

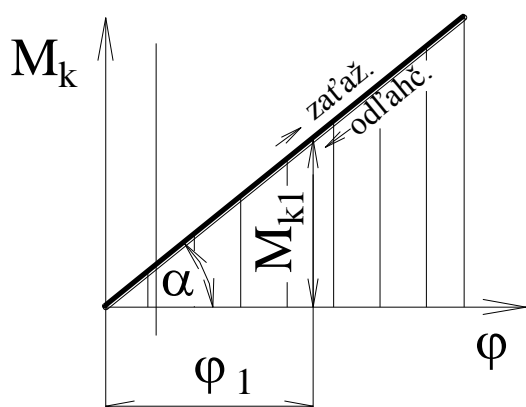
P R U Ž N É S P O J K Y

Pružné spojky odstraňujú nevýhody nepružných spojení hriadeľov:

- spojka vyrovnáva osovú, radiálne i ihlovú nesúosovosť hriadeľov,
- spojka znižuje a tlmí rázy a náhle zmeny premenlivého ZKM,
- vhodnou voľbou pružných elementov možno dosiahnuť posunutie kritických otáčok, odstrániť rezonanciu v sústave a tým zabrániť vzniku nebezpečného torzného kmitania.

C h a r a k t e r i s t i k a s p o j k y

Charakteristikou spojky nazývame čiaru (priebeh), ktorá udáva závislosť ZKM – M_K od uhla pootočenia – φ obidvoch častí spojky.



Obr. 76

Ak závislosť medzi M_K a φ je priamka, potom hovoríme o lineárnej charakteristike – lineárnej spojke.

Daná charakteristika znázorňuje lineárnu spojku bez tlmenia. Vyšrafovaná plocha predstavuje schopnosť akumulácie spojky.

Celková akumulovaná práca je:

$$A = M_K \cdot \varphi.$$

Akumulovaná energia rázu sa po odľahčení odovzdá bez zvyšku.

Torzná tuhosť k pružnej spojky lineárnej je definovaná ako podiel ZKM – M_K a uhla skrútenia φ

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{M_K}{\varphi} = k.$$

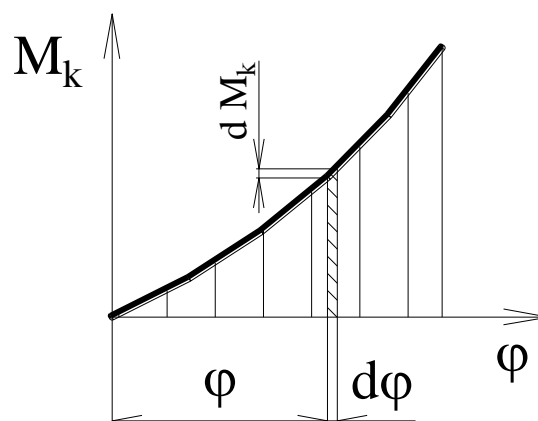
U lineárnych spojok je torzná tuhosť : $k = \text{konšt.}$

Ak závislosť medzi M_K a φ je krivka, potom hovoríme o nelineárnej charakteristike a teda o nelineárnej spojke.

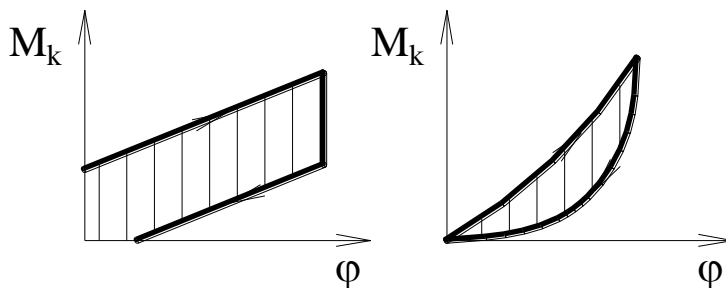
Pre akumulovanú prácu a torznú tuhosť platí:

$$A = \int_0^{\varphi} M_K \cdot d\varphi ; \quad k = \frac{dM_K}{d\varphi}$$

Torzná tuhosť spojky je v každom bode iná.



