majhna natezna trdnost, neenakomerna struktura usnja ter razmeroma visoka cena.
- **uporabnost:** usnje se kot gradivo za ploščate jermene vedno manj uporablja, pogosto se uporablja le za torne plasti pri večplastnih ploščatih jermenih



## Tekstilni jermeni

- so vsi jermene izdelane s postopki tkanja
- niti iz katerih so jermeni stkani so lahko živalskega (ovčja volna, naravna svila), rastlinskega (bombaž, lan, konoplja) ali sintetičnega (umetna svila, najlon, perlon) izvora.
- tkanina je impregnirana z različnimi olji, živalskimi mastmi in drugimi impregnacijskimi sredstvi → izboljšajo torne lastnosti jermenov in ščitijo jermen pred škodljivimi mehanskimi in kemičnimi vplivi
- imajo bolj enakomerno strukturo → tečejo mirno in so uporabni za večje hitrosti jermena.
- so zelo gibki → primerni za majhne premere jermenic.
- **slabosti:** imajo občutljive robove in so neodporni proti drgnjenju (niso uporabni za polkrižna in križna jermenska gonila)

## Gumijasti jermeni

- so tekstilni jermeni iz bombaža, umetne svile ali umetnih vlaken
- po celotni debelini jermena impregnirani z gumo ali balato (posebna vrsta kavčuka)
- tekstilna tkanina prenaša zahtevane obremenitve, guma ščiti jermen pred zunanjimi vplivi in izboljšuje torne lastnosti
- večji koeficient trenja (v primerjavi s tekstilnimi jermeni)
- primerni za višje obratovalne temperature

## Jekleni trakovi

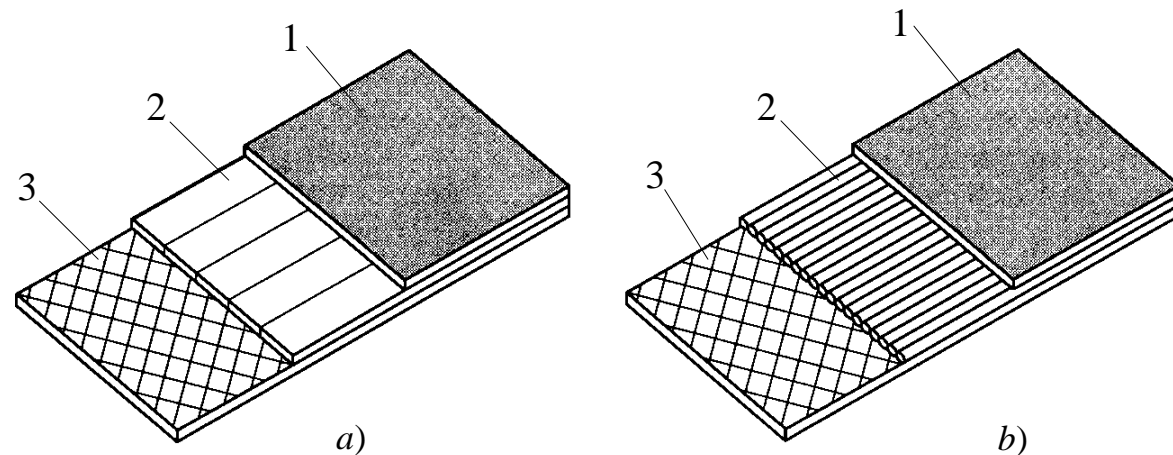
- za zelo velike moči in velika medosja
- izdelani iz hladno valjanega jekla z natezno trdnostjo 1300 do 1600 N/mm
- majhen trajni raztezek in dolgo življenjsko dobo
- slabša gibkost → primerni le za večje premere jermenic
- neprimerni za polkrižna in križna jermenska gonila
- nizek koeficient trenja → večje sile prednapetja → večje obremenitve gredi in ležajev



## Večplastni jermeni

- iz več (običajno treh) plasti različnih gradiv (med seboj lepljene ali vulkanizirane)
- **torna plast** iz elastomera ali kromovega usnja zagotavlja visoke koeficiente trenja
- **vlečna plast** iz poliamidnega traku ali poliestrske kordne vrvice (dobre trdnostne lastnost → prenos velikih obremenitev)
- **krovna plast** je običajno iz tekstilne tkanine in ščiti jermen pred škodljivimi vplivi iz okolice

