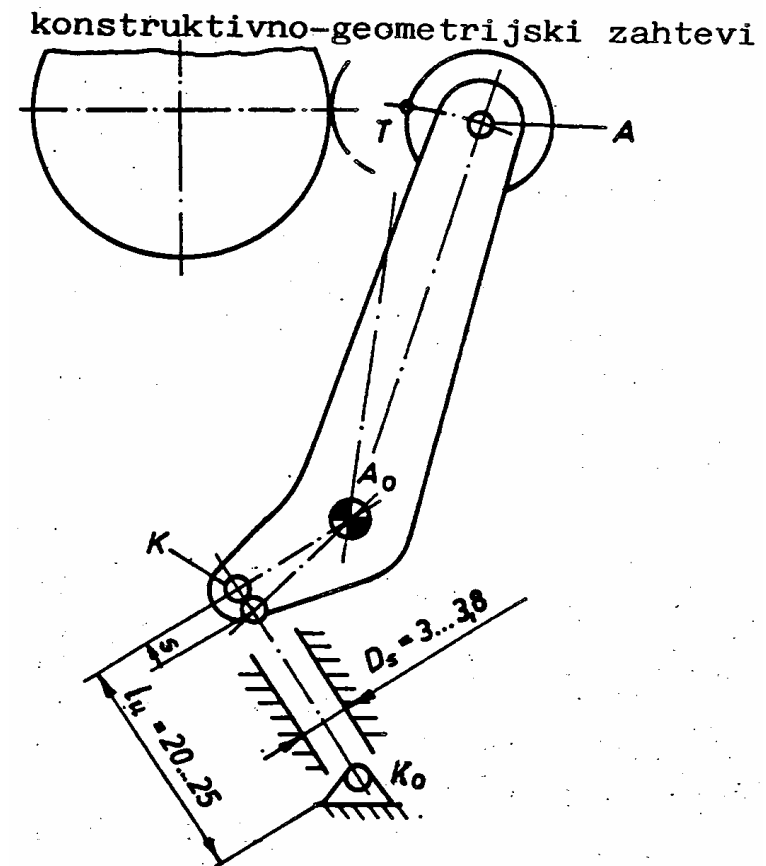


Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

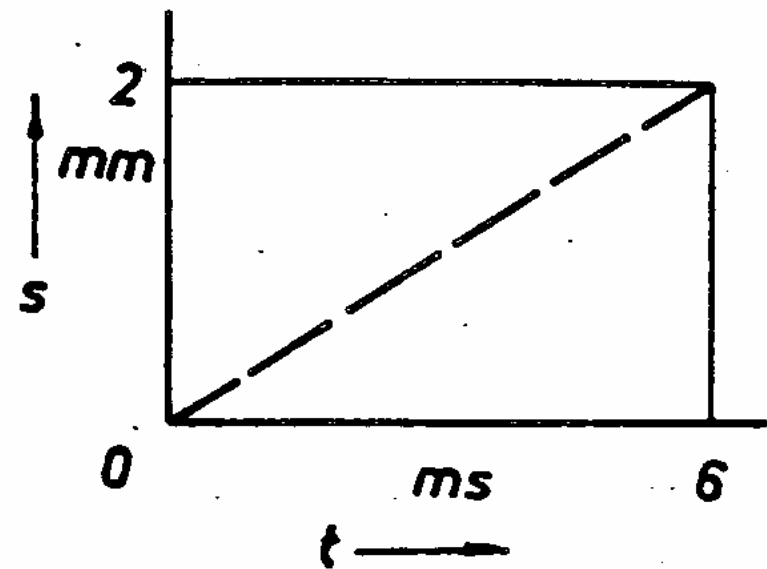
Postupak dimenzionisanja biće demonstriran na primeru primene cilindrične zavojne opruge kod mehaničkih, udarnih štampača.

Opruga prikazana na slici ima zadatak da pomeri polugu sa tačkom kome je alfanumerički znak i da joj preda kinetičku energiju potrebnu za realizovanje štampanja.



Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

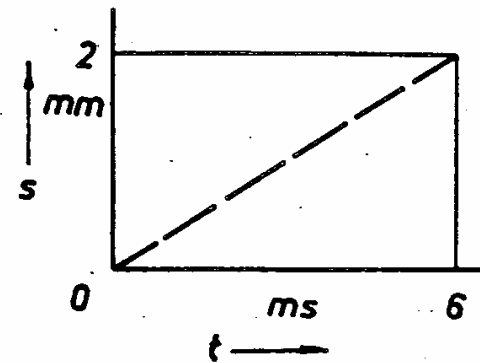
Iako učestanost radnog ciklusa štampača iznosi samo 4Hz, zbog velikog broja drugih operacija koje treba realizovati u toku jednog radnog ciklusa, pomeranje opruge treba realizovati za samo 6ms.



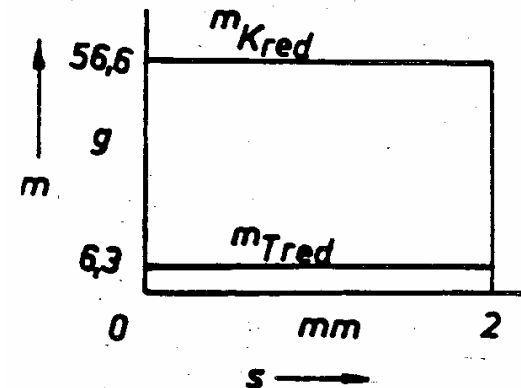
Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

Odgovarajući dijagram sa parametrima kretanja, kao i grafički prikaz parametara opterećenja prikazan je na slici.

parametri kretanja



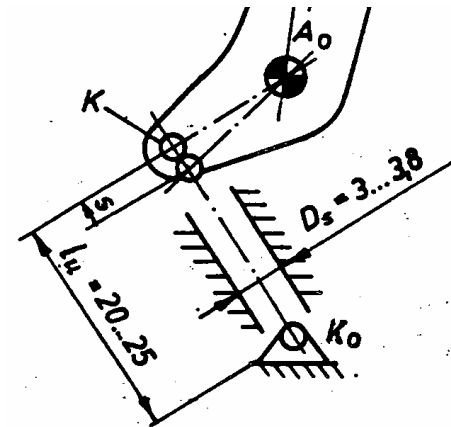
parametri opterećenja



Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

Moment inercije poluge sa tačkom za obrtnu osu poluge koja prolazi kroz tačku A_0 ($J_{A_0} = 0.127 \text{kgcm}^2$) treba najpre redukovati na masu u tački K preko koje se sila prenosi sa opruge na polugu:

$$m_{Kred} = \frac{J_{A_0}}{A_0 K^2} = \frac{0.127 \text{kgcm}^2}{1.5^2 \text{cm}^2} = 0.0566 \text{kg} = \text{const}$$



Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

Da bi se odredila energija kompresije pri štampanju:

$$E = \frac{m_{\text{Tred}}}{2} v_{\text{T}}^2 = \frac{m_{\text{Tred}}}{2} \left(\frac{\overline{A_0 T}}{A_0 K} v_{\text{K}} \right)^2$$

a time i završna brzina znaka na točku (v_{T}), odnosno tačke \mathbf{K} (v_{K}), potrebno je dodatno redukovati moment inercije na masu u središtu znaka:

$$m_{\text{Tred}} = \frac{J_{A_0}}{A_0 T^2} = \frac{0.127 \text{kgcm}^2}{4.5^2 \text{cm}^2} = 0.0063 \text{kg}$$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

Iz zahteva da energija kompresije za konkretnu veličinu znaka treba da bude u granicama:

$$1Ncm < E < 1.2Ncm$$

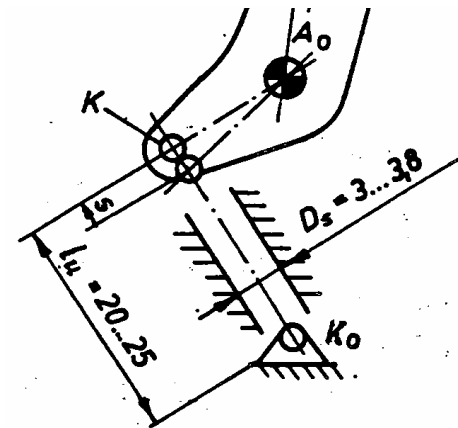
čime je obuhvaćena i različita veličina znaka, dobijaju se i granice za završnu brzinu v_K :

$$59 \frac{\text{cm}}{\text{s}} < v_K < 65 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

