

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za strojništvo



*Katedra za strojne elemente in razvojna vrednotenja*



# **Strojni elementi 2**

## **Jermenska gonila s klinastimi jermeni**

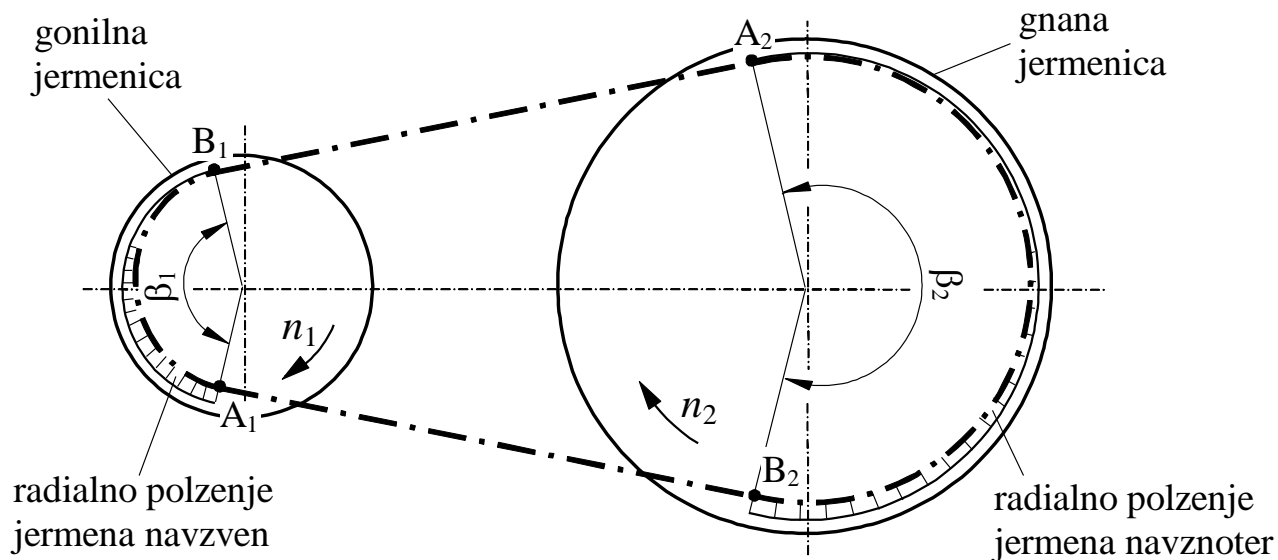
Gorazd Fajdiga, Marko Nagode

- prenašajo vrtilno gibanje in vrtilni moment s silo trenja
- zaradi delovanja klina so torne razmere pri klinastih jermenih ugodnejše ( v primerjavi s ploščatimi jermeni) → pri enakem koeficientu trenja potrebne manjše sile prednapetja → manjše obremenitve gredi in ležajev
- večji prečni prerez → pri ovijanju okrog jermenic se bolj greje → v primerjavi s ploščatimi jermeni manjši izkoristek
- poleg elastičnega (tangencialnega) je pri klinastih jermenih prisotno še radialno polzenje jermena

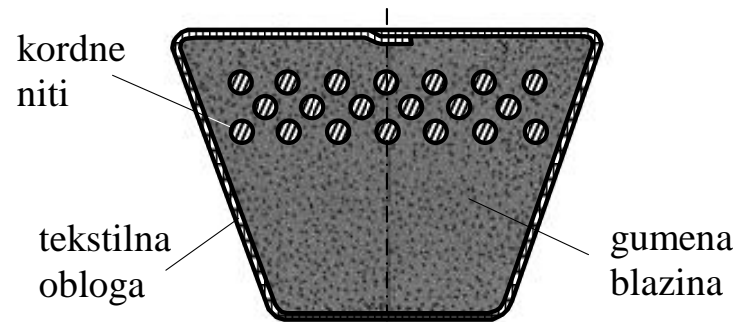
## Uporaba

- za odprta jermenska gonila (pri polkrižnih in križnih gonilih se jermen preveč obrablja)
  - za majhne in srednje moči ter srednje hitrosti jermena
  - za gonila pomožnih agregatov pri gradnji vozil in motorjev z notranjim zgorevanjem

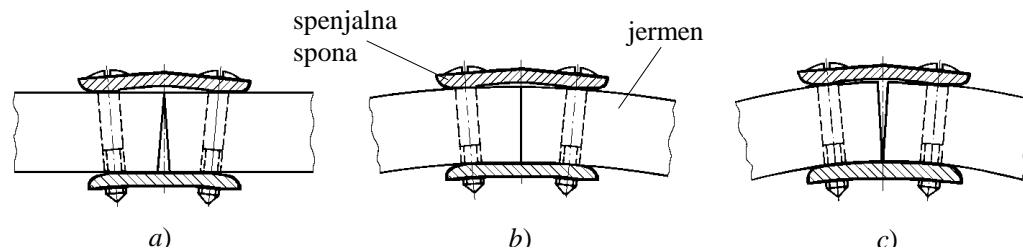
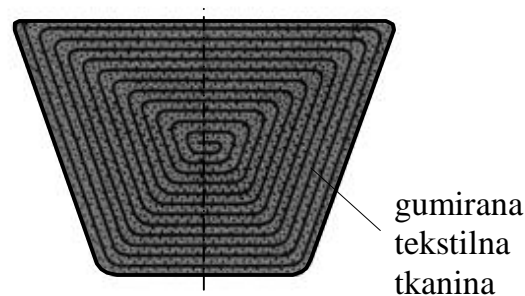




