POMOCNÉ TEXTY PRO CVIČENÍ Z KONSTRUKCE TVÁŘECÍCH STROJŮ

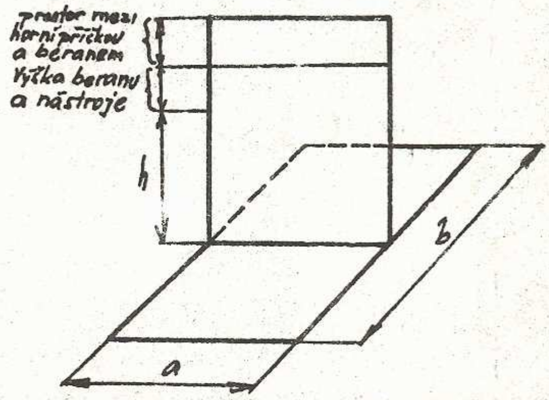
ČÁST II.

ING. MILAN ČECHURA

Postup při výpočtu vřetenových lisů:

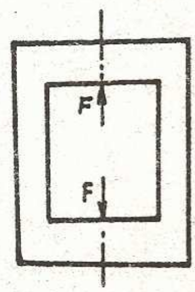
Aby se mohlo započít s konstrukcí a výpočtem vřetenového lisu je třeba vědět:

Velikost požadované tvářecí síly	F	/Mp/
velikost zdvihu beranu	h	/mm/
velikost užitečné práce	Au	/kpm/
nebo užitečného zdvihu	h_v	/mm/
rozměry pracovního prostoru	a,b	/mm/



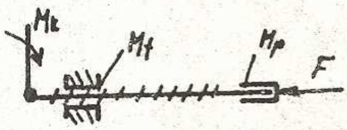
Podle zadaných parametrů určujících velikost stolu (pracovního) a zdvih vypočteme a navrhneme vnitřní rozměry rámu.

Podle zadané síly se navrhne a dimensuje rám jako centricky zatížený. Vypočte se jeho celková deformace Δy_r při zatížení silou F.



Navrhne se vřeteno na jmenovitou sílu tak, aby závit byl nesamosvorný ($12^o - 20^o$) vícechodý a vypočítá se jeho deformace Δy_v při zatížení od jmenovité síly F a krouticího momentu M_k.

M_k vyvozuje sílu F a překonává odpory (M_f a M_p).



Celková energie (příkon) A, kterou je třeba dodat do pohybujících se hmot je:

M_f - třecí moment ve šroubu

M_p - třecí moment v pat. ložisku

$A = A_u + A_p + A_z$

kde $A_u = kp \cdot F \cdot h_v$

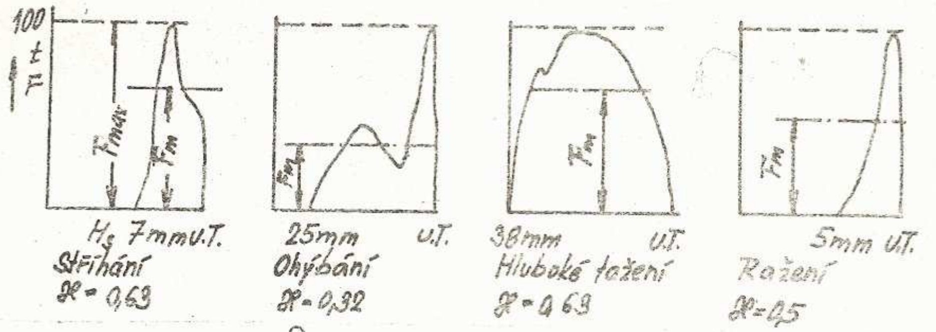
Au ... užitečná energie využitá k deformaci materiálu

kp ... stupeň vyplnění tvářecí charakteristiky

F .... jmenovitá tvářecí síla

h_v ... velikost užitečného (pracovního) zdvihu

Tvářecí charakteristiky:



$F_m = \varkappa \cdot F_{max}$

$A_u = F_m \cdot h_u$

$$Ap = \frac{1}{2} \cdot \frac{F^2}{k}$$

nebo

$$Ap = \frac{1}{2} F . \Delta y$$

Ap .... energie spotřebovaná na pružné deformace stroje

k ..... tuhost celého zařízení ($k = 300\,000 - 800\,000$ kp/mm)