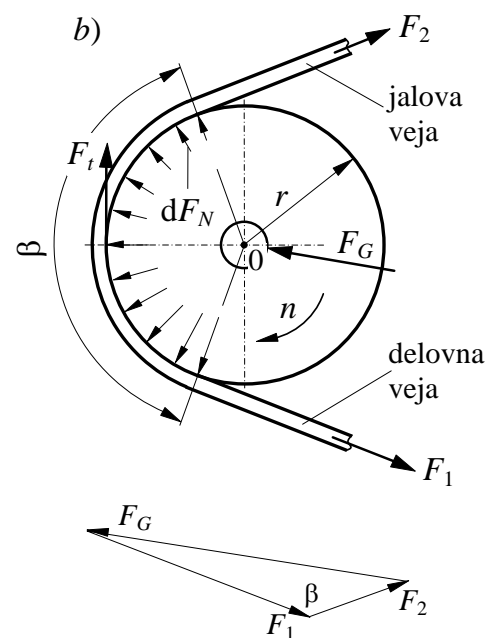
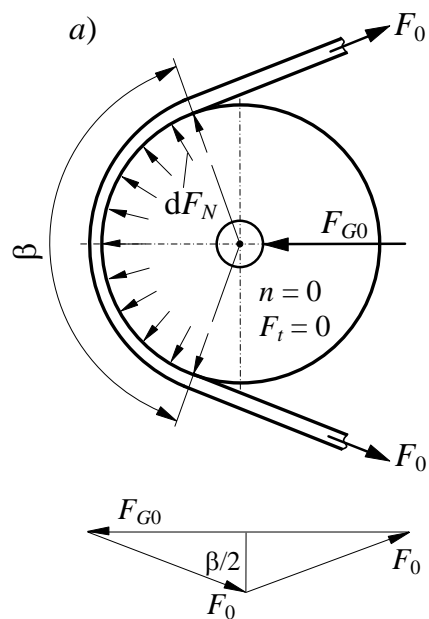
Večplastni ploščati jermeni niso standardizirani → prepoznavni predvsem po blagovnih znamkah proizvajalcev *Extremultus* (Hannover) in *Habasit* (Urberach)