- **brezkončni klinasti jermen** v obliki obroča (ga ni mogoče krajšati, podaljševati ali kakorkoli popravljati)
- **zgradba:**
  - vlečna (nosilna) plast jermena je sestavljena iz ene ali več plasti kordnih niti iz tekstila ali umetne snovi (običajno poliestra), ki potekajo vzporedno z osjo jermena
  - kordne niti so zalite z gumo (trapezna oblika)
  - tekstilna obloga ščiti jermen pred mehanskimi in kemičnimi vplivi iz okolice, odporna proti obrabi, velik koeficient trenja.



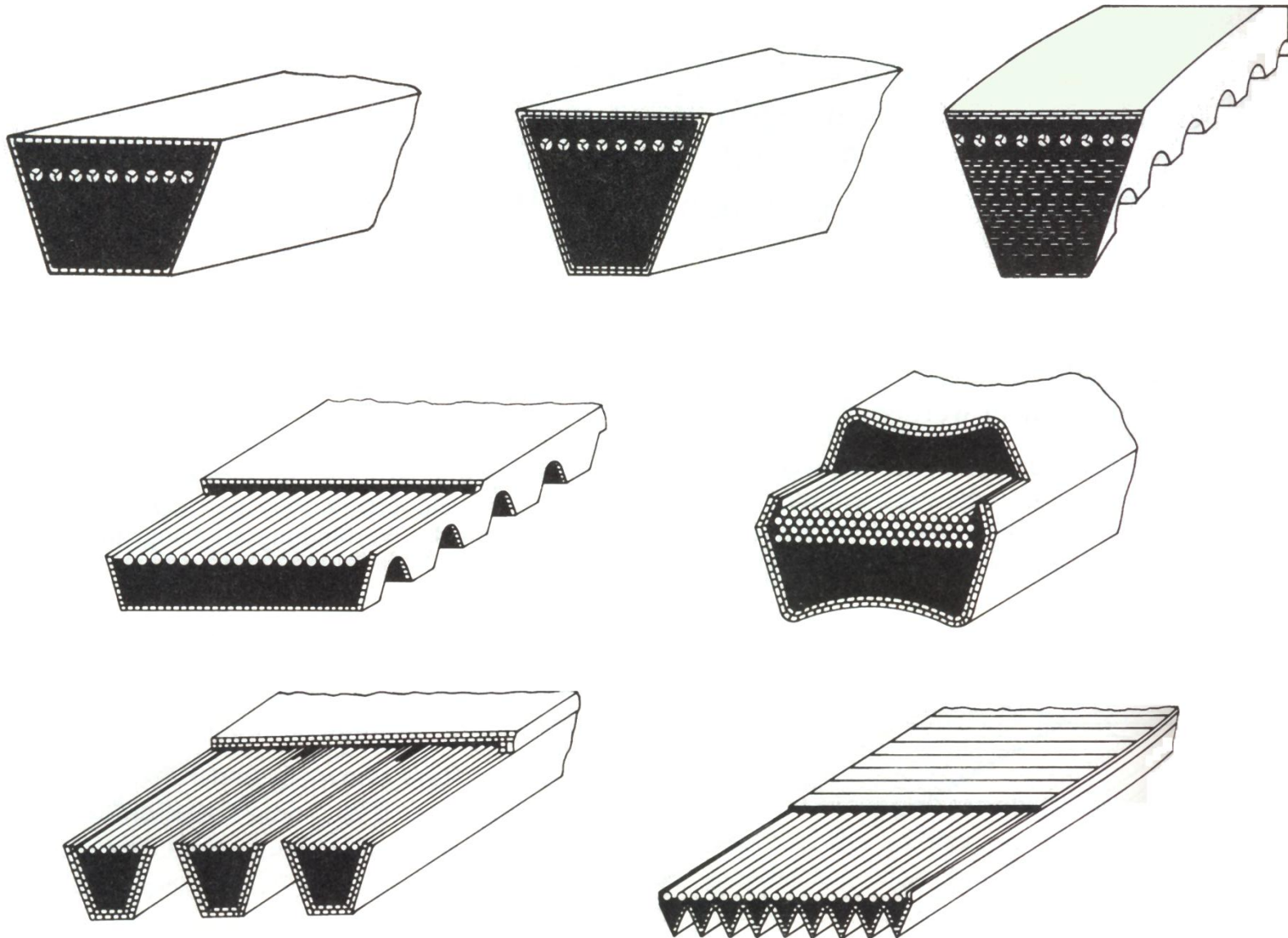
- **končni klinasti jermeni** se uporabljajo, kadar iz montažnih razlogov ne moremo uporabiti brezkončnih klinastih jermenov
- **zgradba:**
  - sestavljeni iz gumirane tekstilne tkanine, zvita v rolo in z vulkaniziranjem oblikovana v trapezni profil
  - jermene se dobavljajo kot metrsko blago v svitkih (dolžine jermenov so poljubne)
  - pred uporabo je jermen treba spojiti v brezkončno obliko
- **lastnosti:**
  - v primerjavi z brezkončnimi klinastimi jermeni so manj gibki
  - prenašajo manjše obremenitve
  - zahtevajo večje premere jermenic
  - za hitrosti jermenov  $v \leq 30$  m/s