$\Delta y \doteq \Delta y_s + \Delta y_v$ celková deformace celého zařízení

$$Az = \xi . A$$

Az ..... energie potřebná k překonání pasivních odporů. Vyjadřujeme ji jako část celkové energie.

$$A = Au + Ap + Az = Au + Ap + \xi . A$$
$$A - \xi . A = Au + Ap$$
$$A (1 - \xi) = Au + Ap$$
$$(1 - \xi) = \eta \doteq \eta_{\check{s}} . \eta_v$$

η ..... účinnost lisu $= \dfrac{Au}{A} > 60\ \%$

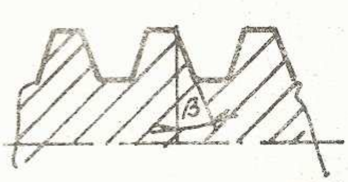
Hlavními veličinami, které ovlivňují celkovou účinnost lisu je

$$\eta_{\check{s}} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} (\alpha + \frac{\varphi}{\cos \beta})}$$ ... tj. účinnost šroubu (vřetena)

kde α .... ∢ stoupání závitu

φ .... ∢ tření ($5^\circ - 8^\circ$)

β .... ∢ lichoběž. závitu



β je u lichoběž. závitů malý a tak je možno jej zanedbat ...... $\dfrac{1}{\cos \beta} = 1{,}03$.

Účinnost šroubu na vřetenč, které má lichoběžníkový závit je:

$$\eta_{\check{s}} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} (\alpha + \varphi)}$$

a η_v ..... účinnost vedení beranu (= 0,85 - 0,95)

Pozn.: Do ztrátové práce se také započítává ztráta třením v patním ložisku beranu. Tuto práci můžeme přibližně vypočítat tak, že ji uvažujeme od působení jmen. síly F po dobu zdvihu h_u. Koef. tření v ložisku = 0,05.

Hmoty, které se u lisu pohybují mají pohyb rotační a posuvný (0,5 ÷ 1 m/s). Proto energie pohybujících se hmot (kinetická) bude:

$$A_1 = \frac{1}{2} J\omega^2 + \frac{1}{2} m v^2, \quad \text{přičemž} \quad \frac{1}{2} m v^2 \leq 0{,}05 . A_1$$

J .... moment setrvačnosti rotujících hmot $\left(\frac{1}{2} m \cdot r^2\right)$

ω .... úhlová rychlost rotujících hmot

m .... hmota posouvajících se částí

v .... rychlost posouvajících se částí.

Tato energie A_1 se musí rovnat, nebo být větší než energie potřebná A, t.j. taková, při které vyvodíme požadovanou sílu F.

Můžeme psát:

$$A_1 \geq A$$

A_1 = 1,1 - 1,3 . A (pro možnost přetížění zvětšením pasivních odporů třením vřetene v beranu , prokluzem setrvačníku po disku atd.)

$$\frac{1}{2} J\omega^2 + \frac{1}{2} m v^2 \geq (Au + Ap + Az)$$

$$\geq \frac{F.hu + \frac{1}{2} F. \quad y}{1 - \varphi}$$

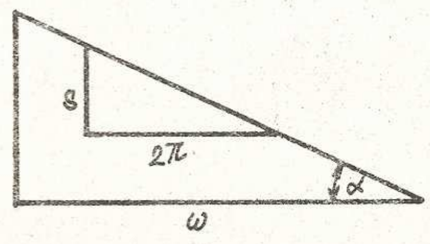
V dané rovnici je neznámá $\frac{1}{2} J\omega^2$ a tu vypočteme, když dosadíme za $\frac{1}{2} m v^2 = 0{,}05\ A_1$. Vzhledem k tomu, že jsme již při výpočtu vřetena zvolili stoupání šroubu nebo $\sphericalangle\alpha$ a víme, že postupná rychlost beranu se pohybuje u vřet. lisů od 0,5 ÷ 1 m/s, vypočteme ω. Dosazením ω do rovnice vypočteme J setrvačníku a odtud navrhneme setrvačník.

