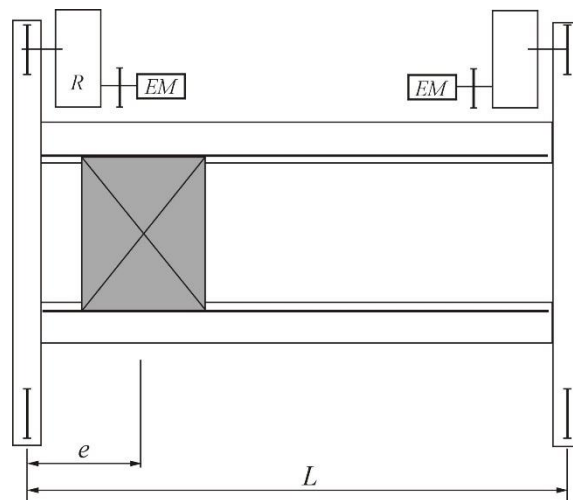


Na slici je šematski prikazan mehanizam za pokretanje mosne dizalice sa **odvojenim pogonom**. Mehanizam se sastoji od 2x EM, 2 kočnice K, 2 reduktora R. Dizalica radi u **zatvorenom** prostoru.

Podaci:

$m_Q = 12,5 \text{ t}$	- masa tereta
$m_{ko} = 2 \text{ t}$	- masa kolica
$m_{mo} = ? \text{ t}$	- masa mosta
$L = 10 \text{ m}$	- raspon mosta
$e = 1 \text{ m}$	- krajnji položaj kolica
$Dt = ? \text{ mm}$	- prečnik točka
$b_0 = 50 \text{ mm}$	- širina glave šine
$r = 5 \text{ mm}$	- radijus šine
$K_2 * K_3 = 1$	- koef.
$p_{dr} = 0,75 \text{ kN/cm}^2$	- dop.pritisak na točak
$F_{max} = 73,8 \text{ kN}$	- maksimalna sila pritiska opterećene dizalice
$v = 0,334 \text{ m/s}$	- brzina kretanja dizalice
$t_1 = 3 \text{ s}$	- vreme ubrzanja
$J_1 = 0,05 \text{ kgm}^2$	- moment inercije masa EM
$\delta = 15 \%$	- uticaj obrtnih masa
$t_k = 3,5 \text{ s}$	- vreme kočenja
$d = 50 \text{ mm}$	- prečnik osovine točka
$\mu = 0,012$	- koef. trenja klizanja u ležištu točka
$\mu_1 = 0,16$	- koef. trenja klizanja između točka i šine [u zatvorenom prostoru]
$f = 0,05 \text{ cm}$	- koef. trenja kotrljanja
$n_{EM} = ?$	- broj obrtaja EM
$n_t = ?$	- broj obrtaja točka
$\eta_m = 0,82$	- stepen iskorišćenja meh.
$i_R = 30$	- prenosni odnos reduktora
$\beta = 3$	- stepen zakošavanja
$\varphi = 1,5$	- stepen sigurnosti protiv proklizavanja



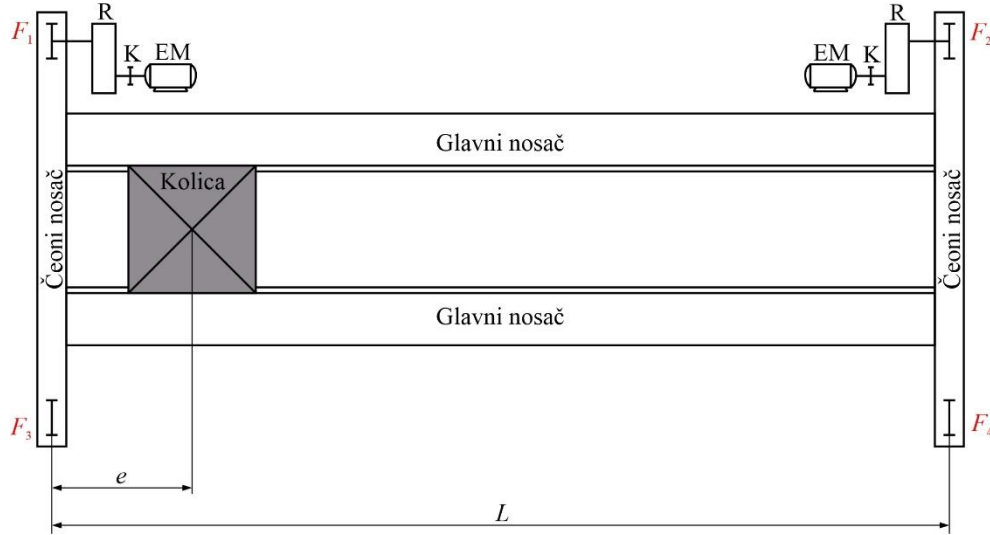
Određiti:

- A. Masu mosta (glavnih nosača)**
- B. Snagu EM za kretanje dizalice**
- C. Stepen preopterećenja EM-a**
- D. Moment kočenja (rasterećena dizalica)**
- E. Vreme kočenja u slučaju otkaza kočnice (opterećena dizalica)**
- F. Stepen proklizavanja (dizalica radi u zatvorenom prostoru)**

U proračunu, točak standardizovati prema sledećem redu dimenzija 150, 200, 250, 315, 400, 500 mm.

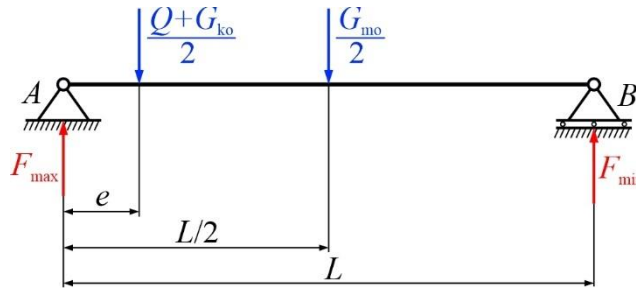
REŠENJA:

A. Na slici 1 prikazana je skica mosne dizalice u situaciji kada su kolica u krajnjem levom položaju. Takođe, na istoj slici, prikazana su mesta dejstva odgovarajućih sila po točkovima. Tako imamo sile F_1 i F_2 koje deluju na odgovarajućim pogonskim točkovima, odnosno sile F_3 i F_4 koje deluju na odgovarajućim gonjenim točkovima.



Slika 1. Skica mosne dizalice

Masu mosta ćemo odrediti rešavanjem proste grede, gde gredu čini jedan glavni nosač sa odgovarajućim opterećenjima koja na njega deluju, slika 2.



Slika 2. Shema opterećenja glavnog nosača

Postavljanjem momentne jednačine za oslonac B, može se pokazati da važi

$$F_{\max} = \frac{Q + G_{ko}}{2} \cdot \frac{L - e}{L} + \frac{G_{mo}}{4}, \quad (1)$$

pri čemu je $F_{\max} = F_1 = F_3$, jer se kolica nalaze u krajnjem levom položaju.

Iz jednačine (1) možemo izraziti težinu mosta kao

$$G_{mo} = 4 \cdot \left[F_{\max} - \frac{Q + G_{ko}}{2} \cdot \frac{L - e}{L} \right],$$

odnosno,

$$m_{mo}g = 4 \cdot \left[F_{\max} - \frac{(m_Q + m_{ko})g}{2} \cdot \frac{L - e}{L} \right]. \quad (2)$$

Sada, iz jednačine (2) možemo odrediti masu mosta kao

$$m_{mo} = \frac{4}{g} \cdot \left[F_{max} - \frac{(m_Q + m_{ko})g}{2} \cdot \frac{L - e}{L} \right],$$

$$m_{mo} = \frac{4}{10} \cdot \left[73,8 - \frac{(12,5 + 2) \cdot 10}{2} \cdot \frac{10 - 1}{10} \right],$$

$$m_{mo} = 3,42 \text{ t} = 3420 \text{ kg},$$

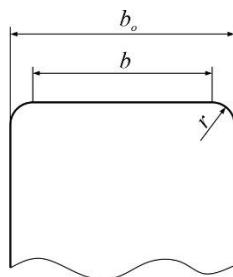
pri čemu je ubrzanje Zemljine teže uzeto kao $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Kako će nam za nastavak rada biti potreban prečnik točka, možemo ga odrediti iz uslova

$$F_n > F_{ekv} \quad (3)$$

$$p_{dr} \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot D_t \cdot b > F_{ekv},$$

gde F_n predstavlja nosivost točka na šini sa ravnom površinom glave, dok je $b = b_o - 2r$ širina glave šine (Slika 3).