Obr. 77



Obr. 78

Charakteristiky na uvedenom obrázku majú odlišný priebeh pre zaťaženie a odľahčenie. Časť privedenej kinetickej energie sa premení na tepelnú energiu. Vyšrafované plochy predstavujú energiu pohltenu tmením. Tlmiace vlastnosti spojky sú charakteristické koeficientom tmenia b .

VÝPOČET A NÁVRH PRUŽNÝCH SPOJOK

Výpočet veľkosti ZKM prenášaného spojkou pri štarte a zastavení mechanickej sústavy

Vychádzajme z tejto podmienky, že na hmotu (1) pôsobí hnací závažový moment M_m , ktorý môžeme charakterizovať:

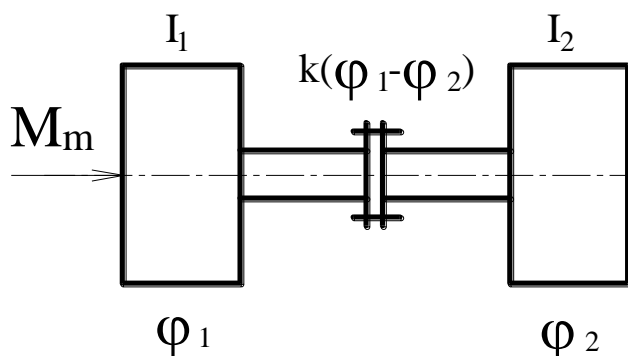
$$M_m = M_s + M_d,$$

kde: M_s – je statický moment, potrebný na pokrytie všetkých odporov,

M_d – dynamický moment, potrebný na vytvorenie zrýchlenia oboch hmôt,

pričom:

- pre rotačnú zložku: $M_{dr} = I_c \cdot \varepsilon = I_c \cdot \frac{\omega}{t} = I_c \cdot \frac{2\pi \cdot n}{60 \cdot t},$
- pre posuvnú zložku: $M_{dp} = \frac{F_d \cdot D_b}{2 \cdot i_c \cdot \eta_c}, \quad F_d = m \cdot a = m \cdot \frac{v}{t}.$



Obr. 79

Pre pohybové rovnice dvojhmotovej sústavy platí:

$$I_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 + k \cdot \varphi_1 = M_m$$

$$I_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 - k \cdot \varphi_2 = 0$$

Riešením pohybových rovníc a použitím nasledovných substitúcií je možné zo sústavy vylúčiť jeden stupeň voľnosti a upraviť na tvar:

$$\ddot{\varphi} + k \cdot \frac{I_1 + I_2}{I_1 \cdot I_2} \cdot \varphi = \frac{M_m}{I_1}, \quad \text{kde: } I_r = \frac{I_1 \cdot I_2}{I_1 + I_2}, \quad \Omega_0^2 = \frac{k}{I_r} = k \cdot \frac{I_1 + I_2}{I_1 \cdot I_2}.$$

Riešenie diferenciálnej rovnice je vyjadrenie vzťahom:

$$\varphi = A \cdot \sin \Omega_0 t + B \cdot \cos \Omega_0 t + \frac{M_m}{I_1 \cdot \Omega_0^2}.$$

Pričom sa integračné konštanty **A**, **B** určia z počiatočných podmienok.

Pre $t = 0$ je $\varphi = 0$ a $\frac{d\varphi}{dt} = 0$.

Z toho pre uhol skrútenia spojky platí:

$$\varphi = \frac{M_m}{I_1 \cdot \Omega_0^2} \cdot (1 - \cos \Omega_0 t).$$

Jeho maximálna hodnota pre $\cos \Omega_0 t = -1$ je:

$$M_{S \max} = \frac{2 \cdot M_m}{1 + \mu}, \text{ kde } \mu = \frac{I_1}{I_2}$$

Z uvedeného vzťahu vyplýva, že krútiaci moment zaťažujúci spojku je v tomto prípade nezávislý od jej torznej tuhosti. Je závislý len od pomeru hmotných momentov zotrvačnosti $\mu = I_1 / I_2$ a je vždy menší ako **2 · M_m**.