a) iztegnjen jermen b) malo upognjen jermen c) zelo upognjen jermen i: Uvod v gonila, torna, jermenska in verižna

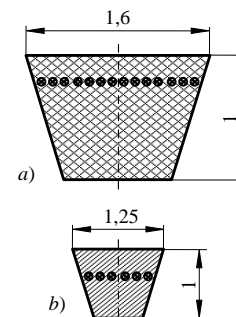


# Jermenska gonila - vrste



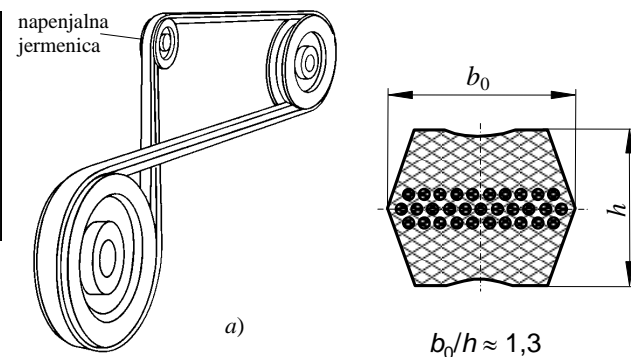
## - normalni, ozki, povezani klinasti jermeni

Izvedba jermena	$\frac{P_{max}}{kW}$	$\frac{v_{max}}{m/s}$	$\frac{f_{u,max}}{s^{-1}}$	$i_{max}$
Normalni klinasti jermeni DIN 2215 ISO 4184	65	30	60	10
Ozki klinasti jermeni DIN 7753	70	42	100	10
Povezani klinasti jermeni DIN ISO 5290	70	40	80	10



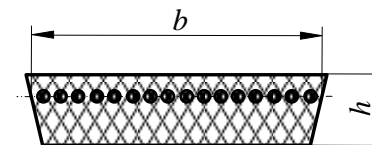
## - dvojni klinasti jermeni

Izvedba jermena	$\frac{P_{max}}{kW}$	$\frac{v_{max}}{m/s}$	$\frac{f_{u,max}}{s^{-1}}$	$i_{max}$
Dvojni klinasti jermeni DIN 7722	20	30	40	5



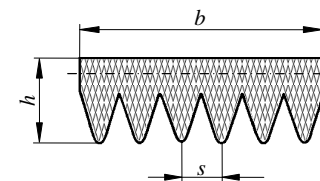
## - široki klinasti jermeni

Izvedba jermena	$P_{\max}$ kW	$v_{\max}$ m/s	$f_{u,\max}$ s <sup>-1</sup>	$i_{\max}$
Široki klinasti jermeni DIN 7719	70	30	40	3



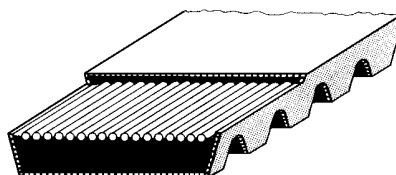
## - rebrasti klinasti jermeni

Izvedba jermena	$P_{\max}$ kW	$v_{\max}$ m/s	$f_{u,\max}$ s <sup>-1</sup>	$i_{\max}$
Rebrasti klinasti jermeni DIN 7867	11	50	90	10

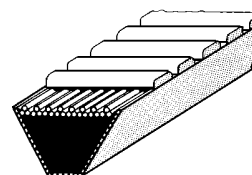


$h$  višina jermena  
 $s$  razmak med rebri  
 $b$  širina jermena  
 $Z$  število reber

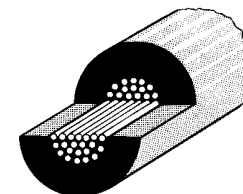
## - posebne izvedbe klinastih jermenov



a)



b)



c)

