
UNIVERZITET U BEOGRADU
MAŠINSKI FAKULTET



KATEDRA ZA MEHANIZACIJU

PREDMET: OSNOVE METALNIH KONSTRUKCIJA U MAŠINOGRADNJI

B.Sc. rad

**Mašinski projekat električne monorej dizalice
nosivosti 3,2 t, raspona 6 m i visine dizanja 3 m**

Beograd, jul 2017. god.

Sadržaj

1. PROJEKTNI ZADATAK

2. TEKSTUALNA DOKUMENTACIJA

2.1 Tehnički opis

 2.1.1 Električna dizalica sa kolicima

 2.1.2 Čelična konstrukcija

 2.1.3 Sistem napajanja

2.2 Spisak korišćenih propisa i standarda

2.3 Prilog o bezbednosti i zdravlju na radu

3. NUMERIČKA DOKUMENTACIJA

3.1 Analiza opterećenja

3.2 Statički proračun

3.3 Dokaz čvrstoće

 3.3.1 Lokalno savijanje donjeg pojasa

3.4 Dokaz krutosti

3.5 Dokaz elastične stabilnosti

 3.5.1 Bočno izvijanje nosača

4. GRAFIČKA DOKUMENTACIJA

- Dispozicija monorej dizalice (Crtež br. OMK MD-00-00)

1. Projektni zadatak

Izraditi mašinski projekat monorej dizalice sledećih karakteristika:

- nosivost: 3,2 t
- raspon: 6 m
- visina dizanja: 3 m
- pogon dizanja: električni
- pogon kretanja kolica: električni

Ostale napomene:

- dizalica se koristi povremeno, za podizanje komadnih tereta u objektu
- dizalica radi u normalnoj radnoj sredini
- konstrukcija je ovešena na armiranobetonske grede na plafonu objekta

Projektnu dokumentaciju uraditi u skladu sa:

- tehničkim propisima i standardima u mašinstvu za ovu vrstu objekta
- podlogama iz građevinskog projekta objekta

Investitor

MP

potpis

2. Tekstualna dokumentacija

2.1 Tehnički opis

Osnovne tehničke karakteristike dizalice

Nosivost:	3,2 t
Raspon:	6 m
Visina dizanja:	3 m
Pogonska klasa:	1 Am (FEM)
Pogoni:	Električni

Električna monorej dizalica služi za transport komadnog tereta u hali korisnika. Dizalica je ovešena na armiranobetonske grede na plafonu hale. Dizalica se koristi povremeno, radi u zatvorenom prostoru i normalnoj radnoj sredini. Upravljanje funkcijama se vrši sa poda, preko komandne kutije.

2.1.1 Električna dizalica sa kolicima

Električna lančana dizalica sa električnim kolicima je KITO ER2M032IS-IS ili slično. Podaci:

- Nosivost: 3,2 t
- Visina dizanja: 3 m
- Pogonska klasa: 1 Am (FEM)
- Min. rastojanje kuke od nosača: 765 mm
- Širina staze: 179 - 305 mm
- Noseći lanac: Ø 10,2 mm (2 kraka)
- Brzina dizanja: 5,2 - 0,9 m/min (frekventno regulisana)
- Brzina kretanja kolica: 24 - 4 m/min (frekventno regulisana)
- Motor dizanja: 3,5 kW; 40/20 % ED
- Motor kretanja: 0,4 kW; 27/13 % ED
- Napajanje: 400 V, 50 Hz
- Masa: 155 kg

2.1.2 Čelična konstrukcija

Čelična konstrukcija je izrađena od materijala S355 JRG2. Glavni nosač (staza) je izведен od profila HEA 240 (EURONORM 53-62). Na krajevima glavnog nosača, na gornjem pojasu, zavarene su ploče od čelika S355 i debljine 20 mm koje služe za ostvarivanje zavrtanske veze sa pločama na betonskim gredama (videti građevinski projekat objekta). Na krajevima staze su postavljeni graničnici kretanja kolica.