Platí tedy vztahy:

$$v = s \cdot \frac{\omega}{2\pi}$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

kde S je stoupání závitu



$$\frac{1}{2}J\omega^2 + \frac{1}{2} m\, v^2 \geq (Au + Ap + Az)$$

$$\frac{1}{2}J\omega^2 \geq \underbrace{Au + Ap + Az}_{A} - 0{,}05\ A$$

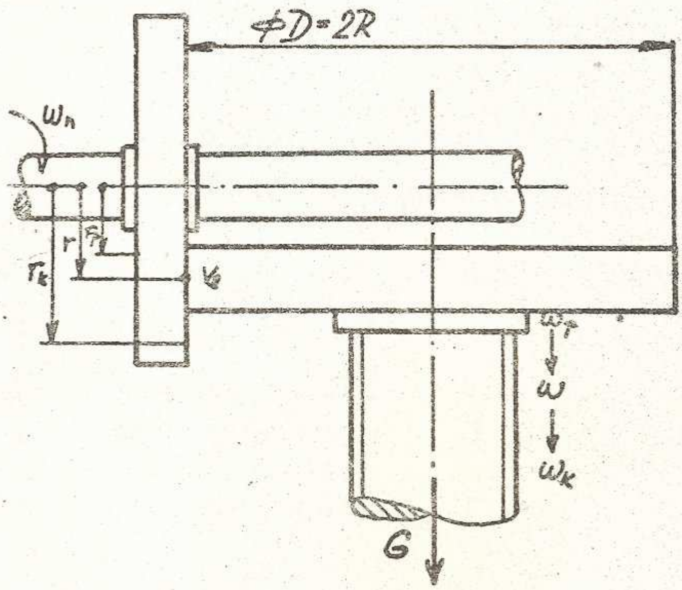
$$\frac{1}{2}J\omega^2 \geq A\,(1 - 0{,}05) = (Au + Ap + Az)\,(1 - 0{,}05)$$

$$\geq \frac{F\,.\,hu + \frac{1}{2}\,F\,.\,\Delta y}{1-\xi}\,(1 - 0{,}05)$$

$$J \geq \frac{F\,.\,hu + \frac{1}{2}\,F\Delta y}{1-\xi}\,(1 - 0{,}05)\,.\,\frac{2}{\omega^2}$$

$$J \geq \frac{2F}{\omega^2}\,.\,\frac{hu + \frac{1}{2}\,\Delta y}{1-\xi}\,(1 - 0{,}05)$$

Výpočet setrvačníku



indexy h ... hřídel

p ... počáteční

k ... konečný

v_s ... obvodová rychlost setrvačníku

r_s ... střední poloměr vřetena

F_N ... přítlačná síla kotouče k setrvačníku

f .... koeficient tření

R .... poloměr setrvačníku

G .... váha všech pohybujících se částí

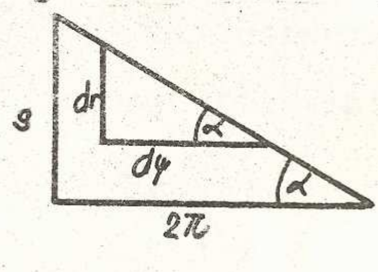
Vyjdeme z pohybové rovnice:

$$M_S + M_G = J\,.\,\frac{d\omega}{dt} \qquad (1)$$

kde $M_S = \overbrace{F_N\,.\,f}^{F_t}\,.\,R$

$M_G = G\,.\,r_s\,.\,\mathrm{tg}\,(\alpha - \varphi)$

Elementární úhel pootočení vřetene.



$$d\psi = \frac{2\pi}{S}\,.\,dr$$

$$d\psi = \omega\,.\,dt \Rightarrow dt = \frac{d\psi}{\omega} = \frac{2\pi}{S}\,.\,\frac{dr}{\omega}$$

$$dt = \frac{2\pi R}{S}\,.\,\frac{dr}{v_s} \qquad (2)$$

$$R\,.\,\omega = v_s$$

$$d\omega = \frac{dv_s}{R} \qquad (3)$$

Do rovnice 1 je třeba dosadit za $\frac{d\omega}{dt}$ a to vypočteme z rovnic 2 a 3

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{dv_s}{R} \cdot \frac{S \cdot v_s}{2\pi R\, dr} = \frac{S}{2\pi R^2} \cdot \frac{v_s dv_s}{dr}$$