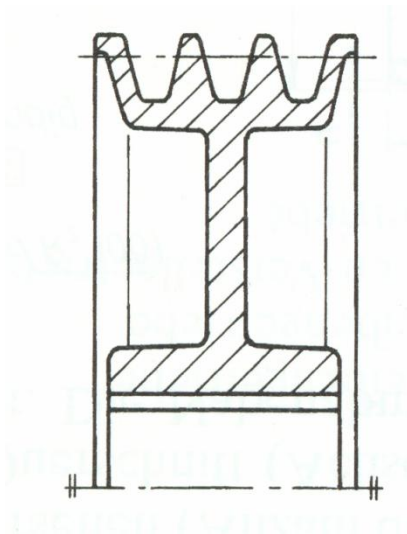




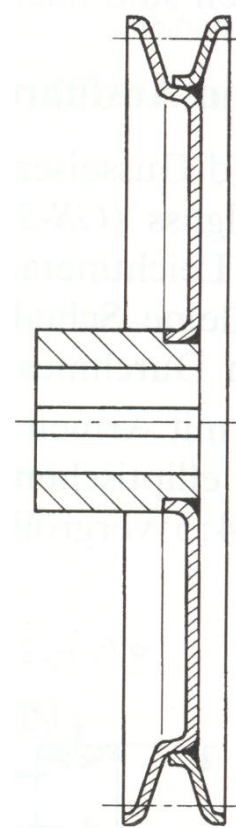
# Jermenice za klinasta jermena

- **material:** siva ali nodularna litina, za velike obremenitve in hitrosti jermenov iz jekla ali jeklene litine, za manjše obremenitve tudi iz aluminijevih in magnezijevih zlitin

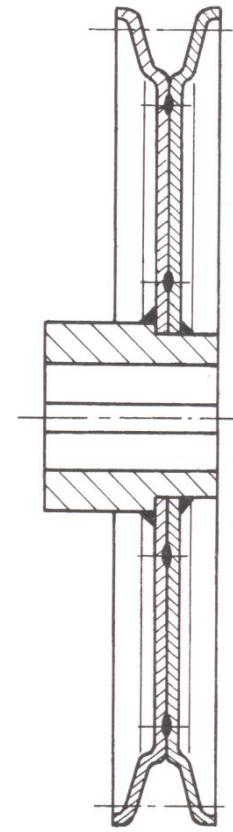
lita



lotana



točkovno varjena



## 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 in profil jermena ter premere jermenic)
- določitev ostalih geometrijskih veličin (medosje, dolžina jermena)
- kontrola hitrosti in upogibne frekvence jermena
- določitev potrebnega števila jermenov
- določitev veličin za prednapetje jermena

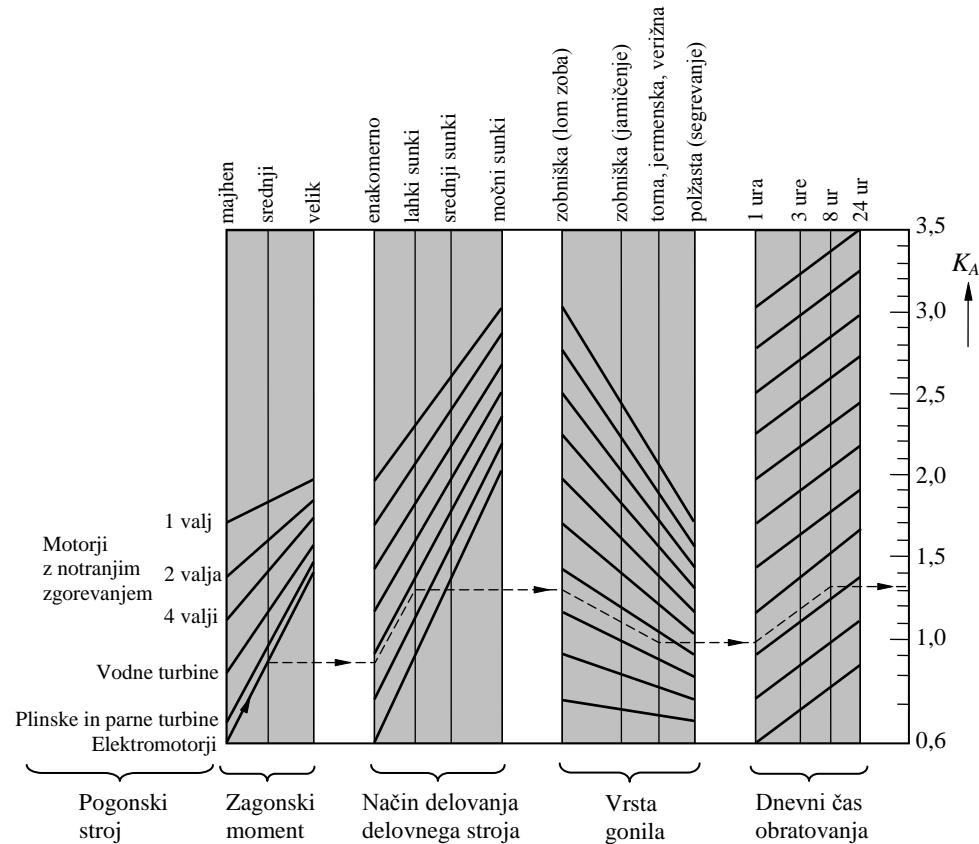


# Preračun jermenskih gonil s klinastimi jermeni

## Zasnova gonila

- izbira vrste jermena: normalni, ozki, rebrasti

- izbira profila jermena: ustrezen profil jermena (velikost prečnega prereza) za izbrani jermen