2.1.3 Sistem napajanja

Napajanje je ostvareno sistemom šlep kablova. Na gornji pojas staze pričvršćeni su nosači koji nose vođicu (C šinu) po kojoj se kreću kolica sa savitljivim kablom koji ide od dizalice do glavnog prekidača.

2.2 Spisak korišćenih propisa i standarda

- Standard SRPS EN 13001-2:2016
- Standard SRPS EN 1993-1-1:2012
- Standard SRPS EN 1993-6:2012
- Zakon o planiranju i izgradnji (Sl. glasnik RS br. 72/2009)
- Zakon o bezbednosti i zdravlju na radu (Sl. glasnik RS br. 101/2005)
- Pravilnik o bezbednosti mašina (Sl. glasnik RS br. 12/2010)
- Pravilnik o tehničkim normativima za dizalice (Sl. list SFRJ br. 65/91)¹

2.3 Prilog o bezbednosti i zdravlju na radu

Opasnosti koje se mogu javiti pri korišćenju monorej dizalice na električni pogon su:

- Neadekvatan izbor opreme i materijala
- Spadanje konstrukcije ili njenih delova
- Neredovna i nestručna kontrola i održavanje
- Nepravilno rukovanje
- Preopterećenje
- Struja kratkog spoja
- Nedozvoljen pad napona
- Izazivanje požara
- Uticaj vlage, vode i prašine

¹ Pravilnik je formalno nevažeći ali je dozvoljeno njegovo korišćenje internim pravilima struke zbog nepostojanja adekvatene zamene.

Predviđene mere za otklanjanje opasnosti kod monorej dizalica su:

- Materijal i oprema moraju odgovarati projektnoj dokumentaciji dizalice, a proizvođač/isporučilac mora dostaviti prateću atestnu dokumentaciju.
- Montažu dizalice mogu vršiti samo stručna i kvalifikovana lica. Prilikom puštanja u rad, potrebno je izvršiti atestiranje dizalice od strane ovlašćene institucije. Pre svake upotrebe dizalice potrebno je da rukovalac dizalice-dizaličar izvrši dnevni pregled. Dnevni pregled se sastoji od vizuelne provere konstrukcije, njenih veza sa objektom, kablova, električne dizalice, kolica, naleganja kolica na stazi, veze dizalice i kolica, nosećeg lanca, donje kuke, a potom i funkcionalnih ispitivanja (izvođenja operacija sa dizalicom bez opterećenja).
- Potrebno je vršiti pregled dizalice (nedeljni, mesečni i godišnji pregled) od strane kvalifikovanog osoblja imenovanog od strane korisnika dizalice. Zaključke od pregleda upisivati u Kontrolnu knjigu. Eventualne neispravnosti i kvarovi uočeni tokom pregleda se prijavljuju odgovornom licu u radnoj organizaciji koji odmah obustavlja rad sa dizalicom do oklanjanja svih neispravnosti i kvarova. Stručno i kvalifikovano osoblje mora vršiti održavanje dizalice u svemu prema Uputstvu za održavanje koje daje proizvođač/isporučilac dizalice ili prema internim aktima korisnika.
- Uputstvo za upotrebu daje proizvođač/isporučilac dizalice i sastavni je deo tehničke dokumentacije koja prati dizalicu u prometu i eksploraciji. Osoba koja rukuje dizalicom mora biti fizički i mentalno zdrava, upoznata sa funkcijom uređaja, upoznata sa Uputstvom za upotrebu i obučena za zad sa dizalicom. Dizaličar je dužan da prilagodi uslove rada svojoj bezbednosti i bezbednosti celokupnog osoblja koje radi u okolini. Dizaličar mora predvideti radni ciklus željenog transporta tereta u smislu sagledavanja manipulativnog prostora bez prepreka. Rukovaoci moraju nositi lična zaštitna sredstva. Izvođenje svih radnji dizalicom (dizanje/spuštanje, kretanje kolica) dizaličar mora vršiti laganim tempom, bez izazivanja trzaja. Potrebno je poštovati ustaljena pravila za kačenje tereta ili koristiti adekvatna pomoćna sredstva (priveznice). Nije dozvoljen transport ljudi pomoću dizalice. Nije dozvoljeno zadržavanje ispod visećeg tereta. Nije dozvoljeno podizati teret ukosi ili vući teret po podlozi.
- Dizaličar ne sme da podigne teret koji je veće mase od propisane nosivosti dizalice. Nosivost dizalice mora biti jasno označena i vidljiva na samoj dizalici ili u njenoj neposrednoj blizini.
- Zaštita od struje kratkog spoja rešena je upotrebom odgovarajućih osigurača.
- Zaštita od nedozvoljenog pada napona je predviđena pravilnim dimenzionisanjem vodova prema stvarnom opterećenju.
- Zaštita od izbijanja požara rešena je izborom adekvatne elektro opreme.
- Zaštita od uticaja vlage, vode i prašine obezbeđena je pravilnim izborom opreme, njenim razmeštanjem i primenom odgovarajućih zaštitnih mera.