Štampač se sastoji od više ovakvih paralelno postavljenih poluga, čije međusobno odstojanje od **4mm** ograničava vrednost spoljašnjeg prečnika opruge:

$$D_s = 3 \div 3.8 \text{ [mm]}$$



Procedura proračuna opruge bila bi sledeća:

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

a) Na osnovu zadatih ograničenja vrednosti spoljašnjeg prečnika opruge i ugradne dužine može se približno proceniti u kojim granicama leže vrednosti odnosa masa κ za koje se mogu realizovati dopuštene vrednosti odnosa motanja w prema relaciji (3.47):

$$\begin{aligned}
 & 0.323 \frac{\text{m}}{l_t D_s^2} \leq \kappa \leq 0.937 \frac{\text{m}}{l_t D_s^2} \\
 & \text{[cm]} \longleftarrow \frac{\text{m}}{l_t D_s^2} \qquad \frac{\text{m}}{l_t D_s^2} \longrightarrow \text{[cm]} \\
 & 0.25l_u \leq l_t \leq 0.75l_u \\
 & 0.323 \frac{56.6}{0.75 \cdot 2.5 \cdot 0.38^2} \leq \kappa \leq 0.937 \frac{56.6}{0.25 \cdot 2.0 \cdot 0.30^2} \\
 & 67.5 \leq \kappa \leq 1178.5
 \end{aligned}$$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

Usvajamo vrednost $\kappa = 150$, koja ispunjava i dinamičke zahteve ilustrovane dijagramom na sl.31.

Za zadato:

$$v_{sr} = \frac{s_k}{t_k} = 0.33 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

ova vrednost je ne samo manja od $\kappa_g = 591$, već i od $\kappa_{2/\pi} = 456$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

b) Za odnose masa $\kappa > 5$ dovoljno tačno rešenje frekventne jednačine (2.16) daje relacija (2.25):

$$\mathbf{k}_1 = \sqrt{\frac{\mathbf{3}}{\mathbf{3}\kappa + \mathbf{1}}} = \sqrt{\frac{\mathbf{3}}{\mathbf{3} \cdot \mathbf{150} + \mathbf{1}}} = \mathbf{0.081591}$$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

c) Približna rešenja transcendentne jednačine za dimenzionisanje opruga (3.6a):

$$1 - a\bar{p} = \cos \bar{p}$$

mogu se odrediti nekim od numeričkih postupaka ili grafički (sl.17). Za vrednost koeficijenta a (3.9):

$$a = \frac{1}{k_1 \tau_{tp}} \sqrt{2\rho G} \frac{s_k}{t_k}$$

$$a = \frac{1}{0.08156 \cdot 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \sqrt{2 \cdot 7.8510^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3} \cdot 81400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \frac{2 \text{ mm}}{6 \text{ ms}}} = 0.365265$$

rešenje jednačine (3.6a) biće: $\bar{p} = 0.767469$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

c) Približno rešenja transcendentne jednačine za dimenzionisanje opruga: $1 - a\bar{p} = \cos \bar{p}$

određeno je metodom sečice, odnosno nalaženjem nule funkcije:

$$f(x) = 1 - ax - \cos x$$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

```
f( .000000)= .000000  
f( .100000)= - .031531  
f( .200000)= - .053120  
f( .300000)= - .064916  
f( .400000)= - .067167  
f( .500000)= - .060215  
f( .600000)= - .044495  
f( .700000)= - .020528  
f( .800000)=+ .011081  
f( .710000)= - .017700  
f( .720000)= - .014797  
f( .730000)= - .011818  
f( .740000)= - .008765  
f( .750000)= - .005638  
f( .760000)= - .002437  
f( .770000)=+ .000835  
f( .761000)= - .002113  
f( .762000)= - .001789  
f( .763000)= - .001463  
f( .764000)= - .001137  
f( .765000)= - .000810  
f( .766000)= - .000482  
f( .767000)= - .000154  
f( .768000)=+ .000175  
f( .767100)= - .000121  
f( .767200)= - .000088  
f( .767300)= - .000055  
f( .767400)= - .000023  
f( .767500)=+ .000010  
f( .767410)= - .000010  
f( .767420)= - .000016  
f( .767430)= - .000013  
f( .767440)= - .000009  
f( .767450)= - .000006  
f( .767460)= - .000003  
f( .767470)= - .006436  
f( .767470)=+ .000000
```