Primer: Pogonski stroj: elektromotor s srednjim zagonskim momentom  
 Delovni stroj: lahki sunki  
 Vrsta gonila: jermensko  
 Čas obratovanja: 8 ur dnevno

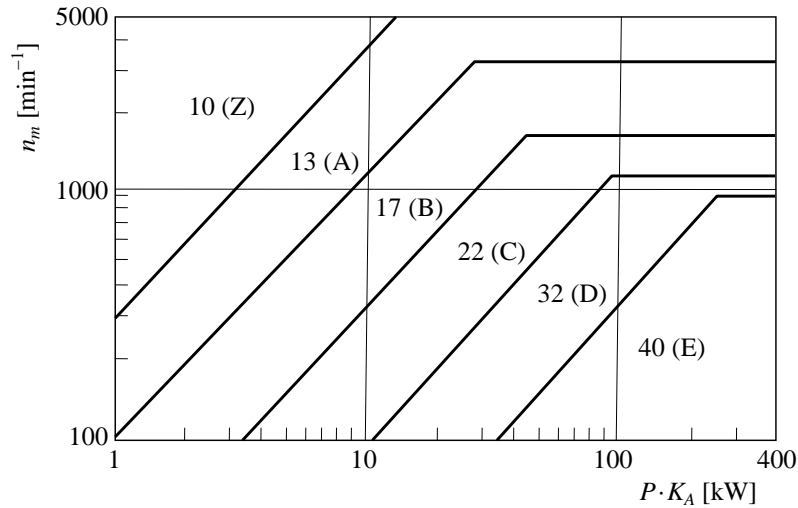
}  $K_A \approx 1,32$



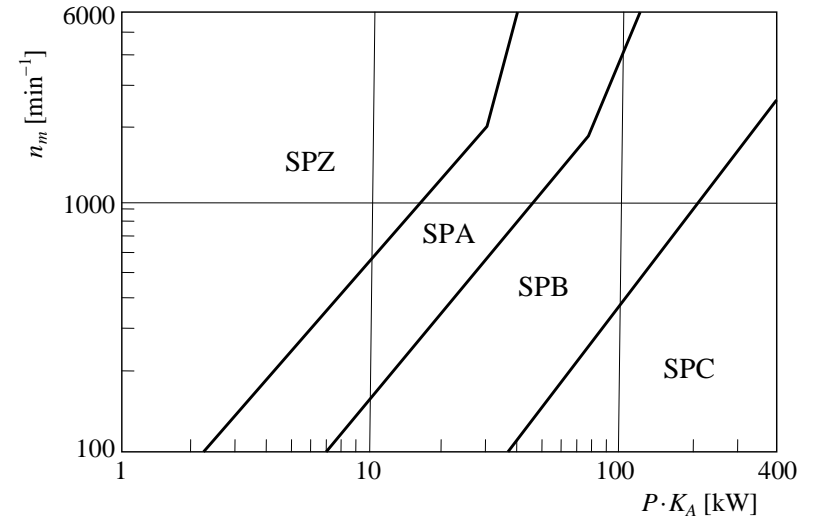
# Preračun jermenskih gonil s klinastimi jermeni

## Zasnova gonila

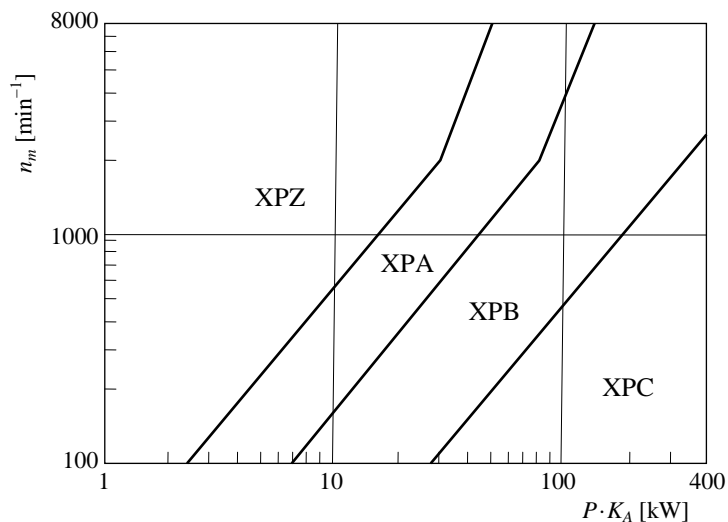
Izbira profila normalnih klinastih jermenov po DIN 2215 (ISO 4184)