3. Numerička dokumentacija

Osnovni podaci:

$$m_Q = 3,2 \text{ t} - \text{nosivost}$$

$$L = 6 \text{ m} - \text{raspon}$$

3.1 Analiza opterećenja

Analiza opterećenja se vrši prema standardu SRPS EN 13001-2:2015.

Težina tereta iznosi

$$Q = m_Q \cdot g \cong 3,2 \cdot 10 = 32 \text{ kN}$$

Težina električne dizalice sa kolicima iznosi

$$G_v = m_v \cdot g \cong 0,155 \cdot 10 = 1,55 \text{ kN}$$

gde je $m_v = 155 \text{ kg}$ masa električne lančane dizalice sa kolicima.

Intenzitet sopstvene težine staze iznosi

$$q = A \cdot 7,85 \cdot 10^{-5} = 76,8 \cdot 7,85 \cdot 10^{-5} = 0,006 \text{ kN/cm},$$

gde je $A = 76,8 \text{ cm}^2$ površina poprečnog preseka profila HEA 240.

Faktori dinamičkih efekata:

$$\phi_1 = 1,1$$

$$\phi_2 = \phi_{2,\min} + \beta_2 \cdot v_h = 1,2 + 0,68 \cdot 0,087 = 1,26$$

gde je

$$v_h = 5,2 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 0,087 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ glavna brzina dizanja},$$

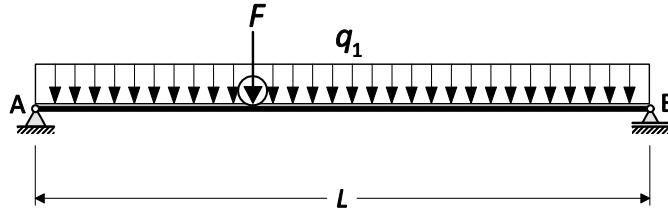
a koeficijenti² za usvojenu klasu krutosti HC4 i klasu pogona dizanja HD1

$$\phi_{2,\min} = 1,2$$

$$\beta_2 = 0,68$$

² Usvojene su najveće vrednosti koeficijenata iz mogućeg opsega jer je tada proračun konstrukcije na strani sigurnosti. Ovo se može usvojiti kao preporuka za proračun dizalica, a posebno kada nije poznat tip dizalice sa kolicima što je čest slučaj u fazi projektovanja.

Statički model konstrukcije električne monorej dizalice je dat na sledećoj slici gde sila F predstavlja faktorisanu силу od težina tereta i dizalice sa kolicima (sa promenljivim položajem na gredi), a q_1 faktorisano kontinualno opterećenje od sopstvene težine grede.