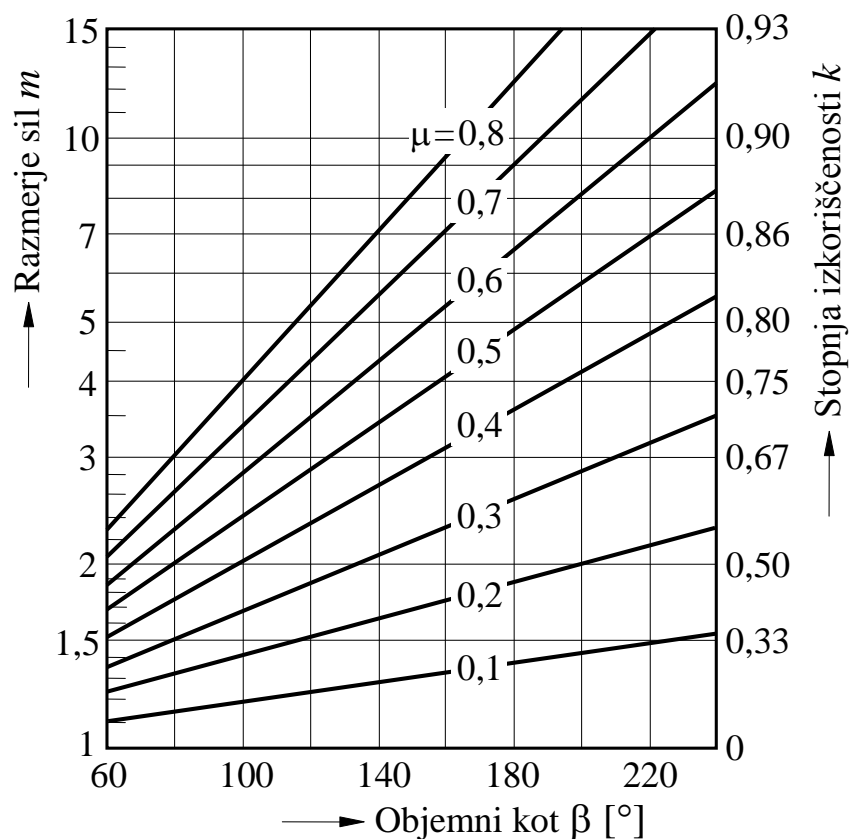


1- krovna plast, 2- vlečna plast, 3- torna plast

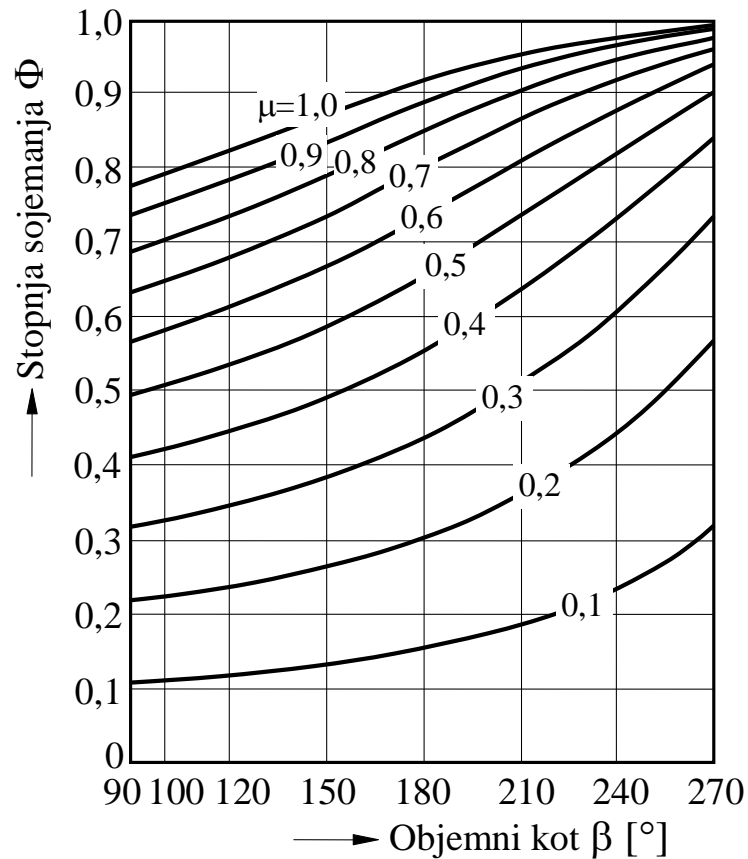
a) vlečna plast iz poliamidnega traku b) vlečna plast iz poliestrske kordne vrvice

