



FAKULTA STROJNÍ
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI

Katedra konstruování
strojů
Fakulta strojní

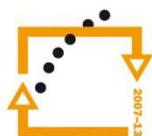
KKS/ KVS, KOS

Vedení kluzná - příklady

Zdeněk Hudec



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

verze - 1.0

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky

Hledáte kvalitní studium?

Nabízíme vám jej na Katedře konstruování strojů

Katedra konstruování strojů je jednou ze šesti kateder Fakulty strojní na Západočeské univerzitě v Plzni a patří na fakultě k největším. Fakulta strojní je moderní otevřenou vzdělávací institucí uznávanou i v oblasti vědy a výzkumu uplatňovaného v praxi.

Katedra konstruování strojů disponuje moderně vybavenými laboratořemi s počítačovou technikou, na které jsou např. studentům pro studijní účely neomezeně k dispozici nové verze předních CAD (Pro/Engineer, Catia, NX) a CAE (MSC Marc, Ansys) systémů. Laboratoře katedry jsou ve všední dny studentům plně k dispozici např. pro práci na semestrálních, bakalářských či diplomových pracích, i na dalších projektech v rámci univerzity apod.

Kvalita výuky na katedře je úzce propojena s celouniverzitním systémem hodnocení kvality výuky, na kterém se průběžně, zejména po absolvování jednotlivých semestrů, podílejí všichni studenti.

V současné době probíhá na katedře konstruování strojů významná komplexní inovace výuky, v rámci které mj. vznikají i nové kvalitní učební materiály, které budou v nadcházejících letech využívány pro podporu výuky. Jeden z výsledků této snahy máte nyní ve svých rukou.

V rámci výuky i mimo ni mají studenti možnost zapojit se na katedře také do spolupráce s předními strojírenskými podniky v plzeňském regionu i mimo něj. Řada studentů rovněž vyjíždí na studijní stáže a praxe do zahraničí.

Nabídka studia na katedře konstruování strojů:

Bakalářské studium (3roky, titul Bc.)		
Studijní program	B2301: strojní inženýrství („zaměřený univerzitně“)	B2341: strojírenství (zaměřený „profesně“)
Zaměření	Stavba výrobních strojů a zařízení Dopravní a manipulační technika	Design průmyslové techniky Diagnostika a servis silničních vozidel Servis zdravotnické techniky
Magisterské studium (2roky, titul Ing.)		
Studijní program	N2301: Strojní inženýrství	
Zaměření	Stavba výrobních strojů a zařízení Dopravní a manipulační technika	

Více informací naleznete na webech www.kks.zcu.cz a www.fst.zcu.cz
Západočeská univerzita v Plzni, 2012

ISBN 978-80-261-0394-3

© doc. Ing. Zdeněk Hudec, CSc.

Předmluva

Předkládaná publikace slouží jako text pro studium předmětů KVS a KOS strojní fakulty. Je zaměřena na konstrukci kluzných vedení obráběcích strojů.

Text je členěn na 4 kapitoly:

- V první kapitole jsou porovnány provozní vlastnosti kluzného vedení s vedením valivým a hydrostatickým
- Druhá kapitola se zabývá účinností a samosvorností vedení
- Třetí kapitola se zabývá výpočtem kluzného vedení s hranolovými plochami. Výpočet zahrnuje transformaci sil do souřadnic vedení a stanovení měrných tlaků
- Čtvrtá kapitola se zabývá výpočtem kluzného vedení kruhového tvaru. Zahrnuje výpočet měrných tlaků a třecích sil ve vedení.

OBSAH

1 Porovnání provozních vlastností kluzného vedení s vedením hydrostatickým a valivým.....	1
2 Účinnost a samosvornost vedení.....	2
3 Výpočet vedení s hranolovými plochami.....	4
3.1 Transformace sil do soustavy souřadnic vedení	4
3.2 Zatížení jednotlivých párů vedení.....	8
3.3 Měrné tlaky ve vedení zatíženého silou F a momentem M	9
3.3.1 Pár vodicích ploch s rozdílnou šířkou b_1 , b_2	9
3.3.1.1 Zatížení obou ploch vedení b_1 a b_2	10
Zatížení $M>0$, $F>0$, $F<0$	10
Zatížení $M<0$, $F>0$, $F<0$	13
Zatížení $F=0$, $M>0$, $M<0$	14
Zatížení $F=0$, $M>0$	14
Zatížení $F=0$, $M<0$	14
3.3.1.2 Zatížení jedné z ploch vedení (b_1 nebo b_2).....	15
Zatížení $F>0$, $M>0$, $M<0$	15
Zatížení $F<0$, $M>0$, $M<0$	15
3.3.2 Pár vodicích ploch se shodnou šířkou b	16
4 Výpočet vedení kruhového tvaru	23
4.1 Měrné tlaky ve vedení.....	24
4.2 Třecí síla ve vedení	25
SEZNAMY	2
Seznam příkladů	2
Seznam obrázků	2
Seznam tabulek	2
Seznam použité literatury	2
Firemní literatura (katalogy, www.).....	2

1 Porovnání provozních vlastností kluzného vedení s vedením hydrostatickým a valivým

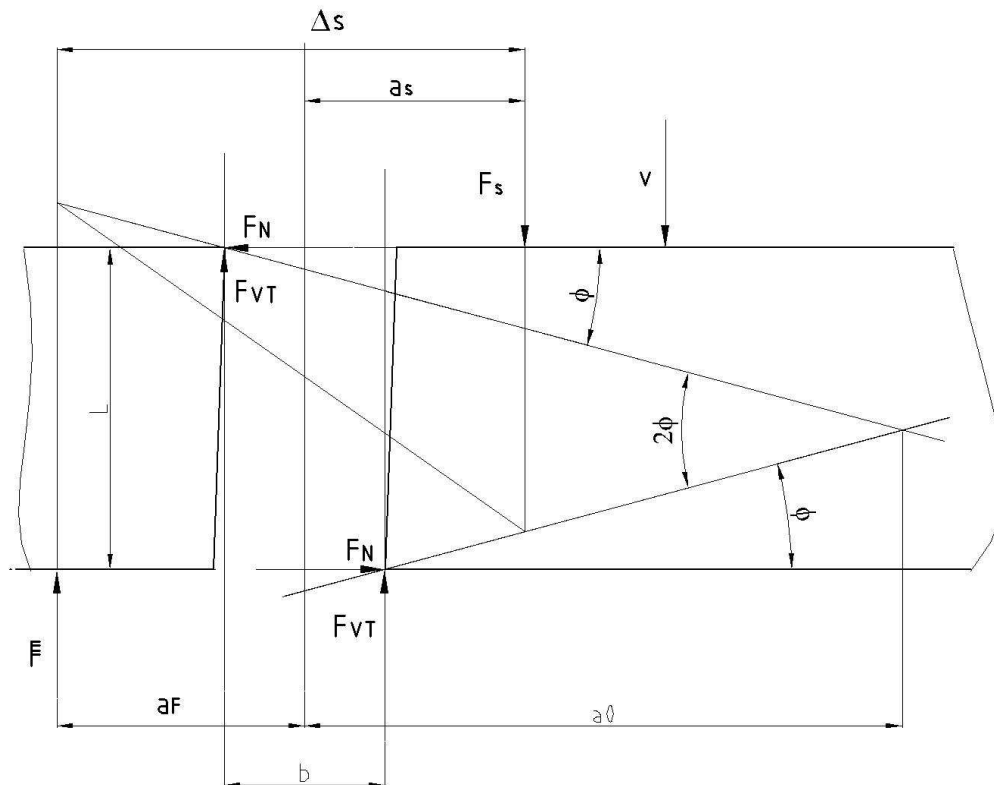
Tab. 1 – Provozní vlastnosti materiálů používaných pro kluznou dvojici.

Kratší plocha	Delší plocha	Únosnost plochy (dovolený tlak při pohybu) p_D	Max. rychlost v	Součinitel p_v	Součinitel tření	Příklady užití
		MPa	m/s	W/mm ²	-	
litina	ocel, litina	10	0,05		0,15	Pinoly, smykadla
Biplast, Turcite	litina, ocel kalená	2	0,2		0,04-0,08	Saně - lože
Permaglide® P1, P2 [2]	ocel kalená	60-140 10-60	0,001-0,005 0,005-0,05	1,8-2	0,05	Axiální a radiální ložiska, přímočará vedení
Bronz	litina, ocel kalená	6	0,05		0,15	Příčné saně soustruhu
Ocel kalená	ocel kalená	20 - 40	0,05		0,15	Čelisti upínací

Tab. 2 – Součinitel tření a únosnost valivého a hydrostatického vedení

Vedení		Statická bezpečnost $S_0 = \frac{C_0}{P_0}$	Únosnost plochy	Max. rychlost v	Součinitel tření	Příklady užití
			MPa	m/s	-	
Valivé	Tanky, předepnutá valivá vedení	3 - 20	8-10	1 - 5	0,002 – 0,0045	Pinoly, smykadla, saně -lože
Hydrostatické			2 - 10	3	0,0005 – 0,001	Pinoly, smykadla, saně -lože

2 Účinnost a samosvornost vedení



Obr. 1 – Účinnost a samosvornost vedení

- L [m] délka vedení
 b [m] šířka vedení
 $f_v = tg\varphi$ součinitel tření
 φ úhel tření
 F_s [N] hnací síla
 F [N] zatěžující síla
 a_s vzdálenost hnací síly od vedení
 a_F vzdálenost zatížení od vedení
 Δs vzdálenost sil
 F_{VT} [N] třecí síla ve vedení
 F_N [N] normální složka reakce vedení
 η účinnost vedení
 a_0 mez samosvornosti vedení

$$F + 2F_{VT} - F_s = 0 \quad (1)$$

$$F_{VT} = F_N * f_v \quad (2)$$

$$F_s * \Delta_s - F_{VT} * 2a_F - F_N * L = 0 \quad (3)$$

$$F_s * \eta = F \quad (4)$$

$$L = 2a_0 * tg\varphi$$

Z tohoto vztahu následně vyplývá:

$$a_0 = \frac{L}{2 \operatorname{tg} \varphi} = \frac{L}{2 * f_v} \dots \dots \dots (5)$$

Z těchto vztahů se poté stanoví účinnost vedení:

$$\eta = \frac{\frac{L}{2 * f_v} + a_F - \Delta_s}{\frac{L}{2 * f_v} + a_F} = \frac{a_0 + a_F - \Delta_s}{a_0 + a_F} \dots \dots \dots (6)$$

Po dosazení $a_F - \Delta_s = -a_s$:

$$\eta = \frac{a_0 - a_s}{a_0 + a_F}$$

Vedení je samosvorné, pokud $\eta \leq 0$ - tj. pro $a_s \geq a_0$.

