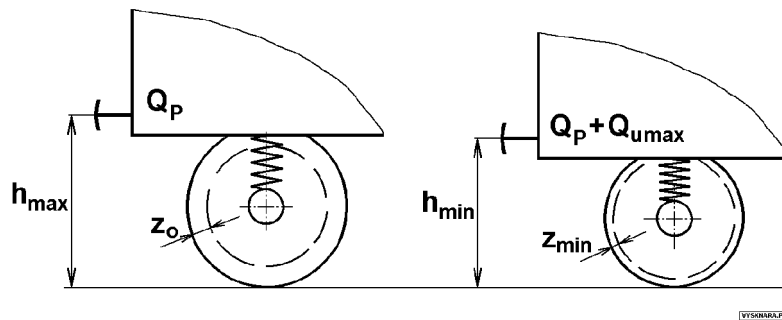
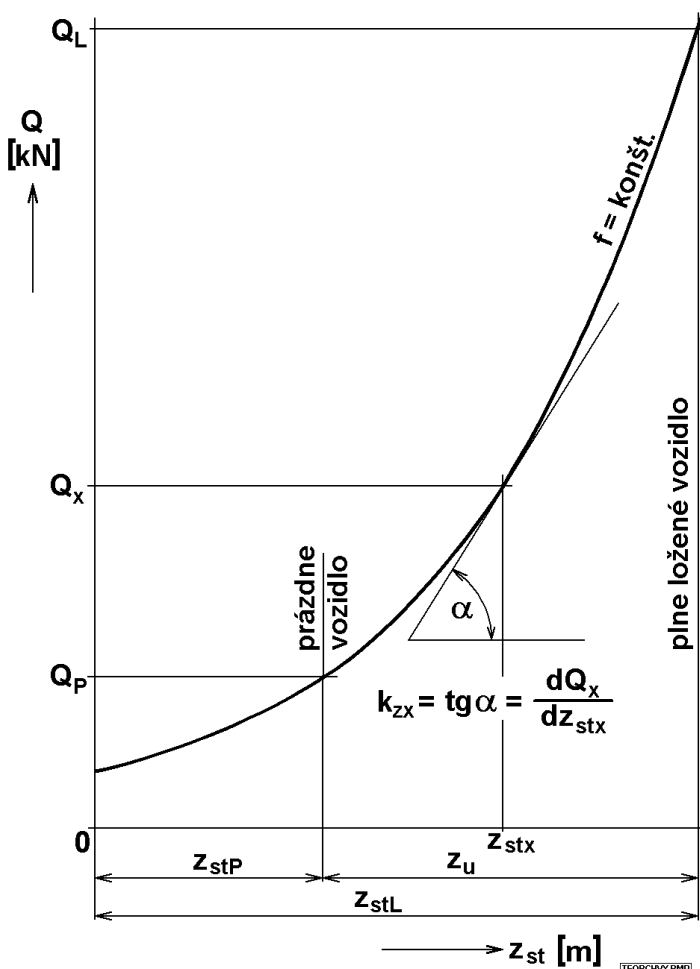


SCHÉMA VYPRUŽENIA KOĽAJOVÝCH VOZIDIEL



ROZMEDZIE VÝŠKY NÁRAZNÍKOV



TEORETICKÁ CHARAKTERISTIKA ZVISLÉHO VYPRUŽENIA (konštantná vlastná frekvencia)

VLASNÁ FREKVENCIA ZVISLÉHO VYPRUŽENIA:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \approx \frac{0,5}{\sqrt{z_{stat}}}$$

TEORETICKÁ CHARAKTERISTIKA ZVISLÉHO VYPRUŽENIA:

$$k_{zx} = k_{zp} \cdot e^{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2}{g} \cdot (z_{stx} - z_{stP})}$$

MINIMÁLNA CELKOVÁ TUHOŠŤ ZVISLÉHO VYPRUŽENIA:

$$k_z \geq \frac{Q_{umax}}{z_u}$$

POMER ZVISLEJ TUHOŠTI PRVOTNÉHO A DRUHOTNÉHO VYPRUŽENIA:

$$\gamma = \frac{k_{1c}}{k_{2c}} = 2 + \frac{2 \cdot m_p}{m_s}$$

VYUŽITIE MATERIÁLU PRUŽÍN

$$L = \frac{Q \cdot z}{2} = \frac{\chi \cdot V \cdot \sigma^2}{E} = \frac{\chi \cdot V \cdot \tau^2}{G},$$

kde L je deformačná práca pružiny,

Q je zaťaženie pružiny,

z je deformácia pružiny pri zaťažení Q ,

P je súčiniteľ využitia materiálu pružiny,

V je objem materiálu pružiny,

F, J je najväčšie napätie pri pôsobení zaťaženia Q ,

E, G sú moduly pružnosti v ťahu a šmyku.

Pri úplnom využití materiálu pružiny je maximálne možný súčiniteľ využitia materiálu : $P=0,5$

LISTOVÉ PRUŽNICE
UNIFIKÁCIA PRUŽNÍC - UIC 517 (pre 2-oj nápravové vozne)

- pružnice s **konštantnou tuhosťou** - **lichobežníkové** (trapézove):

typ A: 9 listov / 1 400 mm; 0,94 mm/kN,

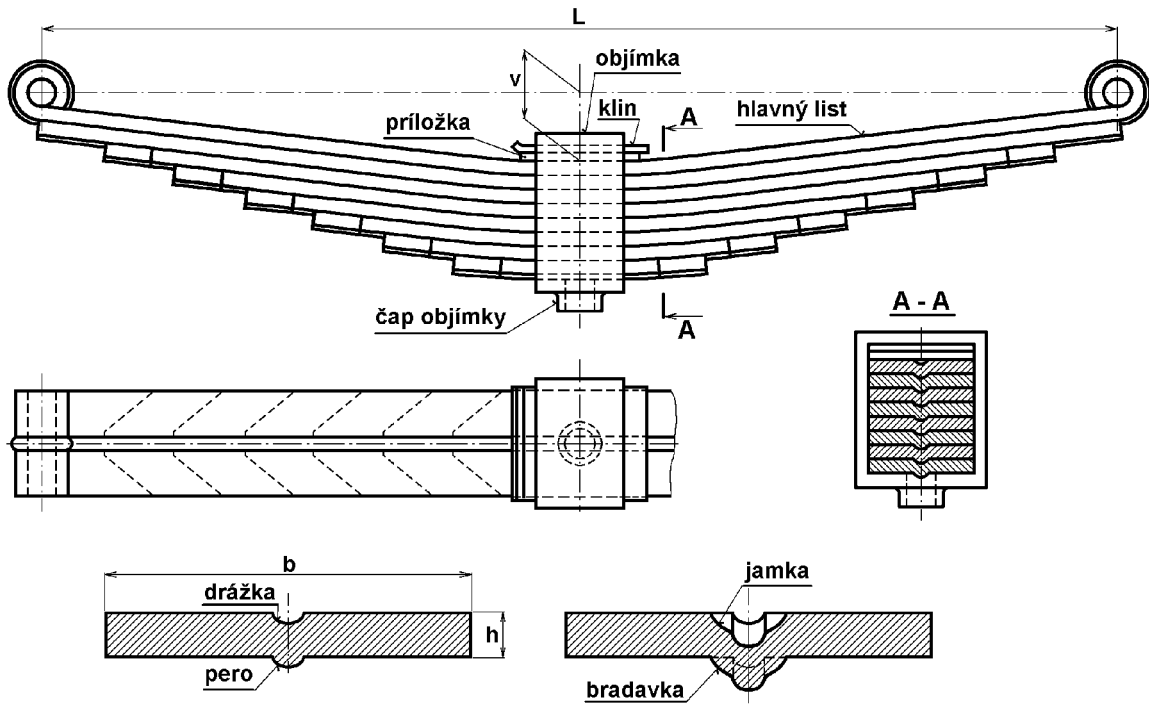
typ B: 8 listov / 1 200 mm; 0,66 mm/kN,

- pružnice s **progresívnou tuhosťou**

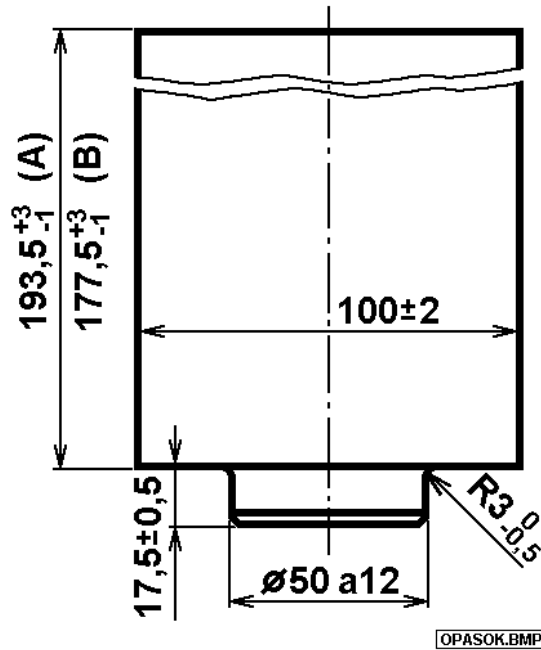
- **parabolické** pre 20 t/nápravu a 22,5 t/ nápravu,

- **lichobežníkové** pre 20 t/nápravu.

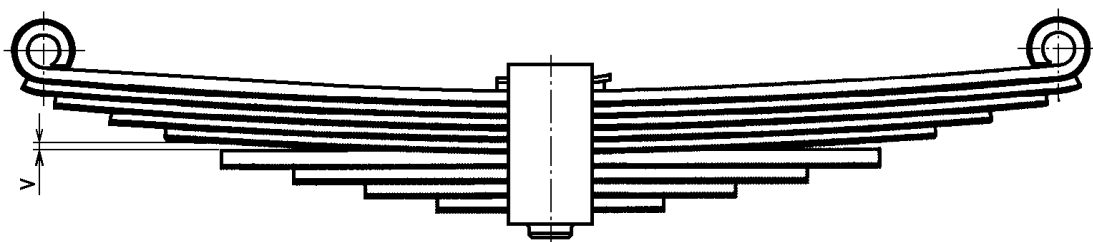
Typ	L [mm]	bxh [mm]		Počet listov		Poddajnosť [mm/kN]
		1. zväzok	2. zväzok	1. zväzok	2. zväzok	
Parabolická 20 t/nápravu	1 200	120 x 20	120 x 35	4	1	1,82 / 0,59
Parabolická 22,5 t/nápravu	1 200	120 x 21	120 x 36	4	1	1,55 / 0,55
Lichobežníková 20 t/nápravu	1 200	120 x 15	120 x 20	5	4	0,88 / 0,48



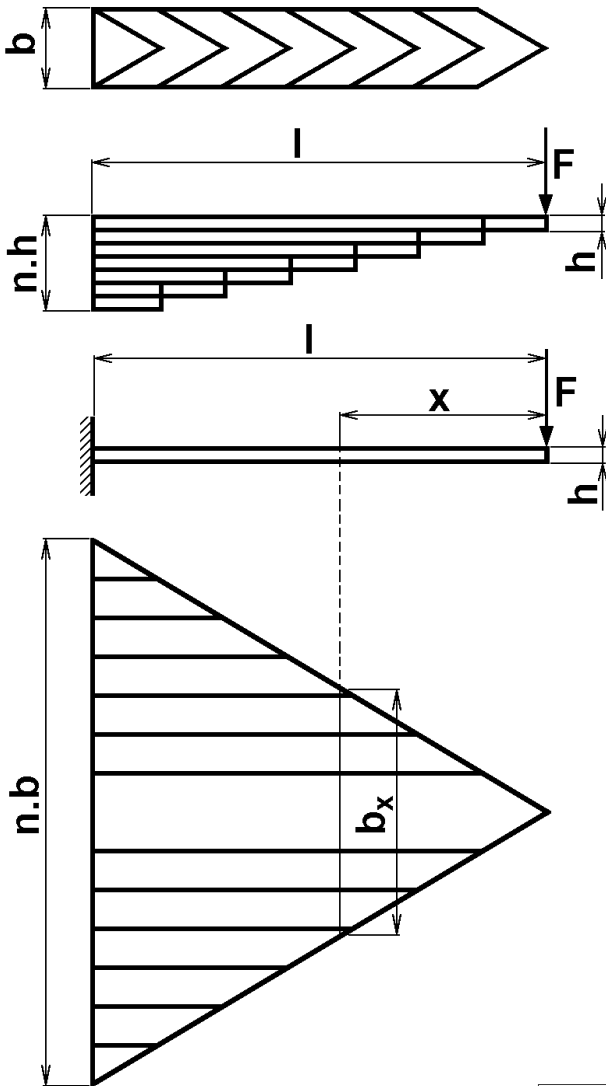
LICHOBEŽNÍKOVÁ LISTOVÁ PRUŽNICA PRE NÁKLADNÉ VOZNE



OPASOK PRUŽNICE



LICHOBEŽNÍKOVÁ PRUŽNICA S LOMENOU CHARAKTERISTIKOU



VÝPOČTOVÁ SCHÉMA
LICOBEŽNÍKOVEJ PRUŽNICE

VSCHPRUZ.PCX

OHYBOVÉ NAPÄTIE:

$$\sigma_{ox} = \frac{M_{ox}}{W_{ox}} = \frac{6 \cdot F \cdot l}{n \cdot b \cdot h^2} \quad [Pa; N, m]$$

TEORETICKÝ PRIEHYB:

$$z = \frac{6 \cdot F \cdot l^3}{E \cdot n \cdot b \cdot h^3} \quad [m; N, m, Pa]$$

SKUTOČNÝ PRIEHYB:

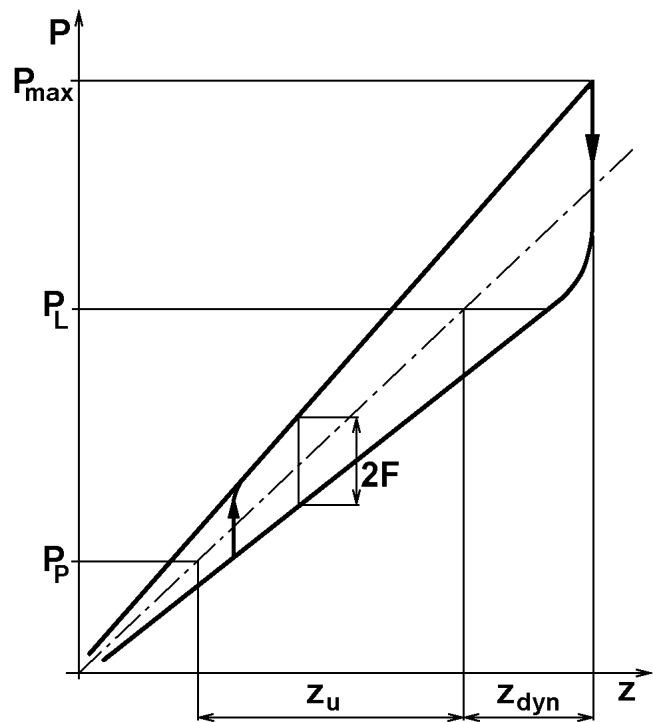
$$z = \frac{6 \cdot F \cdot l^3}{E \cdot (n + 0,5 \cdot n') \cdot b \cdot h^3} \quad [m]$$

TUHOŠŤ PRUŽNICE:

$$k = \frac{E \cdot b \cdot h^3 \cdot (n + 0,5 \cdot n')}{3 \cdot l^3} = \text{konšt.}$$

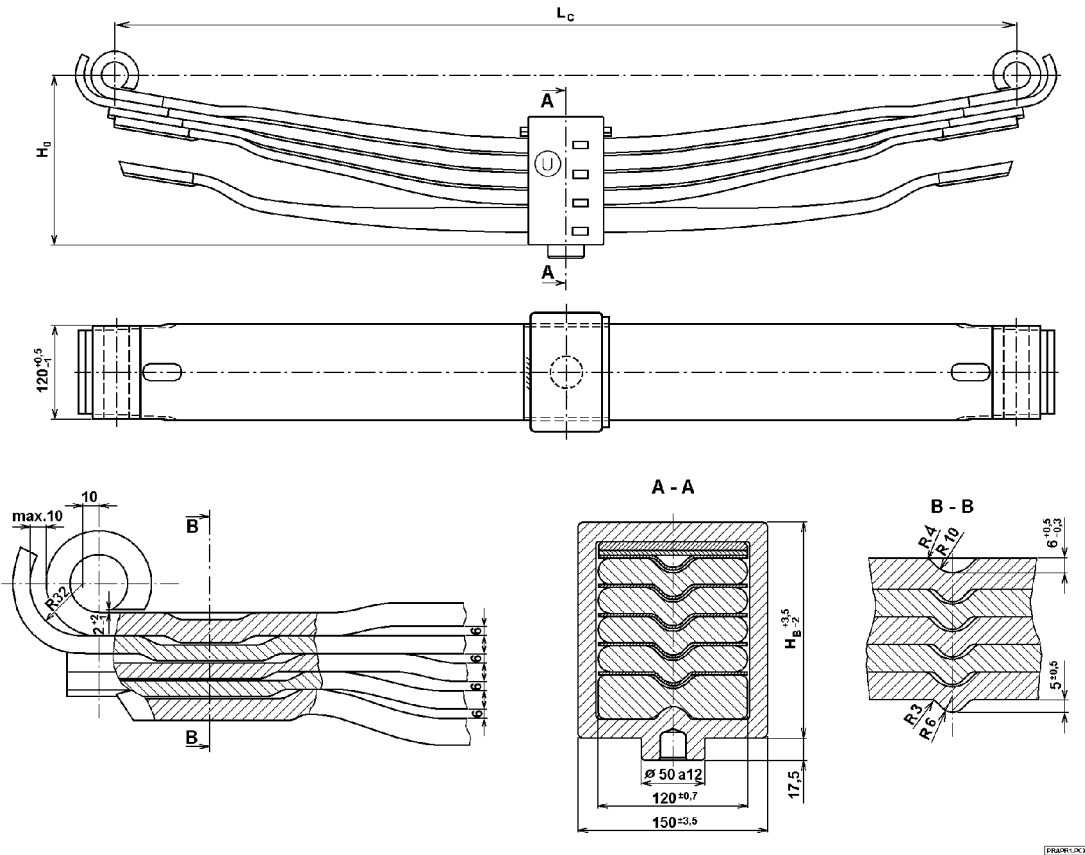
SÚČINITEĽ VYUŽITIA MATERIÁLU:

$$P = 0,125 \text{ až } 0,143$$

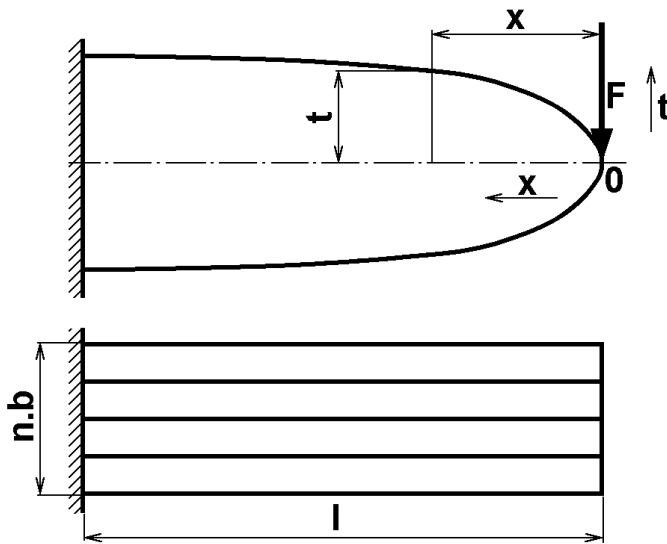


CHPRUZN.BMP

CHARAKTERISTIKA PRUŽNICE



PARABOLICKÁ PRUŽNICA S LOMENOU CHARAKTERISTIKOU PRE DVOJNÁPRAVOVÉ VAGÓNY



VÝPOČTOVÁ SCHÉMA TEORETICKEJ PARABOLICKEJ PRUŽNICE

OHYBOVÉ NAPÄTIE:

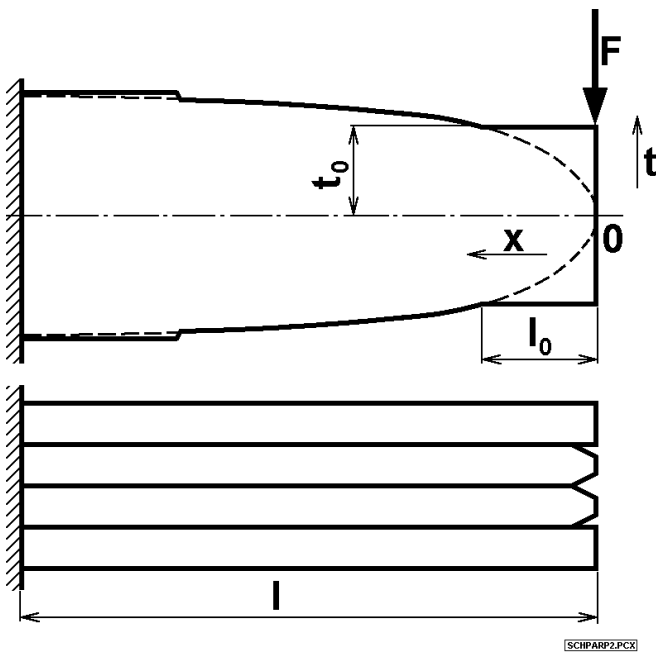
$$\sigma_{ox} = \frac{3 \cdot a \cdot F}{2 \cdot n \cdot b} = \text{konšt.}$$

TEORETICKÝ PRIEHYB:

$$z = \frac{F \cdot a^{\frac{3}{2}}}{E \cdot n \cdot b} \cdot l^{\frac{3}{2}}$$

TUHOŠŤ TEORETICKEJ PRUŽNICE:

$$k = \frac{2 \cdot F}{z} = \frac{2 \cdot E \cdot n \cdot b}{\sqrt{(a \cdot l)^3}}$$



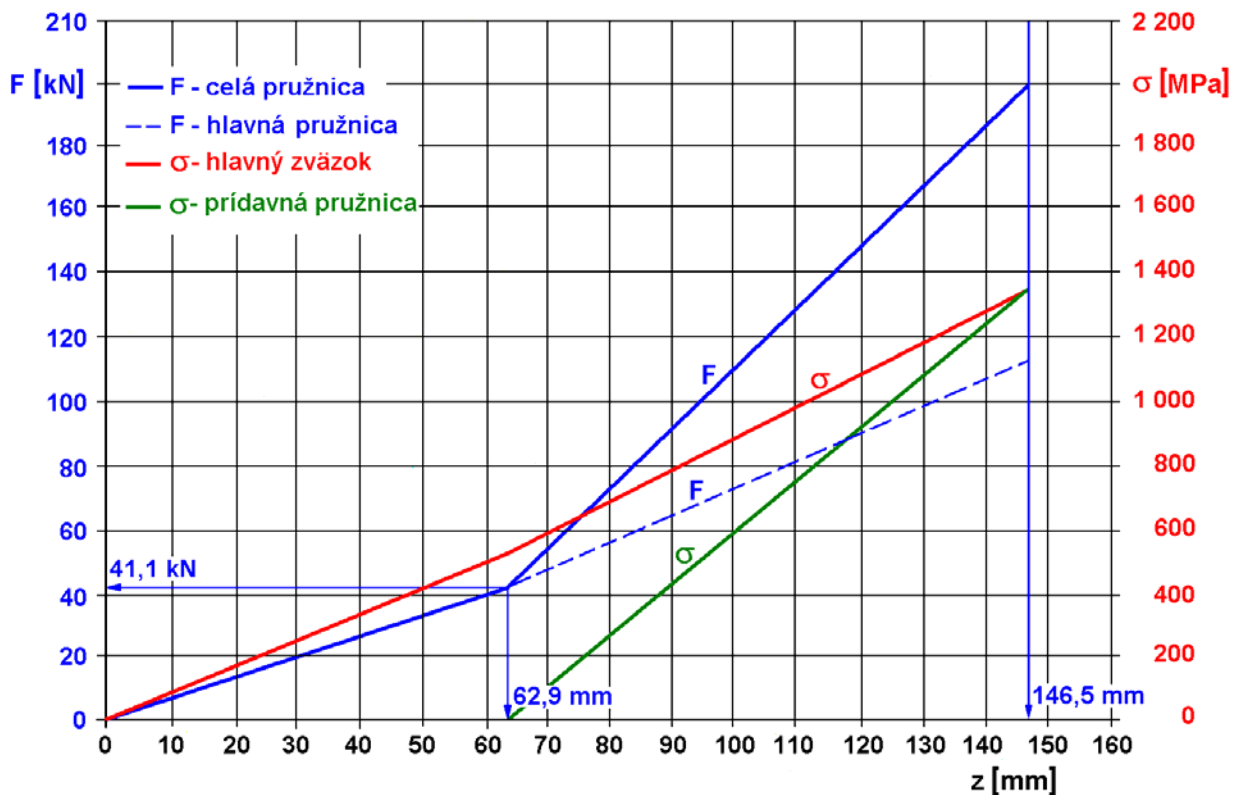
PRIEHYB SKUTOČNEJ PARABOLICKEJ PRUŽNICE:

$$z = \frac{F \cdot a^{\frac{3}{2}}}{E \cdot n \cdot b} \left(l^{\frac{3}{2}} - \frac{l_0^{\frac{3}{2}}}{2} \right)$$

TUHOŠŤ SKUTOČNEJ PARABOLICKEJ PRUŽNICE:

$$k = \frac{2 \cdot F}{z} = \frac{2 \cdot E \cdot n \cdot b}{a^{\frac{3}{2}} \left(l^{\frac{3}{2}} - \frac{l_0^{\frac{3}{2}}}{2} \right)}$$

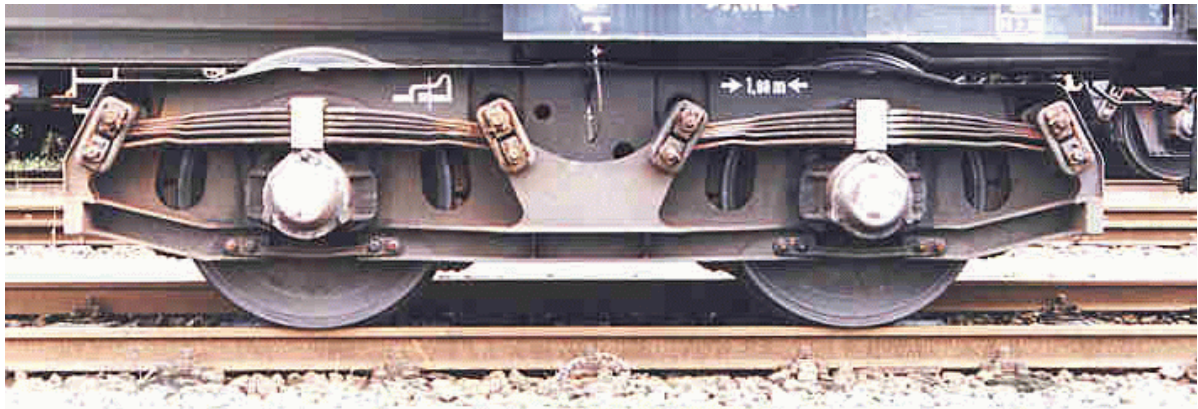
VÝPOČTOVÁ SCHÉMA SKUTOČNEJ PARABOLICKEJ PRUŽNICE



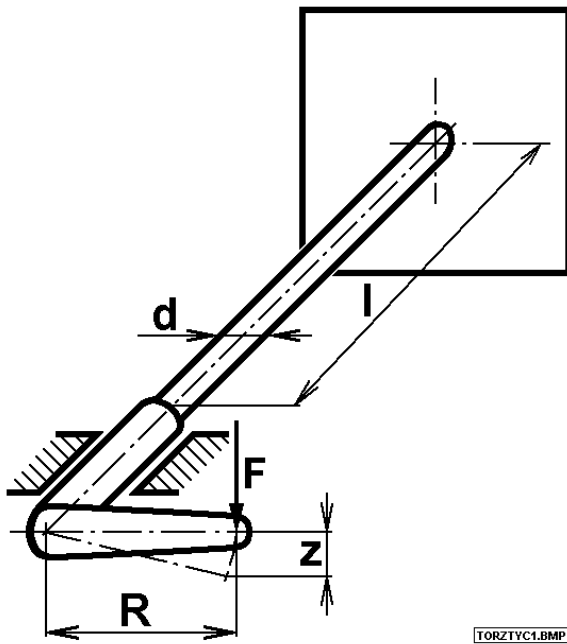
CHARAKTERISTIKA A NAPÄTIE PROGRESÍVNEJ PARABOLICKEJ PRUŽNICE PRE DVOJNÁPRAVOVÝ VAGÓN S 22,5 T/NÁPRAVU



**PARABOLICKÁ PRUŽNICA VO VYPRUŽENÍ DVOJNÁPRAVOVÉHO
NÁKLADNÉHO VAGÓNA**



**PARABOLICKÉ PRUŽNICE S LOMENOU CHARAKTERISTIKOU PODVOZKU
LHB**



TORZTYC1.BMP

TORZNÁ TYČ - PRUŽINA

NAPÄTIE:

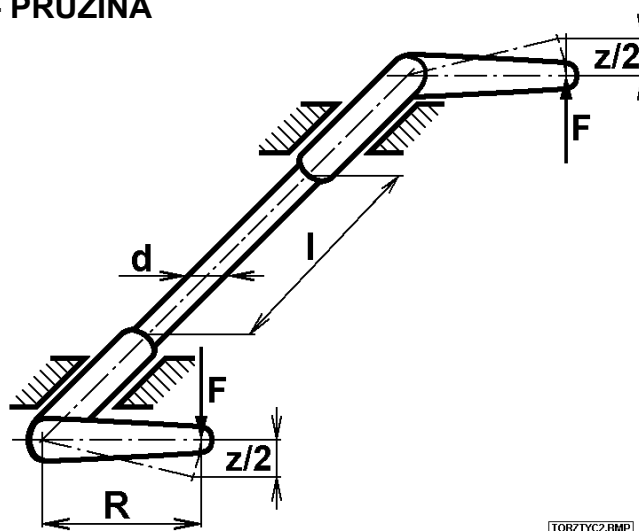
$$\tau = \frac{M_k}{W_k} = \frac{16 \cdot F \cdot R}{\pi \cdot d^3}$$

PRIEHYB:

$$z = \frac{32 \cdot F \cdot R^2 \cdot l}{G \cdot \pi \cdot d^4}$$

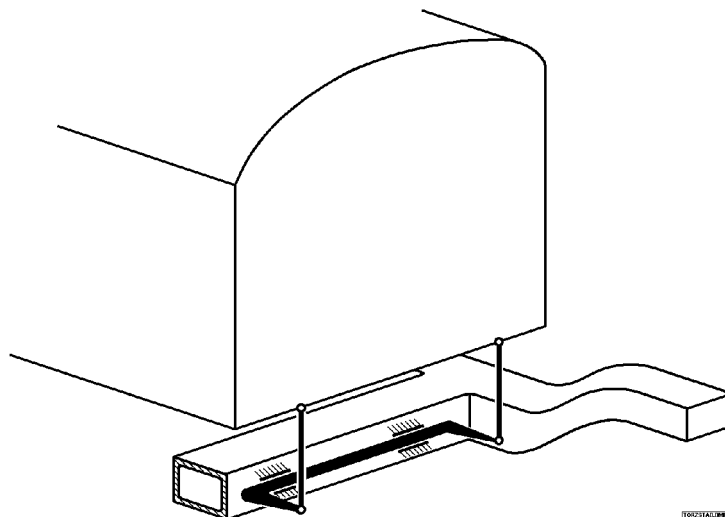
TUHOŠŤ:

$$k = \frac{F}{z} = \frac{G \cdot \pi \cdot d^4}{32 \cdot l \cdot R^2} = konst.$$



TORZTYC2.BMP

TORZNÁ TYČ - TORZNÝ STABILIZÁTOR



TORZSTAB3.BMP

SCHÉMA TORZNÉHO STABILIZÁTORA

VINUTÉ PRUŽINY

Podľa STN EN 13298:

- **kategória A** (pružiny s definovanou osovou aj priečnou tuhosťou),
- **kategória B** (pružiny s definovanou iba osovou tuhosťou).

VOĽNÁ DĹŽKA PRUŽINY:

$$H_0 = (n + n^{\prime}) \cdot d + z_{max} + n \cdot (0,1 \text{ až } 0,15) \cdot d,$$

kde n je počet činných závitov,

n^{\prime} je počet záverných závitov.

Podľa STN EN 13298:

$$a) \quad \alpha = \frac{L_j - (n + 1) \cdot d}{n \cdot d},$$

kde L_j je dĺžka pružiny pod zaťažením F_j

" $\alpha \geq 0,4$ pre pružiny kategórie A, " $\alpha \geq 0,3$ pre pružiny kategórie B.

$$b) \quad G_e = L_M - L_c$$

kde L_M je dĺžka pružiny pod zaťažením F_j

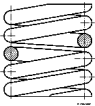
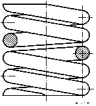
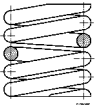
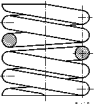
$$L_c = d \cdot (n_t - 0,3),$$

kde n_t je celkový počet závitov pružiny.

$G_e \geq 0,04 \cdot D_e \cdot n$ pre pružiny kategórie A, $G_e \geq 0,02 \cdot D_e \cdot n$ pre pružiny kategórie B,

kde D_e je vonkajší priemer pružiny.

Zaťaženie pružiny F_j zodpovedá v prípade rušňov ich prevádzkovej hmotnosti, v prípade nákladných a osobných vozňov súčtu prázdnej hmotnosti a 1,2 násobku maximálneho nákladu, resp. maximálneho obsadenia.

Nápravové zaťaženie [t/nápravu]	20		22,5	
	vonkajšia	vnútorná	vonkajšia	vnútorná
Pružina				
í drôtu d [mm]	30	24	31	24,4
Stredný í pružiny D [mm]	162	90	163	90
Celkový počet závitov	6,1	7,5	5,7	7,4
Počet činných závitov n	4,6	6	4,2	5,9
Voľná výška H_0 [mm]	264	234±2	260	234±2
Poddajnosť [mm/kN]	2,41	1,32	1,97	1,21
Smer vinutia	P 	L' 	P 	L' 

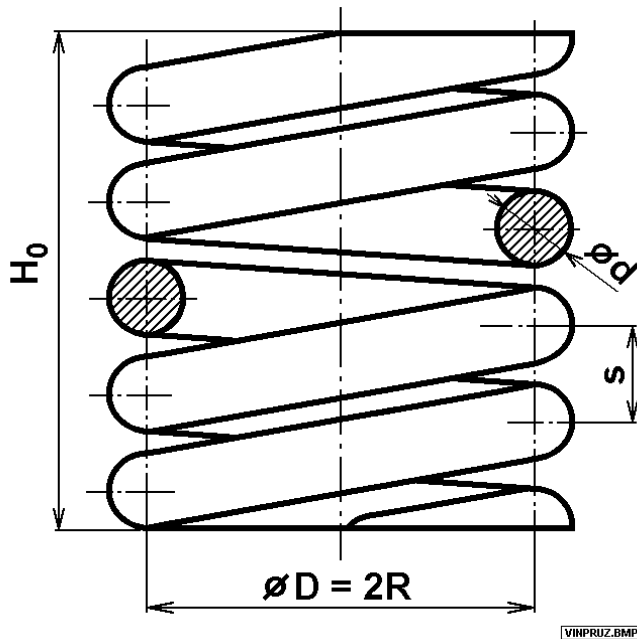
MATERIÁL:

Oceľ 14 260 (54SiCr6 - DIN) v zušľachtenom stave, max. statické predpätie v krute 500 MPa, medzné napätie:

14 260.7 785 MPa,

14 260.8 830 MPa.

Súčiniteľ využitia materiálu $P = 0,25$.



NAPÄTIE:

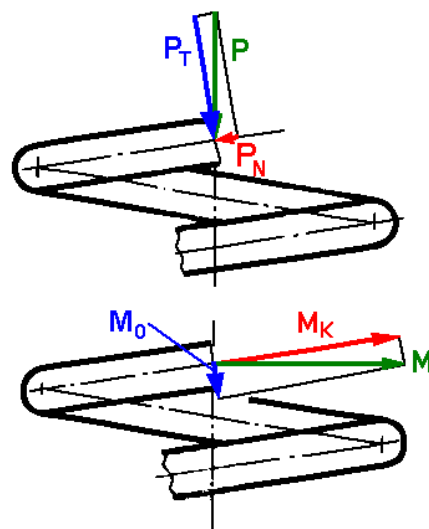
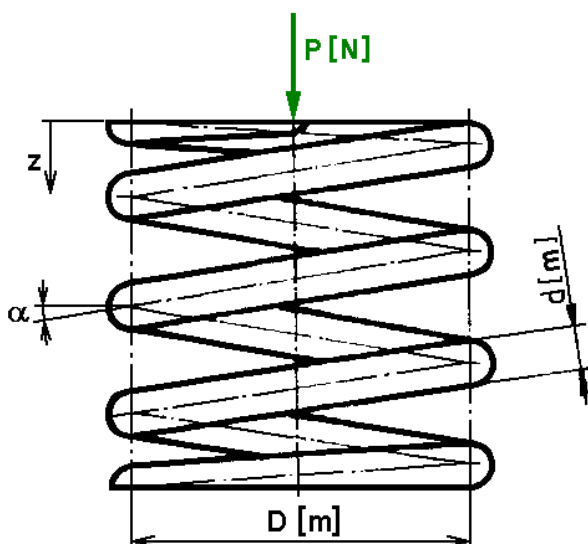
$$\tau = \frac{16.F.R.K}{\pi.d^3}$$

STLAČENIE VALCOVEJ PRUŽINY:

$$z = \frac{64.F.R^3.n}{G.d^4}$$

TUHOŠŤ VINUTEJ VALCOVEJ PRUŽINY:

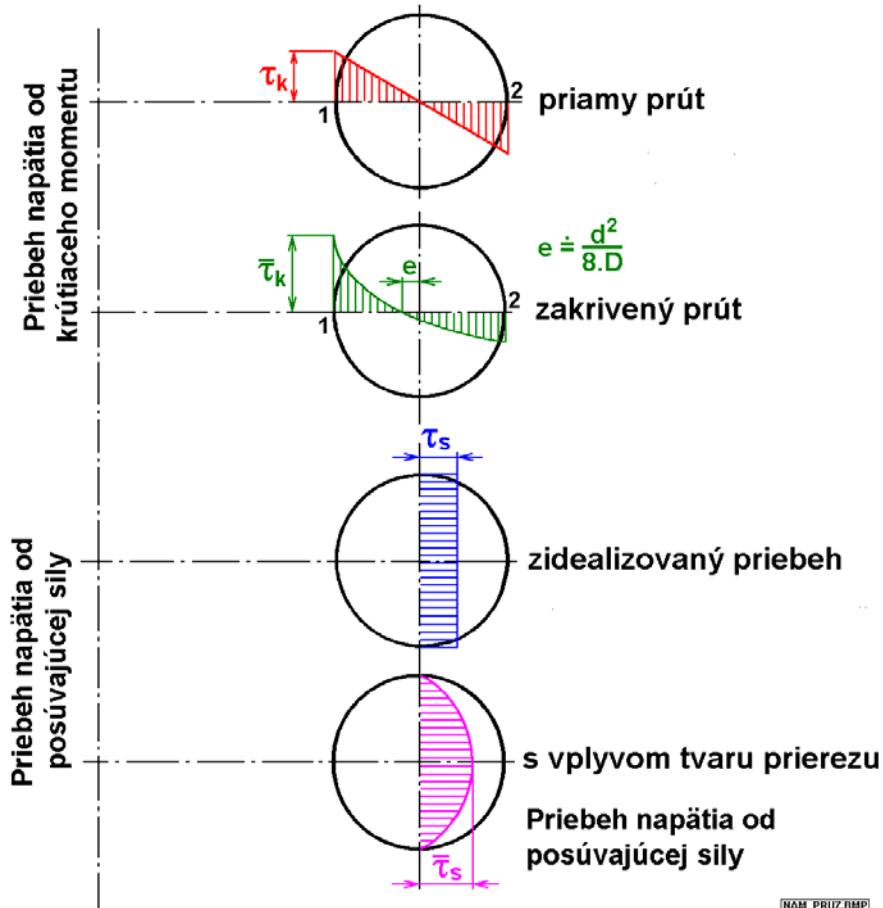
$$k = \frac{G.d^4}{64.R^3.n} = konst.$$



NAMÁHANIE PRIEREZU DRÔTU VINUTEJ PRUŽINY

1. Na **tlak** zložkou $P_N = P \cdot \sin \alpha$
2. Na **šmyk** zložkou $P_T = P \cdot \cos \alpha$
3. Na **ohyb** zložkou $M_0 = P \cdot D \cdot \sin \alpha / 2$
4. Na **krut** zložkou $M_K = P \cdot D \cdot \cos \alpha / 2$

Rozhodujúce je namáhanie na **krut** a čiastočne aj na **šmyk**.