V ďalšom predpokladajme, že mechanizmus sústavy otáčajúcej sa uhlovou rýchlosťou ω bol náhle zastavený člen 1.

Potom kinetická energia kotúča 2 sa musí spotrebovať na deformáciu spojky, kde pre jej maximálny uhol skrútenia φ_{\max} platí:

$$\frac{1}{2} \cdot k \cdot \varphi_{\max}^2 = \frac{1}{2} \cdot I_2 \cdot \omega^2 \Rightarrow \varphi_{\max} = \sqrt{\frac{I_2}{k}} \cdot \omega.$$

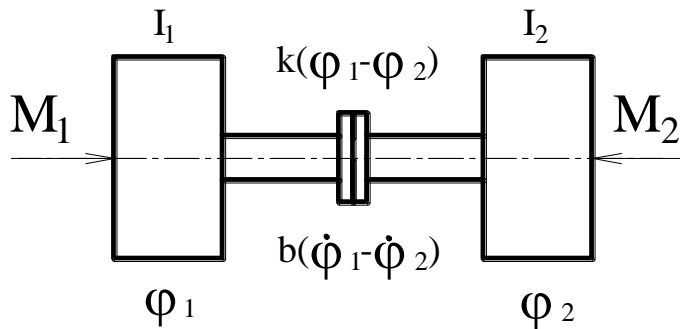
Maximálny moment vnášaný do spojky je potom:

$$M_{S \max} = k \cdot \varphi_{\max} = \sqrt{k \cdot I_2} \cdot \omega.$$

Na základe uvedeného vzťahu je možné konštatovať, že zaťaženie spojky pri zastavení sústavy je tým menšie, čím je spojka pružnejšia, to znamená, čím je torzná tuhosť menšia.

Výpočet veľkosti ZKM prenášaného spojku zaťaženej budiacim momentom

Predpokladajme, že na hmotu 1 pôsobí periodický premenlivý ZKM $M_1 = M_n + \sum_i M_i \cdot \sin(i\omega t + \gamma_i)$ a na hmotu 2 moment $M_2 \leq M_n$,



Obr. 80

pričom:

M_n - menovitý krútiaci moment,
 $M_n = f(P)$

M_i - amplitúda harmonickej zložky ZKM i -tého radu,

ω - uhlová rýchlosť sústavy (budiaca frekvencia)

γ_i - fázové posunutie harmonickej zložky i -tého radu za budiacim momentom

Pohybové rovnice dvojhmotovej sústavy sú:

$$I_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 + b \cdot (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + k \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) = M_i \cdot \sin(i\omega t + \gamma_i)$$

$$I_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 - b \cdot (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) - k \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) = 0$$

Riešením a úpravou pre dynamický moment zaťažujúci sústavu a zvlášť pružnú spojku platí:

$$M_d = \sum_i M_i \cdot \frac{I_2}{I_1 + I_2} \cdot \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{i \cdot \omega}{\Omega_0}\right)^2 \cdot \left(\frac{2 \cdot \kappa}{\Omega_0}\right)^2}}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{i \cdot \omega}{\Omega_0}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{i \cdot \omega}{\Omega_0}\right)^2 \cdot \left(\frac{2 \cdot \kappa}{\Omega_0}\right)^2}}$$

kde:

$$\Omega_0 = \sqrt{\frac{k}{I_r}} = \sqrt{k \cdot \frac{I_1 + I_2}{I_1 \cdot I_2}} \quad - \text{vlastná kruhová frekvencia,}$$

$$2 \cdot \kappa = b \cdot I_r \quad - \text{koeficient tlmenia; } \mathbf{b} \text{ - súčiniteľ tlmenia,}$$

$$\psi = \frac{4 \cdot \pi \cdot \kappa \cdot i \cdot \omega}{\Omega_0^2} \quad - \text{relatívne tlmenie,}$$

$$\eta = \frac{i \cdot \omega}{\Omega_0} \quad - \text{súčiniteľ rozladenia;}$$

ak: $\eta = 1 \Rightarrow i \cdot \omega = \Omega_0$ - rezonančný stav

Mechanická sústava bude vhodne vyladená z hľadiska rezonančného stavu, ak: $\eta = 1,2 \div 4$.