Pozn.: Celková účinnost vedení závisí taktéž na dalších parametrech (klopné momenty), které jsou v předchozích výrazech zanedbány (viz kap. 3).

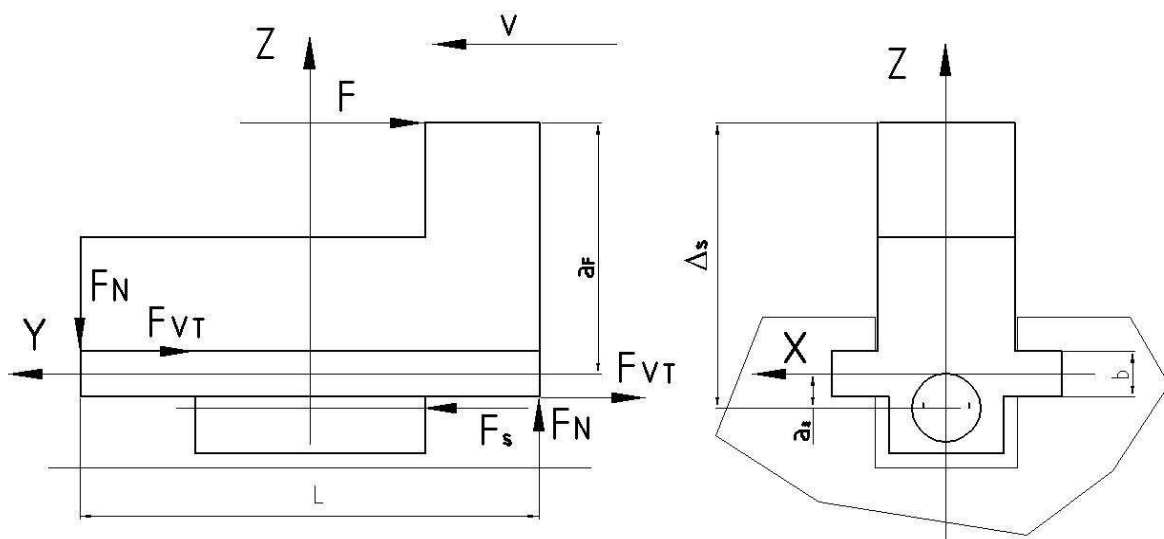
Př.: 1 – Účinnost vedení upínací čelisti

Dáno:

Délka vedení	$L = 200 \text{ mm}$
Šířka vedení	$b = 15 \text{ mm}$
Součinitel tření	$f_v = 0,2$
Vzdálenost hnací síly od zatížení	$\Delta_s = 125 \text{ mm}$
Vzdálenost zatížení od vedení	$a_F = 110 \text{ mm}$
Zatížení	$F = 150 \text{ kN}$

Stanovit:

- mez samosvornosti vedení
- účinnost vedení
- hnací sílu



Obr. 2 – Vedení upínací čelisti.

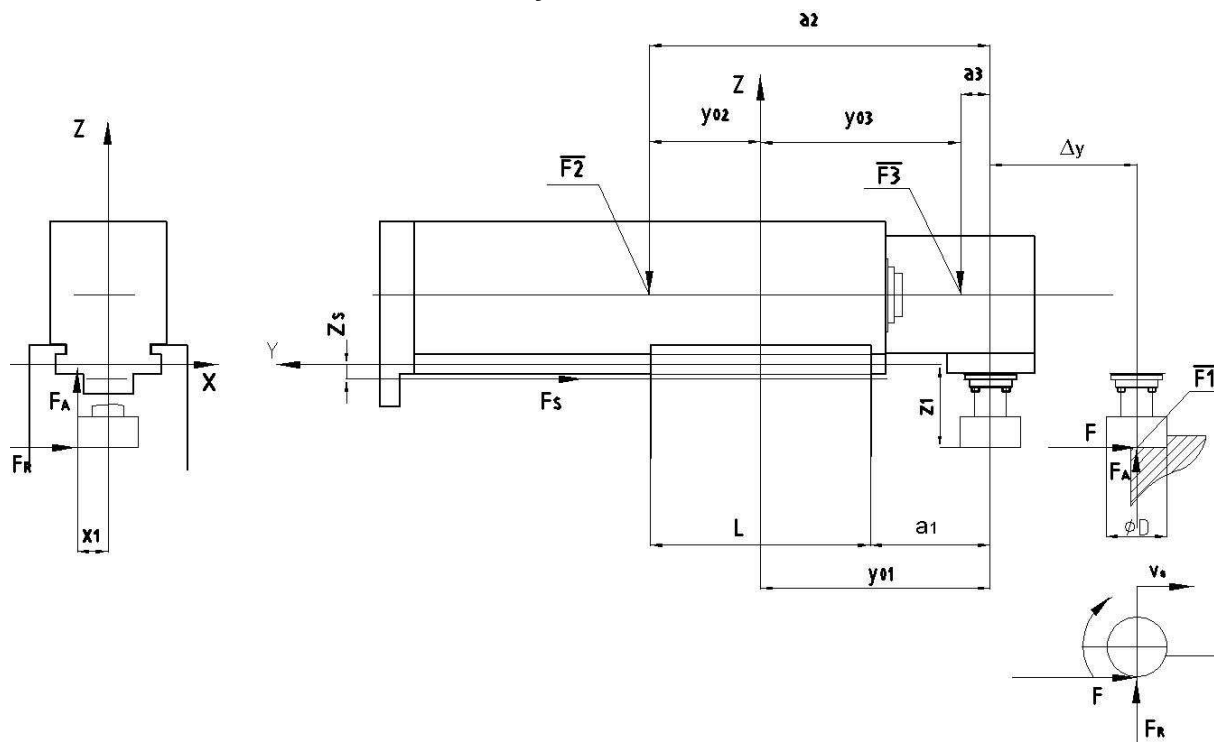
Ze vztahu $a_0 = \frac{L}{2 \operatorname{tg} \varphi} = \frac{L}{2 * f_v} \dots\dots\dots (5)$

$$\eta = \frac{\frac{L}{2 * f_v} + a_F - \Delta_s}{\frac{L}{2 * f_v} + a_F} = \frac{a_0 + a_F - \Delta_s}{a_0 + a_F} \dots\dots\dots (6) \text{ a z } F_s * \eta = F \dots\dots\dots (4)$$

$a_0 = 0,5 \text{ m}$
$\eta = 0,795$
$F_s = 188 \text{ kN}$

3 Výpočet vedení s hranolovými plochami

3.1 Transformace sil do soustavy souřadnic vedení



Obr. 3 – Vedení smýkadla - transformace sil

Transformace sil působících na těleso do počátku souřadnic spoje (X, Y, Z) se provádí pro $i = 1, 2 \dots n$ takto:

- určením vektoru polohy sil

$$r_i = x_i \quad y_i \quad z_i \dots\dots\dots (7)$$

$$r_S = x_S \quad 0 \quad z_S \dots\dots\dots (8)$$

- určením vektorů sil

➤ vnější síly

$$F_i = F_{xi} \quad F_{yi} \quad F_{zi} \dots\dots\dots (9)$$

➤ hnací síla

$$F_s = 0 \quad \frac{-\sum F_{yi}}{\eta_v} \quad 0 \dots\dots\dots (10)$$

Kde η_v je odhad účinnosti vedení.

Tab. 3 – Celková účinnost vedení

Typ vedení	Účinnost vedení η_v	Pozn.
➤ hranolové plochy	0,5	
➤ trojboké plochy	0,3	Rybinovité vedení

- určením vektorů momentu v počátku souřadnic spoje (X, Y, Z):

$$M_i = r_i \times F_i \dots\dots\dots (11)$$

$$M_S = r_S \times F_S \dots\dots\dots (12)$$

Výpočet se provádí takto:

$$M_i = M_{ix} \quad M_{iy} \quad M_{iz} \dots\dots\dots (13)$$

$$M_{ix} = \text{determinant} \begin{vmatrix} y_i & z_i \\ F_{yi} & F_{zi} \end{vmatrix} \dots\dots\dots (14)$$

$$M_{iy} = \text{determinant} \begin{vmatrix} z_i & x_i \\ F_{zi} & F_{xi} \end{vmatrix} \dots\dots\dots (15)$$

$$M_{iz} = \text{determinant} \begin{vmatrix} x_i & y_i \\ F_{xi} & F_{yi} \end{vmatrix} \dots\dots\dots (16)$$

$$M_S = M_{Sx} \quad M_{Sy} \quad M_{Sz} \dots\dots\dots (17)$$

$$M_{Sx} = \text{determinant} \begin{vmatrix} 0 & z_S \\ F_S & 0 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (18)$$

$$M_{Sy} = \text{determinant} \begin{vmatrix} z_S & x_S \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (19)$$

$$M_{Sz} = \text{determinant} \begin{vmatrix} x_S & 0 \\ 0 & F_S \end{vmatrix} \dots\dots\dots (20)$$

- stanovením celkových vektorů sil a momentů v počátku souřadnic spoje (X, Y, Z):

$$F_c = F_S + \sum_1^n F_i \dots\dots\dots (21)$$

$$M_c = M_S + \sum_1^n M_i \dots\dots\dots (22)$$

Př.: 2 – Transformace sil do souřadné soustavy vedení smykadla

Dáno:

Počáteční vyložení osy nástroje na okraj vedení	$a_1 = 245 \text{ mm}$
Poloha těžiště fréz. zařízení	$a_2 = 700 \text{ mm}$
Poloha těžiště vřeteníku	$a_3 = 60 \text{ mm}$

Tíha vřeteníku	$F_{Q1} = 1\ 600\ N$
Tíha fréz. zařízení	$F_{Q2} = 1\ 000\ N$
Délka vedení	$L = 450\ mm$
Max. zdvih vřeteníku	$\Delta y = -300\ mm$
Síly na fréze:	
• Obvodová	$F = 3\ 300\ N$
• Radiální	$F_R = 2\ 600\ N$
• Axiální	$F_{Ax} = 2\ 000\ N$
Průměr frézy	$D = 125\ mm$
Souřadnice	$x_1 = -0,5 D = -62,5\ mm$
	$z_1 = -170\ mm$
	$z_S = -30\ mm$
Účinnost vedení	$\eta_v = 0,5$

Obr. 3 – Vedení smýkadla - transformace sil

Stanovit:

- vektor síly a momentu v počátku souřadnic

Z Obr. 3 jsou zřejmé souřadnice ve směru Y pro max. výsuv smýkadla:

- počáteční hodnoty

$$y_{01} = -\left(\frac{L}{2} + a_1\right)$$

$$y_{02} = (y_{01} + a_2)$$

$$y_{03} = (y_{01} + a_3)$$

$y_{01} = -470\ mm$
$y_{02} = 230\ mm$
$y_{03} = -410\ mm$

- při max. výsuvu smýkadla

$$y_i = y_{0i} + \Delta y$$

$y_1 = -770\ mm$
$y_2 = -70\ mm$
$y_3 = -710\ mm$

Dle

$$\mathbf{r}_i = x_i \quad y_i \quad z_i \dots\dots\dots (7)$$

$$\mathbf{r}_S = x_S \quad 0 \quad z_S \dots\dots\dots (8)$$

$$\mathbf{F}_i = F_{xi} \quad F_{yi} \quad F_{zi} \dots\dots\dots (9)$$

se stanoví:

Vektor polohy síly \mathbf{r}_1 a síly \mathbf{F}_1 dle Obr. 3:

Složka	x	y	z	
\mathbf{r}_1	-62,5	-770	-170	Mm
\mathbf{F}_1	2,64	-3,3	1,98	kN

Vektor polohy síly \mathbf{r}_2 a síly $\mathbf{F}_2 = 0 \quad 0 \quad -F_{Q1}$ dle Obr. 3:

Složka	x	y	z	
r_2	0	-70	0	Mm
F_2	0	0	-1,6	kN

Vektor polohy síly r_3 a síly $F_3 = 0 \ 0 \ -F_{Q_2}$ dle Obr. 3:

Složka	x	y	z	
r_3	0	-710	0	Mm
F_3	0	0	-1	kN

Vektor polohy síly r_S a síly $F_S = 0 \ F_S \ 0$ dle Obr. 3 a vztahu:

$$F_S = \begin{matrix} 0 & -\sum F_{yi} & 0 \\ & \eta_v & \end{matrix} \dots\dots\dots (10):$$

Složka	x	y	z	
r_S	0	0	-30	Mm
F_S	0	6,6	0	kN

Pro $i = 1 \dots 3$ pomocí vztahů:

$$M_{ix} = \text{determinant} \begin{matrix} y_i & z_i \\ F_{yi} & F_{zi} \end{matrix} \dots\dots\dots (14)$$

$$M_{iy} = \text{determinant} \begin{matrix} z_i & x_i \\ F_{zi} & F_{xi} \end{matrix} \dots\dots\dots (15)$$

$$M_{iz} = \text{determinant} \begin{matrix} x_i & y_i \\ F_{xi} & F_{yi} \end{matrix} \dots\dots\dots (16)$$

Obdobně:

$$M_S = M_{S_x} \ M_{S_y} \ M_{S_z} \dots\dots\dots (17)$$

$$M_{S_x} = \text{determinant} \begin{matrix} 0 & z_S \\ F_S & 0 \end{matrix} \dots\dots\dots (18)$$

$$M_{S_y} = \text{determinant} \begin{matrix} z_S & x_S \\ 0 & 0 \end{matrix} \dots\dots\dots (19)$$

$$M_{S_z} = \text{determinant} \begin{matrix} x_S & 0 \\ 0 & F_S \end{matrix} \dots\dots\dots (20)$$

se stanoví:

Složka	x	y	z	
M_1	-2 086	-325	2 239	Nm
M_2	112	0	0	Nm
M_3	710	0	0	Nm
M_S	198	0	0	Nm

Dále dle vztahů bude stanoveno:

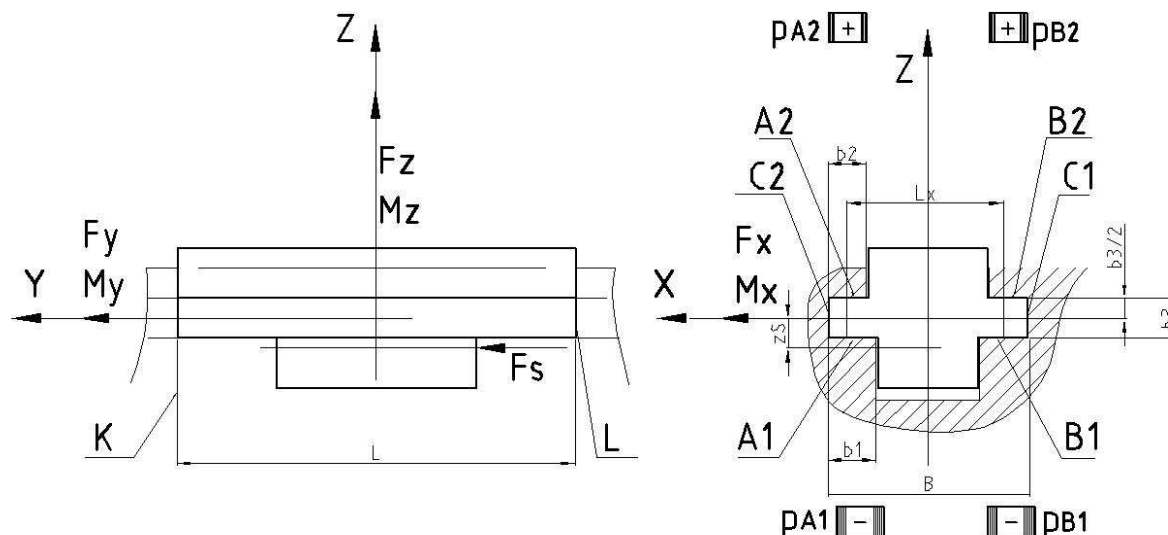
$$F_c = F_S + \sum_1^n F_i \dots\dots\dots (21)$$

$$M_c = M_S + \sum_1^n M_i \dots\dots\dots (22)$$

Složka	x	y	z	
--------	---	---	---	--

F_c	2,64	3,3	-0,62	kN
M_c	-1 066	-325	2 239	Nm

3.2 Zatížení jednotlivých párů vedení



Obr. 4 – Vedení s hranolovými plochami

Vedení se vyznačuje třemi páry vodicích ploch (A1-A2, B1-B2, C1-C2). Každý pár je zatížen momentem a silou, které se odvodí z vektoru síly a momentu působících v počátku soustavy souřadnic. Soustava souřadnic se umístí do os souměrnosti párů vodicích ploch.

Zatížení párů vodicích ploch se stanoví z těchto vztahů:

$$F_A = \frac{F_z}{2} - \frac{M_y}{L_x} \dots\dots\dots (23)$$

$$F_B = \frac{F_z}{2} + \frac{M_y}{L_x} \dots\dots\dots (24)$$

$$F_c = F_x \dots\dots\dots (25)$$

Kde je vzdálenost vedení A – B:

$$L_x = B - \frac{b_1 + b_2}{2} \dots\dots\dots (26)$$

$$M_A = M_B = \frac{M_x}{2} \dots\dots\dots (27)$$

$$M_c = M_z \dots\dots\dots (28)$$

Př.: 3 – Zatížení páru vodicích ploch

Dáno:

Zatížení saní v počátku souřadné soustavy				
	Složky			
	x	y	z	
F_c	2,64	-3,3	-0,62	kN

M_c	-1 066	-325	2 239	Nm
-------	--------	------	-------	----

Šířka vedení páru A a B:	
• spodní vodicí plocha	$b_1 = 33 \text{ mm}$
• horní vodicí plocha	$b_2 = 22 \text{ mm}$
Šířka vedení páru C:	$b_3 = 75 \text{ mm}$
Celková šířka vedení A, B:	$B = 215 \text{ mm}$
Délka vedení A, B, C:	$L = 450 \text{ mm}$
Obr. 4 – Vedení s hranolovými plochami	

Stanovit:

- zatížení párů vodicích ploch

Ze vztahů $F_A = \frac{F_z}{2} - \frac{M_y}{L_x}$ (23),

$F_B = \frac{F_z}{2} + \frac{M_y}{L_x}$ (24),

$F_c = F_x$ (25), $L_x = B - \frac{b_1 + b_2}{2}$ (26), $M_A = M_B = \frac{M_x}{2}$ (27),

$M_C = M_z$ (28) se stanoví:

$F_A = -2 044 \text{ N}$
$F_B = 1 424 \text{ N}$
$F_C = 2 640 \text{ N}$
$M_A = M_B = -533 \text{ Nm}$
$M_C = 2 239 \text{ Nm}$

3.3 Měrné tlaky ve vedení zatíženého silou F a momentem M

Maximální hodnota měrného tlaku ve vedení je rozhodující veličinou pro bezporuchovou funkci kluzného vedení – určuje opotřebení a tím dlouhodobou přesnost a bezpečnost proti zadření.

