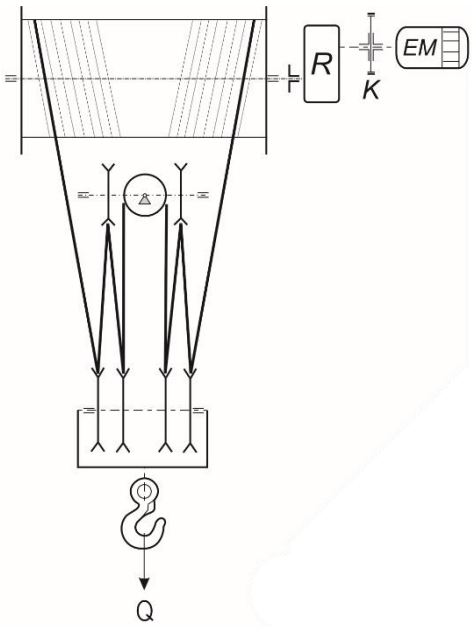
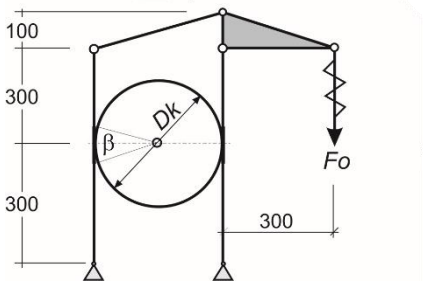
1. Na slici je prikazan mehanizam za dizanje tereta pomoću **dvojne** koturače. Mehanizam se sastoji od elektromotora EM, kočnice K, reduktora R, doboša i sistema koturova. Kočnica je sa 2 papuče.





Odrediti:

A. Broj obrtaja elektromotora

$P =$	42,6 kW	- snaga EM
$D_d =$	800 mm	- prečnik doboša
$n_{EM} =$	?	- broj obrtaja EM
$\eta_m =$	0,85	- stepen iskorišćenja meh.
$i_R =$	71	- prenosni odnos reduktora
$m_Q =$	35 t	- nosivost mehanizma

B. Stepen preopterećenja EM

$t_u =$	1,5 s	- vreme ubrzanja tereta
$J_1 =$	0,5 kgm^2	- moment inercije masa EM i S
$\delta =$	15%	- uticaj obrtnih masa

C. Moment kočenja pri spuštanju (na 1. način)

$t_k =$	3 s	- vreme kočenja tereta

D. Moment kočenja (na 2. način)

$\beta =$	1,5	- stepen sigurnosti kočnice

*Za dalji proračun kočnice usvojiti da je merodavni momenat za izbor kočnice veći od dva dobijena pod tačkama C i D.

E . Silu u opruzi kočnice i proveriti karakteristiku kočnice na zagrevanje

$D_k =$	0,5 m	- prečnik doboša kočnice
$\mu =$	0,4	- koef. trenja
$B =$	0,1 m	- širina kočnice
$\beta k =$	60°	- obuhvatni ugao kočnice

$(p \cdot v)_{dop} = 25 \frac{daN}{cm^2} \cdot \frac{m}{s}$ - dopuštena vrednost

REŠENJA:

A. Kako nam je poznata snaga motora, na osnovu nje možemo odrediti brzinu dizanja tereta kao

$$P_{\mathrm{EM}} = \frac{Q \cdot v_{\mathrm{diz}}}{\eta_{\mathrm{EM}}} \Rightarrow v_{\mathrm{diz}} = \frac{P_{\mathrm{EM}} \cdot \eta_{\mathrm{EM}}}{Q} = \frac{42{,}6 \cdot 10^3 \cdot 0{,}85}{35 \cdot 10^3 \cdot 10} = 0{,}103 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}, \qquad (1)$$

pri čemu je $Q = m_{\mathrm{Q}} \cdot g = 35 \cdot 10^3 \cdot 10 = 350000$ N, gde je za gravitaciono ubrzanje usvojeno $g = 10 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$.

Kao što je poznato, prenosni odnos reduktora jednak je odnosu ulaznog i izlaznog broja obrtaja, tj. $i_{\mathrm{RED}} = \frac{n_{\mathrm{u}}}{n_{\mathrm{i}}} = \frac{n_{\mathrm{EM}}}{n_{\mathrm{dob}}}$, na osnovu čega broj obrtaja motora možemo izraziti kao

$$n_{\mathrm{EM}} = i_{\mathrm{RED}} \cdot n_{\mathrm{dob}}, \tag{2}$$

gde n_{dob} predstavlja broj obrtaja doboša, koji nam je u ovom trenutku nepoznat.

Kako bismo odredili n_{dob} krenućemo od izraza za prenosni odnos proste koturače izražen preko broja krakova

$$i_{\mathrm{kot}} = \frac{m}{2} = \frac{8}{2} = 4,$$

gde $m = 8$ predstavlja broj krakova koturače.