IDEALIZOVANÉ A SKUTOČNÉ PRIEBEHY NAPÄTÍ V DRÔTE VALCOVEJ VINUTEJ PRUŽINY

VPLYV ZAKRIVENIA NA NAPÄTIE V KRUTE:

$$\bar{\tau}_k = \frac{8.P.D}{\pi.d^3} \cdot K_k; \text{ kde } K_k = \frac{4.i-1}{4.i-4}; \text{ } i = \frac{D}{d}$$

VPLYV TVARU PRIEREZU NA ŠMYKOVÉ NAPÄTIE:

$$\bar{\tau}_s = \frac{4.P}{\pi.d^2} \cdot K_s; \text{ kde } K_s = 1,23$$

MAXIMÁLNE NAPÄTIE OD KRUTU A ŠMYKU:

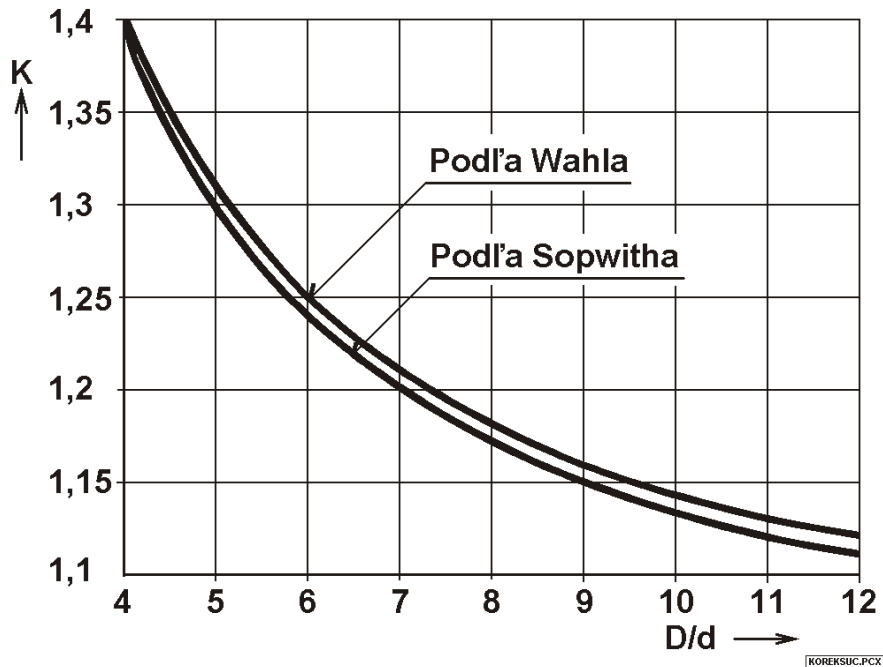
$$\tau = \bar{\tau}_k + \bar{\tau}_s = \frac{8.P.D}{\pi.d^3} \cdot \frac{4.i-1}{4.i-4} + \frac{4.P}{\pi.d^2} \cdot 1,23$$

$$\tau = \frac{8.P.D}{\pi.d^3} \cdot \left(\frac{4.i-1}{4.i-4} + \frac{0,615}{i} \right) = \frac{8.P.D}{\pi.d^3} \cdot K$$

K je Wahlov korekčný súčiniteľ.

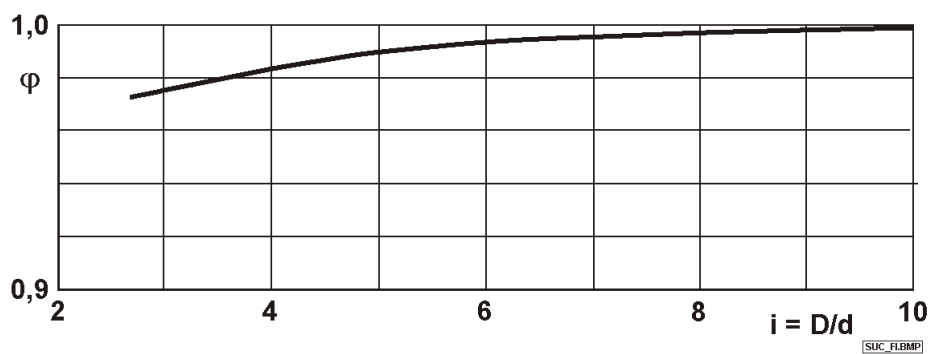
Korekčný súčiniteľ podľa Sopwitha:

$$K = \frac{i + 0,2}{i - 1}$$



KOREKČNÉ SÚČINITEĽE PRE NAPÄTIE

Korekcia deformácie vinutej pružiny na vplyv šmykového napätia:

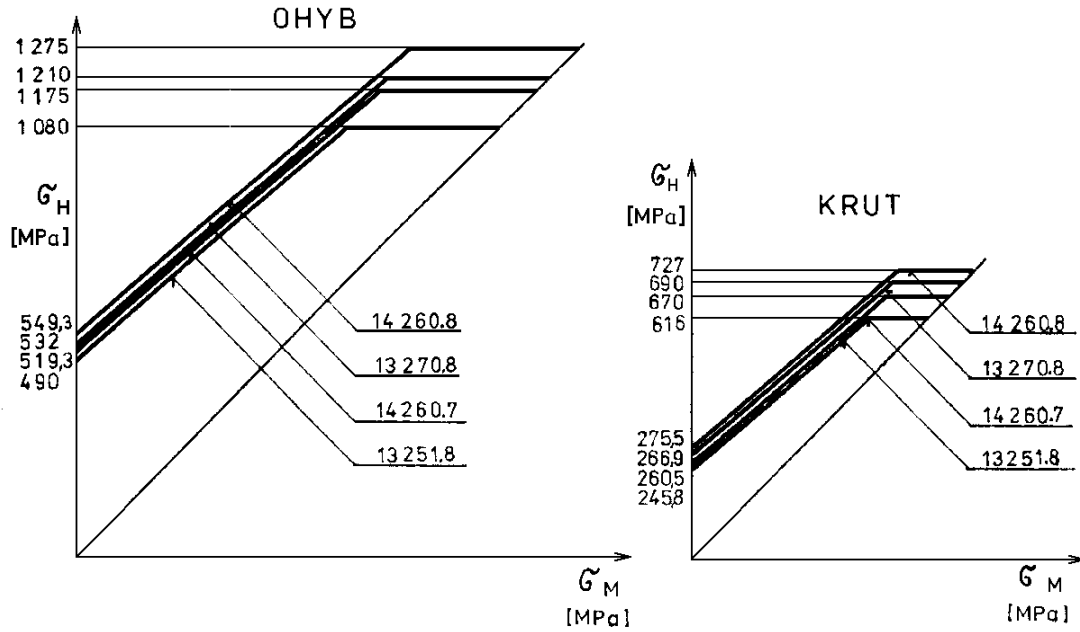


KOREKČNÝ SÚČINITEĽ PRE STLAČENIE VINUTEJ PRUŽINY

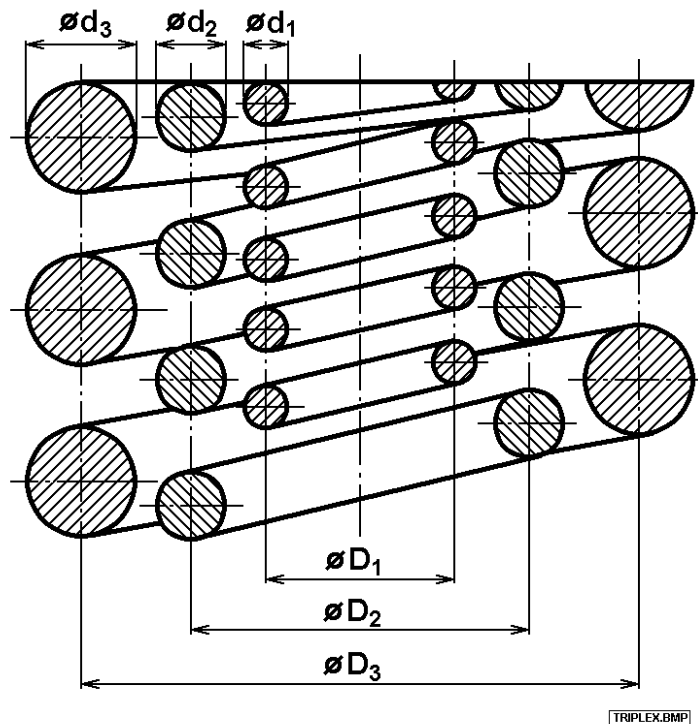
$$z_k = z/\varphi$$

Medze únavy niektorých pružinových ocelí d = 30 mm, h = 16 mm

Materiál	Medza únavy v	
	ohybe σ_c [MPa]	krute τ_c [MPa]
13 251.8	490 ÷ 520	246 ÷ 261
13 270.8	min. 532	min. 267
14.260.7	519 ÷ 564	260 ÷ 283
14 260.8	549 ÷ 594	275 ÷ 298



SMITHOVE DIAGRAMY NIEKTORÝCH PRUŽINOVÝCH OCELÍ



SKUPINA PRUŽÍN

Aby mali všetky pružiny v skupine rovnaké napätie, musí byť splnené:

$$D/d = \text{konšt.} \text{ a } D \cdot n = \text{konšt.}$$

$$P_1 : P_2 : P_3 = d_1^2 : d_2^2 : d_3^2 \text{ a } P = P_1 + P_2 + P_3$$

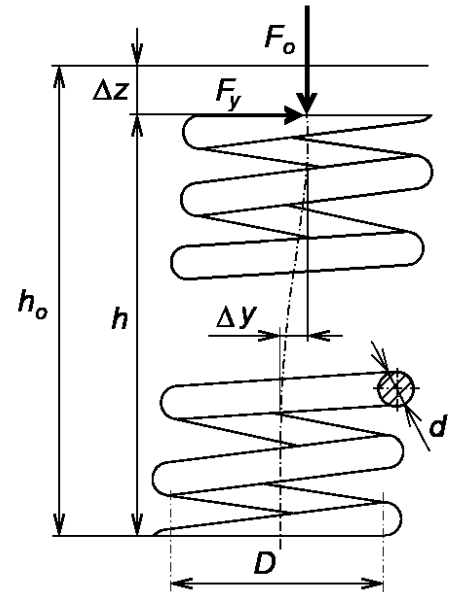
$$Q_{1,2} = \sqrt{Q_P \cdot Q_L}$$

k_1 - tuhosť vonkajšej pružiny; k_c - tuhosť dvojice pružín

$$k_1 = \frac{2 \cdot (Q_{1,2} - Q_P)}{z_u}; \quad k_c = \frac{2 \cdot (Q_L - Q_{1,2})}{z_u}$$

$$k_y = f(F_0, h_0, h, D, d, k_z, n, E, G, {}^a z, \dots)$$

- kde F_0 - osová sila,
 h_0 - výška nezaťaženej pružiny,
 h - výška zaťaženej pružiny,
 D - priemer vinutia,
 d - priemer drôtu,
 k_z - osová tuhosť pružiny,
 n - počet činných závitov,
 E - modul pružnosti v ťahu,
 G - modul pružnosti v šmyku,
 ${}^a z$ - stlačenie pružiny.



Výpočet podľa Grossa:

$$k_y = \frac{1}{\frac{1}{F_0} \cdot \left[\frac{2}{\alpha} \cdot \text{tg} \left(\alpha \cdot \frac{h}{2} \right) - h \right] + \frac{h}{k_s}},$$

kde

$$\alpha = \sqrt{\frac{F_0}{k_0 \cdot \left(1 - \frac{F_0}{k_s} \right)}} \quad \text{je konštanta}$$

$$k_0 = \frac{h}{\pi \cdot n \cdot \frac{D}{2} \cdot \left(\frac{1}{E \cdot I_1} + \frac{1}{G \cdot I_p} \right)}$$

$$k_s = \frac{E \cdot h \cdot I_1}{\pi \cdot n \cdot \left(\frac{D}{2} \right)^3}$$

$$I_1 = \frac{\pi \cdot d^4}{64},$$

$$I_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32}.$$

Výpočet podľa Wahla:

$$k_y = \frac{2,6 \cdot k_z}{1 + 0,77 \cdot \beta^2} \cdot \left(1 - \frac{F_0}{U \cdot h_0 \cdot k_z} \right); \quad \beta = \frac{h}{D},$$

kde $U = f(\$)$ je dané tabuľkou:

$\$$	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
U	0,69	0,63	0,53	0,39	0,27	0,2	0,14	0,11

Výpočet podľa Budricka:

$$k_y = k_z \cdot \frac{G}{E} \cdot \left(1 + \frac{2 + \mu}{3} \cdot \beta^2 \right),$$

kde

$$k_z = \frac{2}{\pi \cdot D \cdot n \cdot \left(\frac{h^2}{12} \cdot \frac{1}{G \cdot I_p} + \frac{1}{E \cdot I_1} + \frac{D^2}{4 \cdot E \cdot I_1} \right)}.$$

Výpočet podľa Timošenka a Ponomariova:

$$k_y = k_z \cdot \frac{D^2 \cdot (1 + \gamma)}{\frac{0,2936 \cdot (h - \chi \cdot d)^3}{(h - 1,5 \cdot h \cdot d)} + 0,381 \cdot D^2},$$

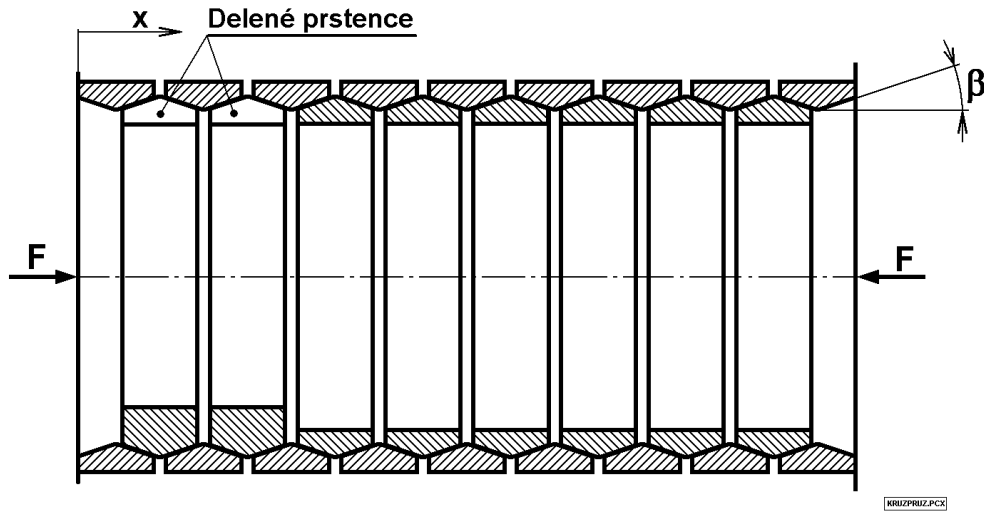
kde pre $\$ < 2,62$:

$$\gamma = 0,375 \cdot \frac{F_0}{k_z \cdot h} \cdot \beta \cdot \left(\beta - 1,5 \cdot \frac{d}{D} \right),$$

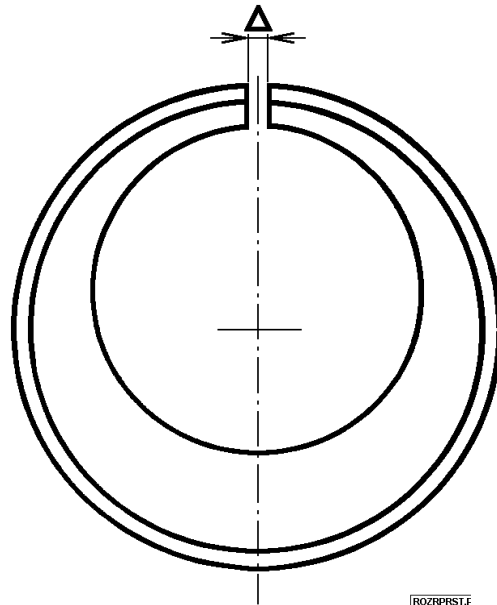
a pre $\$ > 2,62$:

$$\gamma = \frac{\frac{F_0}{k_z \cdot h} \cdot \beta}{0,813 \cdot \left(\beta_0 - \sqrt{\beta_0^2 - 6,87} \right)},$$