Slika 3. Šina sa ravnom površinom glave

Merodavno opterećenje za izbor točka mosne dizalice iznosi

$$F_{ekv} = \frac{F_{min} - 2F_{max}}{3}, \quad (4)$$

pri čemu važi $F_{min} = F_2 = F_4$.

Sada, postavljanjem momentne jednačine za oslonac A proste grede prikazane na slici 2, minimalna sila na točku iznosi

$$F_{min} = \frac{Q - G_{ko}}{2} \cdot \frac{e}{L} + \frac{G_{mo}}{4},$$

$$F_{min} = \frac{(m_Q + m_{ko})g}{2} \cdot \frac{e}{L} + \frac{m_{mo}g}{4},$$

$$F_{min} = \frac{(12,5 + 2) \cdot 10}{2} \cdot \frac{1}{10} + \frac{3,42 \cdot 10}{4},$$

$$F_{min} = 15,8 \text{ kN}.$$

Kako su nam sada poznate i F_{max} i F_{min} , možemo se vratiti u jednačinu (4) i odrediti merodavno opterećenje

$$F_{ekv} = \frac{15,8 - 2 \cdot 73,8}{3} = 54,5 \text{ kN}.$$

Iz jednačine (3) prečnik točka možemo izraziti kao

$$D_t > \frac{F_{ekv}}{p_{dr} \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot (b_o - 2r)}$$

$$D_t > \frac{54,5}{0,75 \cdot 1 \cdot (5 - 2 \cdot 0,5)}$$

$$D_t > 18,2 \text{ cm}$$

Kako su zadatkom definisani standardni prečnici točkova, usvajamo prvi veći, tj. $D_t = 200 \text{ mm}$.

B. Snagu elektromotora određujemo pomoću sledećeg izraza

$$P_{EM} = \frac{F_W \cdot v_{mo}}{\eta_m} \text{ (W)}. \quad (5)$$

U jednačini (5) F_W predstavlja ukupni otpor kretanju i računa se kao

$$F_W = F_{W1} + F_{W2} + F_{W3} + F_V = F_{opt}, \quad (6)$$

pri čemu su:

F_{W1} - otpor pri ravnomernom kretanju dizalice,

F_{W2} - otpor trenja u krivini,

F_{W3} - otpori usled nagiba kranske staze,

F_V - otpor usled dejstva vetra.

Prema zadatku, kako kranska staza nema krivine i nagibe, a dizalica radi u zatvorenom prostoru, važi $F_{W2} = 0, F_{W3} = 0, F_V = 0$, pa se jednačina (6) svodi na oblik

$$F_W = F_{W1} = F_{opt}.$$

Otpor pri ravnomernom kretanju određuje se prema izrazu

$$F_{W1} = R \cdot \left(\frac{2f}{D_t} + \frac{\mu d}{D_t} \right) \cdot \beta, \quad (7)$$

gde $\frac{2f}{D_t} + \frac{\mu d}{D_t} = w$ predstavlja specifični otpor kretanju, odnosno koeficijent vuče, dok je β koeficijent zakošenja i uzima se u obzir ukoliko točak ima obod.

*Napomena: Snaga elektromotora za kretanje dizalice računa se na dva načina u zavisnosti od toga da li je pogon **odvojeni** ili **centralni**. U nastavku će biće urađen proračun za oba tipa pogona.*

Odvojeni pogona

U izrazu (7) R predstavlja reakciju podloge i u slučaju odvojenog pogona računa se kao zbir normalnih vertikalnih pritisaka na točkove na opterećenoj strani mosta, odnosno u našem slučaju to je leva strana mosta pa važi $R = F_1 + F_3$.

Sada, izraz (7) dobija oblik

$$F_W^l = (F_1 + F_3) \cdot \left(\frac{2f}{D_t} + \frac{\mu d}{D_t} \right) \cdot \beta = (73,8 + 73,8) \cdot \left(\frac{2 \cdot 0,5}{200} + \frac{0,012 \cdot 50}{200} \right) \cdot 3 = 3,54 \text{ kN}.$$

Sada, snaga elektromotora za kretanje dizalice iznosi

$$P_{EM}^l = \frac{F_W^l \cdot v_{mo}}{\eta_m} = \frac{3,54 \cdot 0,334}{0,82} = 1442,8 \text{ W} = 1,44 \text{ kW}.$$