Dosazením za $\frac{d\omega}{dt}$ do rovnice 1 dostaneme:

$$M_S + M_G = J \frac{d\omega}{dt} = J \frac{S}{2\pi R^2} \cdot \frac{v_s \cdot d\, v_s}{dr} \Rightarrow dr = \frac{J \cdot S \cdot v_s \cdot d\, v_s}{2 \cdot \pi \cdot R^2\, (M_S + M_G)}$$

Po integraci:

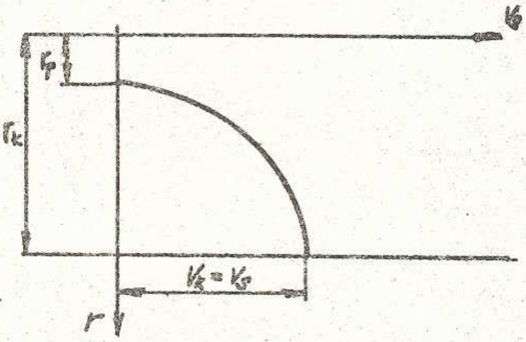
$$r = \frac{J \cdot S \cdot v_s^2}{4\pi R^2 (M_S + M_G)} + C$$

Konstantu "C" vypočteme z okrajových podmínek: $r = r_p$, $v_s = 0$ potom $C = r_p$ a vzorec má tento tvar:

$$r = r_p + \frac{J \cdot S \cdot v_s^2}{4\pi R^2 (M_S + M_G)}$$

Závislost mezi obvodovou rychlostí v_s a poloměrem r je parabolická. Potřebný zrychlující moment M_S určíme z podmínky, že na poloměru r_k je obvodová rychlost setrvačníku $v_s = v_k$ tj. rychlosti disku na poloměru r_k.

$$M_S = \frac{J\, S \cdot v_k^2}{4\pi R^2 (r_k - r_p)} - M_G$$



$$v_k = r_k \cdot \omega_A = R_s \cdot \omega_k$$

$$\omega_k = \frac{2\pi v_k}{S}$$

Pro r_p se volí $r_p = 0,3 \cdot h$ a $r_k = r_p + h$

kde h je zdvih beranu.

Práce potřebná pro zrychlení setrvačníku:

$$A_s = M_S \cdot \psi = M_S \frac{r_k - r_p}{S} \cdot 2\pi \qquad \psi = \frac{r_k - r_p}{S} \cdot 2\pi$$

Dosadíme-li za $M_S = \frac{J \cdot S \cdot v_k^2}{4\pi R^2 (r_k - r_p)} - M_G$ dostaneme:

$$A_s = \left(\frac{J \cdot S \cdot v_k^2}{4\pi R^2 (r_k - r_p)} - M_G\right) \frac{r_k - r_p}{S} \cdot 2\pi$$

$$A_s = \frac{1}{2} J \cdot \frac{v_k^2}{R^2} - M_G \frac{2\pi}{S} (r_k - r_p)$$

Výkon motoru $P = \dfrac{A_s}{102 \cdot \tau_1 \cdot \eta}$ [kW] A_s [kpm]

kde τ_1 doba zdvihu dolů

η účinnost řemen. převodu a prokluz mezi diskem a setrvačníkem

(η řem. $\sim$ 0,9)

(η prokl. $\sim$ 0,6 - 0,7)

Tímto způsobem vypočtený výkon motoru vychází větší $\sim$(2x), než je skutečně potřebný výkon na stroji, pro provedení deformační práce. Je to proto, že k provedení operace o dané potřebné velikosti užitečné práce slouží nejen energie dodávaná motorem, ale i energie rotujících hmot předlohy (hřídele, disků, řemenice) jejíž část se při poklesu otáček (např. 10 %) rovněž předává setrvačníku, a je tedy nutno tuto energii do výpočtu setrvačníku zahrnout.