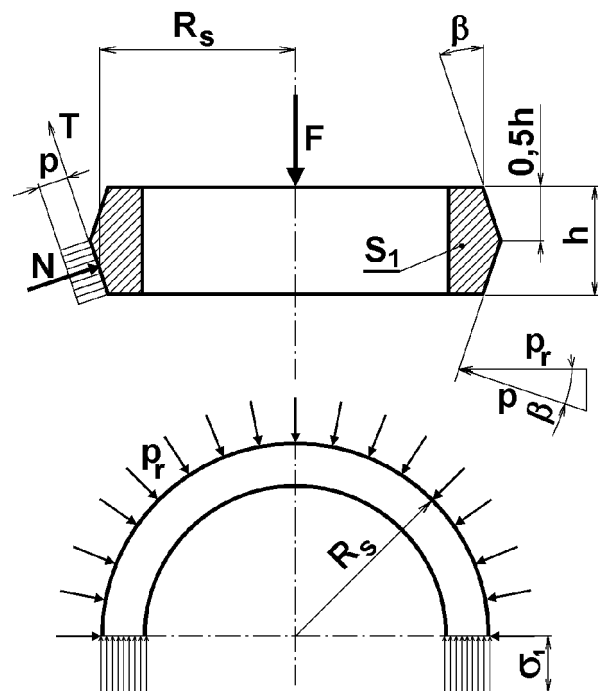
$P = (0,5 \div 1,0).$



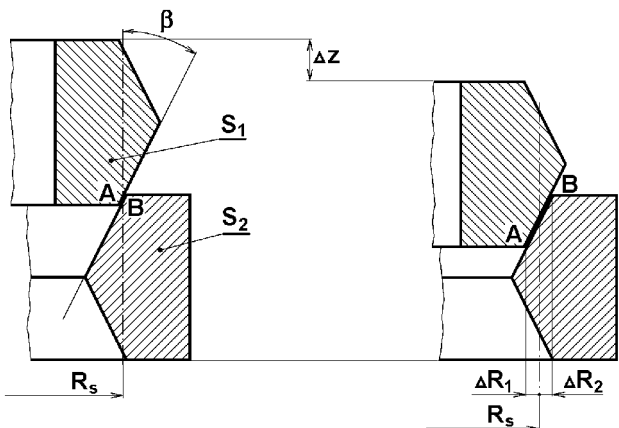
USPORIADANIE KRÚŽKOVEJ PRUŽINY S DVOJICOU DELENÝCH PRSTENCOV



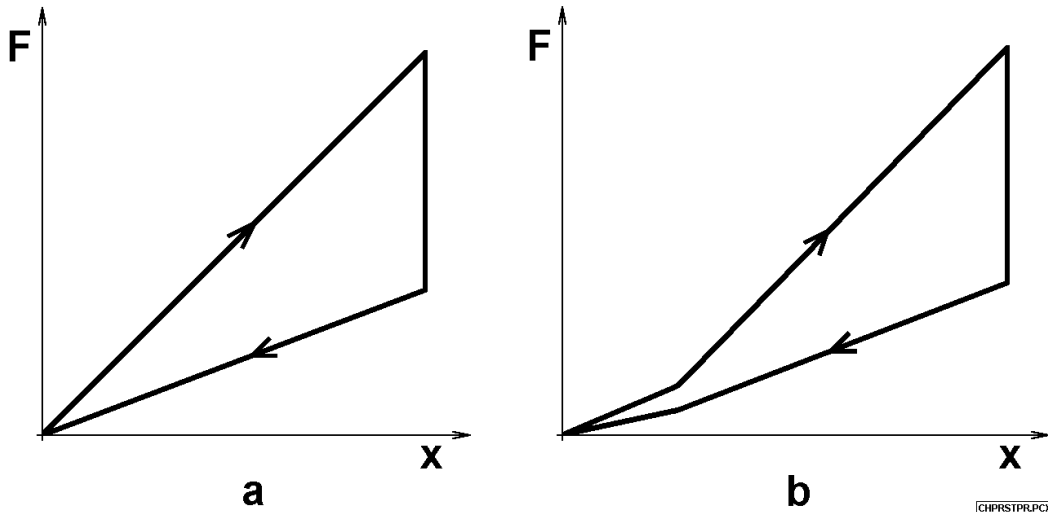
DELENÝ PRSTENEC



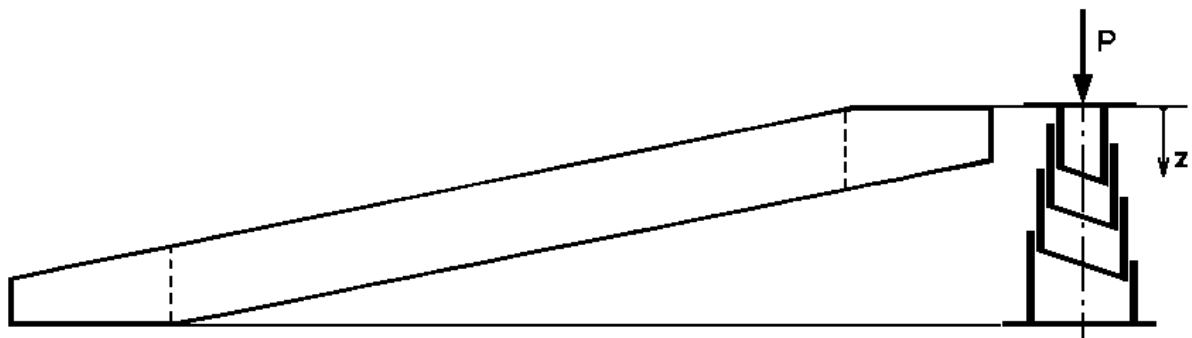
ZAŤAŽENIE VNÚTORNÉHO KRÚŽKU



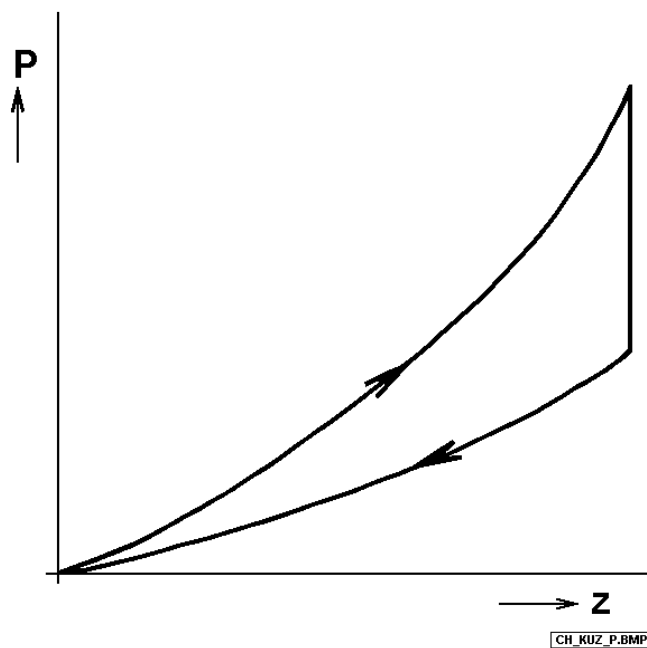
DEFORMÁCIA KRÚŽKOV PRI STLÁČANÍ PRUŽINY



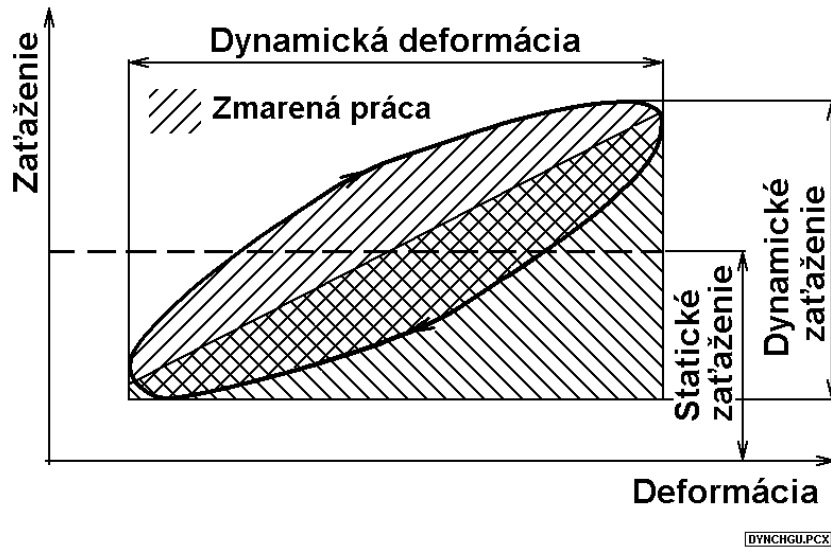
CHARAKTERISTIKY KRÚŽKOVEJ PRUŽINY a) BEZ DELENÝCH PRSTENCOV; b) S DELENÝMI PRSTENCAMI



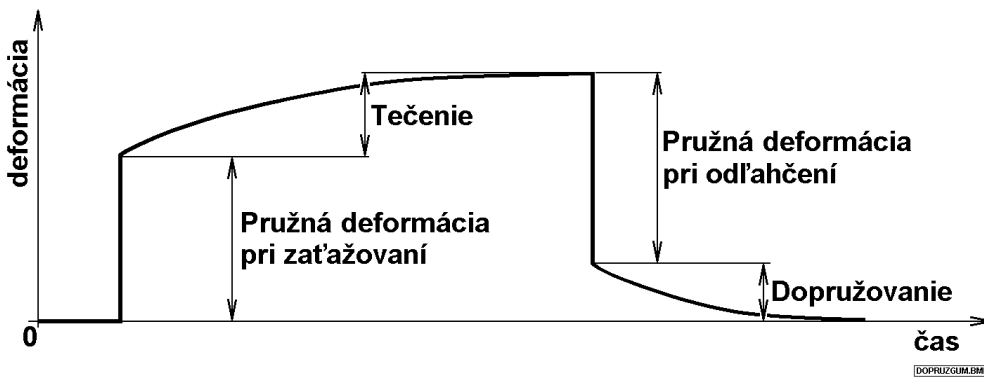
KUŽEĽOVÁ PÁSOVÁ PRUŽINA



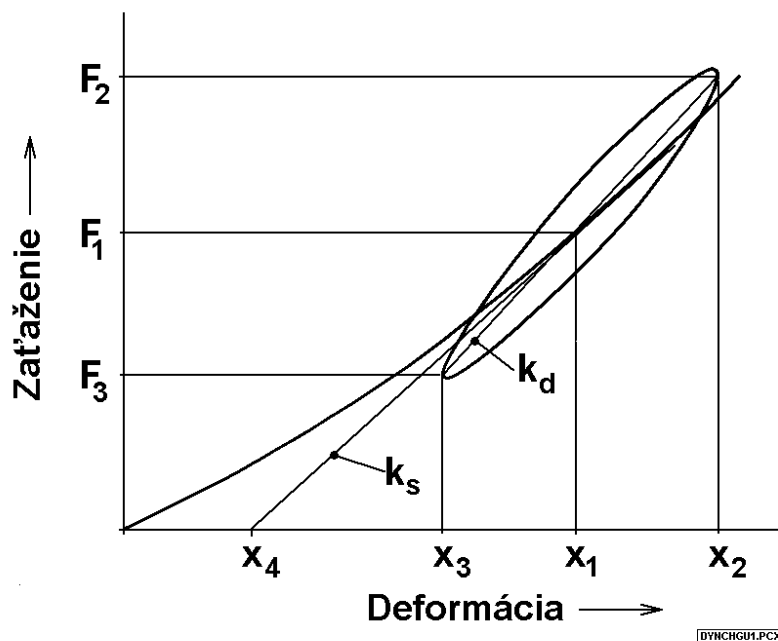
CHARAKTERISTIKA KUŽEĽOVEJ PRUŽINY



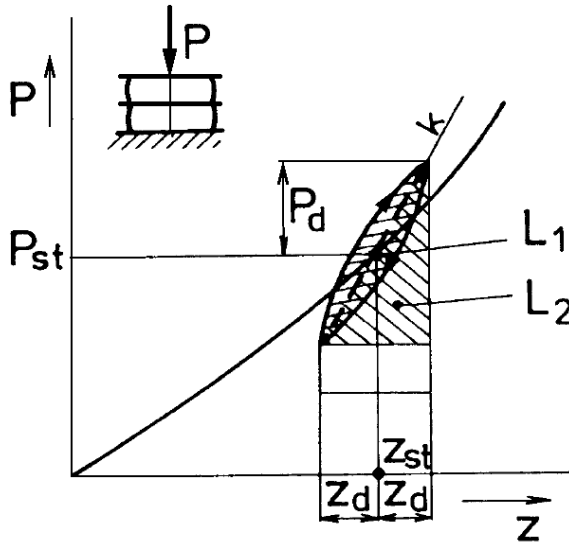
HYSTERÉZNA SĽUČKA GUMOVÉHO PRVKU VYPRUŽENIA



CHARAKTERISTIKA GUMY PRI STATICKOM ZAŤAŽOVANÍ



STATICKÁ A DYNAMICKÁ CHARAKTERISTIKA GUMOVÉHO PRVKU VYPRUŽENIA



Pomerné tlmenie:

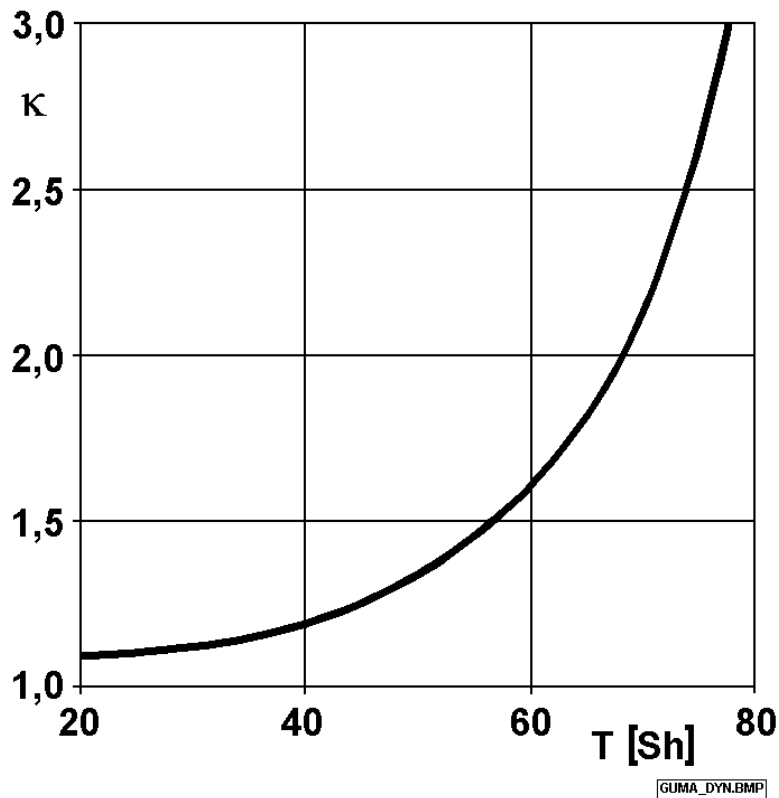
$$D = \frac{L_1}{\pi L_2}$$

zodpovedá u viskózneho tmiča:

$$D = \frac{b}{2\sqrt{km}} = \frac{b \cdot \omega_0}{2k}$$

$$= \frac{\pi \cdot b \cdot z_d^2 \cdot \omega_0}{\pi \cdot k \cdot z_d^2} = \frac{L_1}{\pi L_2}$$

DYNAMICKÁ CHARAKTERISTIKA GUMOVEJ PRUŽINY
 A DEFINÍCIA POMERNÉHO ÚTLMU

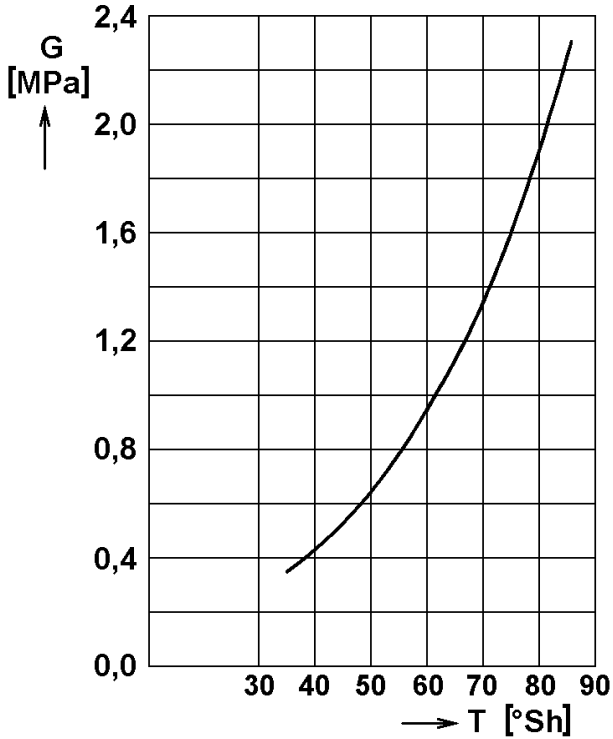


KOEFICIENT VZRASTU HODNÔT DYNAMICKÝCH
 MODULOV PRUŽNOSTI "E" A "G"

Dynamické hodnoty modulov pružnosti:

$$E_d = 6E$$

$$G_d = 6G$$



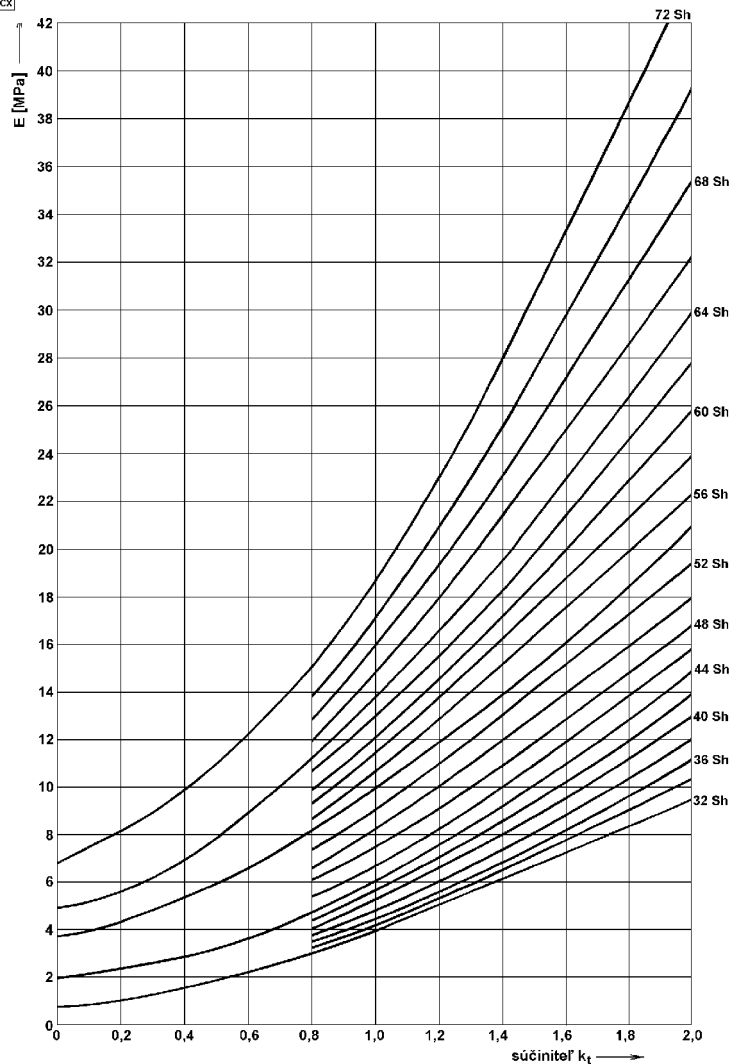
$G \approx 0,04 \cdot T - 1,4$ [MPa; °Sh]

ZÁVISLOSŤ MODULU PRUŽNOSTI V ŠMYKU NA TVRDOSTI GUMY

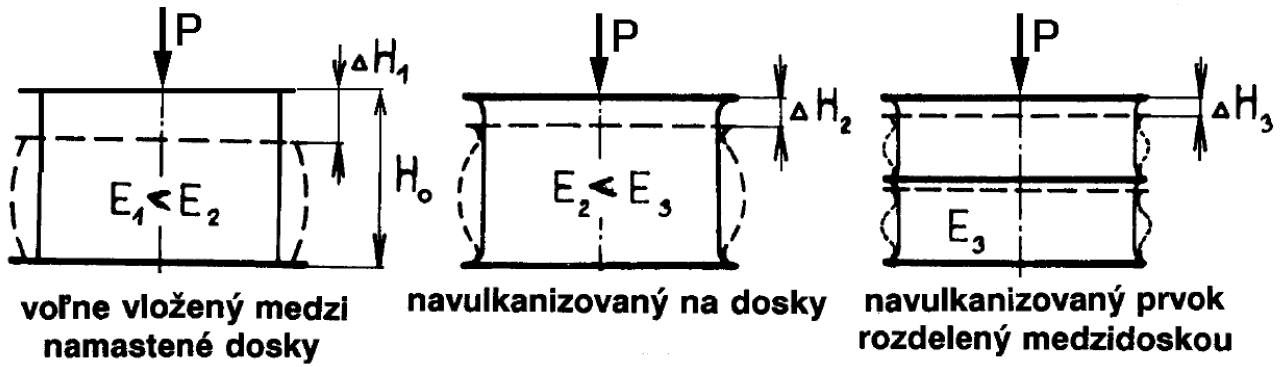
TVAROVÝ SÚČINITEL:

$$k_t = \frac{F_z}{F_v}$$

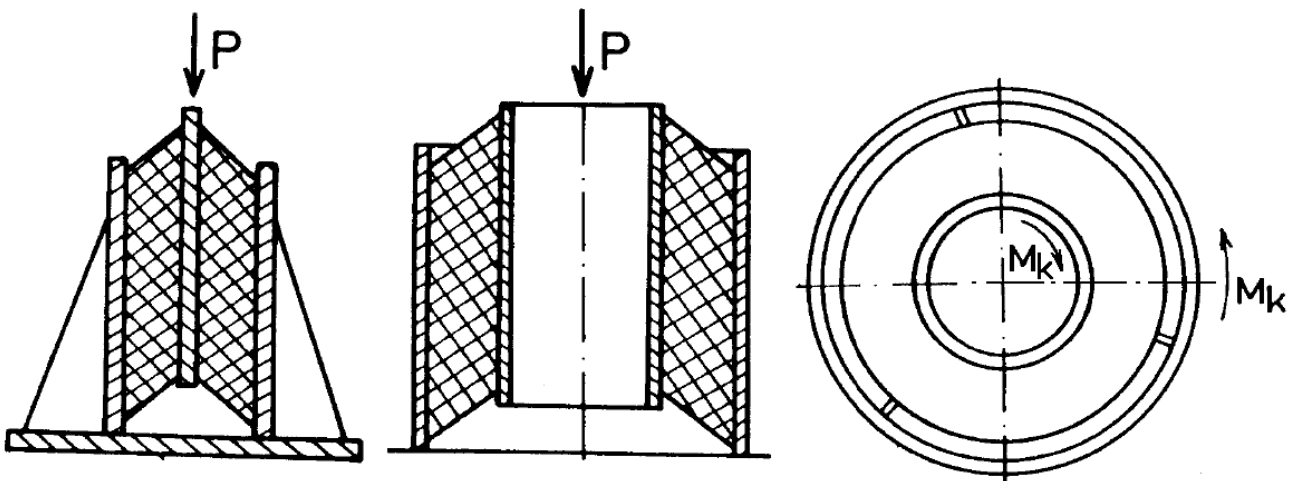
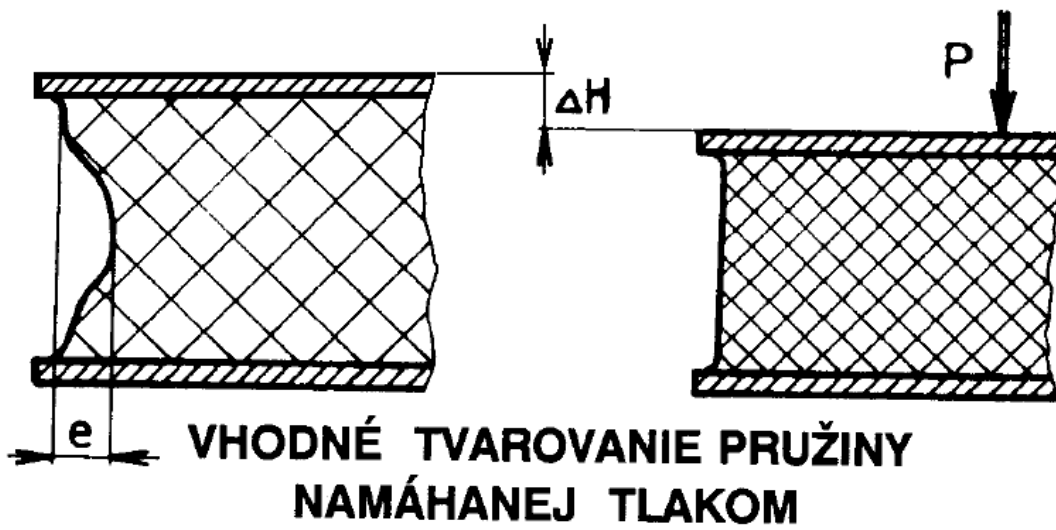
kde F_z je zaťažovaná plocha pružiny,
 F_v je plocha voľného povrchu.