$$f(x) = 1 - ax - \cos x$$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

d) Faktor dimenzija opruge (3.7) može se odrediti iz relacije (3.8):

$$\frac{d}{D_m^2 n} = p = \sqrt{\frac{2\rho}{G} \frac{p\pi}{k_1 t_k}}$$
$$p = \sqrt{\frac{2 \cdot 7.85 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3}}{81400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \frac{0.76747\pi}{0.08156 \cdot 0.006\text{s}}} = 0.002164\text{mm}^{-1}$$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

e) Pošto usvojimo vrednost spoljašnjeg prečnika opruge:

$D_s = 3.5\text{mm}$, približna vrednost prečnika žice može se odrediti iz relacije (3.13):

$$d = \sqrt[3]{\frac{4mp}{\pi^2 \kappa \rho} D_s} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 56.6\text{g} \cdot 0.002164\text{mm}^{-1}}{\pi^2 \cdot 150 \cdot 7.85 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3}} \cdot 3.5\text{mm}} = 0.5284\text{mm}$$

Dobijena približna vrednost je za 4% - 9% manja od vrednosti koja bi se dobila rešavanjem jednačine (3.12), tako da usvajamo prvu veću standardnu vrednost: $d_s = 0.53\text{mm}$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

f) Pošto je srednji prečnik opruge:

$$\mathbf{D_m = D_s - d_s = 3.5mm - 0.53mm = 2.97mm}$$

dobija se dopuštena vrednost odnosa motanja:

$$\mathbf{w = \frac{D_m}{d_s} = \frac{2.97mm}{0.53mm} = 5.60}$$

$$\mathbf{w = 4 \div 16}$$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

g) Broj zavojaka opruge izračunavamo relacijom (3.10):

$$\mathbf{n} = \frac{\mathbf{4m}}{\pi^2 \kappa \rho d_s^2 \mathbf{D}_m} = \frac{\mathbf{4 \cdot 56.6g}}{\pi^2 \cdot \mathbf{150} \cdot \mathbf{7.85 \cdot 10^{-3}} \frac{\mathbf{g}}{\mathbf{mm^3}} \cdot \mathbf{0.53^2 mm^2} \cdot \mathbf{2.97mm}} = \mathbf{23.351}$$

Prema preporuci: $\mathbf{n = i \pm 0.25}$

usvajamo: $\mathbf{n = 23.75}$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

h) Sopstvena kružna frekvencija osnovnog harmonika opruge
(3.8):

$$\omega_1 = \frac{k_1 d_s}{\pi D_m^2 n} \sqrt{\frac{G}{2\rho}}$$
$$\omega_1 = \frac{0.0816}{\pi} \frac{0.53\text{mm}}{2.97^2 \text{mm}^2 \cdot 23.75} \sqrt{\frac{81400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{2 \cdot 7.85 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3}}} = 149.62\text{s}^{-1}$$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

i) Početno izduženje opruge (3.14):

$$f_p = \frac{s_k}{1 - \cos(\omega_1 t_k)}$$

$$f_p = \frac{2\text{mm}}{1 - \cos(149.62\text{s}^{-1} \cdot 0.006\text{s})} = 5.3106\text{mm}$$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

j) Završna brzina pokretnog kraja opruge K (3.15):

$$v_k = \omega_1 f_p \sin(\omega_1 t_k)$$

$$v_k = 149.62s^{-1} \cdot 5.3106\text{mm} \cdot \sin(149.62s^{-1} \cdot 0.006s) = 62.128 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

je u zadatim granicama

$$59 \frac{\text{cm}}{\text{s}} < v_K < 65 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

k) Napon na uvijanje pri početnom izduženju (3.18):

$$\tau_{tp} = V_{\tau} k_w \frac{G d_s}{D_m^2 \pi n} f_p$$

$$\tau_{tp} = 1.00112 \cdot 1.2566 \cdot \frac{81400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 0.53 \text{mm}}{2.97^2 \text{mm}^2 \pi \cdot 23.75} \cdot 5.3106 \text{mm} = 437.93 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

manji je od dopuštenog napona na uvijanje:

$$\tau_{dt} = 0.45 \sigma_M = 0.45 \cdot 1660 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 747 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