Ďalšou úpravou $\left(\frac{i \cdot \omega}{\Omega_0}\right) \cdot \left(\frac{2 \cdot \kappa}{\Omega_0}\right) = \frac{\psi}{2 \cdot \pi}$ dostávame nakmitávací súčiniteľ – ξ

kde: $\xi = \frac{1 + \left(\frac{\psi}{2\pi}\right)}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{i \cdot \omega}{\Omega_0}\right)^2\right] + \left(\frac{\psi}{2\pi}\right)^2}}$, potom pre zložku dynamického momentu

platí: $M_d = \sum_i M_i \cdot \frac{I_2}{I_1 + I_2} \cdot \xi$.

Pre celkový moment zaťažujúci pružnú spojku dostávame:

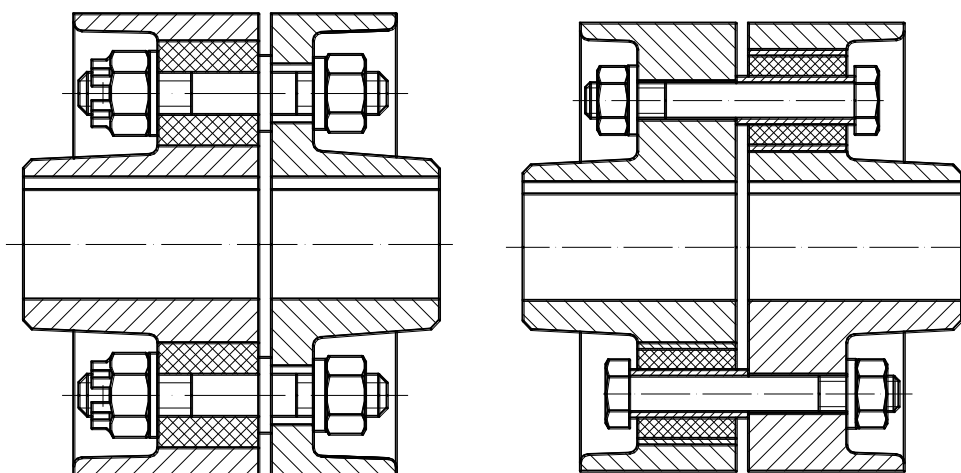
$$M_S = M_n + M_d = M_n + \sum_i M_i \cdot \frac{I_2}{I_1 + I_2} \cdot \xi.$$

NIKTORÉ TYPY NAJČASTEJŠIE POUŽÍVANÝCH PRUŽNÝCH HRIADEĽOVÝCH SPOJOK

V súčasnej dobe sú najčastejšie používané pružné hriadeľové spojky s rôznymi tvarmi, počtom a s rôznymi konštrukčnými úpravami pružných elementov. Čo sa týka materiálov, prevládajú gumové pružné elementy.

Medzi základné typy pružných spojok patria pružné spojky čapové, u ktorých sa záťažový krútiaci moment prenáša pružnými vložkami uloženými na kovových čapoch (*obr.81a*) alebo navulkanizovanými pružnými vložkami do rúrok (*obr.81b*). Dané spojky sú väčšinou nelineárne, jednoduché, ľahko demontovateľné, nehlučné a používajú sa pre malé a stredné záťažové krútiace momenty.