ZÁVISLOSŤ MODULU PRUŽNOSTI GUMY V TLAKU NA TVAROVOM SÚČINITELI



RÔZNE SPÔSOBY ULOŽENIA GUMOVÉHO PRVKU NAMÁHANÉHO NA TLAK

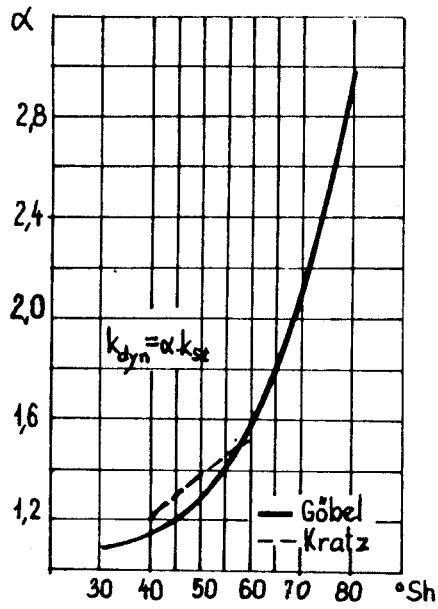


PRÍKLADY KONŠTRUKČNÉHO PREVEDENIA GUMOVÝCH PRUŽÍN

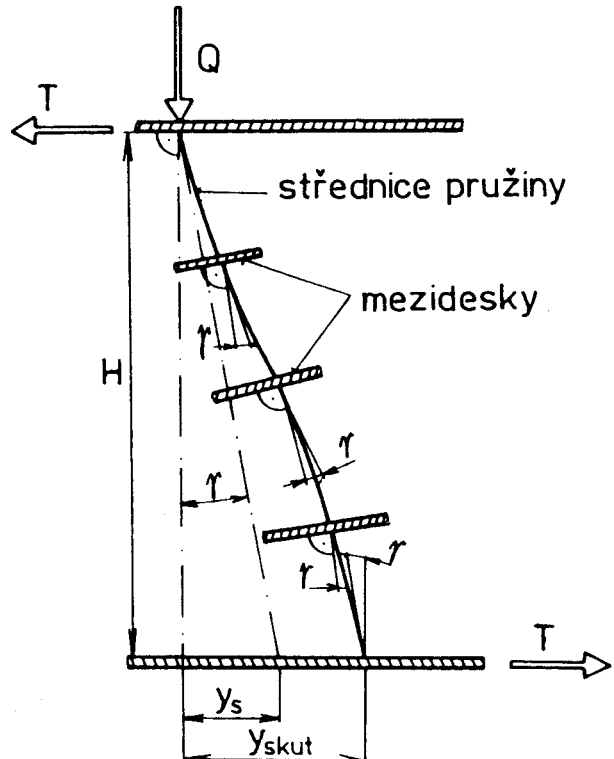


ε	ΔH	H	$H_{stř}$	F_z	D	α_{DH}	k_t	$F_z E$	$(F_z E)_{stř}$	ΔP	k	P
0	0	H_0	$\frac{H_0 + H_1}{2}$	F_0	D_0	$\alpha_{D_0 H_0}$	k_{t0}	$F_0 E_0$	$\frac{F_0 E_0 + F_1 E_1}{2}$	0	k_0	0
ε_1	ΔH_1	H_1	.....	F_1	D_1	$\alpha_{D_1 H_1}$	k_{t1}	$F_1 E_1$	.....	ΔP_1	...	P_1
..	...			..	...	.... atd.	...	...		...		$\sum \Delta P$

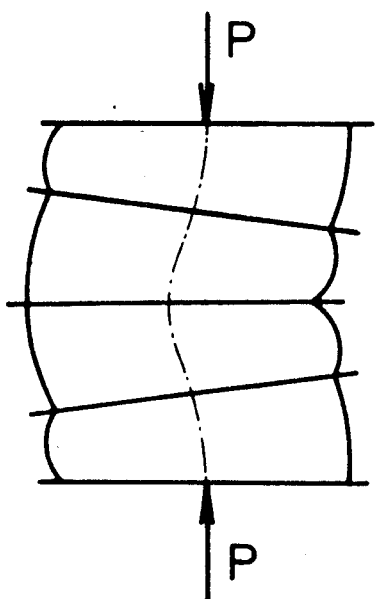
VÝPOČTOVÁ SCHÉMA GUMOVEJ PRUŽINY NAMÁHANEJ NA TLAK



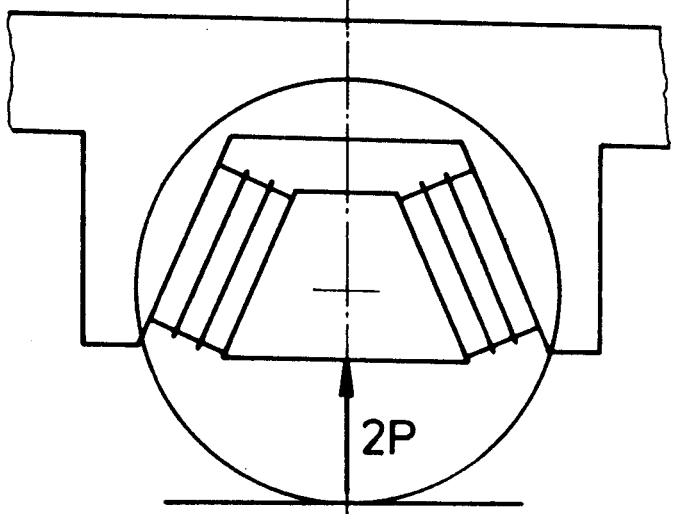
ZÁVISLOSŤ SÚČINITEĽA DYNAMICKEJ TUHOSTI GUMY NA JEJ TVRDOSTI



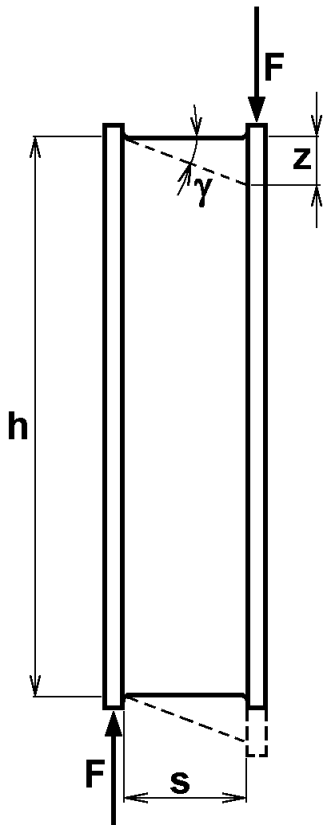
PRIEČNA DEFORMÁCIA GUMOVEJ PRUŽINY, NAMÁHANEJ NA TLAK, OD PRIEČNEJ SILY



STABILITA GUMOVEJ PRUŽINY NAMÁHANEJ NA TLAK



VYPRUŽENIE LOŽISKOVEJ SKRINE DVOJICAMI ŠIKMÝCH GUMOVÝCH BLOKOV



GUMENÁ PRUŽINA NAMÁHANÁ NA ŠMYK

Skos gumového bloku sa určí zo vzťahu:

$$\gamma = \frac{\tau}{G} = \frac{F}{S_z \cdot G} = \frac{dz}{ds} = \frac{z}{s},$$

kde S_z je zaťažovaná plocha,

G je modul pružnosti v šmyku.

Deformácia (vzájomné posunutie navulkanizovaných plechov v smere pôsobiaceho zaťaženia) je:

$$z = \gamma \cdot s = \frac{F \cdot s}{S_z \cdot G}.$$

Tuhosť takejto pružiny namáhanej na šmyk je približne konštantná a určí sa zo vzťahu:

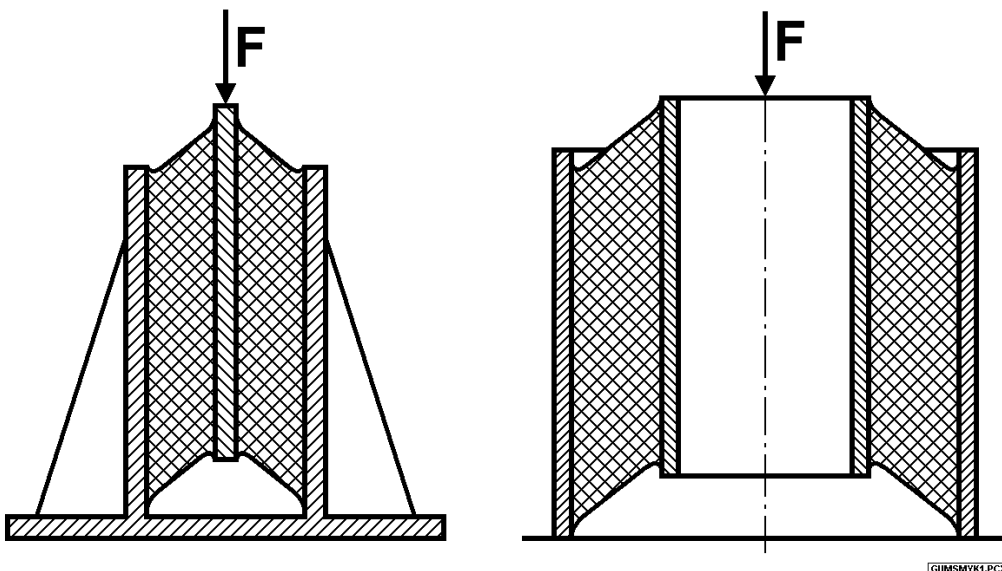
$$k = \frac{S_z \cdot G}{s}.$$

GUMASMYK.PCX

GUMENÝ PRVOK
NAMÁHANÝ NA ŠMYK

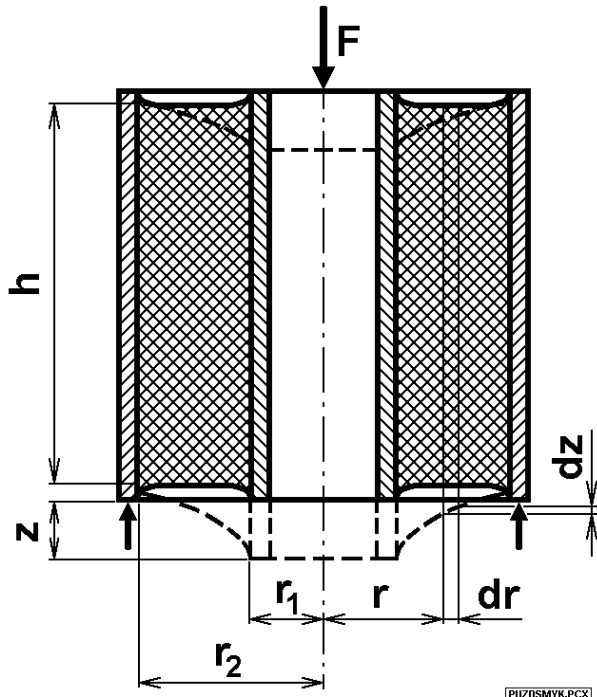
Šmykové napätie sa určí z jednoduchého vzťahu:

$$\tau = \frac{F}{S_z}.$$



GUMSMYK1.PCX

PRÍKLADY SPRÁVNEJ KONŠTRUKCIE GUMENÝCH PRVKOV
NAMÁHANÝCH NA ŠMYK



PUZDROVÁ PRUŽINA NAMÁHANÁ NA ŠMYK

PUZDROVÁ PRUŽINA NAMÁHANÁ NA ŠMYK

Napätie v obecnom valcovom reze gummy:

$$\tau_r = \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot h}$$

Skos na obecnom polomere r:

$$\gamma_r = \frac{dz}{dr} = \frac{\tau_r}{G} = \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot h G}$$

Odtiaľ:

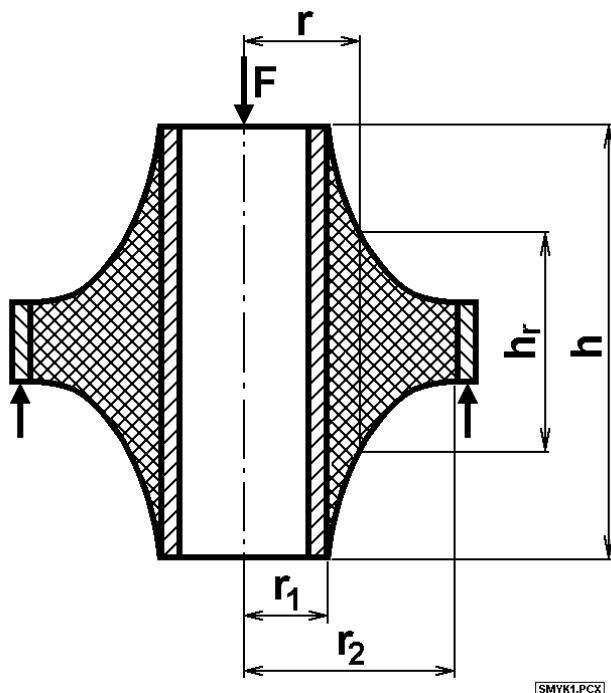
$$dz = \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot h G} \cdot dr$$

Integrovaním sa získa celková deformácia:

$$z = \int_{r_1}^{r_2} \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \cdot G} \cdot dr = \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot h \cdot G} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}$$

a tuhosť v axiálnom smere:

$$k_a = \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot G}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$



PUZDROVÁ PRUŽINA S KONŠTANTNÝM ŠMYKOVÝM NAPÄTÍM

PUZDROVÁ PRUŽINA S KONŠTANTNÝM NAPÄTÍM NA ŠMYK

Podmienka konštantného napätia:

$$r \cdot h_r = K_1 = \text{konšt.}$$

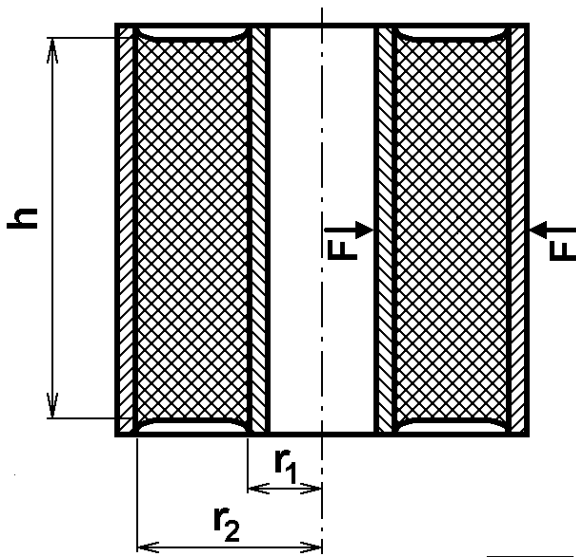
Deformácia pružiny od axiálnej sily F:

$$z = \int_{r_1}^{r_2} \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot K_1 \cdot G} \cdot dr = \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot K_1 \cdot G} \cdot (r_2 - r_1) = \frac{F \cdot (r_2 - r_1)}{S \cdot G}$$

kde $S = 2 \cdot Br \cdot h_r = \text{konšt.}$

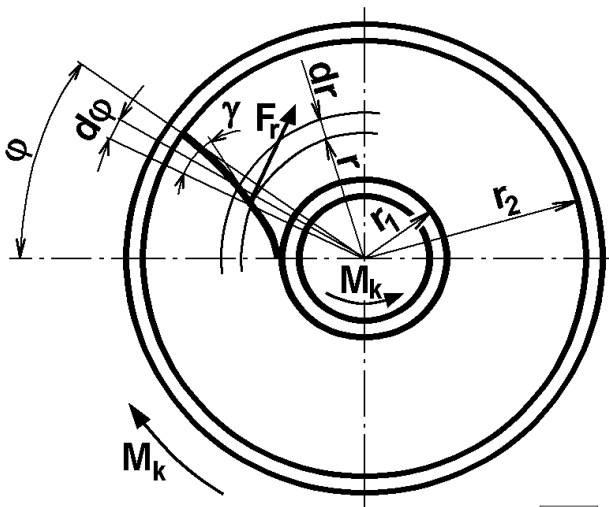
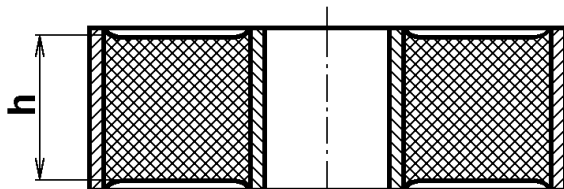
Axiálna tuhosť takéhoto puzdra je:

$$k_a = \frac{S \cdot G}{(r_2 - r_1)}$$



PUZDROVÁ PRUŽINA NAMÁHANÁ RADIÁLNE

GUMENÁ PRUŽINA NAMÁHANÁ NA KRUT

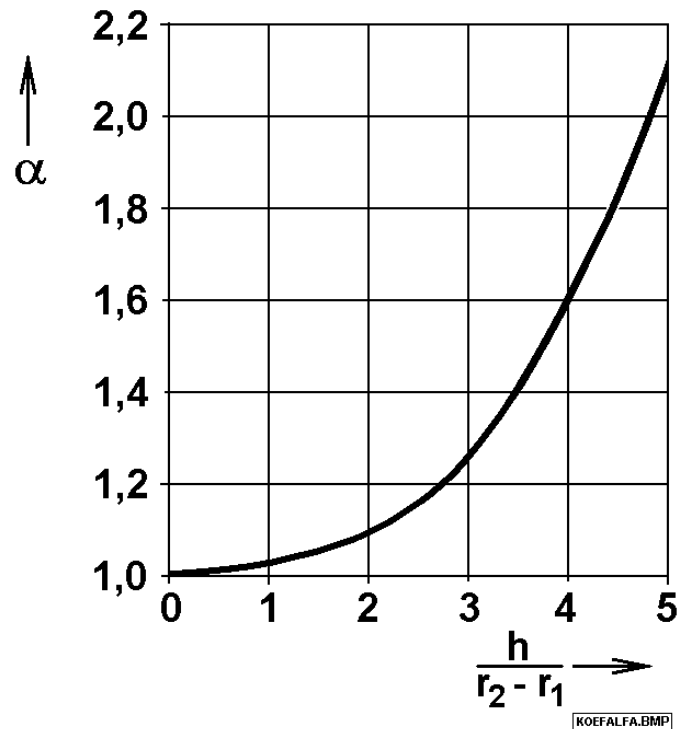


VÝPOČTOVÁ SCHÉMA PUZDROVEJ PRUŽINY NAMÁHANEJ NA KRUT

PUZDROVÁ PRUŽINA NAMÁHANÁ RADIÁLNE

Radiálna tuhosť:

$$k_r = \frac{7,5 \cdot \pi \cdot h \cdot G \cdot \alpha}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$



SÚČINITEĽ " " PRE VÝPOČET RADIÁLNEJ TUHOSTI

Na valcovom reze s polomerom r pôsobí obvodová sila F_r :

$$F_r = \frac{M_k}{r}$$

ktorá v tomto mieste spôsobuje šmykové napätie:

$$\tau = \frac{F_r}{S_r} = \frac{M_k}{r \cdot 2\pi \cdot r \cdot h} = \frac{M_k}{2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h}$$

Toto napätie vyvolá na polomere r skos:

$$\gamma = \frac{\tau}{G}$$

Skos je možné vyjadriť aj z elementárneho pootočenia $d\varphi$ valcových rezov vzdialených od seba o dr na polomere r vzťahom:

$$d\varphi = \frac{\tau}{r \cdot G} \cdot dr = \frac{M_k}{2 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot h \cdot G} \cdot dr$$

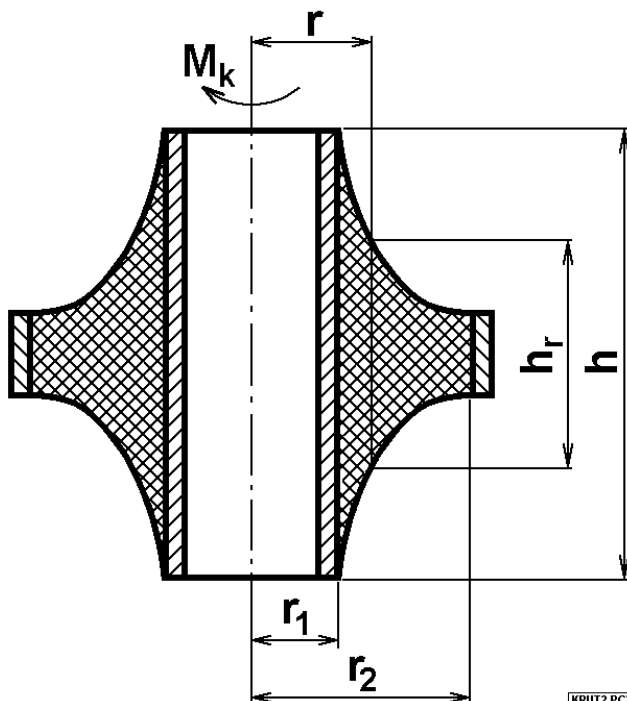
Celkové pootočenie vonkajšieho puzdra voči vnútornému φ sa získa integrovaním tohoto vzťahu v príslušných medziach:

$$\varphi = \int_{r_1}^{r_2} \frac{M_k}{2 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot h \cdot G} \cdot dr = \frac{M_k}{4 \cdot \pi \cdot h \cdot G} \cdot \left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2} \right) \text{ [rad]}$$

Torzna tuhosť valcového puzdra s konštantnou výškou potom je:

$$k_t = \frac{M_k}{\varphi} = \frac{4 \cdot \pi \cdot h \cdot G}{\left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2} \right)} \text{ [Nm]}$$

TORZNE NAMÁHANÁ PRUŽINA S KONŠTANTNÝM NAPÄTÍM



Musí byť splnená podmienka:

$$r^2 \cdot h_r = K_2 = \text{konšt.}$$

teda hrúbka gumy má tvar kvadratickej hyperboly.