Výpočet je založen na těchto předpokladech:

- vůle ve vedení jsou nulové
- tuhost vedení je podstatně vyšší než tuhost stykových vrstev

Postup výpočtu přizpůsoben těmto výstupům (viz Obr. 5, Obr. 6, Obr. 7, Obr. 8):

- Na plochách A1, B1, C1 jsou tlaky označeny záporným znaménkem
- Na plochách A2, B2, C2 jsou tlaky označeny kladným znaménkem

To umožňuje přiřadit tlaky k jednotlivým plochám a stanovit vektor reakce nepohyblivé části vedení (lože) včetně jeho působíště působící na saně. Tato síla pak určuje radiální zatížení částí vedení saní např. vodicích lišt, dále třecí sílu ve vedení.

3.3.1 Pár vodicích ploch s rozdílnou šířkou b1, b2

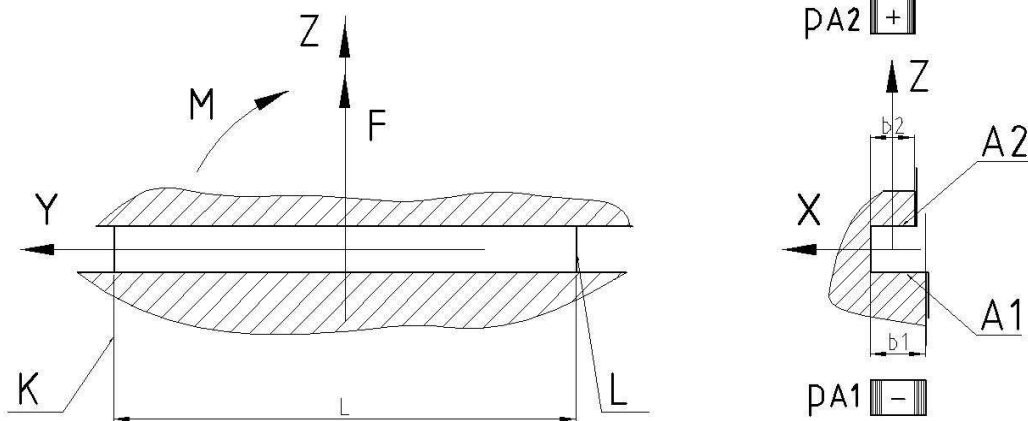
Rozdělení měrných tlaků na jednotlivé vodicí plochy závisí na vztahu:

$$\mu = \frac{M}{F * L} \dots\dots\dots (29)$$

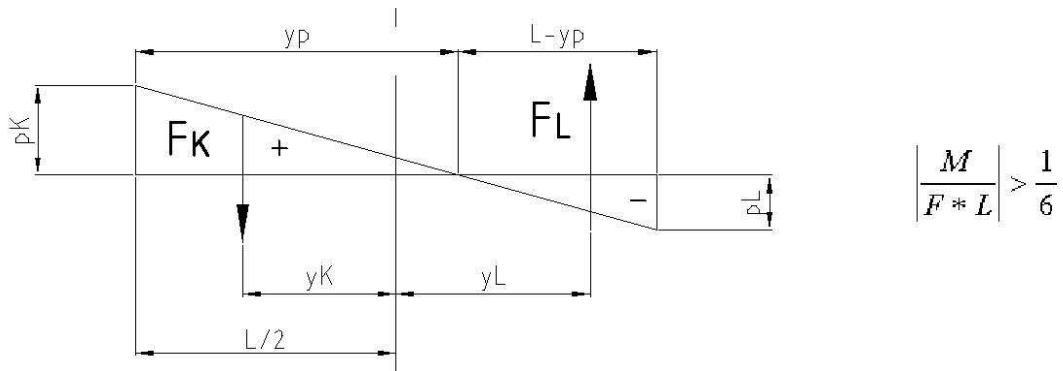
Kde je:

M klopný moment

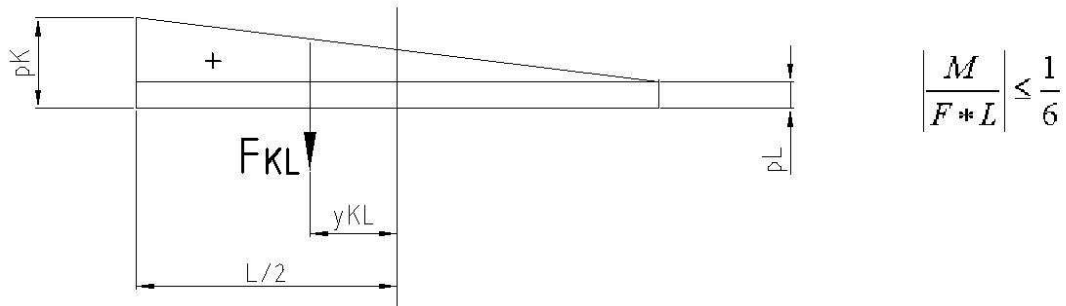
F síla
 L délka vedení



Obr. 5 – Pár vodicích ploch s rozdílnou šířkou



Obr. 6 – Zatížení obou vodicích ploch



Obr. 7 – Zatížení jedné z vodicích ploch

3.3.1.1 Zatížení obou ploch vedení b_1 a b_2

Podmínkou pro zatížení obou ploch je:

$$\left| \frac{M}{F * L} \right| > \frac{1}{6} \dots\dots\dots (30)$$

$$M > 0, M < 0, F \geq 0, F < 0 \dots\dots\text{definiční obor funkce } \mu = \frac{M}{F * L} \dots\dots (29).$$

Zatížení $M > 0, F > 0, F < 0$

Dle Obr. 6 lze stanovit pro tyto podmínky:

- Vzdálenost reakcí od počátku souřadnic

$$y_K = \frac{L}{2} - \frac{y_p}{3} = \frac{3L - 2y_p}{6} \dots\dots\dots (31)$$

$$y_L = \frac{L}{2} - \frac{L - y_p}{3} = \frac{L + 2y_p}{6} \dots\dots\dots (32)$$

- Reakce vodicích ploch

$$F_K = \frac{1}{2} p_K * b_2 * y_p \dots\dots\dots (33)$$

$$F_L = \frac{1}{2} p_L * b_1 * (L - y_p) \dots\dots\dots (34)$$

- Podmínky rovnováhy

$$F - F_K + F_L = 0 \dots\dots\dots (35)$$

$$M = F_K * y_K + F_L * y_L \dots\dots\dots (36)$$

- Poměr tlaků na plochách

$$\frac{p_L}{p_K} = \frac{L - y_p}{y_p} \dots\dots\dots (37)$$

- Dosazením do $F - F_K + F_L = 0 \dots\dots\dots (35)$

se stanoví:

$$\frac{2F}{b_1} = p_K \frac{b_2}{b_1} y_p - p_L (L - y_p) = p_K \frac{b_2}{b_1} y_p - p_K \frac{(L - y_p)^2}{y_p}$$

$$\frac{2F}{b_1} y_p = p_K \left(\frac{b_2}{b_1} y_p^2 - (L - y_p)^2 \right) \dots\dots\dots (38)$$

Dosazením do $M = F_K * y_K + F_L * y_L \dots\dots\dots (36)$:

$$\frac{12M}{b_1} = p_K \frac{b_2}{b_1} y_p (3L - 2y_p) + p_L (L - y_p) (L + 2y_p) = p_K \frac{b_2}{b_1} y_p (3L - 2y_p) + p_K \frac{(L - y_p)^2 (L + 2y_p)}{y_p}$$

$$\frac{12M}{b_1} y_p = p_K \left[\frac{b_2}{b_1} y_p^2 (3L - 2y_p) + (L - y_p)^2 (L + 2y_p) \right] \dots\dots\dots (39)$$

Do tohoto výrazu se poté dosadí za p_K

ze vztahu $\frac{2F}{b_1} y_p = p_K \left(\frac{b_2}{b_1} y_p^2 - (L - y_p)^2 \right) \dots\dots\dots (38)$

$$\frac{12M}{b_1} y_p = \frac{2F}{b_1} y_p \frac{\frac{b_2}{b_1} y_p^2 (3L - 2y_p) + (L - y_p)^2 (L + 2y_p)}{\frac{b_2}{b_1} y_p^2 - (L - y_p)^2}$$

$$\frac{6M}{F} = \frac{\frac{b_2}{b_1} y_p^2 (3L - 2y_p) + (L - y_p)^2 (L + 2y_p)}{\frac{b_2}{b_1} y_p^2 - (L - y_p)^2} \dots\dots\dots (40)$$

Po dosazení $\mu = \frac{M}{F * L} \dots\dots\dots (29)$ a

$$\beta = \frac{b_2}{b_1} \dots\dots\dots (41)$$

$$6\mu * L * \beta * y_p^2 - 6\mu * L(L - y_p)^2 - \beta * y_p^2 (3L - 2y_p) - (L - y_p)^2 (L + 2y_p) = 0$$

$$6\mu * L * \beta * y_p^2 - 6\mu * L(L^2 - 2Ly_p + y_p^2) - \beta * y_p^2 (3L - 2y_p) - (L^2 - 2Ly_p + y_p^2)(L + 2y_p) = 0$$

$$6\mu * L * \beta * y_p^2 - 6\mu * L^3 + 12\mu * L^2 * y_p - 6\mu * L * y_p^2 - 3\beta * L * y_p^2 + 2\beta * y_p^3 - L^3 + 2L^2 * y_p - L * y_p^2 - 2L^2 * y_p + 4L * y_p^2 - 2y_p^3 = 0$$

Úprava rovnice 3. stupně:

$$2(\beta - 1)y_p^3 + 6\mu * L * \beta * y_p^2 - 6\mu * L * y_p^2 - 3\beta * L * y_p^2 + 3L * y_p^2 + 12\mu * L^2 * y_p - 6\mu * L^3 - L^3 = 0$$

na tvar: $2(\beta - 1)y_p^3 + 3L(\beta - 1)(2\mu - 1)y_p^2 + 12\mu * L^2 * y_p - L^3(6\mu + 1) = 0 / \frac{1}{L^3}$

při zavedení vztahu:

$$\xi = \frac{y_p}{L} \dots\dots\dots (42)$$

$$2(\beta - 1)\xi^3 + 3(\beta - 1)(2\mu - 1)\xi^2 + 12\mu * \xi - (6\mu + 1) = 0 \dots\dots\dots (43)$$

Součinitelé rovnice 3. stupně jsou poté:

$$a_0 = 2(\beta - 1) \dots\dots\dots (44)$$

$$a_1 = 3(\beta - 1)(2\mu - 1) \dots\dots\dots (45)$$

$$a_2 = 12\mu \dots\dots\dots (46)$$

$$a_3 = -(6\mu + 1) \dots\dots\dots (47)$$

Rovnici lze řešit procedurou programu MATHCAD [1] nebo MATLAB.