Slika 3.1 Statički model konstrukcije monorej dizalice

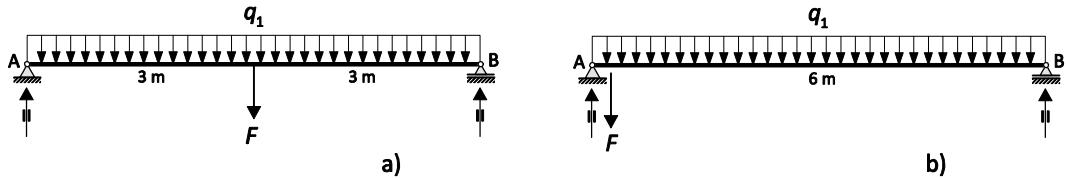
Dobija se

$$F = \phi_2 \cdot Q + \phi_1 \cdot G_v = 1,26 \cdot 32 + 1,1 \cdot 1,55 \cong 42 \text{ kN}$$

$$q_1 = \phi_1 \cdot q = 1,1 \cdot 0,006 = 0,0066 \text{ kN/cm}$$

3.2 Statički proračun

Razmatraju se situacija kada se teret na nalazi na sredini raspona (Situacija 1) i situacija kada se teret nalazi kod levog oslonca na gredi (Situacija 2), slika 3.2.



Slika 3.2 Proračunski modeli konstrukcije: a) Situacija 1, b) Situacija 2

Situacija 1:

Transverzalna sila, za presek na sredini grede, iznosi

$$V_1 = \frac{F}{2} = \frac{42}{2} = 21 \text{ kN}$$

Moment savijanja, za presek na sredini grede, iznosi

$$M_1 = \frac{F \cdot L}{4} + \frac{q_1 \cdot L^2}{8} = \frac{42 \cdot 600}{4} + \frac{0,0066 \cdot 600^2}{8} = 6300 + 297 = 6597 \text{ kNm}$$

Situacija 2:

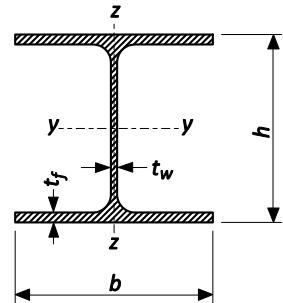
Transverzalna sila, za presek kod levog oslonca grede, iznosi

$$V_2 = V_2^F + V_2^q \cong F + q_1 \frac{L}{2} = 42 + 0,0066 \cdot 300 \cong 44 \text{ kN}$$

3.3 Dokaz čvrstoće

Geometrijske karakteristike preseka grede HEA 240 :

$$\begin{aligned} h &= 230 \text{ mm} & b &= 240 \text{ mm} & t_f &= 12 \text{ mm} \\ t_w &= 7,5 \text{ mm} & A &= 76,8 \text{ cm}^2 & I_y &= 7760 \text{ cm}^4 \\ S_y &= 372 \text{ cm}^3 & W_{el,y} &= 675 \text{ cm}^3 & I_z &= 2770 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$



Dopušteni naponi iznose

$$\sigma_{dop} = \frac{f_y}{v} = \frac{35,5}{1,5} = 23,7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \text{i} \quad \tau_{dop} = \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot v} = \frac{35,5}{\sqrt{3} \cdot 1,5} = 13,7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

gde su: $f_y = 35,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$ - napon tečenja za materijal S355

$v = v_I = 1,5$ - stepen sigurnosti za I slučaj opterećenja

Maksimalna vrednost momenta savijanja (Situacija 1) iznosi

$$M_{\max} = M_1 = 6597 \text{ kNm}$$

pa je najveća vrednost napona od savijanja u nosaču

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_{el,y}} = \frac{6597}{675} \approx 9,77 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Maksimalna vrednost transverzalne sile (Situacija 2) iznosi

$$V_{\max} = V_2 = 44 \text{ kN}$$

pa je najveća vrednost tangencijalnog napona u nosaču

$$\tau_{\max} = \frac{V_{\max} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w} = \frac{44 \cdot 372}{7760 \cdot 0,75} = 2,81 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Kako su

$$\sigma_{\max} = 9,77 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \sigma_{dop} = 23,7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{\max} = 2,81 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \tau_{dop} = 13,7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

parcijalni (i dovoljni) uslovi dokaza čvrstoće su zadovoljeni.