Centralni pogona

U slučaju centralnog pogona $R = Q + G_{ko} + G_{mo}$, pa se sada izraz (7) svodi na oblik

$$F_W = (Q + G_{ko} + G_{mo}) \cdot \left(\frac{2f}{D_t} + \frac{\mu d}{D_t} \right) \cdot \beta,$$

$$F_W = (125 + 20 + 34,2) \cdot \left(\frac{2 \cdot 0,5}{200} + \frac{0,012 \cdot 50}{200} \right) \cdot 3 = 4,3 \text{ kN},$$

dok je snaga elektromotora sada

$$P_{EM} = \frac{F_W \cdot \vartheta_{mo}}{\eta_m} = \frac{4,3 \cdot 0,334}{0,82} = 1751,8 \text{ W} = 1,75 \text{ kW}.$$

Kako je zadatkom definisano da je u pitanju odvojeni pogon, u nastavku proračuna biće korišćene sledeće vrednosti $F_W^l = 3,54 \text{ kN}$ i $P_{EM}^l = 1442,8 \text{ W}$.

C. Stepen preopterećenja motora računa se na osnovu izraza

$$\psi_{stv} = \frac{M_{st}' + M_{din}'}{M_n} \quad (8)$$

pri čemu je M_{st}' statički moment sveden na vratilo elektromotora, M_{din}' dinamički moment sveden na vratilo elektromotora, M_n nominalni moment elektromotora.

Nominalni moment elektromotora jednak je

$$M_n = \frac{9,55 P_{EM}}{n_{EM}}, \quad (9)$$

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

Iz izraza za obimnu brzinu možemo odrediti broj obrtaja točka (n_t) kao

$$\vartheta_t = R_t \cdot \omega_t = \frac{D_t}{2} \cdot \frac{2\pi n_t}{60} = \frac{D_t \pi n_t}{60} \Rightarrow n_t = \frac{60 \vartheta_t}{\pi D_t},$$

$$n_t = \frac{60 \cdot 0,334}{\pi \cdot 0,2} = 31,9 \text{ min}^{-1}$$

Sada, iz prenosnog odnosa reduktora, koji nam je poznat, možemo odrediti broj obrtaja elektromotora

$$i_R = \frac{n_{EM}}{n_t} \Rightarrow n_{EM} = i_R n_t = 30 \cdot 31,9 \approx 957 \text{ min}^{-1}.$$

Ako se vratimo u jednačinu (9)

$$M_n = \frac{9,55 P_{EM}^l}{n_{EM}} = \frac{9,55 \cdot 1442,8}{957} = 14,4 \text{ Nm}.$$

Statički moment sveden na vratilo EM računa se kao

$$M_{st}' = F_W^l \cdot \frac{D_t}{2} \cdot \frac{1}{i_R} \cdot \frac{1}{\eta_m} = 3,54 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,2}{2} \cdot \frac{1}{30} \cdot \frac{1}{0,82} = 14,4 \text{ Nm}.$$

Dinamički moment sveden na vratilo EM računa se kao

$$M_{din}' = (m_Q + m_{ko} + m_{mo}) \cdot \frac{\vartheta_{mo}}{t_1} \cdot \frac{D_t}{2} \cdot \frac{1}{i_R} \cdot \frac{1}{\eta_m} + \delta \cdot \frac{J_1 \cdot n_{EM}}{9,55 \cdot t_1}$$

$$M_{\text{din}}' = (12500 + 2000 + 3420) \cdot \frac{0,334}{3} \cdot \frac{0,2}{2} \cdot \frac{1}{30} \cdot \frac{1}{0,82} + 1,15 \cdot \frac{0,05 \cdot 957}{9,55 \cdot 3} = 10 \text{ Nm.}$$

Vraćanjem dobijenih vrednosti u jednačinu (8) dobijamo

$$\psi_{\text{stv}} = \frac{M_{\text{st}}' + M_{\text{din}}'}{M_n} = \frac{14,4 + 10}{14,4} = 1,69.$$

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

$$\begin{aligned} \psi_{\text{stv}} &> \psi_{\text{kat}} \\ 1,69 &> 1,2, \end{aligned}$$

što nam govori da će u našem slučaju doći do preopterećenja elektromotora.

D. Moment kočenja, u slučaju rasterećene dizalice, računa se kao

$$M_{k0}' = M_{\text{din}0,k}' - M_{\text{st}0,k}', \quad (10)$$

pri čemu je $M_{\text{din}0,k}'$ dinamički moment rasterećene dizalice sveden na vratilo EM, $M_{\text{st}0,k}'$ statički moment rasterećene dizalice sveden na vratilo EM.

