

KOMUNIKACIJSKI GRANIČNI PRISTUP STABILNOSTI AUTODIZALICE

COMMUNICATIONAL LIMIT STATIC STABILITY OF MOBILE CRANE

Jože Stropnik

*Strojarski fakultet, Sveučilište u Ljubljani, Ljubljana, Slovenija
Faculty of Engineering, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia*

Sažetak

Za sigurno podizanje tereta kod autodizalice je bitna njihova statička stabilnost. O graničnoj nosivosti govorimo kada je autodizalica na granici prevrtanja. Ova nosivost ovisi o dimenzijama, vlastitoj težini i položaju ruke, te o položaju i dužini potpornih (stabilizacijskih) nogu autodizalice. Za graničnu nosivost autodizalice bitno je najveće (granično) naprezanje za najslabiji nosivi element, a u obzir je potrebno uzeti i nosivost tla. U članku je obrađena računski i eksperimentalna analiza granične nosivosti autodizalice za njezine različite radne uvjete. Rezultati analize su za neke najčešće slučajeve prikazani grafikonomima, u kojima su prikazane izračunate nosivosti i nosivosti koje propisuje proizvođač autodizalice. Tako je rukovatelju autodizalice omogućen brzi odgovor o krajnjim (graničnim) mogućnostima podizanja tereta. Prava osviještenost o granicama stroja pripomaže samosvjesnim i sigurnim reakcijama u kritičnim trenucima odluke.

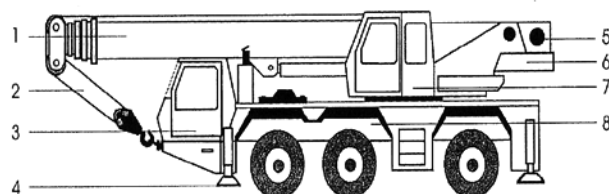
Abstract

In order to ensure safe lifting of loads, static stability of mobile cranes is very important. The limit load capacity refers to the maximum weight, which can be applied to a mobile crane before it tilts over. This capacity depends on dimensions, own weight, length, and hand position, and from the position and length of supporting (stabilization) legs. The maximum (limit) tension for the weakest bearing element is also important in terms of limit load capacity of mobile crane, whereas it is also important to observe ground-bearing capacity. The article also discusses theoretical and experimental analysis of the limit load capacity of a mobile crane for different working conditions. Analysis results for some most typical examples are shown on a graph, which also shows the calculated load capacities and load capacities prescribed by the mobile crane manufacturer. This provides a mobile crane operator with a quick response to extreme (limit) abilities of lifting loads. Proper awareness of limitations regarding machine abilities contributes to confident and safe reactions in critical moments of decision.

1 Uvod

Autodizalice su namijenjene za vertikalni transport uglavnom kod montaža konstrukcija, krovnih konstrukcija i kod montaže građevinskih stubnih dizalica. Autodizalica se sastoji iz specijalnog vozila i dizalice, a njezina prednost je prije svega u brzom postavljanju i transportu. Na slici 1 su prikazani glavni dijelovi autodizalice. Za sigurno dizanje tereta kod autodizalice značajna je njihova statička stabilnost. Granična nosivost nastupa kada je autodizalica na granici prevrtanja. Ova nosivost ovisi o dimenzijama, vlastitoj težini, dužini i položaju teleskopske ruke, kao i od položaja i dužine potpornih (stabilizacijskih) nogu autodizalice. Za graničnu nosivost autodizalice značajna je i najveća (granična) napetost najslabijeg nosivog elementa, a potrebno je uvažavati i nosivost tla. U članku je obrađena računski i eksperimentalna analiza granične nosi-