Maximální měrný tlak v místě K se stanoví ze vztahu

$$\frac{12M}{b_1} y_p = p_K \left[\frac{b_2}{b_1} y_p^2 (3L - 2y_p) + (L - y_p)^2 (L + 2y_p) \right] \dots\dots\dots (39)$$

, který se upraví násobením $\frac{1}{L^3}$ a užitím výrazu $\xi = \frac{y_p}{L} \dots\dots (42)$ $\xi = \frac{y_p}{L} \dots\dots\dots (42)$:

$$\frac{12M}{b_1 L^2} \xi = p_K [\beta * \xi^2 (3 - 2\xi) + (1 - \xi)^2 (1 + 2\xi)] \dots \dots \dots (48)$$

Z tohoto vyjádření vyplývá měrný tlak v místě K:

$$p_K = \frac{12M}{b_1 L^2} * \frac{\xi}{\beta \xi^2 (3 - 2\xi) + (1 - \xi)^2 (1 + 2\xi)} \dots \dots \dots (49)$$

$$\frac{p_L}{p_K} = \frac{L - y_p}{y_p}$$

Měrný tlak v místě L se stanoví ze vztahu $\frac{p_L}{p_K} = \frac{L - y_p}{y_p}$ (37) při využití

vztahu $\xi = \frac{y_p}{L}$ (42) a se zahrnutím znaménka vzhledem k p_K :

$$p_L = p_K \frac{\xi - 1}{\xi} \dots \dots \dots (50)$$

Třecí odpor ve vedení je dán vztahem:

$$F_T = (|F_K| + |F_L|) f_v \dots \dots \dots (51)$$

Kde jsou reakce dle $F_K = \frac{1}{2} p_K * b_2 * y_p$ (33) a $F_L = \frac{1}{2} p_L * b_1 * (L - y_p)$ (34) a f_v součinitel tření ve vedení.

Zatížení $M < 0$, $F > 0$, $F < 0$

Při změně smyslu zatěžujícího momentu (tj. pro $M < 0$) se provedou tyto úpravy uvedených vztahů:

$$\beta = \frac{b_2}{b_1} \dots \dots \dots (41) \text{ se zamění za:}$$

$$\beta = \frac{b_1}{b_2} \dots \dots \dots (52) \text{ a použije se pro výpočet } \xi \text{ a } p_K \text{ dle vztahů:}$$

$$a_0 = 2(\beta - 1) \dots \dots \dots (44)$$

$$a_1 = 3(\beta - 1)(2\mu - 1) \dots \dots \dots (45)$$

$$a_2 = 12\mu \dots \dots \dots (46)$$

$$a_3 = -(6\mu + 1) \dots \dots \dots (47)$$

Dále se provede přiřazení veličin:

$b_1 \leftarrow b_2$ pro

$$p_K = \frac{12M}{b_1 L^2} * \frac{\xi}{\beta \xi^2 (3 - 2\xi) + (1 - \xi)^2 (1 + 2\xi)} \dots \dots \dots (49)$$

$$p_K = \frac{12M}{b_1 L^2} * \frac{\xi}{\beta \xi^2 (3 - 2\xi) + (1 - \xi)^2 (1 + 2\xi)} \dots \dots \dots (49) \text{ tj.::}$$

$$p_K = \frac{12M}{b_2 L^2} * \frac{\xi}{\beta \xi^2 (3 - 2\xi) + (1 - \xi)^2 (1 + 2\xi)} \dots \dots \dots (53)$$

$$F_L = \frac{1}{2} p_L * b_1 * (L - y_p) \dots\dots\dots (34) \text{ tj.}:$$

$$F_L = \frac{1}{2} p_L * b_2 * (L - y_p) \dots\dots\dots (54)$$

$b_2 \leftarrow b_1$ pro

$$F_K = \frac{1}{2} p_K * b_2 * y_p \dots\dots\dots (33) \text{ tj.}:$$

$$F_K = \frac{1}{2} p_K * b_1 * y_p \dots\dots\dots (55)$$

Zatížení F=0, M>0, M<0

V případě, že je $F = 0$ což představuje zatížení pouhým momentem M a při $\beta \neq 1$ se z rovnic

$$\frac{2F}{b_1} y_p = p_K \left(\frac{b_2}{b_1} y_p^2 - (L - y_p)^2 \right) \dots\dots\dots (38), \quad \beta = \frac{b_2}{b_1} \dots\dots (41) \text{ a}$$

$$\xi = \frac{y_p}{L} \dots\dots\dots (42) \text{ odvodí:}$$

$$\beta = \left(\frac{1 - \xi}{\xi} \right)^2$$

Pro libovolné β se pak stanoví:

$$\xi = \frac{1}{1 + \sqrt{\beta}} \dots\dots\dots (56)$$

Zatížení F=0, M>0

Měrné tlaky v místech K a L jsou dány vztahy:
..... (49)

$$p_L = p_K \frac{\xi - 1}{\xi} \dots\dots (50)$$

Reakce ve vedeních a třecí odpor:

$$F_K = \frac{1}{2} p_K * b_2 * y_p \dots\dots\dots (33)$$

$$F_L = \frac{1}{2} p_L * b_1 * (L - y_p) \dots\dots\dots (34)$$

$$F_T = (|F_K| + |F_L|) f_v \dots\dots\dots (51)$$

Zatížení F=0, M<0

Měrný tlak v místě K je dán vztahem:

$$p_K = \frac{12M}{b_2 L^2} * \frac{\xi}{\beta \xi^2 (3 - 2\xi) + (1 - \xi)^2 (1 + 2\xi)} \dots\dots\dots (53)$$

Reakce ve vedeních:

$$F_L = \frac{1}{2} p_L * b_2 * (L - y_p) \dots\dots\dots (54)$$

$$F_K = \frac{1}{2} p_K * b_1 * y_p \dots\dots\dots (55)$$

3.3.1.2 Zatížení jedné z ploch vedení (b1 nebo b2)

Podmínkou pro zatížení jedné z ploch je:

$$\left| \frac{M}{F * L} \right| \leq \frac{1}{6} \dots\dots\dots (57)$$

$M > 0, M < 0, F > 0, F < 0 \dots\dots$ definiční obor funkce $\mu = \frac{M}{F * L} \dots\dots (29)$

Zatížení F>0, M>0, M<0

Měrné tlaky v místech K a L jsou dány vztahy:

$$p_K = \frac{F}{L * b_2} + \frac{6M}{L^2 * b_2} \dots\dots\dots (58)$$

$$p_L = \frac{F}{L * b_2} - \frac{6M}{L^2 * b_2} \dots\dots\dots (59)$$

Výsledná reakce tlakového zatížení plochy je pak dána vztahem:

$$F_{KL} = F \dots\dots\dots (60)$$

Vzdálenost reakce od počátku souřadnic:

$$y_{KL} = \frac{M_C}{F_C} \dots\dots\dots (61)$$

Třecí odpor ve vedení je dán vztahem:

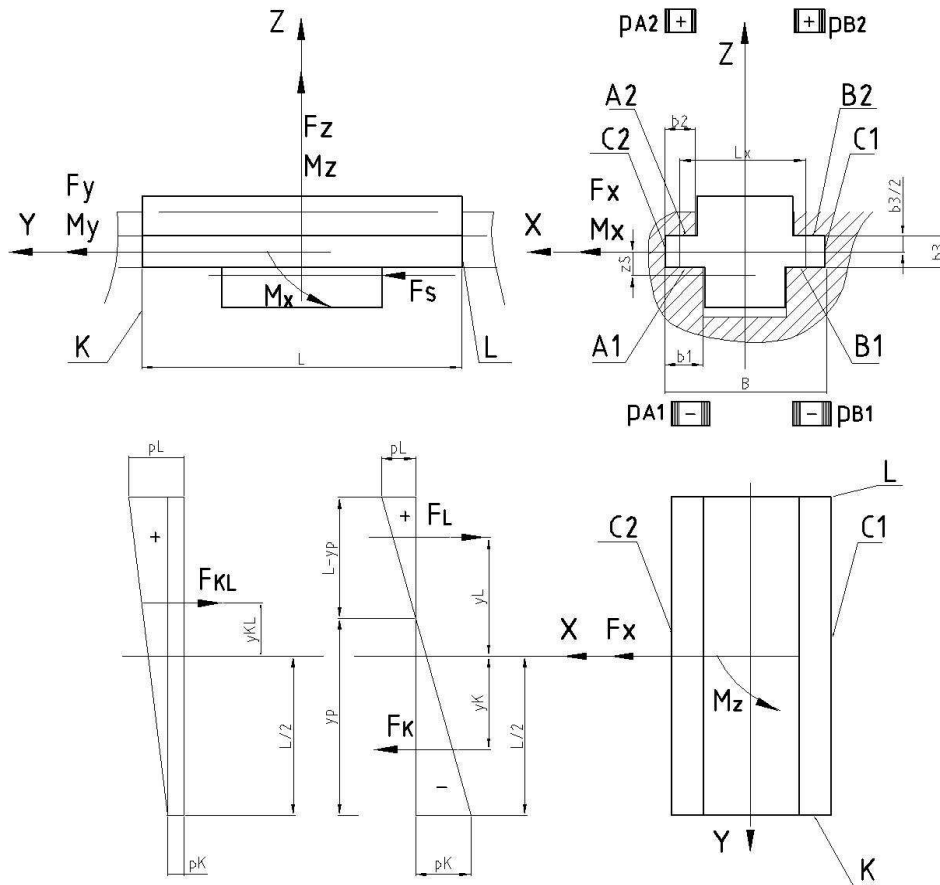
$$F_T = F_{KL} * f_v \dots\dots\dots (62)$$

