

Postup při výpočtu kyvného pohonu

Aby bylo možno zvolit správnou velikost kyvného pohonu, musí být k dispozici následující údaje:

- hmotnostní moment setrvačnosti
- krouticí moment
- kinetická energie otáčejícího se tělesa

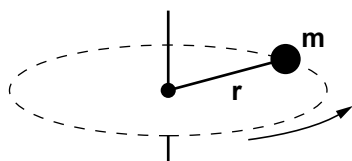
Hmotnostní moment setrvačnosti

Stejně jako u lineárního pohybu, tak i u rotačního pohybu je třeba překonat setrvačnost tělesa o hmotnosti m a uvést jej do pohybu. Odpor proti otáčení je dán setrvačností hmoty tělesa. Rozdíl proti lineárnímu pohybu je v tom, že v případě otáčivého pohybu nerozhoduje pouze hmotnost tělesa, ale hmotnostní moment setrvačnosti J . Ten je dán jak hmotností tělesa, tak polohou těžiště hmoty k ose rotace.

Hmotnostní moment setrvačnosti I bodu o hmotnosti m , rotujícího na rameni r od osy otáčení je vyjádřen vztahem:

$$I = m \times r^2$$

I	- hmotnostní moment setrvačnosti	(kgm ²)
m	- hmotnost	(kg)
r	- vzdálenost těžiště k ose otáčení	(m)

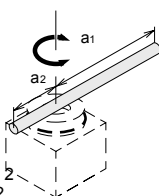


Při praktickém použití neotáčí kyvné pohony body, ale tělesa různých tvarů. Počet jednotlivých bodů tělesa se násobí s jejich vzdáleností od osy otáčení. Na obr. 7.4 jsou uvedeny vzorce pro výpočet hmotnostního momentu setrvačnosti pro základní tvary v praxi používaných těles.

7. Pneumatické kyvné pohony

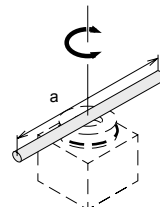
- 1 tenká nesymetricky uložená tyč

$$I = m_1 \times \frac{a_1^2}{3} + m_2 \times \frac{a_2^2}{3}$$



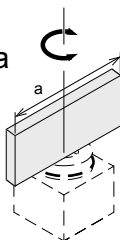
- 2 tenká symetricky uložená tyč

$$I = m \times \frac{a^2}{12}$$



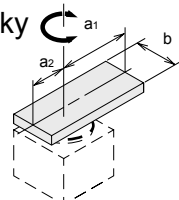
- 3 tenká symetricky na výšku uložená deska

$$I = m \times \frac{a^2}{12}$$



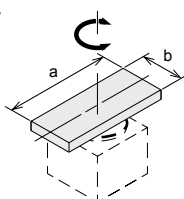
- 4 pravoúhlá nesymetricky uložená deska libovolné tloušťky

$$I = m_1 \times \frac{4a_1^2 + b^2}{12} + m_2 \times \frac{4a_2^2 + b^2}{12}$$



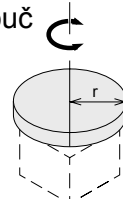
- 5 pravoúhlá symetricky uložená deska libovolné tloušťky