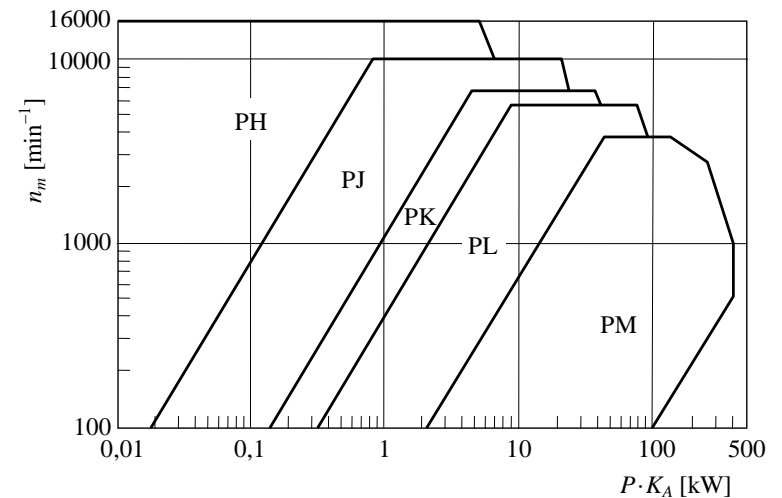
Izbira profila prevlečenih ozkih klinastih jermenov po DIN 7753



Izbira profila bočno odprtih ozkih klinastih jermenov po DIN 7753



Izbira profila rebrastih klinastih jermenov po DIN 7867



### - izbira premerov jermenic

Normalni klinasti jermeni po DIN 2215 (ISO 4184)

Profil jermen a	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$d_{min}$ [mm]	$d_{max}$ [mm]	$L_R$ [mm]	$q$ [kg/m]	$v_{max}$ [m/s]	$f_{umax}$ [s <sup>-1</sup> ]
10 (Z)	0,143	3,80	$5,00 \cdot 10^{-6}$	0,0240	50	500	822	0,060	30	60
13 (A)	0,422	18,90	$1,14 \cdot 10^{-5}$	0,0769	71	630	1730	0,104		
17 (B)	0,662	41,70	$1,89 \cdot 10^{-5}$	0,1180	112	800	2280	0,190		
22 (C)	1,100	97,60	$3,23 \cdot 10^{-5}$	0,1870	180	2000	3800	0,300		
32 (D)	2,040	280,00	$6,22 \cdot 10^{-5}$	0,3330	355	2000	6375	0,640		
40 (E)	2,640	479,00	$8,60 \cdot 10^{-5}$	0,4500	500	2000	7180	1,030		

Ozki klinasti jermeni po DIN 7753

Profil jermen a	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$d_{min}$ [mm]	$d_{max}$ [mm]	$L_R$ [mm]	$q$ [kg/m]	$v_{max}$ [m/s]	$f_{umax}$ [s <sup>-1</sup> ]
SPZ	0,365	14,20	$8,56 \cdot 10^{-6}$	0,0493	63	500	1600	0,070	42	100
SPA	0,621	33,40	$1,37 \cdot 10^{-5}$	0,0867	90	630	2500	0,119		
SPB	0,995	73,00	$2,32 \cdot 10^{-5}$	0,1330	140	800	3550	0,194		
SPC	1,820	199,00	$4,30 \cdot 10^{-5}$	0,2360	224	2000	5600	0,360		
XPZ	0,380	11,50	$6,02 \cdot 10^{-6}$	0,0604	56	500	1600	0,065	42	120
XPA	0,613	27,10	$1,06 \cdot 10^{-5}$	0,0765	71	630	2500	0,111		
XPB	0,971	58,80	$1,73 \cdot 10^{-5}$	0,0886	112	800	3550	0,183		
XPC	1,540	129,00	$2,84 \cdot 10^{-5}$	0,1320	180	2000	5600	0,340		

Rebrasti klinasti jermeni po DIN 7867

Profil jermen a	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$d_{min}$ [mm]	$d_{max}$ [mm]	$L_R$ [mm]	$q$ [kg/m]	$v_{max}$ [m/s]	$f_{umax}$ [s <sup>-1</sup> ]
PH	0,025	0,21	$5,60 \cdot 10^{-7}$	0,0036	13	140	813	0,005	60	90
PJ	0,046	0,39	$6,09 \cdot 10^{-7}$	0,0075	20	500	1016	0,009	50	
PK	0,117	3,37	$2,13 \cdot 10^{-6}$	0,0183	45	315	1600	0,020	50	
PL	0,209	6,48	$2,59 \cdot 10^{-6}$	0,0391	75	800	2095	0,036	40	
PM	0,724	48,50	$1,68 \cdot 10^{-5}$	0,1320	180	1000	4090	0,159	30	

Standardni računski premeri jermenic  $d$  [mm] <sup>3)</sup>

28	31,5	35,5	40	45	50	56	63	71	80	90	100	112	118	125	132
140	150	160	170	180	190	200	212	224	236	250	280	300	315	355	400
450	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000		