Zatížení F<0, M>0, M<0

Měrné tlaky v místech K a L jsou dány vztahy:

$$p_K = \frac{F}{L * b_1} + \frac{6M}{L^2 * b_1} \dots\dots\dots (63)$$

$$p_L = \frac{F}{L * b_1} - \frac{6M}{L^2 * b_1} \dots\dots\dots (64)$$



Obr. 8 – Pár vedení s rozdílnými šířkami b_1, b_2

3.3.2 Pár vodicích ploch se shodnou šířkou b

Pro shodné šířky vedení tj. $\beta = 1$ se rovnice $2(\beta - 1)\xi^3 + 3(\beta - 1)(2\mu - 1)\xi^2$

$$+ 12\mu * \xi - (6\mu + 1) = 0 \dots\dots\dots (43) \quad 2(\beta - 1)\xi^3 \quad 2(\beta - 1)\xi^3$$

$+ 12\mu * \xi - (6\mu + 1) = 0 \dots\dots\dots (43)$ změni na tvar:

$$12\mu\xi - 6\mu - 1 = 0 \text{ tj. :}$$

$$\xi = \frac{1}{2} + \frac{1}{12\mu} \dots\dots\dots (65)$$

Měrné tlaky se stanoví dosazením do $p_K = \frac{12M}{b_1 L^2} * \frac{\xi}{\beta \xi^2 (3 - 2\xi) + (1 - \xi)^2 (1 + 2\xi)} \dots\dots (49)$ a

$$p_L = p_K \frac{\xi - 1}{\xi} \dots\dots\dots (50) \text{ při zavedení vztahu } b_1 \leftarrow b \text{ se odvodí:}$$

$$p_K = \frac{F}{L * b} + \frac{6M}{L^2 * b} \dots\dots\dots (66)$$

$$p_L = \frac{F}{L * b} - \frac{6M}{L^2 * b} \dots\dots\dots (67)$$

Vodicí plochy C1, C2 jsou zatěžovány vektory síly F_C, M_C . Tato dvojice je orientována zrcadlově k soustavě F_A, M_A . Proto je nutné při výpočtu tlaků na těchto plochách předchozí výrazy upravit touto záměnou znamének:

$$p_{KC} = \frac{F_C}{L * b} - \frac{6M_C}{L^2 * b} \dots\dots\dots (68)$$

$$p_{LC} = \frac{F_C}{L * b} + \frac{6M_C}{L^2 * b} \dots\dots\dots (69)$$

- Zatížení obou ploch je dáno podmínkou:

$$\left| \frac{M}{F * L} \right| > \frac{1}{6} \dots\dots\dots (30)$$

Pro tento stav se stanoví veličina y_p (Obr. 8) ze vztahu:

$$\xi = \frac{y_p}{L} \dots\dots\dots (42) \text{ nebo jednoduše z}$$

$$\frac{p_L}{p_K} = \frac{L - y_p}{y_p} \dots\dots\dots (37) \text{ a po úpravě:}$$

$$y_p = L \frac{|p_K|}{|p_K| + |p_L|} \dots\dots\dots (70)$$

Reakce vedení:

$$F_K = \frac{1}{2} p_K * b_2 * y_p \dots\dots\dots (33)$$

$$F_L = \frac{1}{2} p_L * b_1 * (L - y_p) \dots\dots\dots (34)$$

Vzdálenost reakcí od počátku souřadnic dle

$$y_K = \frac{L}{2} - \frac{y_p}{3} = \frac{3L - 2y_p}{6} \dots\dots (31), \quad y_L = \frac{L}{2} - \frac{L - y_p}{3} = \frac{L + 2y_p}{6} \dots\dots (32)$$

Třecí odpor ve vedení:

$$F_T = (|F_K| + |F_L|) f_v \dots\dots\dots (51)$$

- Zatížení jedné plochy je dáno podmínkou:

$$\left| \frac{M}{F * L} \right| \leq \frac{1}{6} \dots\dots\dots (57)$$

Reakce vedení dle

$$F_{KL} = F \dots\dots\dots (60)$$

Poloha reakce se stanoví se změnou znaménka ve výrazu

$$y_{KL} = \frac{M_C}{F_C} \dots\dots\dots (61) \text{ tj.::}$$

$$y_{KLC} = -\frac{M_C}{F_C} \dots\dots\dots (71)$$

Třecí odpor ve vedení:

$$F_T = F_{KL} * f_v \dots\dots\dots (62)$$

Př.: 4 – Měrné tlaky na vedení čelistí při upínání obrobku a při procesu obrábění

Dáno:

Délka čelisti	$L = 200 \text{ mm}$
Šířka čelisti	$B = 100 \text{ mm}$
Šířka vedení páru A a B:	
• spodní vodící plocha	$b_1 = 33 \text{ mm}$
• horní vodící plocha	$b_2 = 22 \text{ mm}$
Šířka vedení páru C:	$b_3 = 20 \text{ mm}$

Poloha působící síly F_I :	
• Ve směru X	$x_I = 0$
• Ve směru Y	$y_I = -50 \text{ mm}$
• Ve směru Z	$z_I = 110 \text{ mm}$

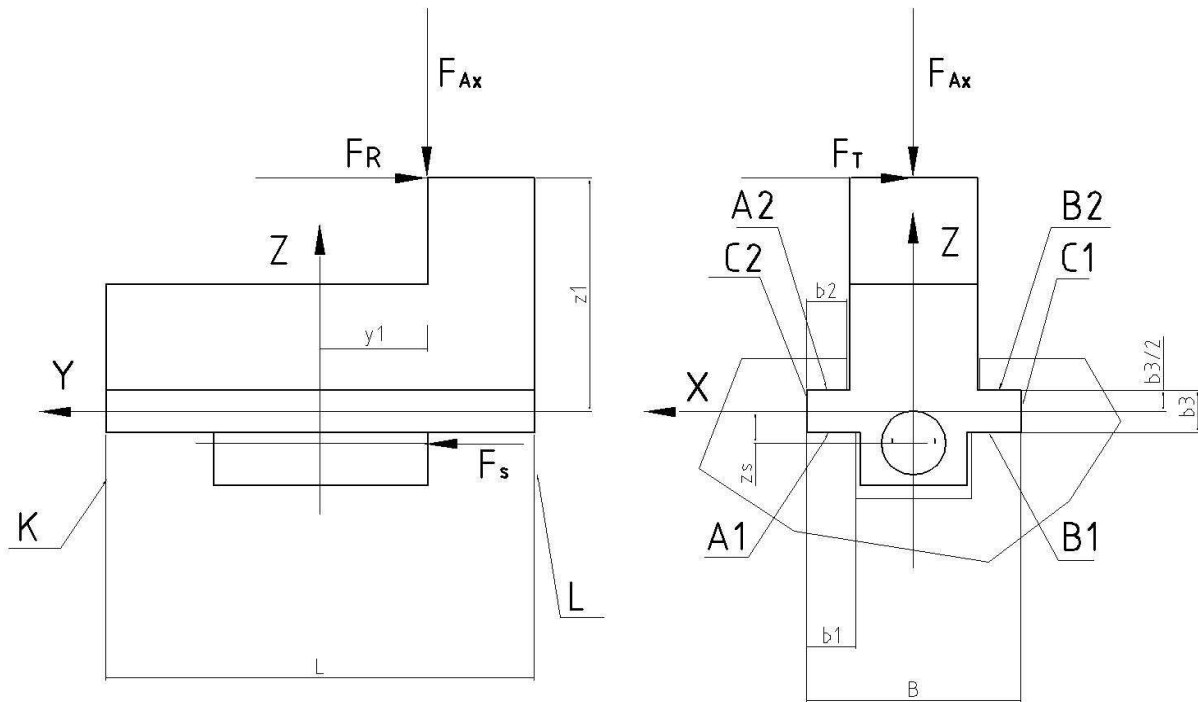
	Proces	Upínání	Obrábění
Absolutní hodnoty složek působící síly F_I :			
• Ve směru X		$F_T = 0$	$F_T = 50 \text{ kN}$
• Ve směru Y		$F_R = 100 \text{ kN}$	$F_R = 162 \text{ kN}$
• Ve směru Z		$F_{Ax} = 0$	$F_{Ax} = 50 \text{ kN}$

Poloha hnací síly F_S :	
• Ve směru X	$x_S = 0$
• Ve směru Y	$y_S = 0$
• Ve směru Z	$z_S = -15 \text{ mm}$

	Proces	Upínání	Obrábění
Účinnost vedení		$\eta_v = 0,8$	$\eta_v = 1$
Dovolený tlak pro „ocel kalená – ocel kalená“		$p_{D1} = 40 \text{ MPa}$	$p_{D2} = 100 \text{ MPa}$
Součinitel tření ve vedení		$f_v = 0,15$	
Obr. 9 – Vedení čelisti			

Stanovit:

- Max. měrný tlak, reakce ve vedení a třecí odpor při procesu upínání
- Max. měrný tlak při procesu obrábění ve vedení A1, A2, B1, B2, C1, C2, reakce ve vedení C1, C2



Obr. 9 – Vedení čelisti

Transformace sil do soustavy souřadnic vedení

Vektor polohy síly r_1 a síly F_1 dle Obr. 9:

Složka		x	y	z	
r_1		0	-50	110	mm
Upínání	F_1	0	-100	0	kN
Obrábění	F_1	-50	-162	-50	kN

Vektor polohy r_s a hnací síly $F_s = 0 \quad F_s \quad 0$ dle Obr. 9 a vztahu

$$F_s = \begin{pmatrix} 0 \\ -\sum F_{yi} \\ 0 \end{pmatrix} \eta_v \dots\dots (10)$$