Za zateznu čvrstoću σ_M uzeta je najnepovoljnija vrednost prema JUS C.B6.018.

Korekcionni faktori izračunati su pomoću relacija (3.19) i (3.20):

$$k_w = 1 + \frac{5 d_s}{4 D_m} + \frac{7}{8} \left(\frac{d_s}{D_m} \right)^2 + \left(\frac{d_s}{D_m} \right)^3$$

$$k_w = 1 + \frac{5 \cdot 0.53\text{mm}}{4 \cdot 2.97\text{mm}} + \frac{7}{8} \left(\frac{0.53\text{mm}}{2.97\text{mm}} \right)^2 + \left(\frac{0.53\text{mm}}{2.97\text{mm}} \right)^3 = 1.2566$$

$$V_\tau = \frac{k_1}{\sin(k_1)} = \frac{0.0816}{\sin(0.0816)} = 1.00112$$

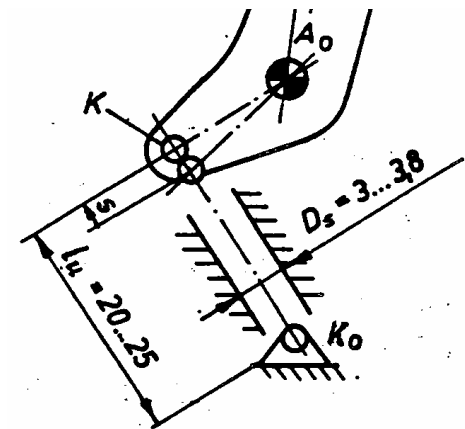
Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

1) Radna dužina opruge sa standardnim nemačkim ušicama pri početnom izduženju (3.21):

$$l_u = (n + 1)d_{\max} + 1.6(D_m - d_{\max}) + f_p$$

$$l_u = 24.75 \cdot 0.53\text{mm} + 1.6(2.97\text{mm} - 0.53\text{mm}) + 5.3106\text{mm} = 22.332\text{mm}$$

je u zadatim granicama ugradne dužine



Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

m) Početno i završno ubrzanje pokretnog kraja opruge K (3.17):

$$\mathbf{a}_p = \omega_1^2 \mathbf{f}_p = 149.62^2 \text{ s}^{-2} \cdot 5.3106 \text{ mm} = 118.89 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\mathbf{a}_k = \omega_1^2 \mathbf{f}_p \cos(\omega_1 \mathbf{t}_k)$$

$$\mathbf{a}_k = 149.62^2 \text{ s}^{-2} \cdot 5.3106 \text{ mm} \cdot \cos(149.62 \text{ s}^{-1} \cdot 0.006 \text{ s}) = 74.11 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

određuju sile inercije redukovane mase \mathbf{m}_{Kred} u početnom i krajnjem položaju:

$$\mathbf{F}_{ip} = \mathbf{m}_{\text{Kred}} \mathbf{a}_p = 0.0566 \text{ kg} \cdot 118.89 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 6.7 \text{ N}$$

$$\mathbf{F}_{ik} = \mathbf{m}_{\text{Kred}} \mathbf{a}_k = 0.0566 \text{ kg} \cdot 74.11 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 4.2 \text{ N}$$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

Kao što je u postavci zadatka rečeno, u ovom slučaju trebalo bi odrediti i završnu brzinu znaka na točku:

$$v_T = \frac{\overline{A_0 T}}{A_0 K} v_K = \frac{4.5\text{cm}}{1.5\text{cm}} \cdot 62.128 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 186.38 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

koja definiše energiju kompresije pri štampanju:

$$E = \frac{m_{Tred}}{2} v_T^2 = \frac{0.0063\text{kg}}{2} \cdot \left(1.86 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 1.09\text{Ncm}$$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