3.3.1 Lokalno savijanje donjeg pojasa

Koeficijenti lokalnog savijanja:

$$n = 15 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{2n}{b - t_w} = \frac{2 \cdot 1,5}{24 - 0,75} = 0,129$$

$$c_{x0} = 0,050 - 0,58 \cdot 0,129 + 0,148 e^{3,015 \cdot 0,129} = 0,194$$

$$c_{y0} = -2,11 + 1,977 \cdot 0,129 + 0,0076 e^{6,53 \cdot 0,129} = -1,837$$

$$c_{x1} = 2,23 - 1,49 \cdot 0,129 + 1,39 e^{-18,33 \cdot 0,129} = 2,168$$

$$c_{y1} = 10,108 - 7,408 \cdot 0,129 - 10,108 e^{-1,364 \cdot 0,129} = 0,675$$

$$c_{x2} = 0,73 - 1,58 \cdot 0,129 + 2,91 e^{-6 \cdot 0,129} = 1,868$$

$$c_{y2} = 0$$

Vertikalna proračunska sila:

$$F_z = \frac{F}{4} = \frac{42}{4} = 10,5 \text{ kN}$$

$$F_{z,Ed} = 2F_z = 2 \cdot 10,5 = 21 \text{ kN}$$

Naponi lokalnog savijanja:

$$t_1 = t_f = 1,2 \text{ cm}$$

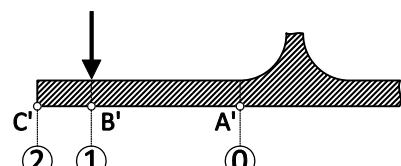
$$\sigma_{ox,Ed,A'} = c_{x0} \frac{F_{z,Ed}}{t_1^2} = 0,194 \frac{21}{1,2^2} = 2,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{oy,Ed,A'} = c_{y0} \frac{F_{z,Ed}}{t_1^2} = -1,837 \frac{21}{1,2^2} = -26,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{ox,Ed,B'} = c_{x1} \frac{F_{z,Ed}}{t_1^2} = 2,168 \frac{21}{1,2^2} = 31,6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{oy,Ed,B'} = c_{y1} \frac{F_{z,Ed}}{t_1^2} = 0,675 \frac{21}{1,2^2} = 9,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{ox,Ed,C'} = c_{x2} \frac{F_{z,Ed}}{t_1^2} = 1,868 \frac{21}{1,2^2} = 27,2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$



Naponi globalnog savijanja:

$$\sigma_{gx,A'} = \sigma_{gx,B'} = \sigma_{gx,C'} = \sigma_{\max} = 9,77 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Uporedni naponi za karakteristične tačke:

$$\sigma_{u,A'} = \sqrt{(9,77 + 0,75 \cdot 2,8)^2 + (0,75 \cdot (-26,8))^2 - (9,77 + 0,75 \cdot 2,8)(0,75(-26,8))} = 28 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

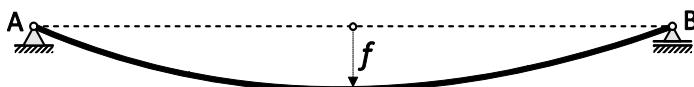
$$\sigma_{u,B'} = \sqrt{(9,77 + 0,75 \cdot 31,6)^2 + (0,75 \cdot 9,8)^2 - (9,77 + 0,75 \cdot 31,6)(0,75 \cdot 9,8)} = 30,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{u,C'} = \sqrt{(9,77 + 0,75 \cdot 27,2)^2} = 30,2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Kako su $\sigma_{u,A'}, \sigma_{u,B'}, \sigma_{u,C'} < f_y = 35,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$, **dokaz čvrstoće na lokalno savijanje je zadovoljen.**

3.4 Dokaz krutosti

Najveći ugib konstrukcije dizalice je na sredini rasponog dela za situaciju kada se teret nalazi kod sredine raspona. Skica deformisanog stanja grede AB je data na sledećoj slici.