Celkové pootočenie φ vonkajšieho puzdra voči vnútornému je:

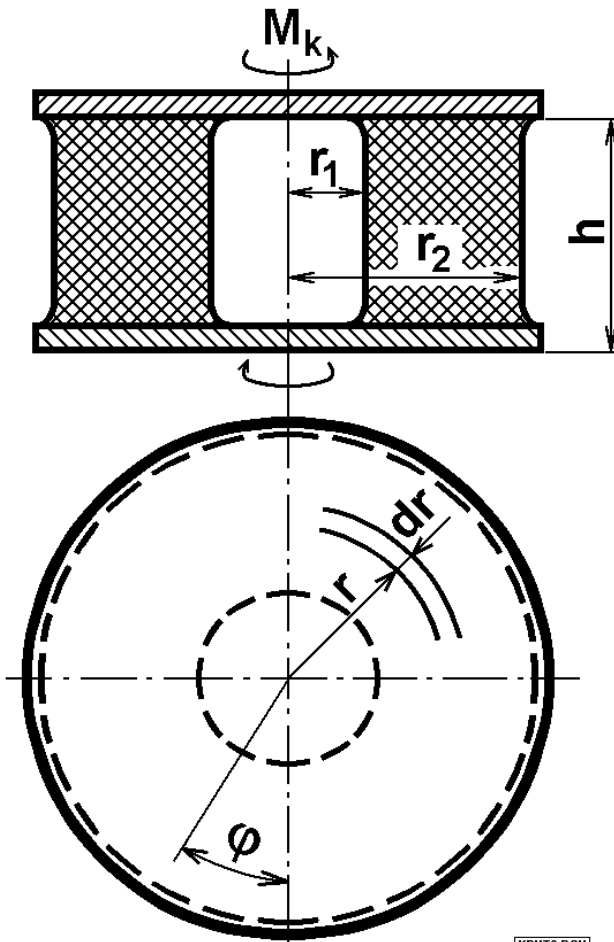
$$\begin{aligned} \varphi &= \int_{r_1}^{r_2} \frac{M_k}{2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot G \cdot r} \cdot dr = \\ &= \frac{M_k}{2 \cdot \pi \cdot K_2 \cdot G} \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{r} \cdot dr = \\ &= \frac{M_k}{2 \cdot \pi \cdot K_2 \cdot G} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} \text{ [rad]} \end{aligned}$$

Torzna tuhosť takejto puzdrovej pružiny je:

$$k_t = \frac{M_k}{\varphi} = \frac{2 \cdot \pi \cdot K_2 \cdot G}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \text{ [Nm]}$$

TORZNE NAMÁHANÁ PUZDROVÁ PRUŽINA S KONŠTANTNÝM NAPÄTÍM

TORZNE NAMÁHANÁ VALCOVÁ PRUŽINA



Skos: $\gamma = \frac{r \cdot \varphi}{h}$

Šmykové napätie v myslenom valcovom reze s polomerom r potom je:

$$\tau = G \cdot \gamma = G \cdot \frac{r \cdot \varphi}{h}$$

Elementárnou medzikruhovou ploškou s polomerom r a elementárnou šírkou dr sa preniesie elementárny krútiaci moment:

$$\begin{aligned} dM_k &= 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr \cdot \tau \cdot r = \\ &= 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr \cdot G \cdot \frac{r \cdot \varphi}{h} \cdot r = \end{aligned}$$

Celkový prenesený krútiaci moment je:

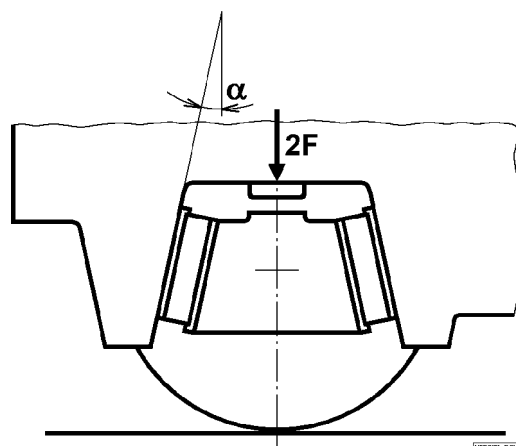
$$\begin{aligned} M_k &= \int_{r_1}^{r_2} dM_k = 2 \cdot \pi \cdot G \cdot \frac{\varphi}{h} \int_{r_1}^{r_2} r^3 \cdot dr = \\ &= \varphi \cdot \frac{\pi \cdot G}{2 \cdot h} \cdot (r_2^4 - r_1^4), [Nm]. \end{aligned}$$

Celkové skrútenie prvku sa dá určiť z predchádzajúceho vzťahu a platí:

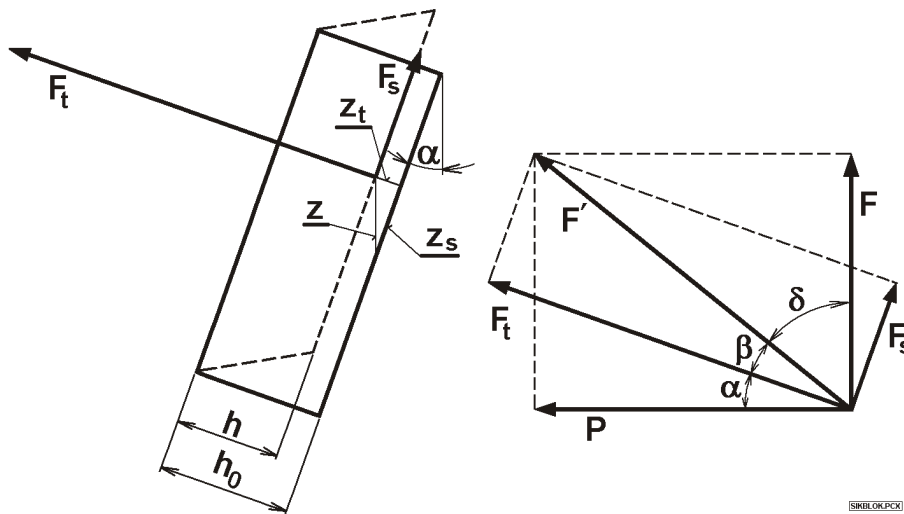
$$\varphi = \frac{2 \cdot M_k \cdot h}{\pi \cdot G \cdot (r_2^4 - r_1^4)} [rad].$$

Torzna tuhosť tohoto prvku je: $k_t = \frac{\pi \cdot G}{2 \cdot h} \cdot (r_2^4 - r_1^4) [Nm].$

GUMOVÉ PRUŽINY NAMÁHANÉ KOMBINÁCIOU TLAKU A ŠMYKU



ŠIKMÉ GUMENÉ BLOKY



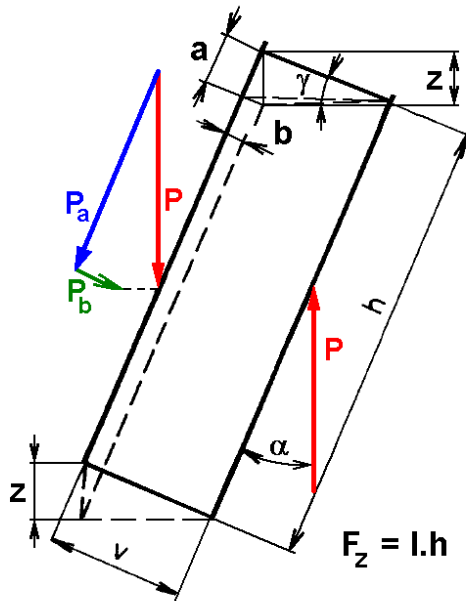
VÝPOČTOVÁ SCHÉMA ŠIKMÉHO BLOKU

Pre každý krok (prírastok) zvislej deformácie z sa určí tlaková z_t a šmyková z_s zložka deformácie podľa vzťahov:

$$z_t = z \cdot \sin \alpha,$$

$$z_s = z \cdot \cos \alpha.$$

Ku každej zo zložiek deformácie sa vypočíta príslušná sila F_t , resp. F_s a ich zložením sa získa výslednica F' , ktorá má iný smer ako výsledná deformácia z . Výslednú silu F' je možné rozložiť na zvislú zložku F , ktorá je vlastne vonkajšou zaťažujúcou silou a na vodorovnú zložku P , ktorá je vnútornou silou, spôsobuje zaťaženie rászoch a je kompenzovaná rovnako veľkou silou, ale opačného smeru druhého z dvojice gumových blokov. Zatiaľ čo závislosť šmykovej sily na šmykovej deformácii je lineárna, závislosť tlakovej sily ako funkcie tlakovej sily nie je lineárna, teda malo by sa pri výpočte postupovať iteračným spôsobom.



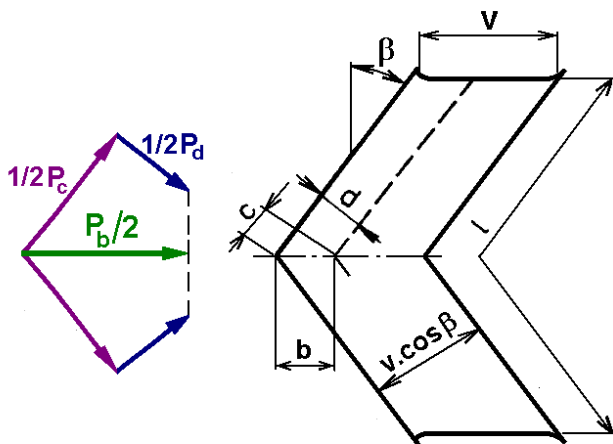
PRE DEFORMÁCIE PLATÍ:

$$a = z \cdot \cos \alpha = v \cdot \frac{\tau}{G} = v \cdot \frac{P_a}{F_z \cdot G}$$

$$b = z \cdot \sin \beta = v \cdot \frac{\sigma}{E} = v \cdot \frac{P_b}{F_z \cdot E}$$

$$c = b \cdot \sin \beta = v \cdot \cos \beta \cdot \frac{P_c}{F_z \cdot G}$$

$$d = b \cdot \cos \beta = v \cdot \cos \beta \cdot \frac{P_d}{F_z \cdot E}$$



PRE SILY PLATÍ:

$$P = P_a \cdot \cos \alpha + P_b \cdot \sin \alpha$$

$$P = P_a \cdot \cos \alpha + [P_c \cdot \sin \beta + P_d \cdot \cos \beta] \cdot \sin \alpha$$

$$P = \frac{z \cdot F_z}{v} \cdot \left[G \cdot \left(\cos^2 \alpha + \frac{\sin^2 \alpha \cdot \sin^2 \beta}{\cos \beta} \right) + E \cdot \sin^2 \alpha \right]$$

Tuhosť jednej vrstvy gummy je:

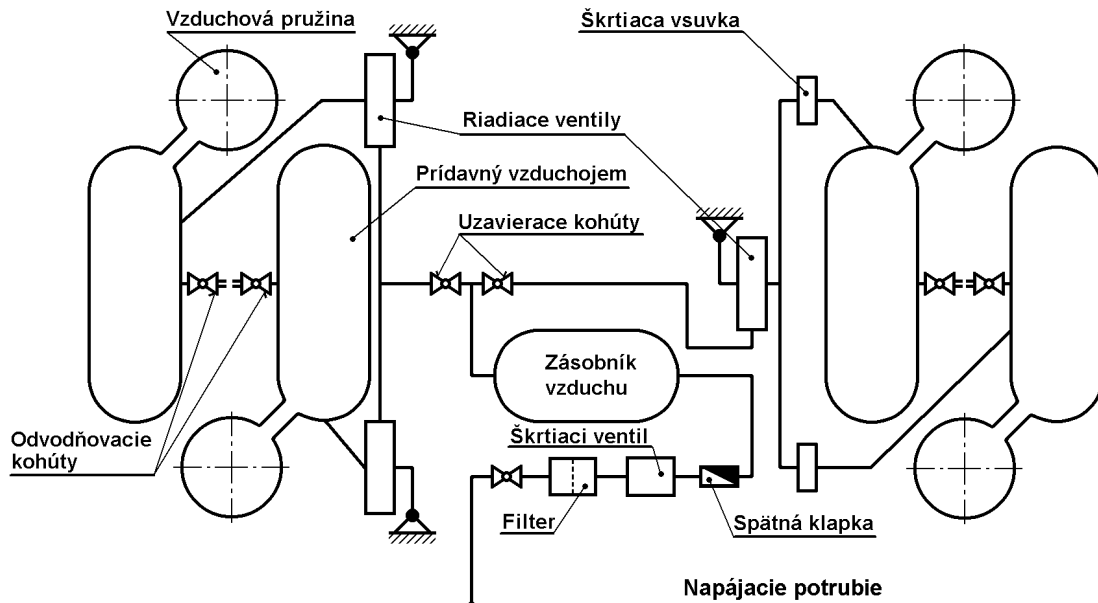
$$k_1 = \frac{P}{z}$$

VÝPOČTOVÁ SCHÉMA STRECHOVITÉHO GUMOVÉHO BLOKU

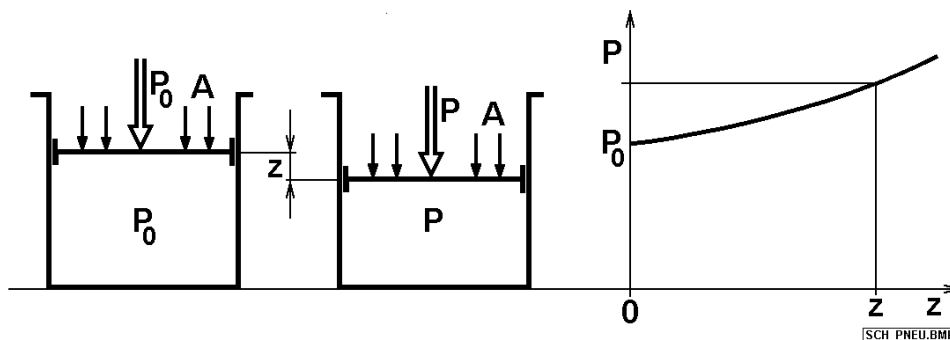
TUHOŠŤ VYPRUŽENIA VO ZVISLOM SMERE, AK BLOK MÁ "n" LAMIEL:

$$k = \frac{2 \cdot P}{n \cdot z}$$

$$k = \frac{2 \cdot F_z}{n \cdot v} \cdot \left[G \cdot \left(\cos^2 \alpha + \frac{\sin^2 \alpha \cdot \sin^2 \beta}{\cos \beta} \right) + E \cdot \sin^2 \alpha \right]$$



PRINCIPIÁLNA SCHÉMA PNEUMATICKÉHO VYPRUŽENIA



VÝPOČTOVÁ SCHÉMA A CHARAKTERISTIKA PNEUMATICKÉHO VYPRUŽENIA

$$P = (p - A) \cdot F ; P_0 = (p_0 - A) ; V = V_0 - F \cdot z$$

$$p = \frac{P + A \cdot F}{F} ; p_0 = \frac{P_0 + A \cdot F}{F} ; \frac{dV}{dz} = -F$$

p - absolútny tlak vzduch v pružine,
 A - atmosférický tlak.

Pri polytropickej stavovej zmene platí:

$$p \cdot V^n = p_0 \cdot V_0^n = \text{konšt.} = k_0 \Rightarrow p = k_0 \cdot V^{-n} \Rightarrow k_0 = p \cdot V^n$$

$$V = \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{n}} \cdot V_0 \Rightarrow V^{-1} = \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{n}} \cdot V_0^{-1}$$

Tuhosť pneumatickej pružiny:

$$k = \frac{dP}{dV} = F \cdot \frac{dp}{dz} = F \cdot \frac{dp}{dV} \cdot \frac{dV}{dz}$$

$$\frac{dp}{dV} = -n \cdot k_0 \cdot V^{-(n-1)} = -n \cdot p \cdot V^n \cdot V^{-(n-1)} = -n \cdot p \cdot V^{-1}$$

Po dosadení do výrazu pre tuhosť:

$$k = n \cdot p \cdot F^2 \cdot V^{-1} = n \cdot p \cdot \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{n}} \cdot V_0^{-1} \cdot F^2 = n \cdot p^{\frac{1+n}{n}} \cdot p_0^{-\frac{1}{n}} \cdot V_0^{-1} \cdot F^2$$

$$k = n \cdot F \cdot (P + A \cdot F)^{\frac{n+1}{n}} \cdot (P_0 + A \cdot F)^{\frac{1}{n}} \cdot V_0^{-1}$$

teda tuhosť pružiny s rastúcim zaťažením rastie.