$$I = m \times \frac{a^2 + b^2}{12}$$



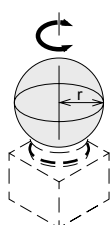
- 6 v ose uložený tenký kotouč

$$I = m \times \frac{r^2}{2}$$



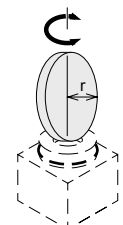
- 7 v ose uložená koule

$$I = m \times \frac{2r^2}{5}$$



- 8 na výšku v ose uložený tenký kotouč

$$I = m \times \frac{r^2}{4}$$



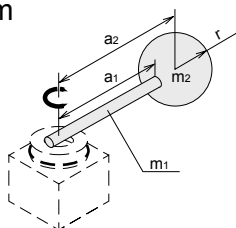
- 9 rameno se závažím

$$I = m_1 \times \frac{a_1^2}{3} + m_2 \times a_2^2 + K$$

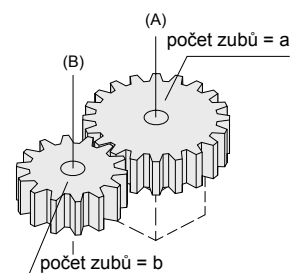
Pro rameno s koulí (jako na obr.) se K vypočte podle vzorce č. 7:

$$K = m_2 \times \frac{2r^2}{5}$$

Pro rameno s kotoučem se K vypočte podle vzorce č. 6, nebo č. 8:



- 10 převody



Nejprve spočítat hmotnostní moment setrvačnosti ozubeného kola B (vzorec 6.) a pak:

$$I_A = \left(\frac{a}{b}\right)^2 \times I_B$$

I - hmotnostní moment setrvačnosti (kgm^2)
 m - hmotnost tělesa (kg)

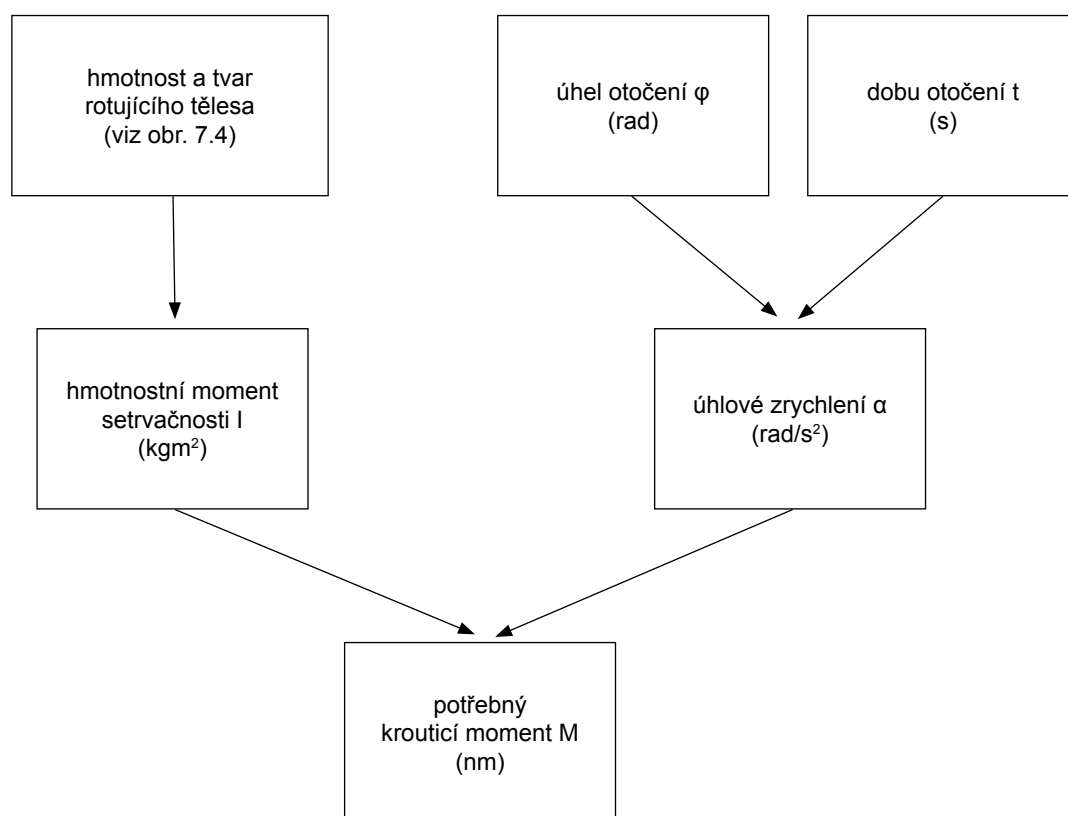
a, b, r - rozměry

(m)