Pokles otáček předlohy $\varkappa = \dfrac{\omega_h - \omega}{\omega_h} \doteq 0{,}1$

konečná $\measuredangle$ rychlost předlohy $\omega = \omega_h(1-\varkappa)$

konečné otáčky předlohy $n = n_h\,(1 - \varkappa)$

$A_{př}$ .... práce vykonaná předlohou vlivem poklesu otáček z ω_h na ω.

$$A_{př} = \frac{1}{2} J_{př}(\omega_h^2 - \omega^2) = \frac{1}{2} J_{př} \cdot \omega_h^2 \left[1 - (1-\varkappa)^2\right] = \frac{1}{2} J_{př}\, \omega_h^2 (2 - \varkappa)\varkappa$$

Potřebná práce el. motoru $A_m = A_s - A_{př}$

Skutečný výkon elektromotoru $P_s = \dfrac{A_s - A_{př}}{102 \cdot \tau_1 \cdot \eta}$

Určení doby zdvihu τ_1 :

$$dt = \frac{2\pi R}{S} \cdot \frac{dr}{v_s} \Rightarrow dr = \frac{S}{2\pi} \cdot \frac{v_s}{R} \cdot dt \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{S}{2\pi R^2} \cdot \frac{v_s dv_s}{dr} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

do rovnice 2 dosadíme za dr

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{S \cdot v_s dv_s}{2\pi R^2} \cdot \frac{2\pi R}{S \cdot v_s \cdot dt}$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{R} \cdot \frac{dv_s}{dt}$$

Nyní dosadíme za $\frac{d\omega}{dt}$ do rovnice $M_S + M_G = J \frac{d\omega}{dt}$

$$M_S + M_G = J \cdot \frac{1}{R} \frac{dv_s}{dt} \Rightarrow dv_s = (M_S + M_G) \frac{R}{J} dt$$

Integrujeme pro počáteční podmínky $v = 0,\ t = 0 \Rightarrow C = 0$

$$v_s = (M_S + M_G) \frac{R}{J} \cdot t$$

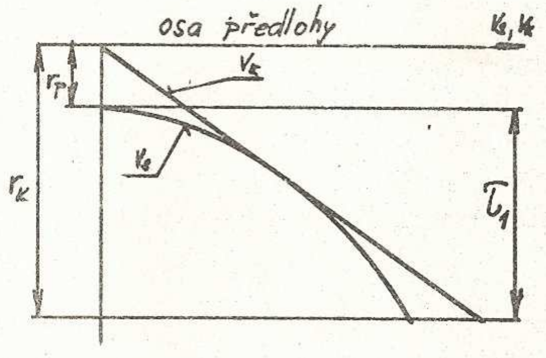
Do rovnice

$r = \dfrac{J \cdot S \cdot v_s^2}{4 \pi R^2 (M_S + M_G)} + r_p$ dosadíme za v_s, za $r = r_k$ a za $r_k - r_p = h$.

$$v_s^2 = \frac{(r - r_p)\, 4 \pi R^2\, (M_S + M_G)}{J \cdot S}$$

$$v = \sqrt{\frac{(r - r_p)\, 4 \pi R^2 (M_S + M_G)}{J \cdot S}} = (M_S + M_G) \frac{R}{J} \cdot t \Rightarrow$$

$$\tau_1 = t = 2 \sqrt{\frac{\pi \cdot J \cdot h}{S\,(M_S + M_G)}}$$



Zdvihání beranu:

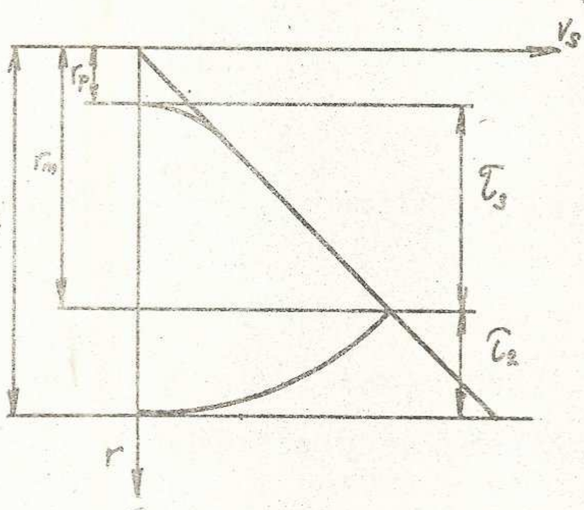
Pohybová rovnice má tvar:

$M_S - M_G = - J \frac{d\omega}{dt}$ (- proto, že pohyb je proti směru kladného smyslu souřadnic "r")