*Napomena: Ovde moramo voditi računa jer je dizalica **rasterećena** pa važi $m_Q = 0$.*

Sada, $M_{\text{st}0,k}'$ možemo izračunati kao

$$M_{\text{st}0,k}' = (Q + G_{ko} + G_{mo}) \cdot w \cdot \beta \cdot \frac{D_t}{2} \cdot \frac{1}{i_R} \cdot \eta_m$$

$$M_{\text{st}0,k}' = (0 + 2000 + 3420) \cdot 10 \cdot 0,008 \cdot 1 \cdot \frac{0,2}{2} \cdot \frac{1}{30} \cdot 0,82 = 1,185 \text{ Nm,}$$

pri čemu je, radi lakšeg računanja

$$w = \left(\frac{2f}{D_t} + \frac{\mu d}{D_t} \right) = \left(\frac{2 \cdot 0,5}{200} + \frac{0,012 \cdot 50}{200} \right) = 0,008.$$

Treba pomenuti da u prethodnom izrazu koeficijent zakošenja β ima vrednost 1, odnosno da nema zakošavanja, jer to predstavlja najnepovoljniji slučaj pri kočenju.

Dinamički moment rasterećene dizalice sveden na vratilo EM računa se kao

$$\begin{aligned} M_{\text{din}0,k}' &= (m_Q + m_{ko} + m_{mo}) \cdot \frac{\vartheta_{mo}}{t_k} \cdot \frac{D_t}{2} \cdot \frac{1}{i_R} \cdot \eta_m + \delta \cdot \frac{J_1 \cdot n_{EM}}{9,55 \cdot t_k} \\ M_{\text{din}0,k}' &= (0 + 2000 + 3420) \cdot \frac{0,334}{3,5} \cdot \frac{0,2}{2} \cdot \frac{1}{30} \cdot 0,82 + 1,15 \cdot \frac{0,05 \cdot 957}{9,55 \cdot 3,5} = 3,06 \text{ Nm.} \end{aligned}$$

Sada se možemo vratiti u jednačinu (10)

$$M_{k0}' = M_{\text{din}0,k}' - M_{\text{st}0,k}' = 3,06 - 1,185 = 1,875 \text{ Nm.}$$

E. Vreme kočenja, u slučaju otkaza kočnice računamo iz uslova da je $M_k' = 0$, odnosno

$$M_k' = M_{\text{din},k}' - M_{\text{st},k}' \Rightarrow M_{\text{din},k}' = M_{\text{st},k}'$$

*Napomena: Ovde moramo voditi računa jer je dizalica **opterećena** pa važi $m_Q \neq 0$.*

Iz jednakosti momenata vreme kočenja možemo izraziti kao

$$\begin{aligned}
 M_{\text{din},k}' &= M_{\text{st},k}' \\
 (Q + G_{\text{ko}} + G_{\text{mo}}) \cdot w \cdot \beta \cdot \frac{D_t}{2} \cdot \frac{1}{i_R} \cdot \eta_m &= \\
 = (m_Q + m_{\text{ko}} + m_{\text{mo}}) \cdot \frac{\vartheta_{\text{mo}}}{t_k} \cdot \frac{D_t}{2} \cdot \frac{1}{i_R} \cdot \eta_m + \delta \cdot \frac{J_1 \cdot n_{\text{EM}}}{9,55 \cdot t_k} \\
 t_k &= \frac{(m_Q + m_{\text{ko}} + m_{\text{mo}}) \cdot \frac{\vartheta_{\text{mo}}}{t_k} \cdot \frac{D_t}{2} \cdot \frac{1}{i_R} \cdot \eta_m + \delta \cdot \frac{J_1 \cdot n_{\text{EM}}}{9,55 \cdot t_k}}{(Q + G_{\text{ko}} + G_{\text{mo}}) \cdot w \cdot \beta \cdot \frac{D_t}{2} \cdot \frac{1}{i_R} \cdot \eta_m} \\
 t_k &= \frac{(12500 + 2000 + 3420) \cdot 0,334 \cdot \frac{0,2}{2} \cdot \frac{1}{30} \cdot 0,82 + 1,15 \cdot \frac{0,05 \cdot 957}{9,55}}{(12500 + 2000 + 3420) \cdot 10 \cdot 0,008 \cdot 1 \cdot \frac{0,2}{2} \cdot \frac{1}{30} \cdot 0,82} \\
 t_k &= 5,64 \text{ s.}
 \end{aligned}$$

Ovde, koeficijent zakošenja β takođe ima vrednost 1, odnosno da nema zakošavanja, jer to predstavlja najnepovoljniji slučaj pri otkazu kočnice.