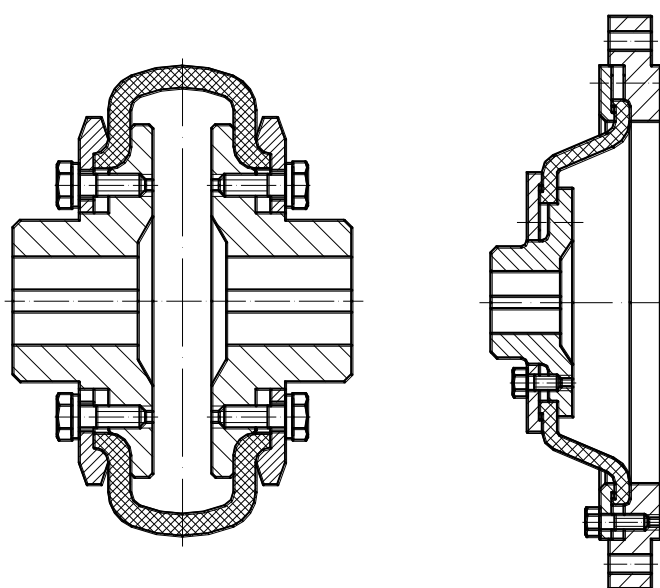
Veľmi osvedčenými pružnými spojkami sú spojky typu Periflex (*obr.82a* - obručová, *b* - prírubová). Záťažový krútiaci moment sa v oboch prípadoch prenáša z hnacej časti na poháňanú časť spojky gumovým pružným elementom (obručou, prírubou). Spojky sú nelineárne, jednoduché, ľahko demontovateľné, nehlučné a používajú sa pre rôzne rozsahy záťažových krútiacich momentov.



a)

b)

Obr. 81. Pružné spojky čapové

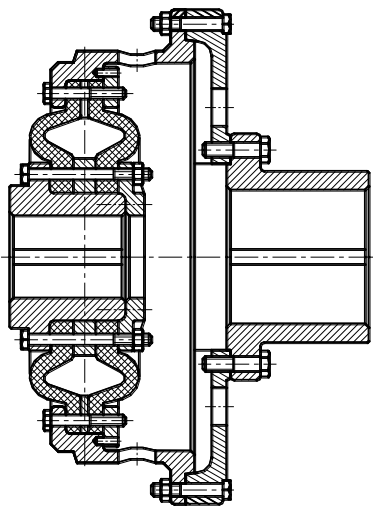


a)

b)

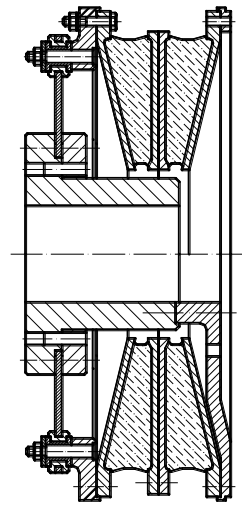
Obr. 82. Pružné spojky Periflex

V poslednej dobe nachádzajú v mechanických sústavách s piestovými strojmi stále širšie uplatnenie vysokopružné hriadeľové spojky, teda pružné hriadeľové spojky s nízkou torznou tuhosťou (obr. 1.6a). Lineárna spojka RATO (obr. 1.6a) alebo nelineárna spojka EZR (obr. 1.6b) podstatnou mierou znižujú torzné dynamické namáhanie v mechanických sústavách so zvlášť vysokým záťažovým krútiacim momentom v pohonoch lokomotív, lodí a pod.



a)

V poslednej dobe nachádzajú v mechanických sústavách s piestovými strojmi stále širšie uplatnenie vysokopružné hriadeľové spojky, teda pružné hriadeľové spojky s nízkou torznou tuhosťou. Lineárna spojka RATO (obr.83a) alebo nelineárna spojka EZR (obr.83b) podstatnou mierou znižujú torzné dynamické namáhanie v mechanických sústavách so zvlášť vysokým záťažovým krútiacim momentom v pohonoch lokomotív, lodí a pod.



b)

Obr. 83. Pružná spojka typu RATO a EZR

PNEUMATICKÉ PRUŽNÉ HRIADEĽOVÉ SPOJKY A ICH CHARAKTERISTIKA

Dlhodobá prevádzka, ktorá spôsobuje starnutie a únavu zvlášť súčasne používaných pružných hriadeľových spojok, a taktiež náhodne vzniknuté javy spôsobené hlavne vplyvom zmeny vlastností hnacieho či hnaného piestového zariadenia veľmi nepriaznivo vplyvajú na samotný kludný chod mechanickej sústavy z hľadiska nebezpečného torzného kmitania.