$M_G = G \cdot r_s \cdot tg\,(\alpha + \varphi)$

r_s .... střed. poloměr vřetena

Stejně jako při pohybu dolů můžeme psát:



$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{S}{2\pi R^2} \cdot v_s \frac{dv_s}{dr}$$

$$M_S - M_G = -J \frac{S}{2\pi R^2} \cdot v_s \frac{dv_s}{dr} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow dr = -J \frac{S}{2\pi R^2} \cdot v_s dv_s \cdot \frac{1}{M_S - M_G}$$

Po integraci dostaneme:

$$r = r_k - \frac{J \cdot S \cdot v_s^2}{4\pi R^2 (M_S - M_G)} \quad \ldots\ldots \quad (1a)$$

Při zpětném zdvihu nastává velký prokluz. Na poloměru r_m se teprve vyrovná rychlost (obvodová) setrvačníku v_s a rychlost hnacího disku, jenž má rychlost ω_h.

$v_s = r_m \cdot \omega_h$ .... dosadíme do rovnice 1a a pro $r = r_m$ platí:

$$r_m = r_k - \frac{J \cdot S \cdot \omega_h^2 \cdot r_m^2}{4\pi R^2 (M_S - M_G)} \Rightarrow r_m^2 \cdot J_s \cdot \omega_h^2 + r_m 4\pi R^2 (M_S - M_G) -$$

$$- r_k 4\pi R^2 (M_S - M_G) = 0$$

Řešením rovnice dostaneme $r_{m_{1,2}} = ?$

Obdobně jako pro zdvih dolů platí:

$$dt = \frac{2\pi R}{S} \cdot \frac{dr}{v_s} \Rightarrow dr = \frac{S}{2\pi} \cdot \frac{v_s}{R} \cdot dt \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{S}{2\pi R^2} \cdot \frac{v_s dv_s}{dr} \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

Do rovnice 2 dosadíme za dr

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{R} \cdot \frac{d\,v_s}{dt}$$

Nyní dosadíme za $\frac{d\omega}{dt}$ do rovnice:

$$M_S - M_G = -\,J\,\frac{d\omega}{dt} = -\,J\,\frac{1}{R}\cdot\frac{dv_s}{dt}$$

odtud

$$dv_s = (M_S - M_G)\,\frac{R}{J}\cdot dt$$

Po integraci

$$v_s = (M_S - M_G)\,\frac{R}{J}\cdot\tau_2$$

za v_s dosadíme do rovnice 1a pro $r = r_m$

$$r_m = r_k - \frac{J\cdot s\,(M_S - M_G)^2.R^2.\tau_2^2}{4\pi R^2\,(M_S - M_G)\,J^2} = r_k - \frac{(M_S - M_G)\cdot s\cdot\tau_2^2}{4\pi\cdot J}$$

$$\tau_2 = 2\sqrt{\frac{(r_k - r_m)\,\pi\cdot J}{S\,(M_S - M_G)}}$$

Při výpočtu času τ_3 předpokládáme, že po dráze $r_m - r_p = l$ se rychlost v_s rovnoměrně mění - zmenšuje.
Počet otáček v čase τ_3 : $n = \frac{l}{S}$

Délka dráhy styku setrvačníku s diskem po dobu τ_3

$$L = v_s\cdot\tau_3 = 2\pi R n \quad\Rightarrow\quad \tau_3 = \frac{L}{v_s} \qquad v_s = \frac{v_m + v_p}{2}$$

rychlost na poloměru $r_m \Rightarrow v_m = r_m\cdot\omega_h$

rychlost na poloměru $r_p \Rightarrow v_p = r_p\cdot\omega_h$

Celková doba jednoho zdvihu: $\tau_c = \underbrace{\tau_1}_{\text{chod dolů}} + \underbrace{\tau_2 + \tau_3}_{\text{chod nahoru}}$

Poznámka:

Výpočet časů potřebných pro chod vřetenového lisu je přibližný. Ve skutečnosti je třeba počítat také s energií, která se akumuluje v rámu lisu a ve vřetenu jako deformace (ztracená energie), že se nám projeví na počátku zpětného zdvihu tak, že zařízení odpruží a roztočí nám setrvačník ještě před přitlačením hnacího disku. Není proto nutné dimensovat motor na zdvih, neboť potřebná práce je menší o Au a Ap