Standardni računski premeri jermenic  $d$  [mm] <sup>3)</sup>

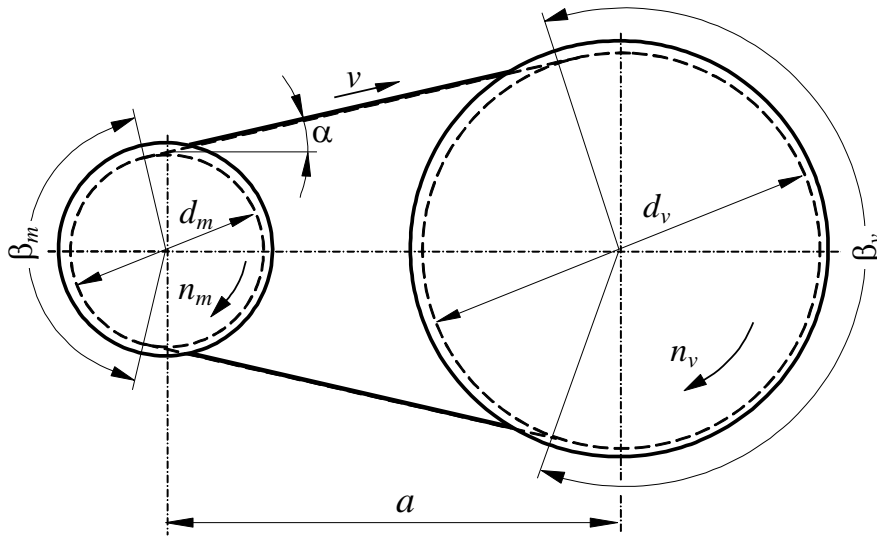
28	31,5	35,5	40	45	50	56	63	71	80	90	100	112	118	125	132
140	150	160	170	180	190	200	212	224	236	250	280	300	315	355	400
450	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000		

Standardni osnovni premeri jermenic  $d_b$  [mm] <sup>3)</sup>

13	14	16	18	20	22,4	25	28	31,5	35,5	40	45	50	56
63	71	75	80	90	100	112	125	140	160	180	200	224	250
280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000		

# Preračun jermenskih gonil s klinastimi jermeni

## Določitev ostalih geometrijskih veličin



### - 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  $L$  (tabele)

### - dejansko medosje $a$

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

$f_1$  [mm]

pomožna veličina;  $f_1 = 2 \cdot L - \pi \cdot (d_v + d_m)$

$f_2$  [mm<sup>2</sup>]

pomožna veličina;  $f_2 = 8 \cdot (d_v - d_m)^2$

$L$  [mm]

izbrana dolžina jermena



**- hitrost jermena  $v$** 

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

$d_1$  [mm]

premer gonilne jermenice

$n_1$  [min<sup>-1</sup>]

vrtlina frekvenca gonilne jermenice

$v_{\max}$  [m/s]

največja dovoljena hitrost jermena, tabela

**- upogibna frekvenca jermena  $f_u$** 

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

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

$K$

število vseh jermenic;  $K = 2$  pri enostavnem odprtem jermenskem gonilu

$L$  [mm]

dolžina jermena

$f_{u \max}$

[s<sup>-1</sup>]

največja dovoljena upogibna frekvenca jermena, tabela



# Preračun jermenskih gonil s klinastimi jermeni

## Določitev potrebnega števila jermenov oziroma reber

- potrebno število jermenov oziroma reber  $Z$

$$Z \geq \frac{F_t}{F_t^*}$$

$F_t$  [N] obodna sila

$F_t^*$  [N] dopustna obodna sila za en jermen oziroma rebro

- obodna sila  $F_t$

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

$P$  [W] nazivna moč

$K_A$  koeficient obratovanja

$v$  [m/s] hitrost jermena

- dopustna obodna sila na en jermen oziroma rebro  $F_t^*$

$$F_t^* = (F_{tN} + \Delta F_{ti} + \Delta F_{tL}) \cdot C_\beta$$

$F_{tN}$  [N] referenčna obodna sila za posamezni profil jermena

$\Delta F_{ti}$  [N] korekcija referenčne obodne sile zaradi prestavnega razmerja

$\Delta F_{tL}$  [N] korekcija referenčne obodne sile zaradi dolžine jermena

$C_\beta$  koeficient objemnega kota

$F_{tN}$  se določi s preskusi na testnem jermenskem gonilu s prestavnim razmerjem  $i=1$

$$F_{tN} = 2 \cdot 10^3 \cdot \left[ C_1 - \frac{C_2}{d_m} - C_3 \cdot (2 \cdot v)^2 - C_4 \cdot \log(2 \cdot v) \right] \quad C_1, C_2, C_3, C_4 \quad \text{pomožne veličine (interpolacijske konstante)}$$