Sa druge strane, prenosni odnos može se izraziti i preko odnosa brzine doboša i brzine dizanja tereta

$$i_{\mathrm{kot}} = \frac{v_{\mathrm{dob}}}{v_{\mathrm{diz}}}. \tag{3}$$

S obzirom da smo brzinu dizanja prethodno odredili na osnovu (1), iz (3) možemo izraziti obimnu brzinu doboša kao

$$v_{\mathrm{dob}} = i_{\mathrm{kot}} \cdot v_{\mathrm{diz}} = 4 \cdot 0{,}103 = 0{,}412\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}. \tag{4}$$

Takođe, obimna brzina doboša jednaka je

$$v_{\mathrm{dob}} = r_{\mathrm{dob}} \cdot \omega_{\mathrm{dob}} = \frac{D_{\mathrm{dob}}}{2} \cdot \omega_{\mathrm{dob}},$$

pri čemu je ω_{dob} obimna brzina doboša, koja se sada može izraziti kao

$$\omega_{\mathrm{dob}} = \frac{2v_{\mathrm{dob}}}{D_{\mathrm{dob}}} = \frac{2 \cdot 0{,}412}{800 \cdot 10^{-3}} = 1{,}03\mathrm{s}^{-1}.$$

Sa druge strane, ugaona brzina doboša može se izraziti preko broja obrtaja doboša kao $\omega_{\mathrm{dob}} = 2\pi n_{\mathrm{dob}}$ na osnovu čega je

$$n_{\mathrm{dob}} = \frac{\omega_{\mathrm{dob}}}{2\pi} = \frac{1{,}03}{2\pi} = 0{,}16\,{}^{\mathrm{o}}/_{\mathrm{s}}\,, \mathrm{tj.}\, n_{\mathrm{dob}} = 0{,}16 \cdot 60 = 9{,}6\,{}^{\mathrm{o}}/_{\mathrm{min}}.$$

Konačno, na osnovu izraza (2), sada možemo odrediti broj obrtaja motora koji iznosi

$$n_{\mathrm{EM}} = i_{\mathrm{RED}} \cdot n_{\mathrm{dob}} = 71 \cdot 9{,}6 = 681{,}6\,{}^{\mathrm{o}}/_{\mathrm{min}}. \tag{5}$$

B. Stvarni stepen preopterećenja elektromotora računa se kao

$$\psi_{\mathrm{stv}} = \frac{M_{\mathrm{uk}}{}'}{M_{\mathrm{n}}}, \tag{6}$$

pri čemu je $M_{\mathrm{uk}}{}'$ ukupan moment sveden na vratilo elektromotora, dok je M_{n} nominalni moment elektromotora.

Nominalni moment elektromotora jednak je

$$M_{\mathrm{n}} = \frac{P_{\mathrm{EM}}}{\omega_{\mathrm{EM}}} = \frac{42{,}6 \cdot 10^3}{71{,}37} = 596{,}9 \text{ Nm},$$

gde je

$$\omega_{\mathrm{EM}} = 2\pi n_{\mathrm{EM}} = 2\pi \cdot 681{,}6 = 4282{,}6 \text{ s}^{-1}, \text{tj. } \omega_{\mathrm{EM}} = 71{,}37 \text{ min}^{-1}.$$

Ukupan moment sveden na vratilo elektromotora računa se kao

$$M_{\mathrm{uk}}' = M_{\mathrm{st}}' + M_{\mathrm{din}}', \tag{7}$$

gde su M_{st}' statički moment sveden na vratilo elektromotora, M_{din}' dinamički moment sveden na vratilo elektromotora, i računaju pomoću sledećih izraza

$$M_{\mathrm{st}}' = Q \cdot \frac{D_{\mathrm{dob}}}{2} \cdot \frac{1}{\eta_{\mathrm{EM}}} \cdot \frac{1}{i_{\mathrm{RED}}} \cdot \frac{1}{i_{\mathrm{kot}}} = 350 \cdot 10^3 \cdot \frac{0{,}8}{2} \cdot \frac{1}{0{,}85} \cdot \frac{1}{71} \cdot \frac{1}{4} = 579{,}95 \text{ Nm}$$

$$M_{\mathrm{din}}' = m_Q \cdot \frac{v_{\mathrm{diz}}}{t_{\mathrm{u}}} \cdot \frac{D_{\mathrm{dob}}}{2} \cdot \frac{1}{\eta_{\mathrm{EM}}} \cdot \frac{1}{i_{\mathrm{RED}}} \cdot \frac{1}{i_{\mathrm{kot}}} + \delta \cdot \frac{J_1 \cdot n_{\mathrm{EM}}}{9{,}55 \cdot t_{\mathrm{u}}} =$$
$$= 35 \cdot 10^3 \cdot \frac{0{,}103}{1{,}5} \cdot \frac{0{,}8}{2} \cdot \frac{1}{0{,}85} \cdot \frac{1}{71} \cdot \frac{1}{4} + 1{,}15 \cdot \frac{0{,}5 \cdot 681{,}6}{9{,}55 \cdot 1{,}5} = 31{,}34 \text{ Nm}.$$