Slika 3.3 Skica deformisanog stanja konstrukcije

Dobija se

$$f = \frac{1}{48} \frac{(Q + G_v) L^3}{E I_y} + \frac{5}{384} \frac{q L^4}{E I_y} = \frac{1}{48} \frac{(32 + 1,55) \cdot 600^3}{21000 \cdot 7760} + \frac{5}{384} \frac{0,006 \cdot 600^4}{21000 \cdot 7760} = 0,92 + 0,062 \approx 0,98 \text{ cm}$$

Dopušteni ugib za ovaj tip monorej staze iznosi

$$f_{dop} = \frac{L}{500} = \frac{600}{500} = 1,2 \text{ cm}$$

Kako je $f = 0,98 \text{ cm} < f_{dop} = 1,2 \text{ cm}$, **zaključuje se da je zadovoljen dokaz krutosti.**

3.5 Dokaz elastične stabilnosti

3.5.1 Bočno izvijanje nosača

Bočno izvijanje nosača se proračunava na osnovu standarda EN 1993-1-1:2005.

Sektorski moment inercije i torzioni moment inercije za profil HEA 240, respektivno, iznose

$$I_{\omega} = 328500 \text{ cm}^6$$

$$I_t = 41,5 \text{ cm}^4$$

Kritični moment bočno-torzionog izvijanja:

$$z_g = -\left(\frac{h}{2} - t_f\right) = -(11,5 - 1,2) = -10,3 \text{ cm}$$

$$k = 1, k_{\omega} = 1,$$

$$C_1 = 1,348, C_2 = 0,63$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= C_1 \frac{\pi^2 E \cdot I_z}{(k L)^2} \left(\sqrt{\left(\frac{k}{k_{\omega}} \right)^2 \frac{I_{\omega}}{I_z} + \frac{(k L)^2 G \cdot I_t}{\pi^2 E \cdot I_z} + (C_2 z_g)^2} - C_2 z_g \right) \\ &= 1,348 \frac{\pi^2 21000 \cdot 2770}{(600)^2} \left(\sqrt{1 \cdot \frac{328500}{2770} + \frac{(600)^2 8000 \cdot 41,55}{\pi^2 21000 \cdot 2770} + (0,63 (-10,3))^2} - 0,63 (-10,3) \right) \\ &= 55250 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Relativna vitkost iznosi

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{675 \cdot 35,5}{55250}} = 0,66$$

gde je $W_y = W_{el,y} = 675 \text{ cm}^3$ - otporni moment za klasu preseka 3.

Redukcioni koeficijent za bočno-torziono izvijanje (posebni postupak):

$$\frac{h}{b} = \frac{23}{24} = 0,96 < 2 \quad \Rightarrow \quad \text{Kriva izvijanja} = b$$

$$\chi_{LT} \approx 0,89$$

Proračunski moment otpornosti elementa na bočno-torziono izvijanje iznosi

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,89 \cdot 675 \frac{35,5}{1,5} = 14218 \text{ kNm}$$

gde je

$$\gamma_{M1} = \nu_l = 1,5$$

Merodavni moment savijanja iznosi

$$M_{Ed} = M_{\max} = 6597 \text{ kNm}$$

Kako je

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{6597}{14218} = 0,46 \leq 1,0$$

nosač zadovoljava kontrolu na bočno-torziono izvijanje.