V dôsledku vzniku takýchto nepriaznivých okolností vopred vyladená mechanická sústava začína byť rozladenou. V tom prípade jej ladiaci člen, čiže pružná hriadeľová spojka, nie je schopná obmedziť alebo dokonca odstrániť narastajúce nebezpečné torzné kmitanie sústavy.

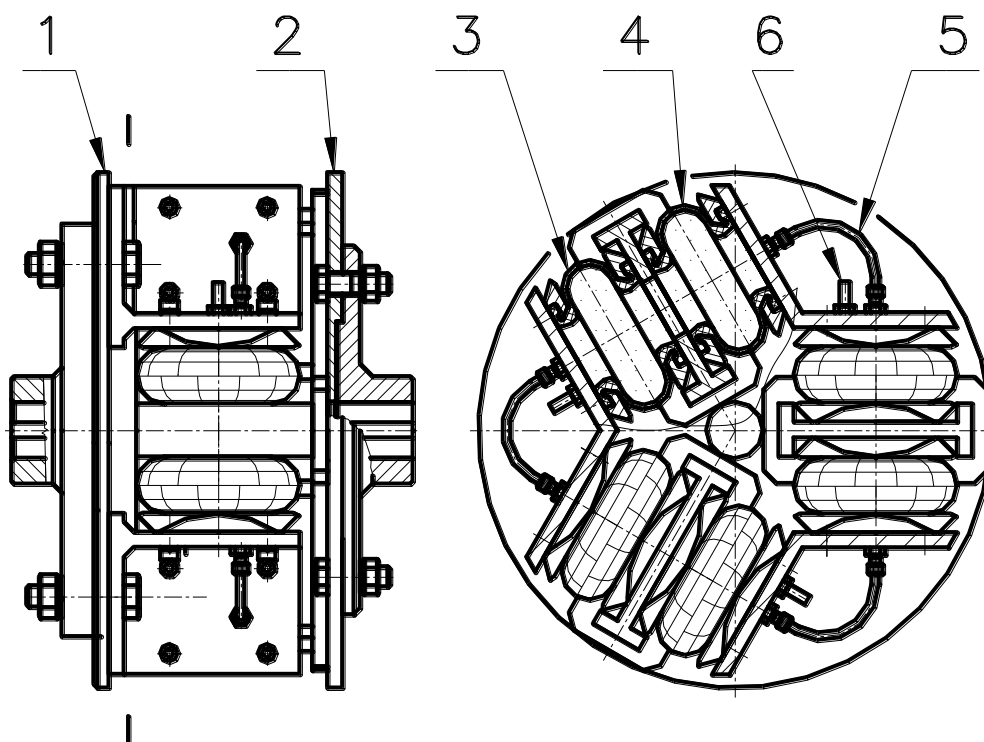
So zámerom obmedziť nebezpečné torzné kmitanie a tým zabezpečiť vhodné vyladenie, respektíve ladenie TKMS navrhujeme a plikovať nami vyvíjané pneumatické pružné spojky.

Pneumatiké pružné hriadeľové spojky diferenčné

V oblasti vývoja a výskumu pneumatických spojok sa v súčasnej dobe venuje pozornosť:

- pneumatickým pružným hriadeľovým spojkám diferenčným,
- pneumatickým pružným hriadeľovým spojkám diferenčným s autoreguláciou.

Pneumatická pružná hriadeľová spojka diferenčná



Obr. 84. Pneumatická pružná hriadeľová spojka diferenčná

Pneumatická spojka diferenčná pozostáva z hnacej časti (1), poháňanej časti (2), medzi ktorými sa nachádza kompresný priestor z hnacej časti (1), poháňanej časti (2), medzi ktorými sa nachádza kompresný priestor plnený plynným médiom (v našom prípade vzduchom). Kompresný priestor je tvorený tromi v jednom rade po obvodu rozmiestnenými a vzájomne prepojenými diferenčnými členmi. Každý diferenčný člen pozostáva zo stlačovaného (3) a ťahaného pneumaticko-pružného elementu (4). Vzájomné prepojenie diferenčných členov je zabezpečené prepojovacou hadicou (5). Prostredníctvom ventilu (6) sa realizuje plnenie kompresného priestoru spojky, čím dochádza k zmene tlaku plynného média v ňom.