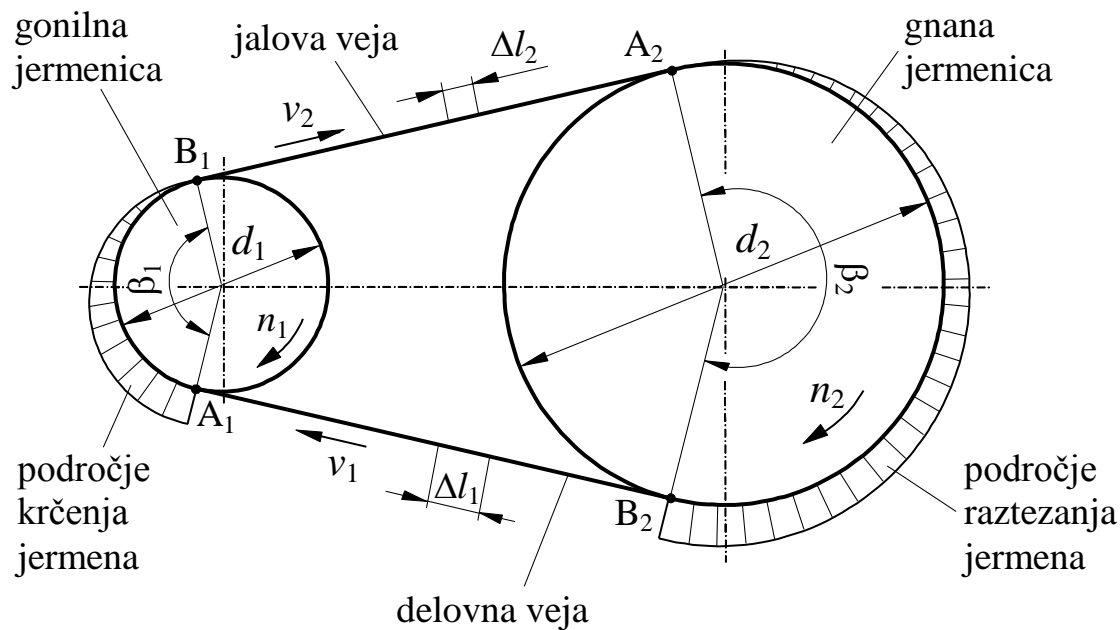




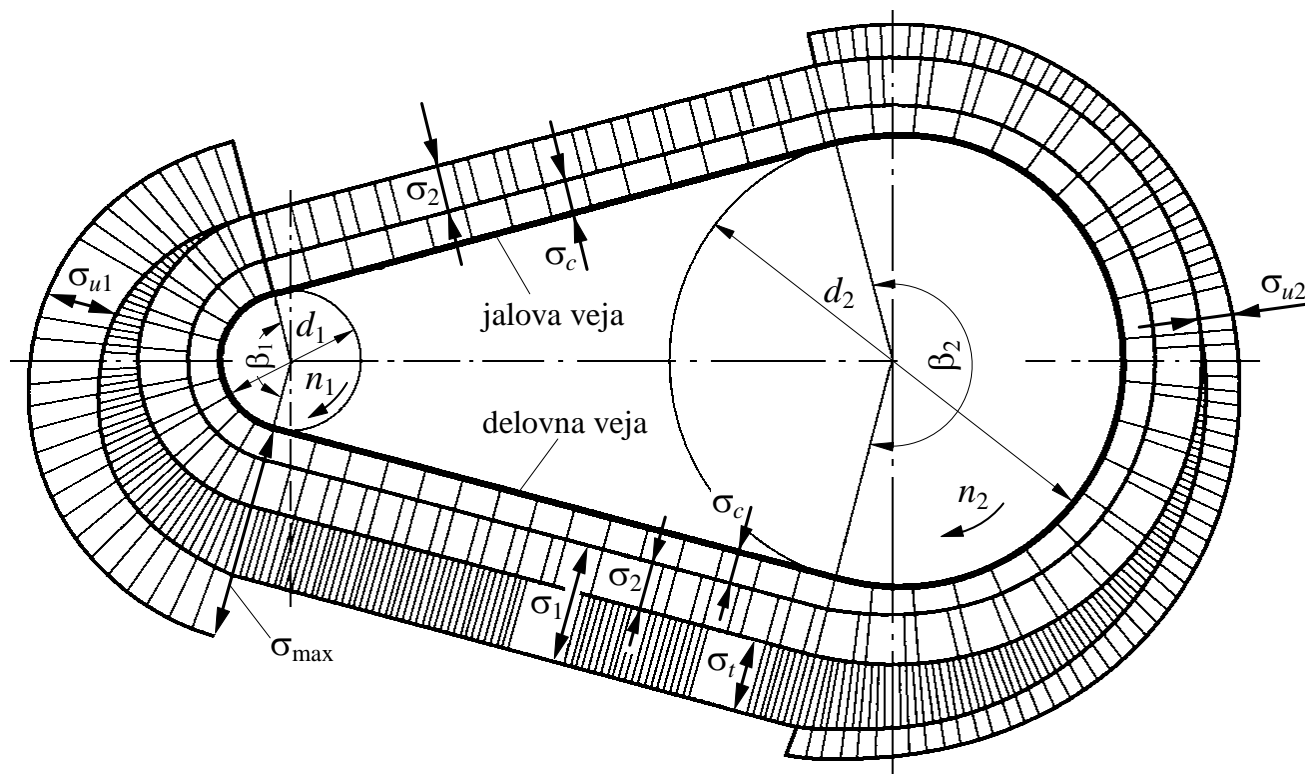


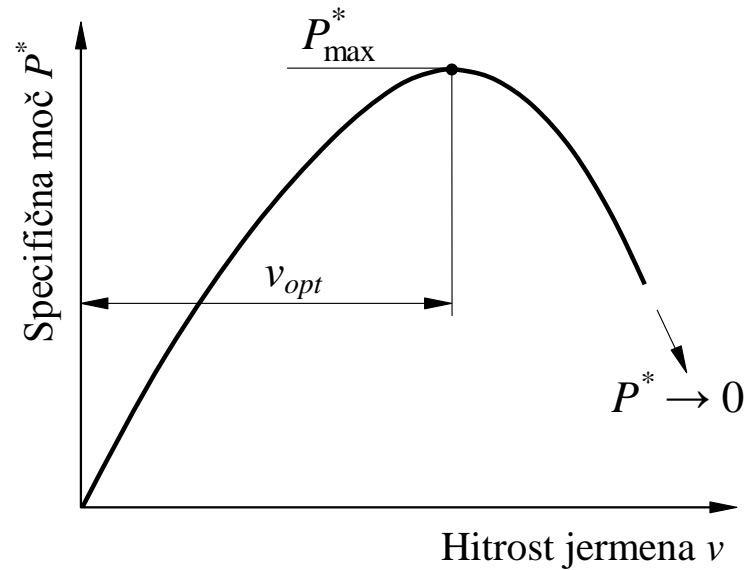
# Stopnja sojemanja jermenskega gonila









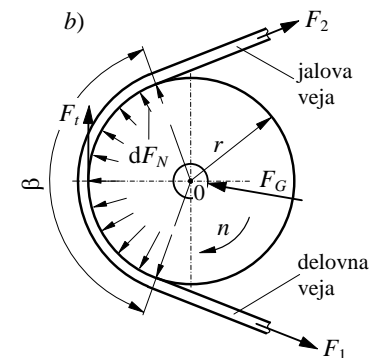
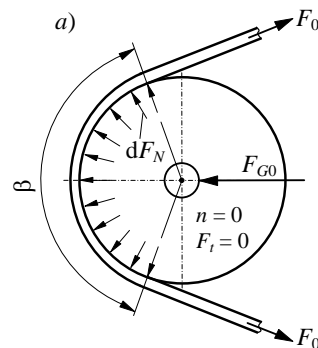