Obr. 7.4 Výpočet hmotnostního momentu setrvačnosti různých těles

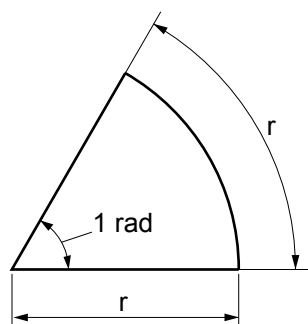
Potřebný krouticí moment

Pro stanovení krouticího momentu, kterého je třeba k otočení daného tělesa o požadovaný úhel v daném čase musíme znát následující údaje:



Úhel otočení v radiánech

Pro výpočet úhlové rychlosti a úhlového zrychlení se hodnoty úhlů neuvádí ve stupních ($^{\circ}$), ale v *radiánech* (rad). 1 radián je úhel k oblouku délky poloměru.



Obr. 7.5 Grafické znázornění 1 radiánu (rad)

7. Pneumatické kyvné pohony

Úhel otočení, vyjádřený v radiánech, se značí písmenem φ řecké abecedy. Obvod kruhu je $O = 2 \pi r$. Z toho vyplývá, že úhel 360° v radiánech je vyjádřen vztahem:

$$\varphi = \frac{2 \pi r}{r} = 2 \pi = 2 \pi \text{ rad}$$

Převod radiánu na stupně je vyjádřen vztahem:

$$1 \text{ rad} = \frac{180^\circ}{\pi} = 57,3^\circ$$

Převod stupňů na radiány je vyjádřen vztahem:

$$1^\circ = \frac{\pi}{180^\circ} = 0,01745 \text{ rad}$$

Úhlová rychlost

U pneumatických kyvných pohonů musíme přijmout jako skutečnost zjištění, že mají v celém rozsahu úhlu otáčení – kyvu – přibližně konstantní úhlové zrychlení. Výstupní člen pak dosáhne na konci pohybu dvojnásobek průměrné úhlové rychlosti.

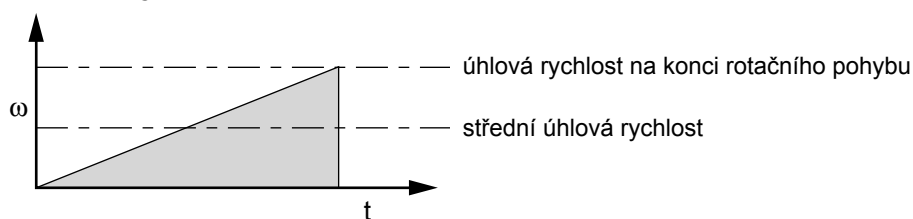
$$\omega = \frac{2 \times \varphi}{t}$$

ω - úhlová rychlost (rad/s)

φ - úhel otočení (rad)

t - čas pro otočení o úhel φ (s)

Úhlové zrychlení



Obr. 7.6 Úhlová rychlost

$$\alpha = \frac{2 \times \varphi}{t^2}$$

α - úhlové zrychlení (rad/s²)

φ - úhel otočení (rad)

t - čas pro otočení o úhel φ (s)