Sada, na osnovu izraza (7) dobijamo

$$M_{\mathrm{uk}}' = M_{\mathrm{st}}' + M_{\mathrm{din}}' = 579{,}95 + 31{,}34 = 611{,}29 \text{ Nm}.$$

Ako se vratimo u izraz (6) dobijamo da je stvarni stepen preopterećenja elektromotora jednak

$$\psi_{\mathrm{stv}} = \frac{M_{\mathrm{uk}}'}{M_{\mathrm{n}}} = \frac{611{,}29}{596{,}9} = 1{,}024.$$

Kako ne bi došlo do prekomernog preopterećenja elektromotora, mora važiti uslov $\psi_{\mathrm{stv}} < \psi_{\mathrm{kat}}$, pri čemu je ψ_{kat} kataloški stepen preopterećenja, i za potrebe ovog zadatka usvojićemo da on iznosi $\psi_{\mathrm{kat}} = 1{,}2$. Na osnovu ovoga možemo izneti zaključak

$$\psi_{\mathrm{stv}} < \psi_{\mathrm{kat}}$$
$$1{,}024 < 1{,}2$$

što nam govori da u našem slučaju neće doći do preopterećenja elektormotora.

C. Moment kočenja se računa kao

$$M_{\mathrm{k}}^{\mathrm{I}} = M_{\mathrm{din,k}}' \pm M_{\mathrm{st,k}}', \tag{8}$$

gde su $M_{\mathrm{st,k}}'$ statički moment kočenja sveden na vratilo elektromotora, $M_{\mathrm{din,k}}'$ dinamički moment kočenja sveden na vratilo elektromotora. Predznak $M_{\mathrm{st,k}}'$ definisan je operacijom koja se izvršava, tj. kada je u pitanju spuštanje tereta statička i dinamička sila imaju isti smer pa se tada ova dva momenta sabiraju, dok je pri podizanju tereta statička sila suprotnosmernog dejstva u odnosu na dinamičku silu, pa se tada ova dva momenta oduzimaju.

Sada, $M_{\mathrm{st,k}}'$ možemo izračunati kao

$$M_{\mathrm{st,k}}' = Q \cdot \frac{D_{\mathrm{dob}}}{2} \cdot \frac{1}{i_{\mathrm{RED}}} \cdot \frac{1}{i_{\mathrm{kot}}} \cdot \eta_{\mathrm{EM}} = 350 \cdot 10^3 \cdot \frac{0{,}8}{2} \cdot \frac{1}{71} \cdot \frac{1}{4} \cdot 0{,}85 = 419 \text{ Nm},$$

dok dinamički moment kočenja sveden na vratilo elektromotora iznosi

$$M_{\mathrm{din,k}}{}' = m_Q \cdot \frac{v_{\mathrm{diz}}}{t_{\mathrm{k}}} \cdot \frac{D_{\mathrm{dob}}}{2} \cdot \frac{1}{i_{\mathrm{RED}}} \cdot \frac{1}{i_{\mathrm{kot}}} \cdot \eta_{\mathrm{EM}} + \delta \cdot \frac{J_1 \cdot n_{\mathrm{EM}}}{9{,}55 \cdot t_{\mathrm{k}}} =$$
$$= 35 \cdot 10^3 \cdot \frac{0{,}103}{3} \cdot \frac{0{,}8}{2} \cdot \frac{1}{71} \cdot \frac{1}{4} \cdot 0{,}85 + 1{,}15 \cdot \frac{0{,}5 \cdot 681{,}6}{9{,}55 \cdot 3} = 15{,}12 \text{ Nm}.$$

Sada se možemo vratiti u jednačinu (8), a sa činjenicom da je u pitanju spuštanje tereta, i odrediti moment kočena na 1. način