$$dP^*/dv = 0$$

$$v_{opt} = \sqrt{\frac{10^3 \cdot (\sigma_{dop} - \sigma_u)}{3 \cdot \rho}}$$

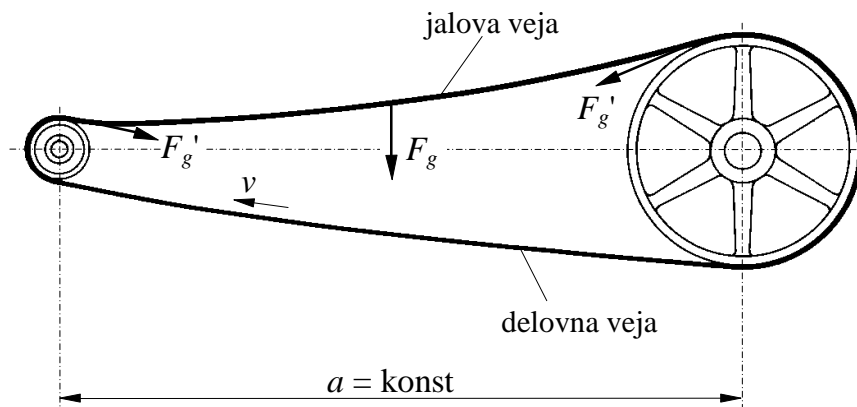


$$F_0 = \frac{F_1 + F_2}{2} + F_{nc} = \frac{F_t}{2} \cdot \frac{m+1}{m-1} + 10^{-3} \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$$

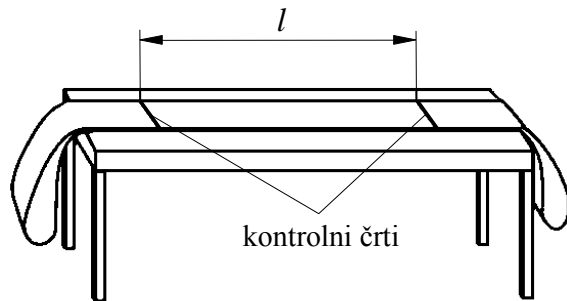


Prednapetje jermena in posledično potrebno silo v vejah jermena pri mirovanju  $F_0$  lahko dosežemo:

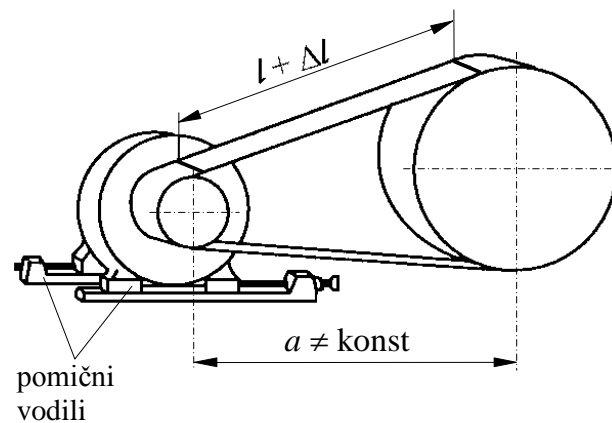
- z lastno težo jermena,
- z elastično raztegnitvijo jermena,
- z napenjalno jermenico in
- s samodejnim napenjanjem jermena.



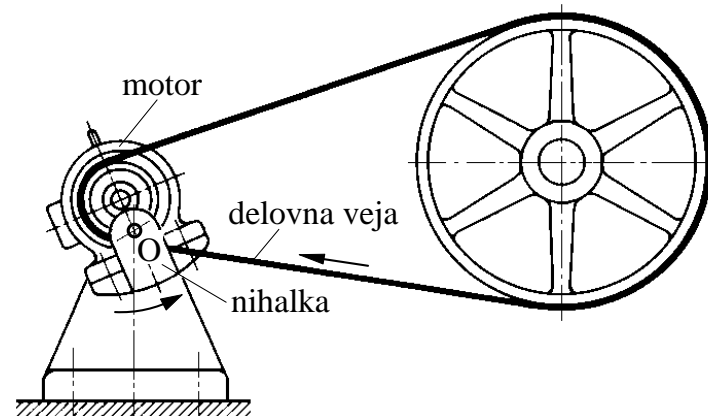
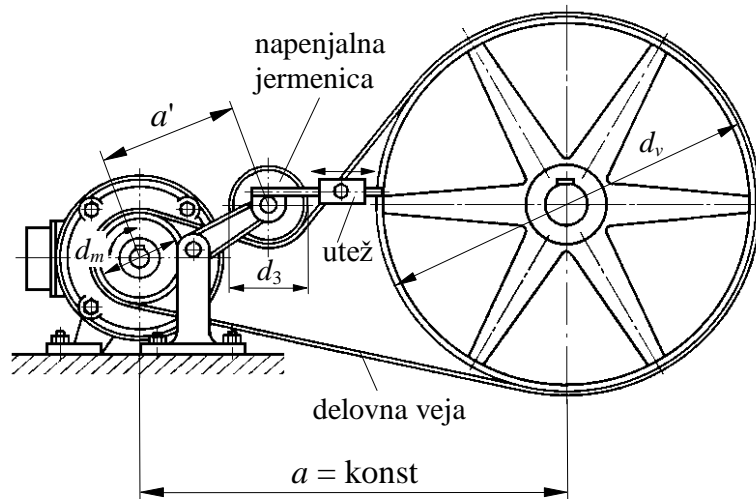
# Prednapetje jermena