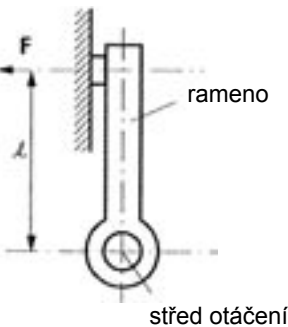
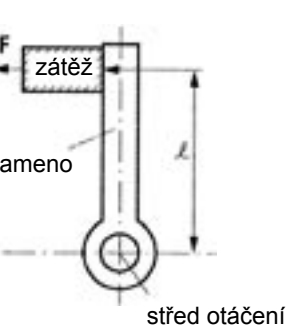
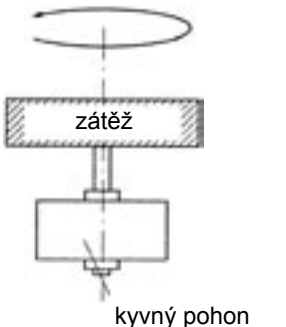
Teoretická hodnota krouticího momentu

$$M_T = I \times \alpha$$

M_T - teoretický krouticí moment (Nm)

I - hmotnostní moment setrvačnosti (kgm^2)

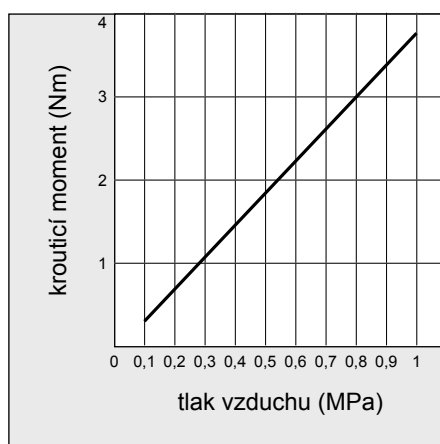
Hodnota teoretického krouticího momentu nepočítá s odpory, způsobenými vnitřním třením kyvného pohonu a s ním spojeným mechanismem. Potřebnou hodnotu krouticího momentu M_E určíme, když vypočtenou hodnotu teoretického krouticího momentu M_T vynásobíme příslušným koeficientem k , zvoleným podle příkladů v obr. 7.7.

<p>• Statický krouticí moment (M_{st}) Na podložku působí síla, vypočtená z krouticího momentu. Při této aplikaci není třeba použít žádný opravný koeficient.</p> <p>Příklad:</p>  <p>$M_{st} = F \times l \text{ (Nm)}$ F: síla (N) l: délka ramena (m)</p> <p>$k = 1$ $M_E = M_{st}$</p>	<p>• Dynamický krouticí moment (M_D) Pohon otáčí břemenem na ramenu. Je třeba překonat odpory, vyvolané třením mechanismu. Možnost regulace rovnoměrného regulování rychlosti umožní použití koeficientu $k = 5$.</p> <p>Příklad:</p>  <p>$F = \mu \times m \times g$ μ: součinitel tření m: hmotnost (kg) g: $9,81\text{m/s}^2$ $M_D = F \times l \text{ (Nm)}$ $k = 5$ $M_E = M_D \times 5$</p>	<p>• Rotace (kývání) (M_T) Ke zrychlení zátěže, tj. k překonání hmotnostního momentu setrvačnosti se doporučuje použít koeficient $k = 10$.</p> <p>Příklad:</p>  <p>$M_T = I \times \alpha$ M_T - teoretický krouticí moment (Nm) I - hmotnostní moment setrvačnosti (kgm^2)</p> <p>$k = 10$ $M_E = M_T \times 10$</p>
--	--	--

Obr. 7.7 Koeficienty používané k určení potřebného krouticího momentu M_E

7. Pneumatické kyvné pohony

Krouticí moment je stejně jako u pneumatických válců dán plochou, na kterou působí tlak vzduchu. Protože nelze tuto plochu podle typu kyvného pohonu přesně spočítat, použijeme k určení teoretického krouticího momentu pro zvolený typ kyvného pohonu příslušný diagram z katalogu.