Primer 3.1: Dimenzionisati cilindričnu zavojnu, zateznu oprugu koja treba da pomeri translatorno klizač mase $m = 98\text{g}$ za $s_k = 17.5\text{mm}$ u vremenskom intervalu $t_k = 10.1\text{ms}$. Dejstvo otpornih sila zanemariti. Funkcionalni razlozi uslovljavaju da završna brzina klizača bude u granicama $3.3\text{m/s} < v_k < 4\text{m/s}$. Veličina ugradnog prostora ograničava dopuštene vrednosti ugradne dužine $150\text{mm} < l_u < 175\text{mm}$ i spoljašnjeg prečnika opruge $17\text{mm} < D_s < 18\text{mm}$. U početnoj fazi proračuna opruge usvojiti nešto višu vrednost napona na uvijanje $\tau_{tp} = 500\text{ N/mm}^2$. Oprugu dimenzionisati polazeći od pretpostavke da se uticaj sopstvene mase opruge ne može zanemariti.

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

Usvajamo vrednost $\kappa = 5$, koja ispunjava i dinamičke zahteve ilustrovane dijagramom na sl.31.

Za zadato:

$$v_{sr} = \frac{s_k}{t_k} = 1.73 \frac{m}{s}$$

ova vrednost je ne samo manja od $\kappa_g = 34$, već i od $\kappa_{2/\pi} = 26$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

b) Za odnose masa $\kappa > 5$ dovoljno tačno rešenje frekventne jednačine (2.16) daje relacija (2.25):

$$\mathbf{k_1} = \sqrt{\frac{\mathbf{3}}{\mathbf{3\kappa + 1}}} = \sqrt{\frac{\mathbf{3}}{\mathbf{3 \cdot 5 + 1}}} = \mathbf{0.433}$$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

c) Približna rešenja transcendentne jednačine za dimenzionisanje opruga (3.6a):

$$1 - a\bar{p} = \cos \bar{p}$$

mogu se odrediti nekim od numeričkih postupaka ili grafički (sl.17). Za vrednost koeficijenta a (3.9):

$$a = \frac{1}{k_1 \tau_{tp}} \sqrt{2\rho G} \frac{s_k}{t_k}$$

$$a = \frac{1}{0.433 \cdot 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \sqrt{2 \cdot 7.85 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3} \cdot 81400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \frac{17.5 \text{ mm}}{10.1 \text{ ms}}} = 0.2861$$

rešenje jednačine (3.6a) biće: $\bar{p} = 0.58902$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

d) Faktor dimenzija opruge (3.7) može se odrediti iz relacije (3.8):

$$\frac{d}{D_m^2 n} = p = \sqrt{\frac{2\rho}{G} \frac{p\pi}{k_1 t_k}}$$
$$p = \sqrt{\frac{2 \cdot 7.85 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3}}{81400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \frac{0.58902\pi}{0.433 \cdot 0.0101\text{s}}} = 0.0001858 \text{mm}^{-1}$$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

e) Pošto usvojimo vrednost spoljašnjeg prečnika opruge:

$D_s = 17.7\text{mm}$, približna vrednost prečnika žice može se odrediti iz relacije (3.13):

$$\mathbf{d} = \sqrt[3]{\frac{4m\mathbf{p}}{\pi^2\kappa\rho} \mathbf{D}_s} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 98\text{g} \cdot 0.0001858\text{mm}^{-1}}{\pi^2 \cdot 5 \cdot 7.85 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3}} \cdot 17.7\text{mm}} = \mathbf{1.493\text{mm}}$$

Dobijena približna vrednost je za 4% - 9% manja od vrednosti koja bi se dobila rešavanjem jednačine (3.12), tako da usvajamo prvu veću standardnu vrednost: **$d_s = 1.5\text{mm}$**