Závislosť deformácie na zaťažujúcej sile je:

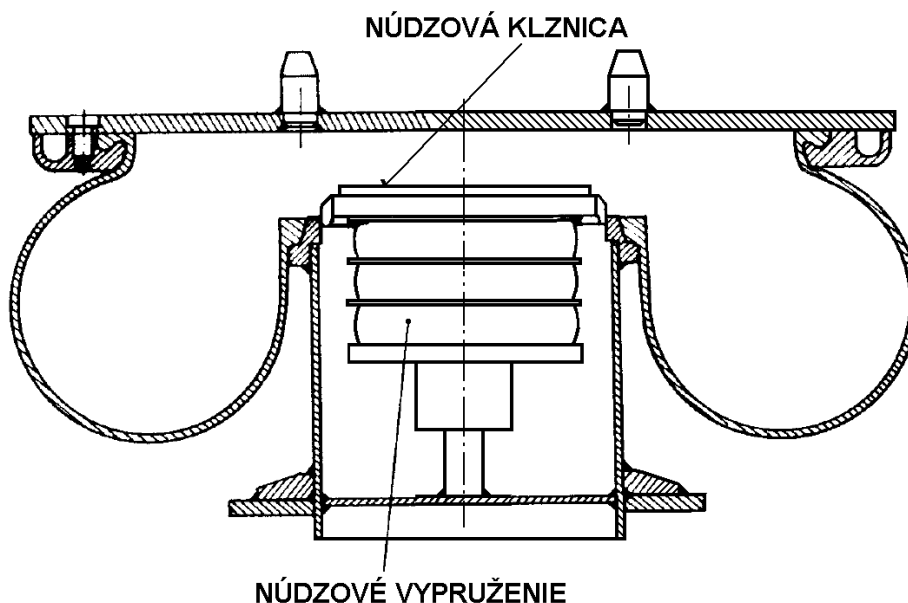
$$z = \frac{V_0 - V}{F} = \frac{V_0}{F} \cdot \left[1 - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{n}} \right] = \frac{V_0}{F} \cdot \left[1 - \left(\frac{P_0 + A \cdot F}{P + A \cdot F} \right)^{\frac{1}{n}} \right]$$

Vzťahy boli odvodené za predpokladu **F = konšt.** V skutočnosti ale plocha **F** nezostáva pri deformáciách konštantná. Zavádza sa pojem “efektívna plocha F_{ef} ”, pre ktorú platí:

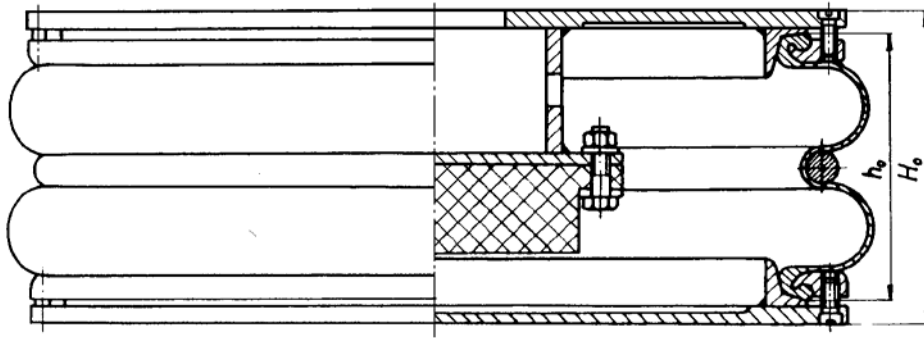
$$F_{ef}(0) = P_0 / (p_0 - A) ; F_{ef}(z) = P / (p - A) .$$

Efektívna plocha v závislosti na stlačení sa dá zistiť experimentálne. Potom pre tuhosť pneumatickej pružiny platí:

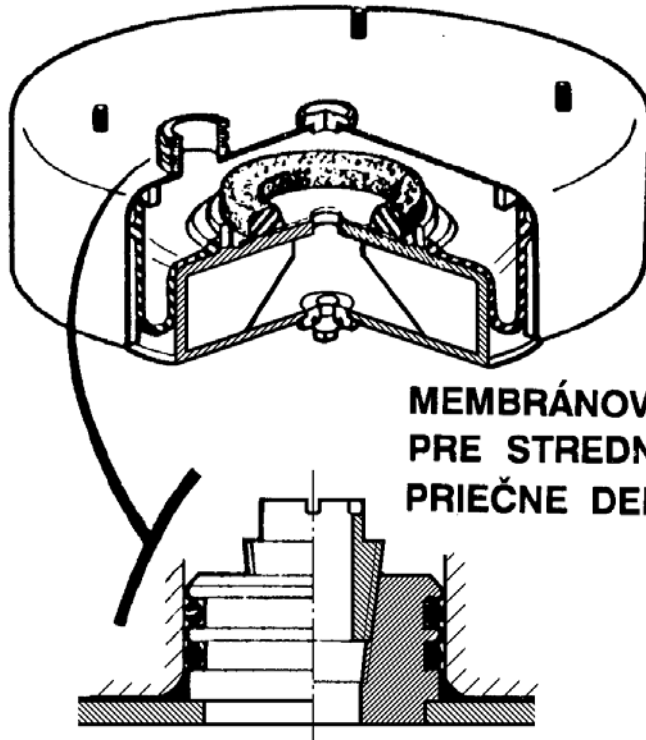
$$k = \frac{dP}{dV} = F_{ef} \cdot \frac{dp}{dz} + (p - A) \cdot \frac{dF_{ef}}{dz} .$$



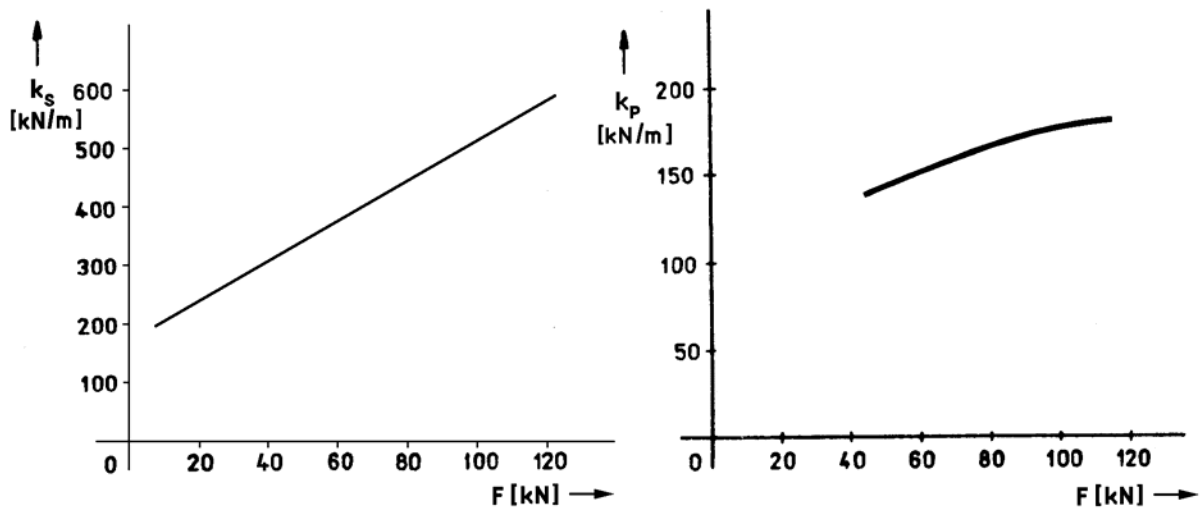
MEMBRÁNOVÁ PNEUMATICKÁ PRUŽINA



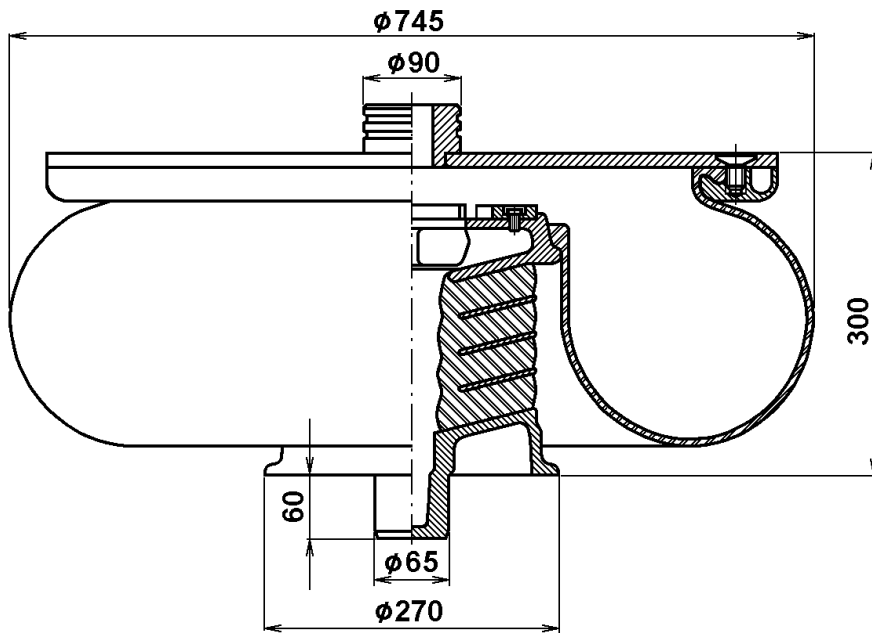
VLNOVCOVÁ PNEUMATICKÁ PRUŽINA



MEMBRÁNOVÁ PRUŽINA
 PRE STREDNE VEĽKÉ
 PRIEČNE DEFORMÁCIE



PRIEBEHY ZVISLEJ k_s A PRIEČNEJ k_p TUHOSTI
 MEMBRÁNOVEJ PRUŽINY CONTINENTAL 684 N4.100
 V ZÁVISLOSTI NA ZVISLOM ZAŤAŽENÍ



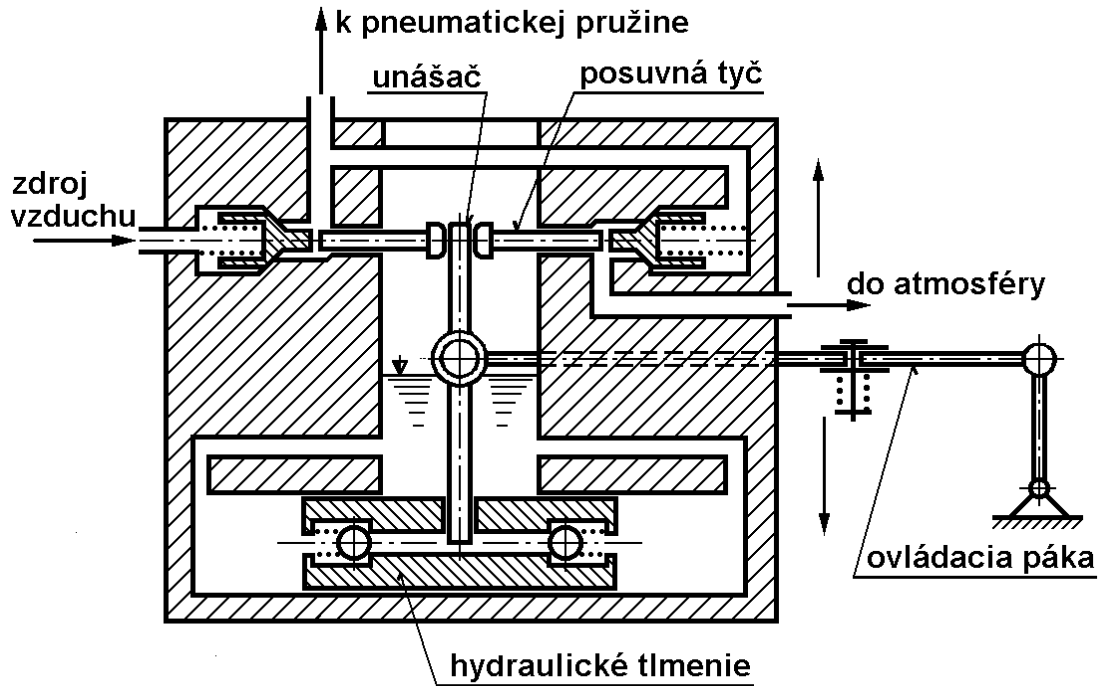
MEMBRÁNOVA PNEUMATICKÁ PRUŽINA LM9136 (Metalastik)



PNEUMATICKÁ MEMBRÁNOVA PRUŽINA S
 INTEGROVANÝM PRÍDAVNÝM VZDUCHOJEMOM

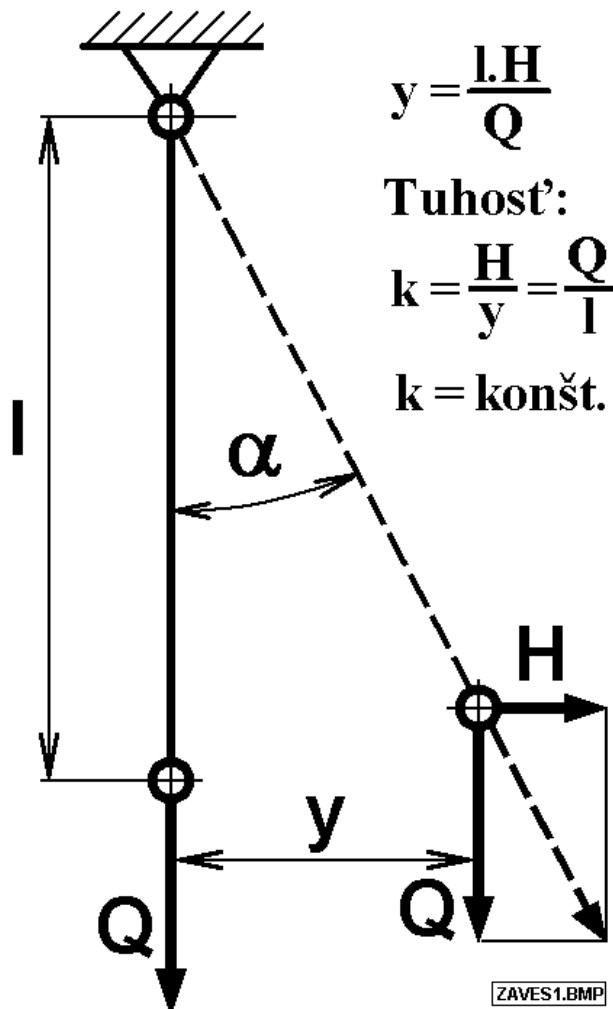


PODVOZOK S PNEUMATICKÝM VYPRUŽENÍM



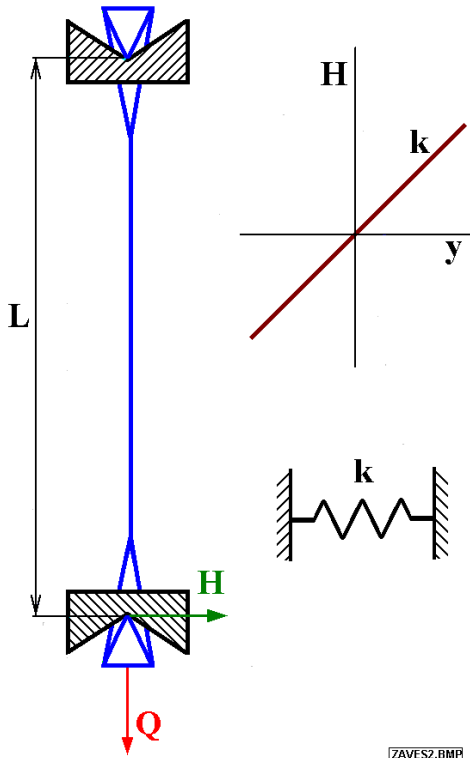
REG_VYPR.BMP

SCHÉMA RIADIACEHO VENTILU PNEUMATICKÉHO VYPRUŽENIA

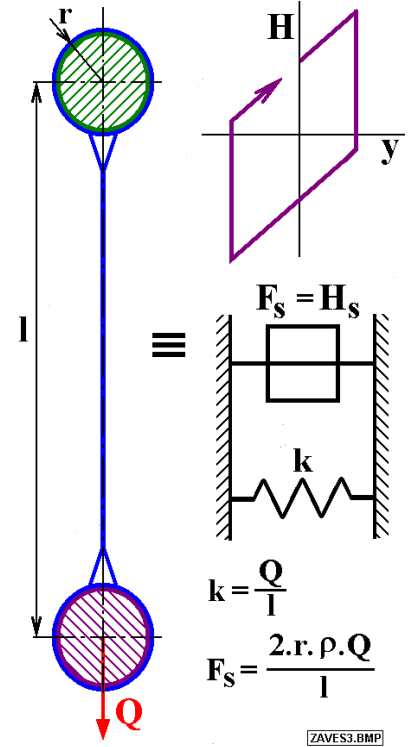


ZAVES1.BMP

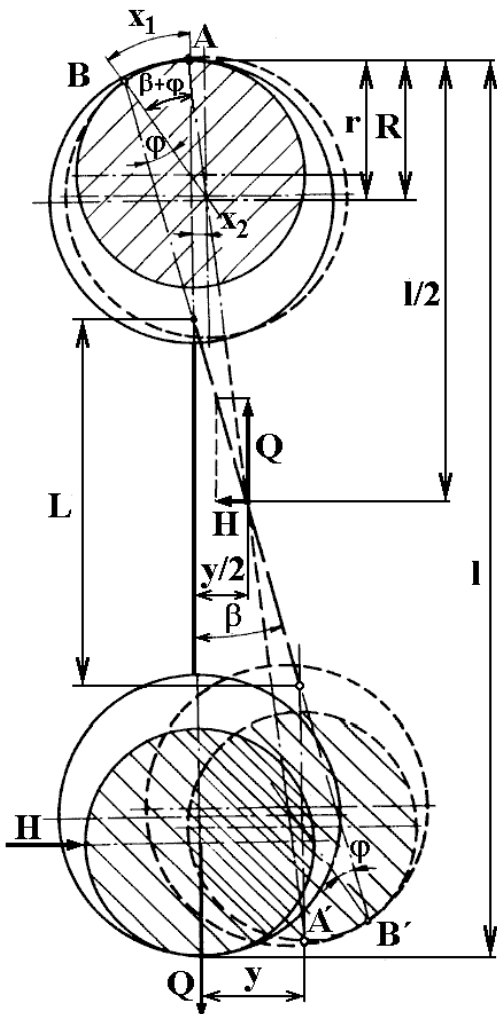
TEORETICKÁ (IDEALIZOVANÁ) ZÁVESKA



ZÁVESKA S BRITOM



ZÁVESKA S ČAPOM BEZ VÔLE
 (D- súčiniteľ čapového trenia)



PLOCHÁ ZÁVESKA S VÔĽOU

PLOCHÁ ZÁVESKA S VÔĽOU

Pre redukovanú dĺžku závesky L platí:

$$\frac{L}{y} = \frac{\frac{l}{2}}{\frac{y}{2} + x_1}$$

Ďalej platí:

$$\frac{x_1}{x_2} \doteq \frac{r}{R-r}; \quad \frac{x_2}{R} \doteq \frac{y}{l} \Rightarrow x_2 = \frac{R \cdot y}{l}$$

odtiaľ:

$$x_1 \doteq \frac{R \cdot r}{R-r} \cdot \frac{y}{l}$$

Vzťah medzi dĺžkou l a redukovanou dĺžkou L závesky potom je:

$$l = L \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot R \cdot r}{l \cdot (R-r)} \right]$$

Tuhosť závesky je:

$$k = \frac{Q}{L} = \frac{Q}{l} \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot R \cdot r}{l \cdot (R - r)} \right].$$

Tento vzťah platí do určitej medznej výchylky $y = L \cdot \beta$, pri ktorej ešte nedôjde k preklzu. Uhol vychýlenia je obmedzený medzným uhlom φ , ktorým je trecí uhol μ . Pre uhol φ a uhol vychýlenia β platí:

$$\varphi + \beta = \frac{x_l}{r}.$$

Z náčrtku a predchádzajúcich vzťahov vyplýva:

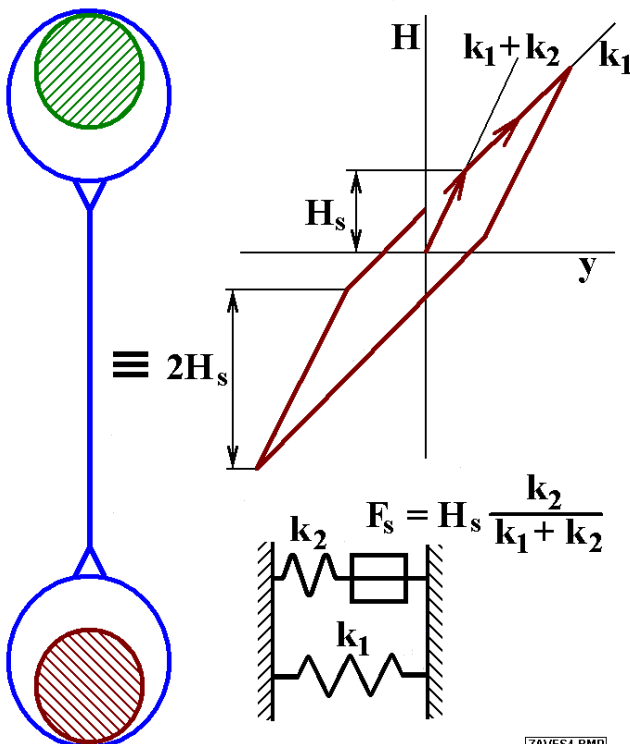
$$\beta \doteq \frac{y}{L} \Rightarrow y \doteq L \cdot \beta.$$

$$x_l \doteq r \cdot (\varphi + \beta); \quad x_l \doteq \frac{R \cdot r}{R - r} \cdot \frac{\beta}{1 + \frac{2 \cdot R \cdot r}{l \cdot (R - r)}} \Rightarrow \beta = \varphi \cdot \frac{(R - r) \cdot l + 2 \cdot R \cdot r}{r \cdot (l - 2 \cdot R)}.$$