Obr. 7.8 Ukázka diagramu pro určení teoretického krouticího momentu kyvného pohonu

Kinetická energie tělesa s rotačním pohybem

V závislosti na hmotnostním momentu setrvačnosti a úhlové rychlosti v konci kyvu může i malý krouticí moment vygenerovat velkou kinetickou energii. Při náhlém zastavení rotujícího předmětu v konci kyvu může kinetická energie poškodit mechanismus kyvného pohonu. Proto nesmí být překročena dovolená hodnota kinetické energie (energie rotujícího tělesa E_ω), doporučená pro daný typ kyvného pohonu. Je-li hodnota vypočtené kinetické energie vyšší než doporučená, musí se k ochraně kyvného pohonu před poškozením použít externí dorazy, případně dorazy s hydraulickými tlumiči.

Kinetickou energii negenerují pouze tělesa s přímočarým pohybem, ale i otáčející se (rotující) tělesa. Kinetická energie přímočaře se pohybujícího je vyjádřena vztahem:

$$E_k = \frac{m}{2} \times v^2$$

Kinetická energie otáčejícího se (rotujícího) tělesa je vyjádřena vztahem:

$$E_\omega = \frac{I}{2} \times \omega^2$$

E_ω - kinetická energie rotující části (J = Nm)

I - hmotnostní moment setrvačnosti (kgm²)

ω - úhlová rychlost na konci rotačního pohybu (rad/s)

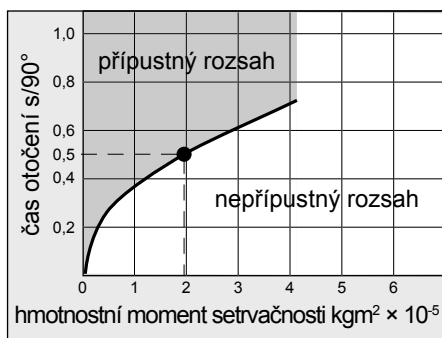
Použijí-li se k absorbování kinetické energie otáčejícího se tělesa externí dorazy, stačí k určení velikosti kyvného pohonu spočítat pouze potřebný krouticí moment.

Diagram ke zjištění nejkratšího času kyvu

V technických podkladech kyvných pohonů jsou uvedeny diagramy, ze kterých lze pro daný typ a velikost zjistit maximální přípustnou hodnotu kinetické energie. Známe-li hmotnostní moment setrvačnosti, můžeme z diagramů také odečíst čas pro otočení výstupního členu kyvného pohonu (hřídele, stolu). Níže uvedený diagram je graficky vyjádřený vztah:

$$E_{\omega} = \frac{I}{2} \times \omega^2$$

Udává maximální čas otočení výstupního členu o 90° jako funkci hmotnostního momentu setrvačnosti.



Obr. 7.9 Diagram, vyjadřující vztah mezi hmotnostním momentem setrvačnosti a časem pro otočení o 90°

V diagramu na obrázku 7.9 je následující příklad:

hmotnostní moment setrvačnosti rotujícího tělesa $I = 2 \times 10^{-5} \text{ kgm}^2$

Na vodorovné ose odečteme na stupnici hmotnostní moment setrvačnosti, v tomto bodě vztyčíme kolmici, až protne křivku diagramu a z průsečíku vedeme vodorovnou čáru a na průsečíku se svislou osou odečteme čas pro otočení o 90° $t = 0,5 \text{ s}$.

Má-li se těleso spojené s pohonem otáčet rychleji, musíme použít buď větší kyvný pohon nebo zmenšit hodnotu hmotnostního momentu setrvačnosti nebo kinetickou energii otáčejícího se tělesa absorbovat externími dorazy.