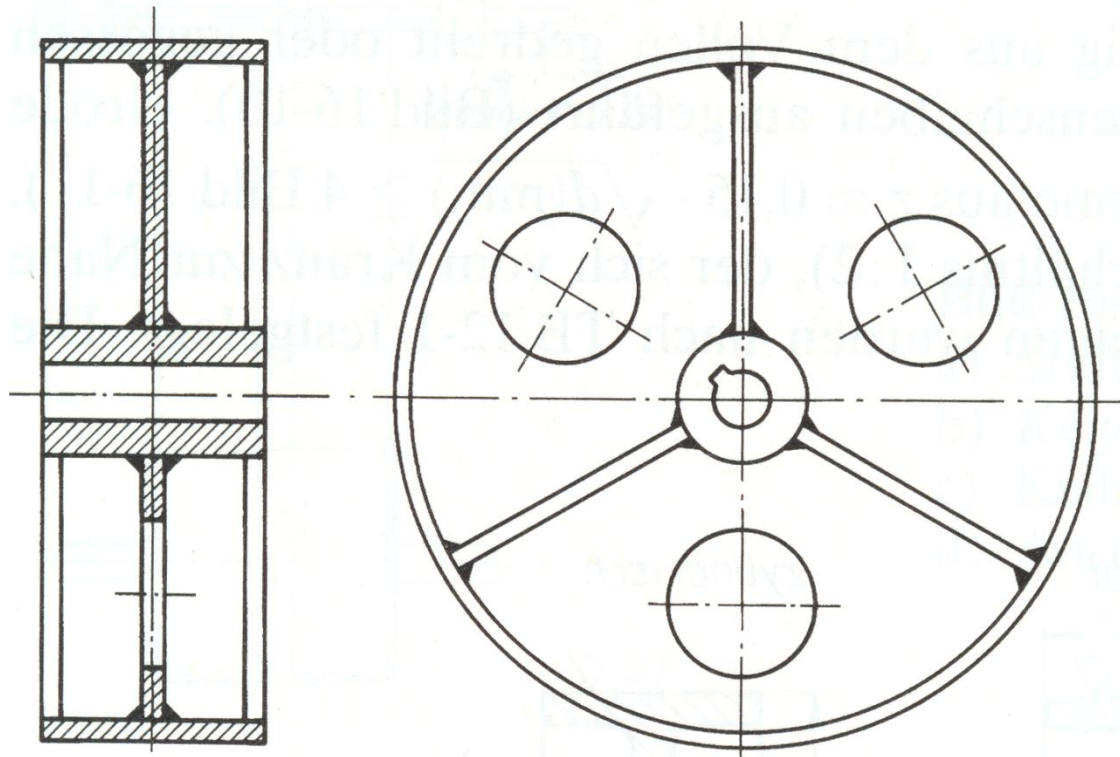
a)



b)



- standardizirane po DIN 111, premeri jermenic  $d$  so stopnjevani po osnovnem zaporedju R20
- zaradi relativnega gibanja po obodu jermenice (elastično polzenje) → obraba → jermenice po obodu gladke (hrapavost površine  $Ra \leq 6,3$  mm) → boljši oprijem jermenice → višji koeficient trenja
- enakomeren tek → jermenice statično ( $v \leq 25$  m/s) oziroma dinamično ( $v > 25$  m/s) uravnotežene
- po obodu so valjaste ali izbočene (bombirane),
- material: siva ali nodularna litina, za velike obremenitve in velike hitrosti jermenov pa jeklo ali jeklene litine, za majhne obremenitve so tudi iz aluminijevih ali magnezijevih zlitin
- jermenice manjših premerov stružene, večje jermenice lite oziroma varjene.



## Izhodišče so projektni vhodni podatki:

- prenosna moč  $P$ ,
- vrtilna frekvenca gonilne gredi  $n_1$ ,
- vrtilna frekvenca gnane gredi  $n_2$  ali prestavno razmerje  $i$ ,
- karakteristike pogonskega in delovnega stroja,
- obratovalni pogoji (obratovalni čas, vplivi okolja itd).