Z rovnováhy pri preklze vyplýva sila, pri ktorej dôjde k preklzu:

$$H_s = Q \cdot \beta_s = Q \cdot \rho \cdot \frac{(R - r) \cdot l + 2 \cdot R \cdot r}{r \cdot (l - 2 \cdot R)}.$$

Pri preklze sa oko natáča okolo stredu čapu a platí tu:



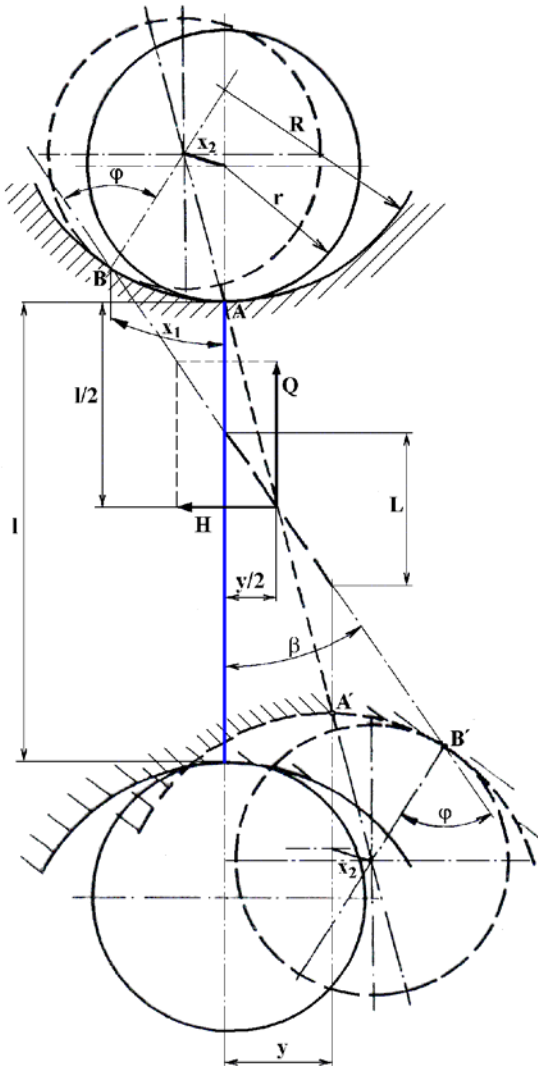
$$\frac{H}{Q} \doteq \frac{\frac{y}{2}}{\frac{l}{2} - r} = \frac{y}{l - 2 \cdot r}.$$

Potom tuhosť závesky pri preklzovaní je:

$$k_1 = \frac{H}{y} = \frac{Q}{l - 2 \cdot r}.$$

Plochú závesku je možné nahradiť sústavou skladajúcou sa z pružiny s tuhosťou k_1 a s ňou paralelne zaradenou pružinou s tuhosťou k_2 a s ňou do série zapojeného trecieho tmiča s trecou silou F_s :

$$F_s = H_s \cdot \frac{k_2}{k_1 + k_2}.$$



HRANÍKOVÁ ZÁVESKA

HRANÍKOVÁ ZÁVESKA

Platí:

$$x_1 \doteq \frac{R \cdot r}{R - r} \cdot \frac{y}{l}$$

Vzťah medzi dĺžkou l a redukovanou dĺžkou L závesky potom je:

$$L = \frac{l}{l + \frac{2 \cdot R \cdot r}{l \cdot (R - r)}}$$

Tuhosť hraníkovej závesky je:

$$k = \frac{Q}{L} = \frac{Q}{l} \left[l + \frac{2 \cdot R \cdot r}{l \cdot (R - r)} \right]$$

Tento vzťah platí do určitej medznej výchylky $y = L \cdot \beta$, pri ktorej ešte nedôjde k preklzu. Uhol vychýlenia je obmedzený medzným uhlom α , ktorým je trecí uhol μ . Pre uhol α a uhol vychýlenia β platí:

$$\alpha - \beta = \frac{x_1}{R}$$

Z náčrtku a predchádzajúcich vzťahov vyplýva:

$$\beta \doteq \frac{y}{L} \Rightarrow y \doteq L \cdot \beta$$

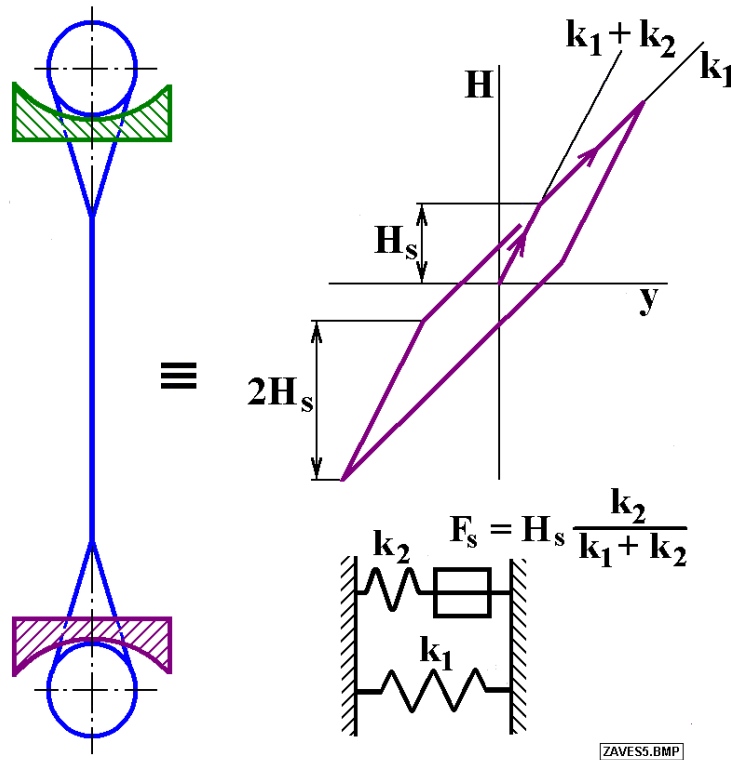
$$x_1 \doteq R \cdot (\alpha - \beta); \quad x_1 \doteq \frac{R \cdot r}{R - r} \cdot \frac{\beta}{l + \frac{2 \cdot R \cdot r}{l \cdot (R - r)}} \Rightarrow \beta = \alpha \cdot \frac{(R - r) \cdot l + 2 \cdot R \cdot r}{R \cdot (l + 2 \cdot r)}$$

Z rovnováhy pri preklze vyplýva sila, pri ktorej dôjde k preklzu:

$$H_s = Q \cdot \beta_s = Q \cdot \alpha \cdot \frac{(R - r) \cdot l + 2 \cdot R \cdot r}{R \cdot (l + 2 \cdot r)}$$

Potom tuhosť závesky pri preklzovaní je:

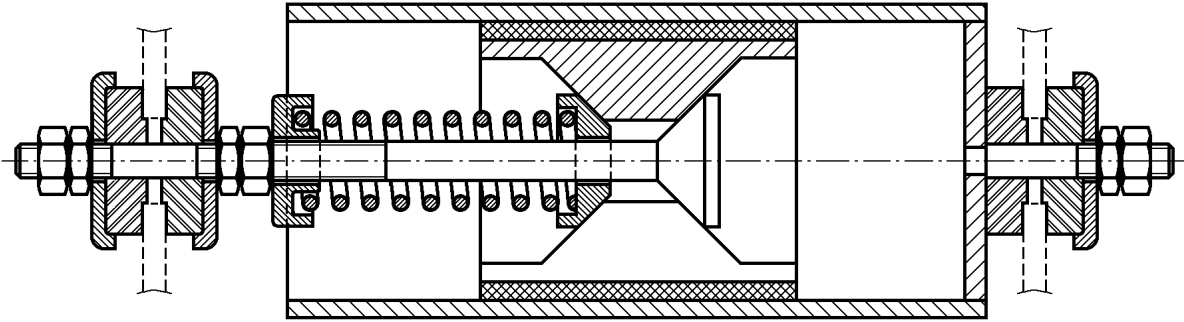
$$k_l = \frac{H}{y} = \frac{Q}{l + 2 \cdot R}$$



NÁHRADNÁ SCHÉMA A CHARAKTERISTIKA
 HRANÍKOVEJ ZÁVESKY

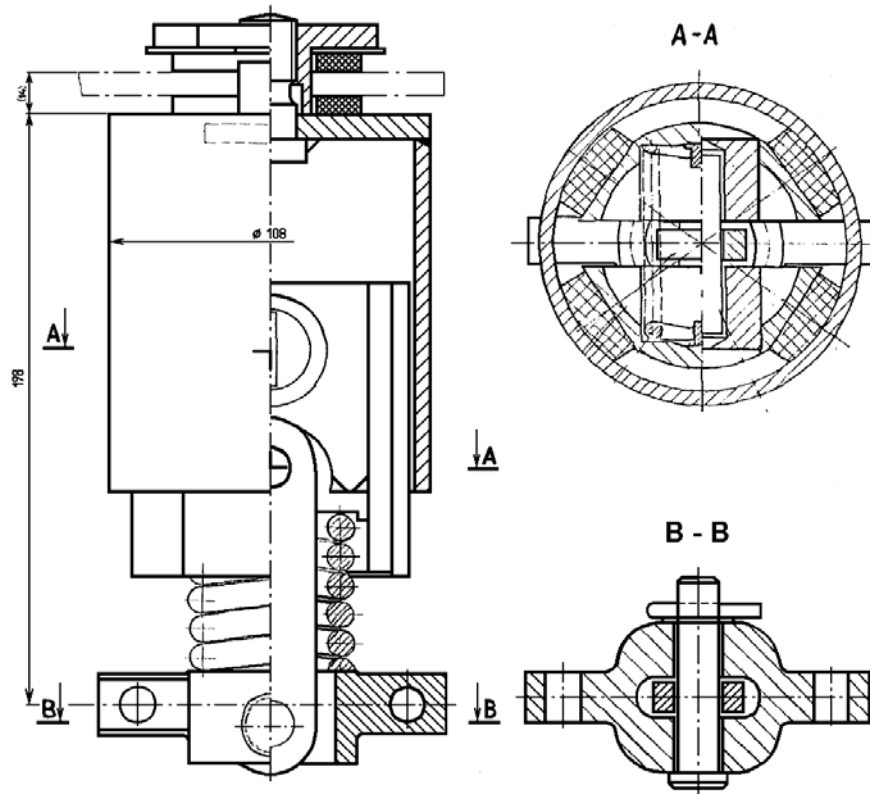
Plochú závesku je možné nahradiť sústavou skladajúcou sa z pružiny s tuhosťou k_1 a s ňou paralelne zaradenou pružinou s tuhosťou k_2 a s ňou do série zapojeného trecieho tlmiča s trecou silou F_s :

$$F_s = H_s \cdot \frac{k_2}{k_1 + k_2}$$

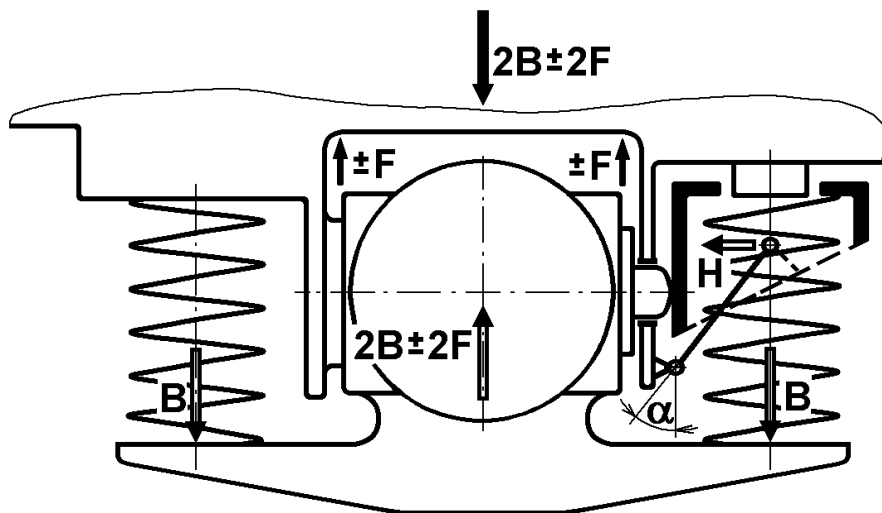


TREC.TLM.BMP

TRECÍ TELESKOPICKÝ TLMIČ

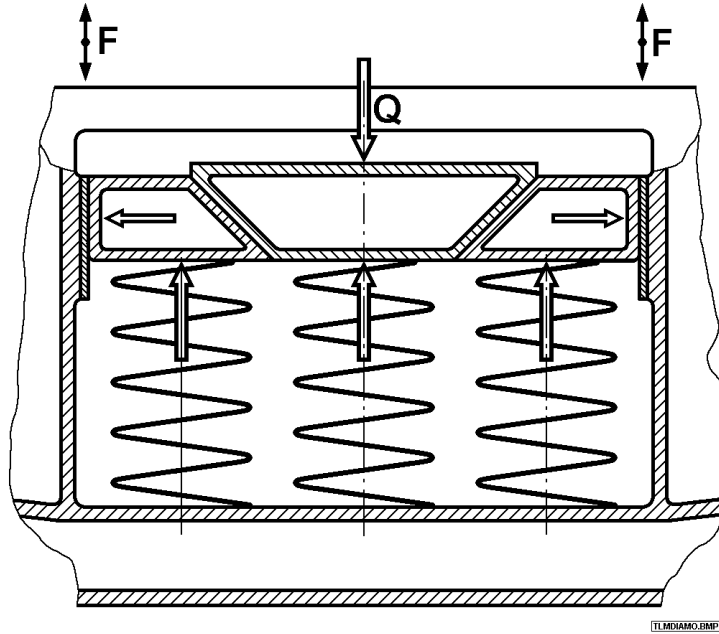


TELESKOPICKÝ TRECÍ TLMIČ PODVOZKU GP 200
 Max. zdvih ± 38 mm, tmiaca sila 1,2 kN



TLMY25.BMP

PRINCÍP TRECIEHO TLMIČA PODVOZKU Y25



TRECÍ TELESKOPICKÝ TLMIČ - DIAMOND

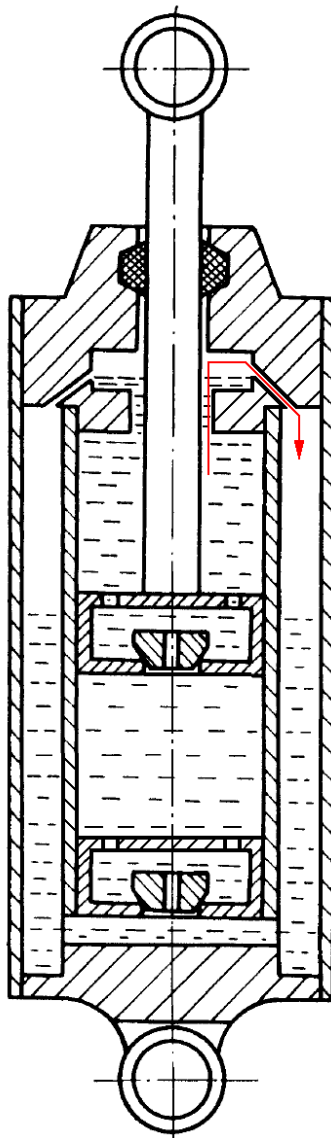
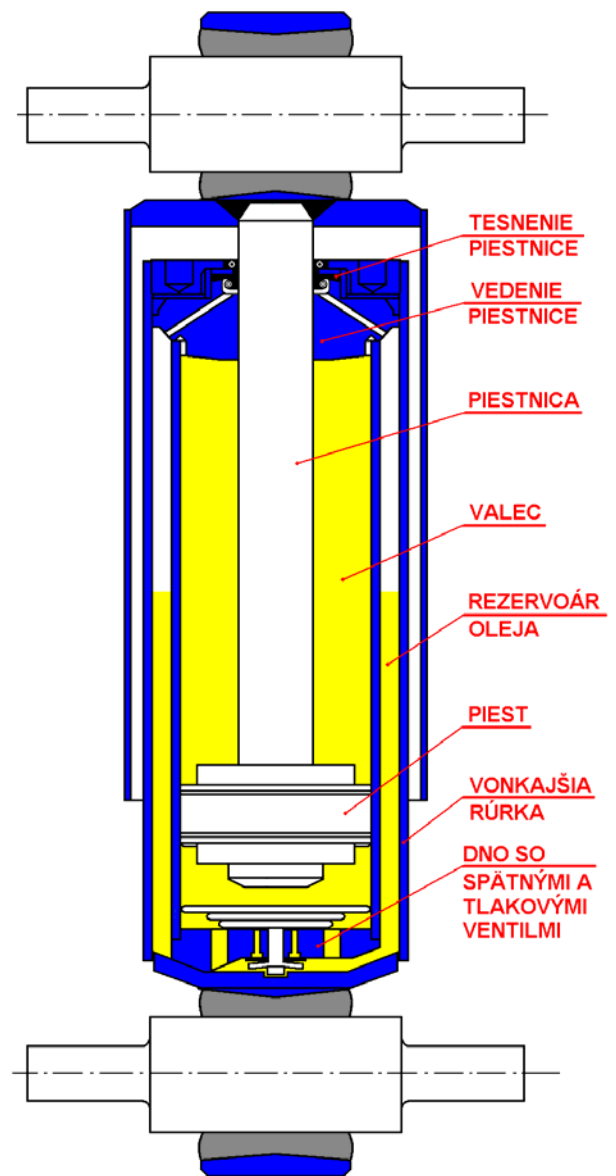
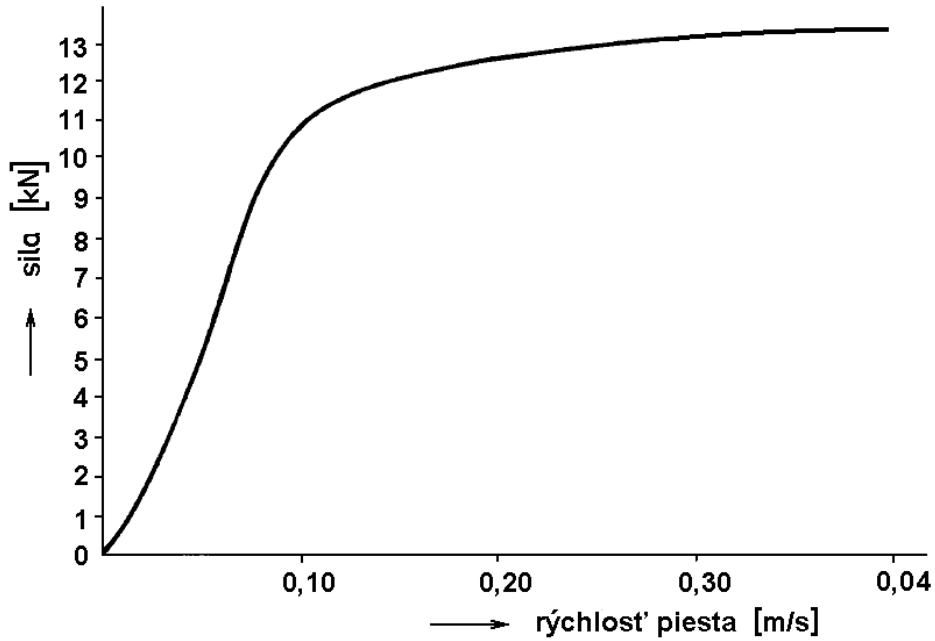


SCHÉMA HYDRAULICKÉHO TLMIČA



HYDRAULICKÝ TLMIČ



PRÍKLAD CHARAKTERISTIKY VISKÓZNEHO TLMIČA

Minimálna L_1 a maximálna L_2 vzdialenosť ôk tmiča je:

$$L_1 = k_z + z; \quad L_2 = k_z + 2 \cdot z$$

kde k_z je dĺžková konštanta tmiča,
 z je veľkosť zdvihu tmiča.