E. Stepen sigurnosti protiv proklizavanja određuje se tako da bude zadovoljen uslov

$$M_{\text{ath}} > M_{\text{opt}},$$

gde M_{ath} predstavlja athezioni moment na pogonskim točkovima, a M_{opt} predstavlja moment opterećenja.

Dakle, stepen sigurnosti protiv proklizavanja jednak je

$$\varphi = \frac{M_{\text{ath}}}{M_{\text{opt}}}. \quad (11)$$

Athezioni moment dobija se na osnovu izraza

$$M_{\text{ath}} = R_1 \cdot \mu_1 \cdot \frac{D_t}{2} = 89,6 \cdot 0,16 \cdot \frac{0,2}{2} = 1,434 \text{ kNm.}$$

pri čemu R_1 predstavlja zbir normalnih vertikalnih pritisaka na pogonske točkove i računa se kao

$$R_1 = F_1 + F_2 = F_{\text{max}} + F_{\text{min}} = 73,8 + 15,8 = 89,6 \text{ kN.}$$

U opštem slučaju, moment opterećenja se računa kao

$$M_{\text{opt}} = M_w + M_{\text{in}} + M_v, \quad (12)$$

gde su:

$M_w = M_w^{(\mu)} + M_w^{(f)}$ - gde je $M_w^{(\mu)}$ moment otpora trenja u ležištima slobodnih točkova, $M_w^{(f)}$ moment otpora trenja kotrljanja pogonskih i slobodnih točkova,

M_{in} - moment koji prave inercijalne sile, izračunava se kao

$$M_{\text{in}} = (m_Q + m_{\text{ko}} + m_{\text{mo}}) \cdot \frac{\vartheta_{\text{mo}}}{t_1} \cdot \frac{D_t}{2}$$

$$M_{\text{in}} = (12500 + 2000 + 3420) \cdot \frac{0,334}{3} \cdot \frac{0,2}{2} = 199,51 \text{ kNm}$$

$M_v = F_v \cdot \frac{D_t}{2}$ - moment usled dejstva vetra, u našem slučaju $M_v = 0$ jer dizalica radi u zatvorenom prostoru.

Moment otpora trenja u ležištima slobodnih točkova izračunava se kao

$$M_w^{(\mu)} = R_2 \cdot \frac{\mu d}{D_t} \cdot \beta \cdot \frac{D_t}{2} = R_2 \cdot \frac{\mu d}{2} \cdot \beta = R_2 \cdot \frac{\mu d}{2} \cdot \beta = 89,6 \cdot \frac{0,012 \cdot 0,05}{2} \cdot 3 = 0,081 \text{ kNm}$$

pri čemu R_2 predstavlja zbir normalnih vertikalnih pritisaka na slobodne (gonjene) točkove i računa se kao

$$R_2 = F_3 + F_4 = F_{\max} + F_{\min} = 73,8 + 15,8 = 89,6 \text{ kN.}$$

Moment otpora trenja kotrljanja pogonskih i slobodnih točkova računa se kao

$$M_w^{(f)} = (R_1 + R_2) \cdot \frac{2f}{D_t} \cdot \beta \cdot \frac{D_t}{2} = (R_1 + R_2) \cdot f \cdot \beta$$

$$M_w^{(f)} = (89,6 + 89,6) \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3 = 0,269 \text{ kNm}$$

Sada, ako se vratimo u jednačinu (12)

$$M_{\text{opt}} = M_w + M_{\text{in}} + M_v = M_w^{(\mu)} + M_w^{(f)} + M_{\text{in}} + M_v,$$

$$M_{\text{opt}} = M_w^{(\mu)} + M_w^{(f)} + M_{\text{in}} + M_v,$$

$$M_{\text{opt}} = 0,081 + 0,269 + 0,199 + 0 = 0,549 \text{ kNm.}$$

Konačno, ako se vratimo u jednačinu (11)

$$\varphi_{\text{stv}} = \frac{M_{\text{ath}}}{M_{\text{opt}}} = \frac{1,443}{0,549} = 2,63.$$

Možemo videti da važi uslov $\varphi_{\text{stv}} = 2,63 < \varphi = 1,5$ što znači da neće doći do proklizavanja točkova pri polasku dizalice.