Výsledky realizovaných meraní na pneumatických spojkách

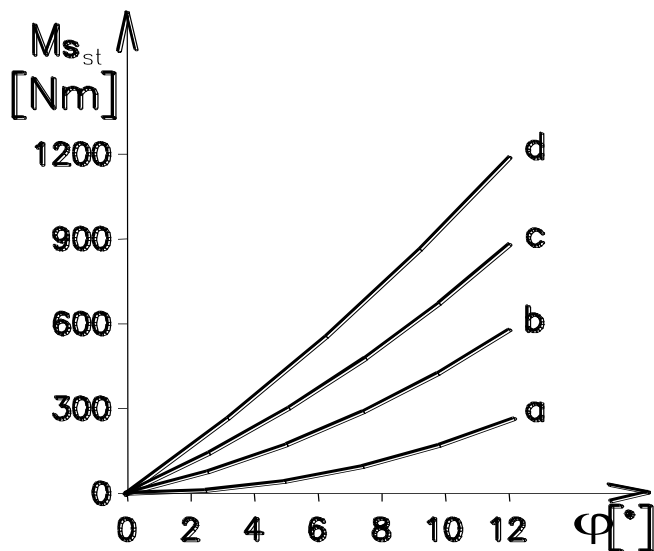
V rámci uskutočnených meraní boli na pneumatických spojkách realizované statické a dynamické merania.

Pre ilustráciu a informáciu základných charakteristických vlastností pneumatických spojok uvádzam len niektoré výsledky realizovaných meraní.

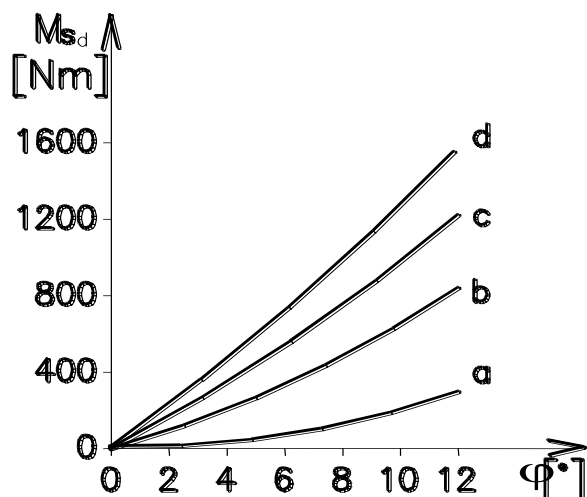
Zo získaných výsledkov statických a dynamických meraní vyplynulo, že zmenou tlaku plynného média je pneumatická spojka schopná pracovať so stále inou charakteristikou (**obr.**), teda je schopná pracovať so stále inými charakteristickými vlastnosťami (torznou tuhosťou a súčiniteľom tlmenia).

Vychádzajúc z uvedených obrázkov je možné prehlásiť, že statické charakteristiky pneumatických spojok sú mierne nelineárne. Ich priebeh vyjadríme rovnicou:

$$M_{Sst} = a_0 \cdot \varphi + a_3 \cdot \varphi^3.$$



Obr.85. *Priebehy statických charakteristík pneumatickej spojky; priebehy a, b, c, d sú pre tlaky plynného média $p_s = 100, 300, 500$ a 700 kPa*



Obr.86. *Priebehy dynamických charakteristík pneumatickej spojky; priebehy a, b, c, d sú pre tlaky plynného média $p_s = 100, 300, 500$ a 700 kPa*

Podmienky kladené na pneumatické spojky pri ich aplikácii v torzne kmitajúcich mechanických sústavách

Pneumatické spojky musia v ľubovoľných TKMS spĺňať nasledovné podmienky:

- ❖ Vyrovnávanie osových, radiálnych i uhlových nesúosovostí hriadeľov spôsobených výrobnými nepresnosťami.
 - Pri prenose záťažového krútiaceho momentu je vyrovnávanie osových, radiálnych i uhlových nesúosovostí hriadeľov, a zároveň aj uhlové skrútenie hnacej voči poháňanej časti pneumatickej spojky, zabezpečené jej pružným kompresným priestorom.
- ❖ Zabezpečenie stálych dynamických vlastností a stáleho pružného prenosu záťažového krútiaceho momentu počas životnosti mechanickej sústavy.
 - Uhlovým skrútením pneumatickej spojky dosiahneme kompresiu plynného média v jej kompresnom priestore úmernú zaťaženiu, čím sa realizuje pružný prenos záťažového krútiaceho momentu v TKMS. Stály pružný prenos sa zabezpečí tým, že použitým pružným materiálom v spojke je plynné médium (v našom prípade vzduch), ktoré má dominantný vplyv na základné

charakteristické vlastností pneumatickej spojky¹ a ktoré počas celej svojej činnosti nepodlieha starnutiu ani únave. V dôsledku toho pneumatická spojka ne stráca svoje pôvodné charakteristické vlastností, z čoho vyplýva jej stálosť počas celej životnosti TKMS.

- ❖ Schopnosť vhodného ladenia torzne kmitajúcich mechanických sústav, teda schopnosť prispôsobenia svojich dynamických vlastností dynamike sústavy.
 - Na základe zmeny tlaku plynného média p_S v kompresnom priestore pneumatickej spojky meníme, t. j. ladíme jeho dynamickú torznú tuhosť k_{ed} , ktorá má rozhodujúci vplyv na vlastnú frekvenciu sústavy Ω_O , pričom I_{red} je redukovaný hmotný moment zotrvačnosti sústavy.

$$\Omega_O = \sqrt{k_{ed} / I_{red}}.$$

- Z uvedeného teda vyplýva **princíp vhodného ladenia TKMS pneumatickými spojkami**, ktorého základnou podstatou je **prispôsobenie vlastnej uhlovej frekvencie sústavy Ω_O k budiacej uhlovej frekvencii ω tak, aby v rozsahu pracovného režimu sústavy nedošlo k rezonančnému stavu ($\Omega_O = \omega$) a následne k jej nebezpečnému torznému kmitaniu.**

¹ Hlavnou a nosnou časťou prezentovaných pneumatických spojok je ich kompresný priestor, ktorý je tvorený stlačovanými a ťahanými pneumaticko-pružnými elementami (gumovo-kordové obaly), naplnený plynným médiom. V takom prípade charakteristické vlastnosti pneumatickej spojky budú závisieť jednak od vplyvu gumovo-kordového obalu a jednak od vplyvu plynného média - ako jeho náplne.

Z uvedeného problému vyvstáva otázka, **čo má dominantný vplyv na základné charakteristické vlastnosti pneumatických spojok – plynné médium alebo gumovo-kordový obal?**

Pri skúmaní veľkosti vplyvu oboch komponentov na zmenu charakteristických vlastností pneumatickej spojky dospelo sa k názoru, že stúpajúca tendencia veľkosti vplyvu plynného média je v rozsahu $Q_V = 66,22\% - 89,83\%$, kým klesajúca tendencia vplyvu gumovo-kordového obalu nadobúda rozsah $Q_G = 33,78\% - 10,17\%$ v závislosti od tlaku plynného média p_S v pneumatickej spojke. Na základe týchto hodnôt je možné konštatovať, že vplyv plynného média už na začiatku, t. j. pri $p_S = 100 \text{ kPa}$, je v porovnaní s vplyvom gumovo-kordového obalu takmer dvojnásobný, kým na konci, t. j. pri $p_S = 700 \text{ kPa}$, nadobúda až deväťnásobnú hodnotu.

Teda z uvedených výsledkov môžeme konštatovať, že na zmenu základných charakteristických vlastností pneumatických spojok má dominantný vplyv jednoznačne plynné médium.