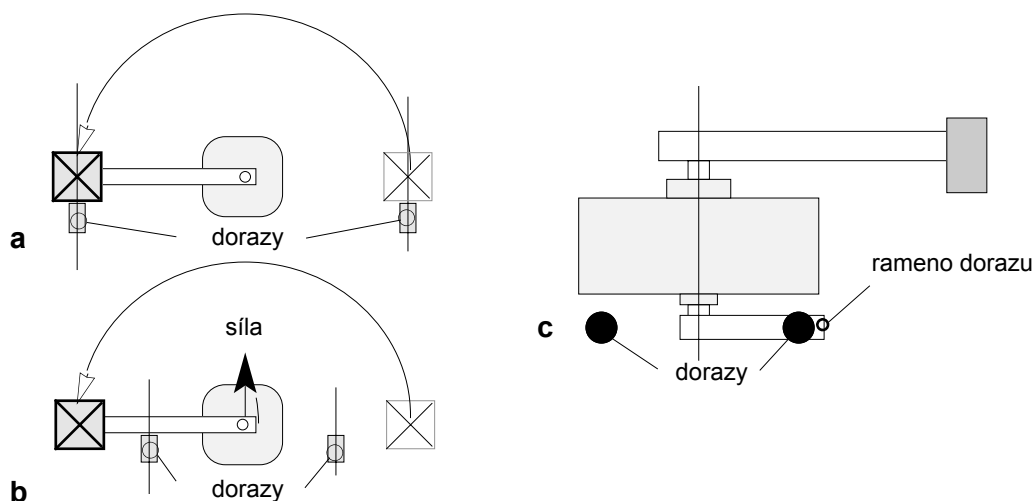
Doporučení pro konstrukce s kyvnými pohony

Externí dorazy

Je-li hodnota vypočtené kinetické energie vyšší než hodnota doporučená pro daný typ kyvného pohonu, je možné kinetickou energii rotujícího tělesa absorbovat externími dorazy. Doraz by měl být pokud možno umístěn jako na obr. 7.10a, kdy se stýká s tělesem v ose jeho těžiště.

Na obr. 7.10b se doraz stýká s ramenem a působí tak mimo osu těžiště rotujícího tělesa. Doraz působí jako otočný bod dvojramenné páky a kinetická energie tělesa vyvolává jako reakci nežádoucí sílu, která působí na hřídel a ložiska kyvného pohonu. To podstatně snižuje životnost kyvného pohonu.

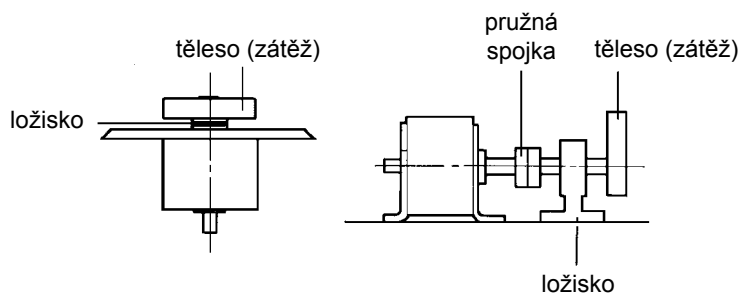
Nejméně vhodná varianta umístění dorazů je na obr. 7.10c. Měla by se použít pouze po předchozí domluvě s dodavatelem kyvného pohonu. Hodnota kinetické energie musí být nižší, maximálně rovna doporučené hodnotě pro daný pohon.



Obr. 7.10 Varianty umístění externích dorazů

Dynamické zatížení hřídele pohonu

Při použití všech typů kyvných pohonů, s výjimkou otočných stolů, je nutné uložit rotující tělesa do samostatných ložisek. Ložiska kyvných pohonů je možno zatížit radiálními a axiálními silami pouze v omezeném rozsahu. Na obr. 7.11 jsou uvedeny příklady konstrukčního řešení, které řeší daný problém.