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

f) Pošto je srednji prečnik opruge:

$$\mathbf{D_m = D_s - d_s = 17.7mm - 1.5mm = 16.2mm}$$

dobija se dopuštena vrednost odnosa motanja:

$$\mathbf{w = \frac{D_m}{d_s} = \frac{16.2mm}{1.5mm} = 10.8}$$

$$\mathbf{w = 4 \div 16}$$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

g) Broj zavojaka opruge izračunavamo relacijom (3.10):

$$\mathbf{n} = \frac{4\mathbf{m}}{\pi^2 \kappa \rho \mathbf{d}_s^2 \mathbf{D}_m} = \frac{4 \cdot 98\mathbf{g}}{\pi^2 \cdot 5 \cdot 7.85 \cdot 10^{-3} \frac{\mathbf{g}}{\mathbf{mm}^3} \cdot 1.5^2 \mathbf{mm}^2 \cdot 16.2\mathbf{mm}} = \mathbf{27.76}$$

Prema preporuci: $\mathbf{n} = \mathbf{i} \pm \mathbf{0.25}$

usvajamo: $\mathbf{n} = \mathbf{27.75}$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

h) Sopstvena kružna frekvencija osnovnog harmonika opruge
(3.8):

$$\omega_1 = \frac{k_1 d_s}{\pi D_m^2 n} \sqrt{\frac{G}{2\rho}}$$
$$\omega_1 = \frac{0.433 \cdot 1.5\text{mm}}{\pi \cdot 16.2^2 \text{mm}^2 \cdot 27.75} \sqrt{\frac{81400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{2 \cdot 7.85 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3}}} = 64.6396\text{s}^{-1}$$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

i) Početno izduženje opruge (3.14):

$$f_p = \frac{s_k}{1 - \cos(\omega_1 t_k)}$$

$$f_p = \frac{17.5\text{mm}}{1 - \cos(64.6396\text{s}^{-1} \cdot 0.0101\text{s})} = 85.096\text{mm}$$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

j) Završna brzina pokretnog kraja opruge K (3.15):

$$v_k = \omega_1 f_p \sin(\omega_1 t_k)$$

$$v_k = 64.6396s^{-1} \cdot 85.096\text{mm} \cdot \sin(64.6396s^{-1} \cdot 0.0101s) = 3.341 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

je u zadatim granicama

$$3.3 \frac{\text{m}}{\text{s}} < v_K < 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

k) Napon na uvijanje pri početnom izduženju (3.18):

$$\tau_{tp} = V_{\tau} k_w \frac{G d_s}{D_m^2 \pi n} f_p$$

$$\tau_{tp} = 1.0319 \cdot 1.124 \cdot \frac{81400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 1.5 \text{mm}}{16.2^2 \text{mm}^2 \pi \cdot 27.75} \cdot 85.096 \text{mm} = 526.7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

manji je od dopuštenog napona na uvijanje:

$$\tau_{dt} = 0.45 \sigma_M = 0.45 \cdot 1490 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 670.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

Za zateznu čvrstoću σ_M uzeta je najnepovoljnija vrednost prema JUS C.B6.018.

Korekcionni faktori izračunati su pomoću relacija (3.19) i (3.20):

$$k_w = 1 + \frac{5 d_s}{4 D_m} + \frac{7}{8} \left(\frac{d_s}{D_m} \right)^2 + \left(\frac{d_s}{D_m} \right)^3$$

$$k_w = 1 + \frac{5 \cdot 1.5\text{mm}}{4 \cdot 16.2\text{mm}} + \frac{7}{8} \left(\frac{1.5\text{mm}}{16.2\text{mm}} \right)^2 + \left(\frac{1.5\text{mm}}{16.2\text{mm}} \right)^3 = 1.124$$

$$V_\tau = \frac{k_1}{\sin(k_1)} = \frac{0.433}{\sin(0.433)} = 1.0319$$

Primer dimenzionisanja cilindrične opruge

1) Radna dužina opruge sa standardnim nemačkim ušicama pri početnom izduženju (3.21):

$$l_u = (n + 1)d_{\max} + 1.6(D_m - d_{\max}) + f_p$$

$$l_u = 28.75 \cdot 1.575\text{mm} + 1.6(16.2\text{mm} - 1.575\text{mm}) + 85.096\text{mm} = 153.8\text{mm}$$

je u zadatim granicama ugradne dužine

$$150\text{mm} < l_u < 175\text{mm}$$