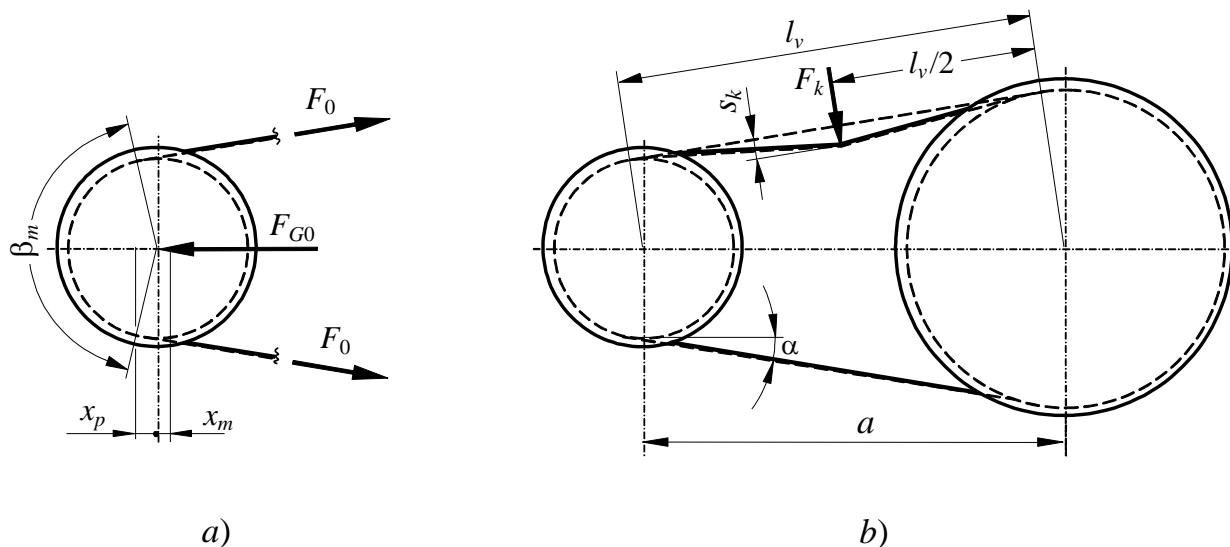
s preskusi določeno referenčno obodno silo  $F_{tN}$  se korigira z izkustvenimi vplivnimi veličinami  $\Delta F_{ti}$ ,  $\Delta F_{tL}$  in  $C_\beta$ .





# Preračun jermenskih gonil s klinastimi jermeni

## Veličine za prednapetje jermena



- potrebna sila v vejah jermena pri mirovanju  $F_0$  (za en jermen oziroma rebro)

$$F_0 = \frac{F_t}{2 \cdot Z} \cdot \left( \frac{2,5}{C_\beta} - 1 \right) + q \cdot v^2$$

$Z$	število jermenov oziroma reber
$C_\beta$	koeficient objemnega kota
$q$	[kg/m] specifična masa na meter dolžine jermena, tabela
$v$	[m/s] hitrost jermena

- potrebna sila prednapetja  $F_{G0}$  (sila na gred pri mirovanju)

$$F_{G0} = 2 \cdot Z \cdot F_0 \cdot \sin \frac{\beta_m}{2}$$

$F_0$	[N] potrebna sila v veji jermena pri mirovanju
$\beta_m$	[°] objemni kot na manjši jermenici



# Preračun jermenskih gonil s klinastimi jermeni

## Veličine za prednapetje jermena

- jermen je pravilno napet, ko je povos jermena:

$$s_k \approx \frac{l_v}{100} \cdot (K_1 - K_2 \cdot \log F_0)$$

$s_k$  [mm]

$l_v$  [mm]

$a$  [mm]

$\alpha$  [°]

$F_0$  [N]

$K_1, K_2$

kontrolni povos jermena

dolžina jermenske veje;  $l_v = a / \cos \alpha$

medosje

kot nagiba jermenske veje

potrebna sila v veji jermena pri mirovanju

pomožni veličini, tabela

Profil jermena	$F_k$ [N]	$K_1$	$K_2$	$F_0$ <sup>1)</sup> [N]
10 (Z)	25	6,92	2,33	140 ... 330
13 (A)	25	8,65	2,72	180 ... 450
17 (B)	50	11,62	3,42	200 ... 630
22 (C)	100	15,11	4,22	360 ... 1040
32 (D)	150	14,96	3,98	350 ... 1500
40 (E) <sup>2)</sup>	–	–	–	–
SPZ, XPZ	25	10,34	3,47	200 ... 500
SPA, XPA	50	12,84	3,92	300 ... 1000
SPB, XPB	75	17,53	5,35	400 ... 1200
SPC, XPC	125	17,10	4,82	400 ... 1200
PH	3	6,14	2,81	20 ... 70
PJ	5	8,15	2,38	30 ... 100
PK	8	9,44	3,77	40 ... 185
PL	10	9,84	3,82	50 ... 200
PM	25	11,10	3,67	200 ... 550

$F_k$	kontrolna sila za en jermen oziroma rebro
$F_0$	potrebna sila v veji jermena pri mirovanju za en jermen oziroma rebro
$K_1, K_2$	pomožni veličini

1) Področje veljavnosti meritev .

2) Za jermen 40 (E) glej podatke v katalogih proizvajalcev.