## Sledi:

- zasnova gonila (izbrati vrsto jermena in premere jermenic)
- določitev ostalih geometrijskih veličin (medosje, dolžina jermena)
- kontrola hitrosti in upogibne frekvence jermena
- določitev širine jermena
- določitev veličin za prednapetje jermena



# Preračun jermenskih gonil s ploščatimi jermeni

## Zasnova gonila

- **izbira vrste jermena**: usnjeni, tekstilni, gumijasti, jekleni ali večplastni (izkušnje konstrukterja, karakteristike gonila, lastnosti jermenov)

Gradivo jermena		$h$ [mm]	$\mu$ <sup>2)</sup>	$\rho$ [kg/dm <sup>3</sup> ]	$E$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{dop}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$v_{max}$ [m/s]	$f_{max}$ [s <sup>-1</sup> ]	$(h/d_m)_{max}^3$	$\vartheta$ [°C]
Usnjeni jermeni	Normalni (S)	3 ... 20	0,6	1,0	250	50 ... 90	4,0	30	5	0,033	do 35
	Gibki (G)			0,95	350	40 ... 80	4,5	40	10	0,04	
	Zelo gibki (HG)			0,9	450	30 ... 70	5,0	50	25	0,05	do 60
Tekstilni jermeni	Bombaž	4 ... 12	0,3	1,3	500 ... 1400	40	4,0	50	40	0,05	do 70
	Umetna svila	2 ... 18	0,35	1,0	–		4,5			0,04	
	Najlon, perlon	0,4 ... 5	0,3	1,1	500 ... 1400		10	60	80	0,07	
Gumijasti jermeni	Guma - bombaž	3 ... 7	0,5	1,1 ... 1,4	350 ... 1200	50	4,0	40	30	0,035	–20 ... 100
	Balata - bombaž						4,5				
Jekleni trakovi		0,6 ... 1,1	0,25	7,8	206000	206000	330	50	45	0,001	–
Večplastni jermeni <sup>1)</sup>	PA - usnje	1,7 ... 8,2	0,6	1,1 ... 1,4	400 ... 500	200	4 ... 15	60	100	0,01 ... 0,03	–40 ... 100
	PA - elastomer	1,5 ... 3,3	0,7		500 ... 600	250	6 ... 18			0,01 ... 0,025	
	PE - usnje	2,1 ... 4,8	0,6		500 ... 600	250	4 ... 12	0,01 ... 0,03			
	PE - elastomer	1,7 ... 3,3	0,7		600 ... 700	300	14 ... 25	0,01 ... 0,025			

$h$ - debelina jermena;  $\mu$ - koeficient trenja;  $\rho$ - gostota gradiva jermena;  $E$ - modul elastičnosti pri nategu;  $E_u$ - modul elastičnosti pri upogibu;  $\sigma_{dop}$ - dopustna napetost v jermenu;  $v_{max}$ - največja dovoljena hitrost jermena;  $f_{max}$ - največja dovoljena upogibna frekvenca jermena;  $d_m$ - premer manjše jermenice;  $\vartheta$ - obratovalna temperatura

1) PA- vlečna plast iz poliamida (Extremultus 80/85, Habasit), PE- vlečna plast iz poliestra (Extremultus 81).

2) Vrednosti koeficienta trenja  $\mu$  so odvisne od obratovalnih pogojev (vlaga, maščobe ...), časa obratovanja in hitrosti jermena.

3) Pri večplastnih ploščatih jermenih upoštevamo debelino vlečne plasti  $h_v$ .

# Preračun jermenskih gonil s ploščatimi jermeni

## Zasnova gonila

### - izbira premerov jermenic

- večji premeri  $\rightarrow$  manjše upogibne napetosti v jermenu in manjše obodne sile,  
 $\rightarrow$  večja obodna hitrost in vgradni prostor gonila.
- premajhen premer  $\rightarrow$  segrevanje jermena pri natekanju na jermenico zaradi upogibanja  
 $\rightarrow$  krajša življenjska doba
- najprej se določi premer manjše jermenice  $d_m$
- izpolnjen pogoj  $h/d_m \leq (h/d_m)_{\max}$
- lahko se izbere po priporočilu proizvajalca jermenov
- če je pogonski stroj gonila elektromotor se po DIN 111 oceni premer manjše jermenice

$$d_m \approx 6,6 \cdot C_v \cdot (d_g - 4 \text{ mm})$$

- praviloma se izbere standardne premere jermenic (v tabelah)
- manjša jermenica je gonilna – redukcija ( $d_1 = d_m$ )