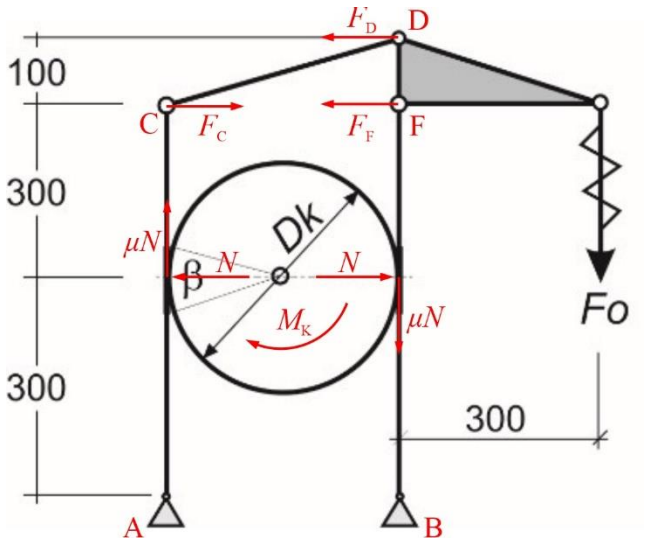
$$M_{\mathrm{k}}^{\mathrm{I}} = M_{\mathrm{din,k}}{}' \pm M_{\mathrm{st,k}}{}' = 15{,}12 + 419 = 434{,}12 \text{ Nm}. \tag{8}$$

D. Moment kočenja na 2. način dobija se pomoću izraza

$$M_{\mathrm{k}}^{\mathrm{II}} = M_{\mathrm{st}}{}' \cdot \beta = 579{,}95 \cdot 1{,}5 = 869{,}92 \text{ Nm}. \tag{9}$$

Kako na osnovu izraza (8) i (9) važi $M_{\mathrm{k}}^{\mathrm{II}} > M_{\mathrm{k}}^{\mathrm{I}}$ za dalji tok proračuna, kao merodavan usvojiće se $M_{\mathrm{k}}^{\mathrm{II}} = M_{\mathrm{k}} = 869{,}92$ Nm.

E. Shema opterećenja kočnice prikazana je na slici 1.



Slika 1. Shema opterećenja kočnice

Moment kočenja može se izračunati kao

$$M_{\mathrm{k}} = N \mu D_{\mathrm{k}}. \tag{10}$$

Kako nam je moment kočenja poznat, iz izraza (10) možemo odrediti normalnu silu N

$$N = \frac{M_{\mathrm{k}}}{\mu D_{\mathrm{k}}} = \frac{869{,}92}{0{,}4 \cdot 0{,}5} = 4349{,}6 \text{ N}.$$

Posmatrajući štap AC, možemo postaviti momentnu jednačinu za tačku A

$$\sum M_{\mathrm{A}} = 0 \Rightarrow N \cdot 300 - F_{\mathrm{C}} \cdot 600 = 0 \Rightarrow F_{\mathrm{C}} = \frac{N \cdot 300}{600} = \frac{4349{,}6}{2} = 2174{,}8 \text{ N}.$$

pri čemu važi $F_{\mathrm{F}} = F_{\mathrm{D}} = F_{\mathrm{C}} = 2174{,}8$ N.

Sada, posmatrajući štap FD možemo postaviti momentnu jednačinu za tačku F i odrediti silu u opruzi

$$\sum M_{\mathrm{F}} = 0 \Rightarrow F_{\mathrm{D}} \cdot 100 - F_{\mathrm{O}} \cdot 300 = 0 \Rightarrow F_{\mathrm{O}} = \frac{F_{\mathrm{D}} \cdot 100}{300} = \frac{2174{,}8}{3} = 724{,}93 \text{ N}.$$

Provera karakteristike kočnice na zagrevanje vrši se prema uslovu

$$pv_{\mathrm{k}} < (pv)_{\mathrm{dop}}. \tag{11}$$

Površinski pritisak između doboša i kočnice dobija se na osnovu izraza

$$p = \frac{N}{A} = \frac{434{,}96}{261{,}8} = 1{,}66\ \frac{\mathrm{daN}}{\mathrm{cm}^2},$$

pri čemu je A kontaktna površina i računa se kao

$$A = \frac{\pi \cdot D_{\mathrm{K}} \cdot B}{360} \cdot \beta = \frac{\pi \cdot 50 \cdot 10}{360} \cdot 60 = 261{,}8\ \mathrm{cm}^2.$$

Obimnu brzinu kočnice možemo odrediti kao

$$v_{\mathrm{k}} = r_{\mathrm{K}} \cdot \omega_{\mathrm{K}} = \frac{D_{\mathrm{K}}}{2} \cdot \frac{2\pi n_{\mathrm{EM}}}{60} = \frac{0{,}5}{2} \cdot 2\pi \cdot \frac{681{,}6}{60} = 17{,}84\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}.$$

Sada možemo da izračunamo našu karakteristiku kočnice na zagrevanje

$$pv_{\mathrm{k}} = 1{,}66 \cdot 17{,}84 = 29{,}61\,\frac{\mathrm{daN}}{\mathrm{cm}^2} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

Možemo videti da je $pv_{\mathrm{k}} = 29{,}61 > (pv)_{\mathrm{dop}} = 25$ čime uslov iz (11) nije zadovoljen, odnosno da treba povećati prečnik kočnice ili smanjiti normalnu silu.