Složka		x	y	z	
r_s		0	0	-15	mm
Upínání	F_s	0	125	0	kN
Obrábění	F_s	0	162	0	kN

Pro $i = 1$ se stanoví:

$$M_{ix} = \text{determinant} \begin{pmatrix} y_i & z_i \\ F_{yi} & F_{zi} \end{pmatrix} \dots\dots(14)$$

$$M_{iy} = \text{determinant} \begin{pmatrix} z_i & x_i \\ F_{zi} & F_{xi} \end{pmatrix} \dots\dots(15)$$

$$M_{iz} = \text{determinant} \begin{pmatrix} x_i & y_i \\ F_{xi} & F_{yi} \end{pmatrix} \dots\dots(16)$$

Obdobně:

$$M_S = M_{Sx} \quad M_{Sy} \quad M_{Sz} \dots\dots(17)$$

$$M_{Sx} = \text{determinant} \begin{vmatrix} 0 & z_S \\ F_S & 0 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (18)$$

$$M_{Sy} = \text{determinant} \begin{vmatrix} z_S & x_S \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (19)$$

$$M_{Sz} = \text{determinant} \begin{vmatrix} x_S & 0 \\ 0 & F_S \end{vmatrix} \dots\dots\dots (20)$$

Dále se stanoví:

$$F_c = F_S + \sum_1^n F_i \dots\dots\dots (21)$$

$$M_c = M_S + \sum_1^n M_i \dots\dots\dots (22)$$

Výsledkem je zatížení vedení v systému souřadnic:

Složka		x	y	z	
Upínání	M_I	11 000	0	0	Nm
	M_S	1 875	0	0	Nm
Obrábění	M_I	20 320	-5 500	-2 500	Nm
	M_S	2430	0	0	Nm
Složka		x	y	z	
Upínání	F_c	0	25	0	kN
	M_c	12 875	0	0	Nm
Obrábění	F_c	-50	0	-50	kN
	M_c	22 750	-5 500	-2 500	Nm

Zatížení jednotlivých párů vedení

Ze vztahů $F_A = \frac{F_z}{2} + \frac{M_y}{L_x} \dots\dots (23),$

$$F_B = \frac{F_z}{2} - \frac{M_y}{L_x} \dots\dots (24),$$

$$F_c = F_x \dots\dots (25),$$

$$L_x = B - \frac{b_1 + b_2}{2}$$

$$M_A = M_B = \frac{M_x}{2} \dots\dots (27),$$

$$M_c = M_z \dots\dots (28) \text{ vyplývá:}$$

	Upínání	Obrábění	
F_A	0	-100 862	N
F_B	0	50 862	N
F_C	0	-50 000	N
$M_A = M_B$	6 438	11 375	Nm
M_C	0	-2 500	Nm

Měrné tlaky, reakce ve vedení a třecí odpor při upínání

$$F_A = F_B = 0 \text{ tj.:$$

$$\beta = \frac{b_2}{b_1} \dots\dots\dots (41)$$

$\beta = 0,667$

$$\xi = \frac{1}{1 + \sqrt{\beta}} \dots\dots\dots (56)$$

$\xi = 0,551$

$M_A = M_B > 0$ tj.:

$$p_K = \frac{12M}{b_1 L^2} * \frac{\xi}{\beta \xi^2 (3 - 2\xi) + (1 - \xi)^2 (1 + 2\xi)} \dots\dots\dots (49)$$

$p_K = 60 \text{ MPa}$

$$p_L = p_K \frac{\xi - 1}{\xi} \dots\dots\dots (50)$$

$p_L = -49 \text{ MPa}$

Pozn.: Měrné tlaky překračují dovolenou hodnotu $p_{D1} = 40 \text{ MPa}$

Ze vztahů $\xi = \frac{y_p}{L} \dots\dots (42)$, $F_K = \frac{1}{2} p_K * b_2 * y_p \dots\dots\dots (33)$,

$F_Q = 72,4 \text{ kN}$

$$F_L = \frac{1}{2} p_L * b_1 * (L - y_p) \dots\dots\dots (34)$$

$F_R = -72,4 \text{ kN}$

$$F_T = (|F_K| + |F_L|) f_v \dots\dots\dots (51)$$

se stanoví pro vedení A i B:

$F_T = 21,7 \text{ kN}$

Pro obě vedení je poté třecí odpor dán vztahem:

$$F_{T.A.B} = 2F_T$$

$F_{T.A.B} = 43,4 \text{ kN}$

Skutečná účinnost vedení se pak stanoví pomocí vztahu:

$$\eta_{v.A.B} = \frac{F_R}{F_R + F_{T.A.B}}$$

$\eta_{v.A.B} = 0,7$

Měrné tlaky při procesu obrábění

- **vedení A**

Do vztahu $\mu = \frac{M}{F * L} \dots\dots\dots (29)$ se dosadí:

$$M = M_A, F = F_A$$

$\mu_A = 0,56$

Vzhledem k tomu, že $\left| \frac{M}{F * L} \right| > \frac{1}{6} \dots\dots\dots (30)$ a $M_A > 0$:

$$\beta = \frac{b_2}{b_1} \dots\dots\dots (41)$$

$\beta = 0,667$

Součinitelé rovnice 3. stupně:

$$a_0 = 2(\beta - 1) \dots\dots\dots (44)$$

$$a_1 = 3(\beta - 1)(2\mu - 1) \dots\dots\dots (45)$$

$$a_2 = 12\mu \dots\dots\dots (46)$$

$$a_3 = 3(\beta - 1)(2\mu - 1) \dots\dots\dots (47)$$

$a_0 = -0,667$
$a_1 = 2,128$
$a_2 = -6,767$
$a_3 = 2,383$

Z rovnice $2(\beta - 1)\xi^3 + 3(\beta - 1)(2\mu - 1)\xi^2 + 12\mu * \xi - (6\mu + 1) = 0 \dots\dots (43)$ se pak stanoví:

$\xi = 0,395$

Měrný tlak v místě K a L ze vztahů $p_K = \frac{12M}{b_1 L^2} * \frac{\xi}{\beta \xi^2 (3 - 2\xi) + (1 - \xi)^2 (1 + 2\xi)} \dots\dots (49)$,

$$p_L = p_K \frac{\xi - 1}{\xi} \dots\dots\dots (50):$$

$p_{K2} = 46 \text{ MPa}$
$p_{L1} = -70,6 \text{ MPa}$

Pozn.: Indexy 1 a 2 určují plochu A1, A2 dle znaménka.

• **vedení B**

Obdobně jako v předcházejícím případě se stanoví:

$\mu_B = 1,118$
$\beta = 0,667$

Součinitelé rovnice 3. stupně:

$a_0 = 0,667$
$a_1 = 1,236$
$a_2 = -13,419$
$a_3 = 7,709$

Řešení rovnice:

$\xi = 0,622$

Měrný tlak v místě K a L:

$p_{K2} = 125 \text{ MPa}$
$p_{L1} = -75,7 \text{ MPa}$

Pozn.: Měrné tlaky překračují dovolenou hodnotu $p_{D2} = 100 \text{ MPa}$

• **vedení C**

Jedná se o vedení se stejnou šířkou b_3 – použijí se vztah $\mu = \frac{M}{F * L} \dots\dots\dots (29)$

$\mu_C = 0,25$

Měrné tlaky dosazením $b = b_3$ do vztahů

$$p_{KC} = \frac{F_C}{L * b} - \frac{6M_C}{L^2 * b} \dots\dots\dots (68), \quad p_{LC} = \frac{F_C}{L * b} + \frac{6M_C}{L^2 * b} \dots\dots\dots (69)$$

$p_{LC1} = -31 \text{ MPa}$
$p_{LC2} = 6,2 \text{ MPa}$

Pro $|\mu_C| > \frac{1}{6}$ je $y_p = L \frac{|p_K|}{|p_K| + |p_L|} \dots\dots\dots (70):$

$y_p = 33 \text{ mm}$

Dále se stanoví ze vztahů $F_K = \frac{1}{2} p_K * b_2 * y_p \dots\dots\dots (33),$

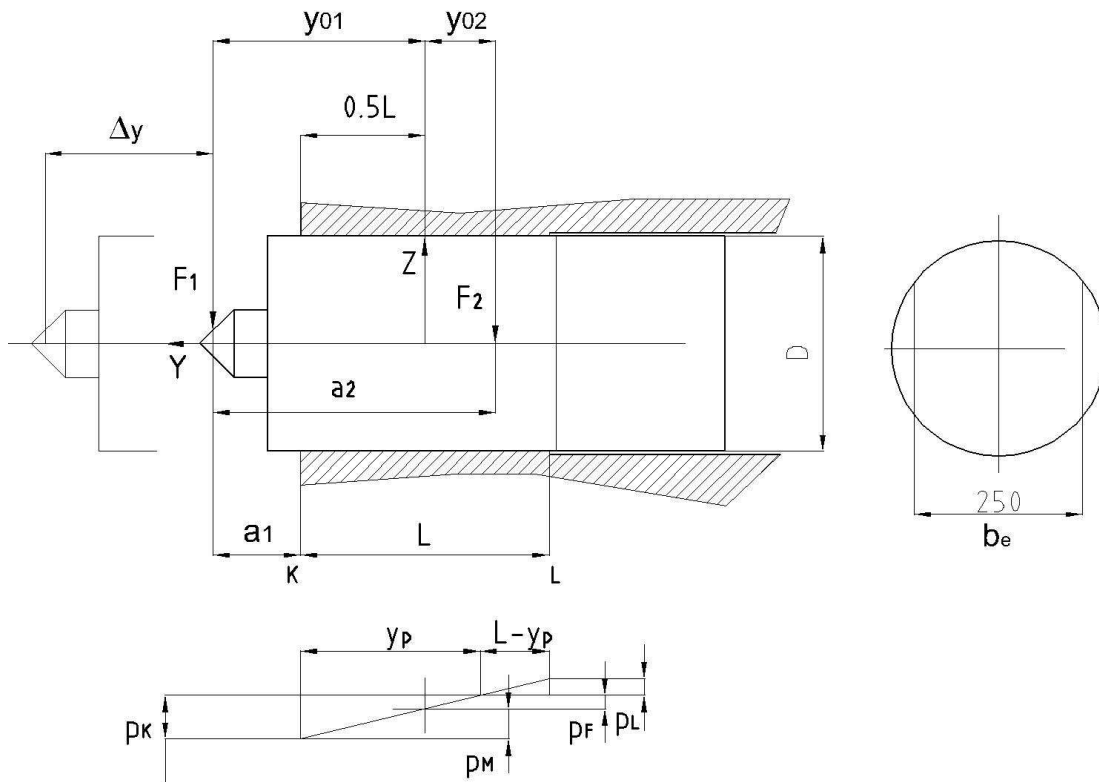
$$F_L = \frac{1}{2} p_L * b_1 * (L - y_p) \dots\dots\dots (34), \quad y_K = \frac{L}{2} - \frac{y_p}{3} = \frac{3L - 2y_p}{6} \dots\dots (31),$$

$$y_L = \frac{L}{2} - \frac{L - y_p}{3} = \frac{L + 2y_p}{6} \dots\dots\dots (32) \text{ normální reakce ve}$$

vedení a jejich souřadnice od počátku souřadnic:

$F_K = 2 \ 100 \text{ N}$
$y_K = 89 \text{ mm}$
$F_L = 52 \ 000 \text{ N}$
$y_L = 44 \text{ mm}$

4 Výpočet vedení kruhového tvaru



Obr. 10 - Kluzné vedení kruhové

4.1 Měrné tlaky ve vedení

- L [m] délka vedení
- D [m] průměr vedení
- a_1 [m] počáteční vyložení síly F_1 od okraje vedení
- a_2 [m] vyložení síly F_2 (tíhy pinoly) od působíště síly F_1
- Δy [m] výsuv pinoly
- F_1 [N] síla F_1 (polovina tíhy obrobku)
- F_2 [N] síla F_2 (tíha pinoly)

Počáteční vyložení síly F_1 od počátku soustavy souřadnic (X, Y):

$$y_{01} = a_1 + \frac{L}{2} \dots\dots\dots (72)$$

Vyložení síly F_1 :

$$y_1 = y_{01} + \Delta y \dots\dots\dots (73)$$

Vyložení síly F_2 :

$$y_2 = -a_2 + y_{01} + \Delta y \dots\dots\dots (74)$$

Efektivní šířka vedení:

$$b_e = \frac{\pi}{4} D \dots\dots\dots (75)$$

Celková síla v počátku souřadnic:

$$F = F_1 + F_2 \dots\dots\dots (76)$$

Moment kolem osy Z

$$M = F_1 * y_1 + F_2 * y_2 \dots\dots\dots (77)$$

Max. tlaky na vodících plochách v místech K a L:

- měrný tlak od síly:

$$p_F = \frac{F}{L * b_e} \dots\dots\dots (78)$$

- měrný tlak od momentu se stanoví ze vztahů:

$$F_N = \frac{1}{2} p_M * b_e * \frac{L}{2} \dots\dots\dots (79)$$

$$M = \frac{2}{3} L * F_N \dots\dots\dots (80)$$

po dosazení se stanoví:

$$p_M = \frac{6M}{L^2 * b_e} \dots\dots\dots (81)$$

- výsledný měrný tlak v místech K a L:

$$p_K = p_F + p_M = \frac{F}{L * b_e} + \frac{6M}{L^2 * b_e} \dots\dots\dots(82)$$

$$p_L = p_F - p_M = \frac{F}{L * b_e} - \frac{6M}{L^2 * b_e} \dots\dots\dots(83)$$

4.2 Třecí síla ve vedení

Třecí odpor ve vedení se určí v závislosti na zatížení vodicích ploch:

- Zatížení obou ploch je dáno podmínkou:

$$\left| \frac{M}{F * L} \right| > \frac{1}{6} \dots\dots\dots (30)$$

Veličina y_p se stanoví ze vztahu $\frac{p_L}{p_K} = \frac{L - y_p}{y_p} \dots\dots\dots (37)$ upraveného na:

$$y_p = L \frac{|p_K|}{|p_K| + |p_L|} \dots\dots\dots (70)$$

Reakce vedení pro $b_1 = b_2 = b_e$:

$$F_K = \frac{1}{2} p_K * b_2 * y_p \dots\dots\dots (33)$$

$$F_L = \frac{1}{2} p_L * b_1 * (L - y_p) \dots\dots\dots (34)$$

Třecí odpor ve vedení:

$$F_T = (|F_K| + |F_L|) f_v \dots\dots\dots (51)$$

- Zatížení jedné plochy je dáno podmínkou:

$$\left| \frac{M}{F * L} \right| \leq \frac{1}{6} \dots\dots\dots (57)$$

Třecí odpor ve vedení:

$$F_T = F_{KL} * f_v \dots\dots\dots (62)$$

Př.: 5 - Měrné tlaky a třecí síla v kruhovém vedení

Dáno:

Délka vedení	$L = 1\,050$ mm
Průměr vedení	$D = 450$ mm
Počáteční vyložení síly F_1 od okraje vedení	$a_1 = 195$ mm
Vyložení síly F_2 (tíhy pinoly)	$a_2 = 880$ mm
Výsuv pinoly	$\Delta y = 450$ mm
Polovina tíhy obrobku	$F_1 = 280$ kN
Tíha pinoly	$F_2 = 19$ kN
Dovolená hodnota měrného tlaku pro materiály vodicích ploch: ocel - litina	$p_D = 10$ MPa
Součinitel tření ve vedení	$f_v = 0,15$

Stanovit:

- max. tlaky ve vedení

➤ třecí sílu

Z $y_{01} = a_1 + \frac{L}{2}$ (72):

$y_0 = 0,72m$

Z $y_1 = y_{01} + \Delta y$ (73)

$y_1 = 1,17m$

Z $y_2 = -a_2 + y_{01} + \Delta y$ (74):

$y_2 = 0,29m$

Z $b_e = \frac{\pi}{4} D$ (75):

$b_e = 0,353m$

Ze vztahů $F = F_1 + F_2$ (76), $M = F_1 * y_1 + F_2 * y_2$... (77) plyne:

$F = 299kN$
$M = 333kNm$

Ze vztahů $p_K = p_F + p_M = \frac{F}{L * b_e} + \frac{6M}{L^2 * b_e}$ (82),

$p_L = p_F - p_M = \frac{F}{L * b_e} - \frac{6M}{L^2 * b_e}$ (83) poté plyne:

$p_K = 5,9MPa$
$p_L = -4,3MPa$
Dovolená hodnota měrného tlaku: $p_D = 10 MPa$

Dosazením do vztahu $\mu = \frac{M}{F * L}$ (29) se stanoví:

$\mu = 1,06 > 1/6$

Dle $\left| \frac{M}{F * L} \right| > \frac{1}{6}$ (30) platí vztahy pro reakce a třecí odpor vedení.

$F_K = \frac{1}{2} p_K * b_2 * y_p$ (33)

$F_L = \frac{1}{2} p_L * b_1 * (L - y_p)$ (34)

$F_T = (|F_K| + |F_L|) f_v$ (51)

$y_p = 0,607 m$
$F_K = 637 kN$
$F_L = 338 kN$
$F_T = 146 kN$

SEZNAMY

Seznam příkladů

Př.: 1 – Účinnost vedení upínací čelisti.....	3
Př.: 2 – Transformace sil do souřadné soustavy vedení smykadla.....	5
Př.: 3 – Zatížení páru vodících ploch	8
Př.: 4 – Měrné tlaky na vedení čelistí při upínání obrobku a při procesu obrábění	18
Př.: 5 - Měrné tlaky a třecí síla v kruhovém vedení	25

Seznam obrázků

Obr. 1 – Účinnost a samosvornost vedení.....	2
Obr. 2 – Vedení upínací čelisti.....	3
Obr. 3 – Vedení smykadla - transformace sil.....	4
Obr. 4 – Vedení s hranolovými plochami.	8
Obr. 5 – Pár vodících ploch s rozdílnou šířkou.....	10
Obr. 6 – Zatížení obou vodících ploch.....	10
Obr. 7 – Zatížení jedné z vodících ploch.	10
Obr. 8 – Pár vedení s rozdílnými šířkami b_1 , b_2	16
Obr. 9 – Vedení čelisti.....	19
Obr. 10 - Kluzné vedení kruhové.....	23

Seznam tabulek

Tab. 1 – Provozní vlastnosti materiálů používaných pro kluznou dvojici.....	1
Tab. 2 – Součinitel tření a únosnost valivého a hydrostatického vedení	1
Tab. 3 – Celková účinnost vedení	5

Seznam použité literatury

Firemní literatura (katalogy, www.)

[1] <http://www.dtn.mathsoft.cz/>

[2] PERMAGLIDE. [cit.2013-08-12]. Dostupné z: www.permaglidle.de/

KKS/KVS,KOS VEDENÍ KLUZNÁ - PŘÍKLADY

doc. Ing. Zdeněk Hudec, CSc.

Vydavatel: Západočeská univerzita v Plzni, Vydavatelství
Univerzitní 8, 306 14 Plzeň
tel.: 377 631 951
e-mail: vydavatel@vyd.zcu.cz

Katedra: konstruování strojů
Vedoucí katedry: doc. Ing. Václava Lašová, CSc.
Určeno: pro studenty FST
Vyšlo: červen 2013
Počet stran: 33
Nositelé
autorských práv: doc. Ing. Zdeněk Hudec, CSc.
Západočeská univerzita v Plzni
Vydání: 1. vydání, on-line

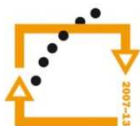
Tato publikace neprošla redakční ani jazykovou úpravou.



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

doc. Ing. Zdeněk Hudec, CSc.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky v rámci projektu
č. CZ.1.07/2.2.00/07.0235 „Inovace výuky v oboru konstruování strojů včetně jeho teoretické, metodické a počítačové podpory“.