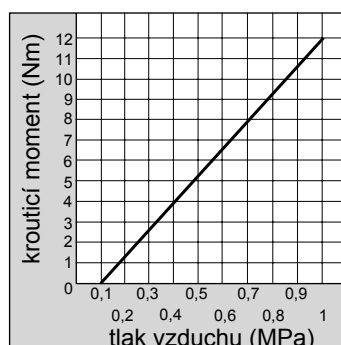


Obr. 7.11 Konstrukční řešení dynamického zatížení hřídele

Příklad výpočtu kyvného pohonu

Tento příklad má zkontrolovat, zda byl vybrán správný typ a velikost kyvného pohonu. Byl vybrán kyvný pohon s následujícími parametry:

Diagram závislosti krouticího momentu na tlaku vzduchu:



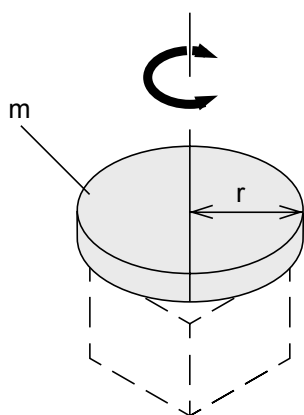
kinetická energie (vnitřní doraz): $E_{\omega} = \max. 0,084 \text{ J (Nm)}$

provozní tlak: $p = 0,5 \text{ MPa}$

úhel otočení: $\varphi = 180^{\circ} = 3,14 \text{ rad}$

čas pro otočení o úhel φ : $t = 1,2 \text{ s}/180^{\circ}$

Hmotnost, tvar a rozměry soustředně uloženého rotujícího tělesa:



hmotnost kotouče

poloměr kotouče

$m = 400 \text{ g} = 0,4 \text{ kg}$

$r = 150 \text{ mm} = 0,15 \text{ m}$

7. Pneumatické kyvné pohony

1. krok

Nejprve je třeba vypočítat hmotnostní moment setrvačnosti. Pro zadaný příklad, v ose uložený tenký kotouč, použijeme podle obr. 7.4 vzorec č. 6.

$$I = m \times \frac{r^2}{2} = 0,4 \text{ kg} \times \frac{0,15^2}{2} = 0,0045 \text{ kgm}^2$$

2. krok

Vypočteme krouticí moment, potřebný k otočení kotouče o zadaný úhel v daném čase s použitím koeficientu k , uvedeného v obr. 7.7.

$$M_T = I \times \alpha \times k$$

$$\alpha = \frac{2 \times \varphi}{t^2} = \frac{2 \times 3,14}{1,2^2} = 4,36 \text{ rad/s}^2$$

$$M_E = M_T \times k = I \times \alpha \times k = 0,0045 \times 4,36 \times 10 = 0,1962 \approx 0,2 \text{ Nm}$$

Pro otočení kotouče o hmotnosti 0,4 kg zadaného tělesa o úhel $\varphi = 180^\circ$ v čase $t = 1,2 \text{ s}$ v 180° je třeba, aby kyvný pohon vyvinul krouticí moment $M_E = 0,2 \text{ Nm}$. Zvolený kyvný pohon vyvine podle diagramu při tlaku vzduchu $p = 0,5 \text{ MPa}$ krouticí moment $M_E' = 5,2 \text{ Nm}$, který je 26× větší než vypočtený moment M_E .

Přesto nepoužijeme hned menší kyvný pohon s menším rozdílem mezi vypočteným a použitým krouticím momentem, ale provedeme 3. krok. Ve 3. kroku zkontrolujeme, zda vnitřní dorazy vybraného pohonu jsou schopny absorbovat vygenerovanou kinetickou energii.

3. krok

Kontrola kinetické energie absorbované pohonem.

$$\omega = \frac{2 \times \varphi}{t^2} = \frac{2 \times 3,14}{1,2} = 5,2 \text{ rad/s}$$

$$E_\omega = \frac{I}{2} \times \omega^2 = \frac{0,0045}{2} \times 5,2^2 = 0,06 \text{ J} = 0,06 \text{ Nm}$$

Hodnota vypočtené kinetické energie je menší než hodnota maximální dovolené kinetické energie zvoleného pohonu (0,084 J). Zvolený pohon vyhovuje provozním požadavkům. Pokud by se použily externí dorazy, pak by bylo možné použít menší z rozměrové řady kyvných pohonů.