$$d_2 = i \cdot d_1$$

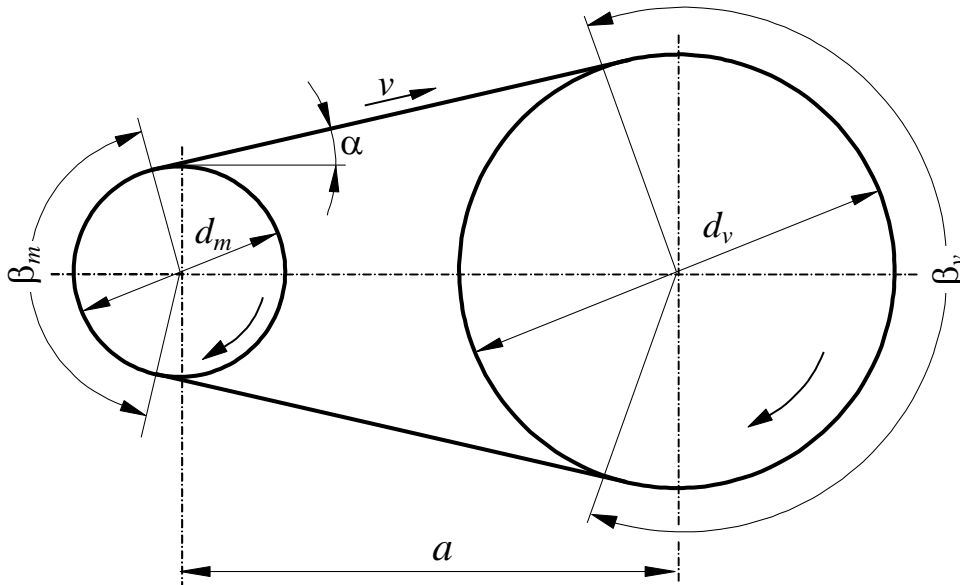




# Preračun jermenskih gonil s ploščatimi jermeni

## Določitev ostalih geometrijskih veličin

- namesto indeksov 1 (gonilni) in 2 (gnani) uporabimo indeksa  $m$  (manjša jermenica) in  $v$  (večja jermenica)



- orientacijsko medosje  $a_0$

$$0,7 \cdot (d_m + d_v) \leq a_0 \leq 2 \cdot (d_m + d_v)$$

- kot nagiba jermenske veje  $\alpha$

$$\sin \alpha = \frac{d_v - d_m}{2 \cdot a_0}$$

- objemna kota jermenic

$$\beta_m = 180 - 2 \cdot \alpha$$

$$\beta_v = 180 + 2 \cdot \alpha$$

- orientacijska dolžina jermena  $L_0$

$$L_0 = 2 \cdot a_0 \cdot \cos \alpha + \frac{\pi}{2} \cdot (d_v + d_m) + \frac{\alpha \cdot \pi}{180} \cdot (d_v - d_m)$$



izberemo standardno dolžino jermena  $L$

- dejansko medosje  $a$

$$a = \frac{f_1 + \sqrt{f_1^2 - f_2}}{8}$$



# Preračun jermenskih gonil s ploščatimi jermeni

## Kontrola hitrosti in upogibne frekvence jermena

### - hitrost jermena $v$

$$v = \frac{\pi}{60 \cdot 10^3} \cdot d_1 \cdot n_1 \leq v_{\max}$$

### - upogibna frekvenca jermena $f_u$

število pregibov jermena na časovno enoto, ko jermen preide iz premočrtne v ukrivljeno obliko

$$f_u = 10^3 \cdot \frac{v \cdot K}{L} \leq f_{u \max}$$



# Preračun jermenskih gonil s ploščatimi jermeni

## Določitev potrebne širine jermena

- potrebna širina jermena  $b$

$$b \geq \frac{F_t}{F_t^*} \cdot C_\mu$$

- obodna sila  $F_t$

$$F_t = \frac{P \cdot K_A}{v}$$

- dopustna obodna sila na mm širine jermena  $F_t^*$  (v katalogih ali na osnovi dopustne napetosti v jermenu)

$$F_t^* = \frac{F_t}{b} = h \cdot \left( \frac{m-1}{m} \right) \cdot (\sigma_{\text{dop}} - \sigma_u - \sigma_c)$$

- koeficient obratovalnih pogojev  $C_m$

Obratovalni pogoji			
Suh zrak, normalna temperatura	Vlažen zrak, manjša nihanja temperature	Občasna prisotnost olja, prašna atmosfera	Velike spremembe temperature in vlage
1,0	1,1	1,25	1,3



# Preračun jermenskih gonil s ploščatimi jermeni

## Veličine za prednapetje jermena

- potrebna sila v vejah jermena pri mirovanju  $F_0$

$$F_0 = \frac{F_1 + F_2}{2} + F_{nc} = \frac{F_t}{2} \cdot \frac{m+1}{m-1} + 10^{-3} \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$$