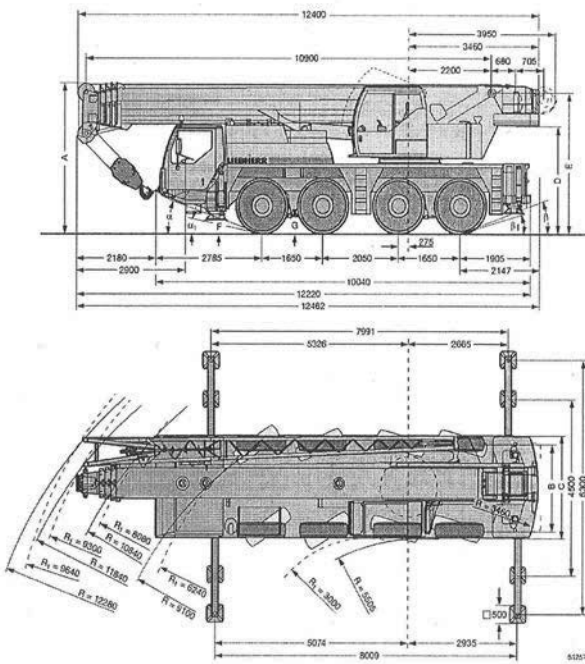
vosti autodizalice pod različitim radnim uvjetima. Rezultati analize su za neke najkarakterističnije slučajeve prikazani grafikonomima, gdje su prikazane izračunate nosivosti i nosivosti, koje propisuje proizvođač autodizalice. Time je rukovaocu autodizalice omogućen brz odgovor o krajnjim (graničnim) mogućnostima dizanja tereta.



Slika 1. Sastav autodizalice.

1 – teleskopska ruka, 2 – nosivo uže, 3 – kabina vozika, 4 – stabilizacijske noge, 5 – vitlo, 6 – protivteg, 7 – kabina dizalice, 8 – podvozje sa motorom

Da bi zadovoljio opravdane zahtjeve svoje stranke mora rukovalac autodizalice ponekad na terenu riskirati manja preopterećenja u odnosu na preporuke proizvođača dizalice. Zbog toga je potrebno utvrditi graničnu vrijednost momenta prevrtanja autodizalice. Pravilno razumijevanje granica mogućnosti stroja doprinosi samopouzdanim reakcijama u kritičnim trenutcima odluke. Namjena istraživanja bio je grafički prikaz granične statičke nosivosti autodizalice za različite dužine i položaje teleskopske ruke, koji će rukovaocu pomoći predvidjeti još uvijek sigurno dizanje i prijenos tereta. U istraživanju je razmatrana autodizalica LIEBHERR LTM 1060/2 sa nazivnom nosivošću 60 t i vlastitom težinom od 480 kN (slika 2). Autodizalica ima četiri osovine, od toga tri pogonske, i snagu motora od 270 kW. U transportu je dužina autodizalice 12,5 m, širina 2,55 m, a visina 3,8 m. Najveća dužina ruke je 59 m, od toga je 42 m dužina teleskopske ruke, a 17 m rešetkasti produžetak.



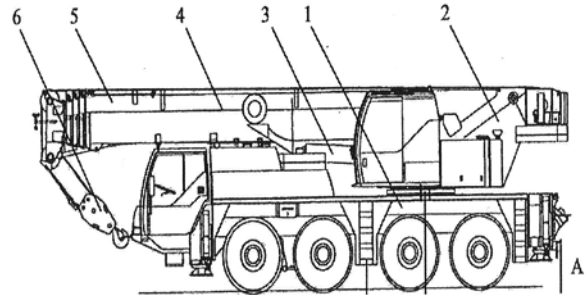
Slika 2. Dimenzije autodizalice LIEBHERR LTM 1060/2.

2 Koordinata težišta autodizalice

Za određivanje koordinate težišta autodizalice potrebno je poznavati mase m_i , odnosno težine F_{gi} , kao i položaje težišta x_i pojedinih njegovih sastavnih dijelova, odnosno sklopova. Za pojedine jedinice bile su mase tvornički poznate, a za preostale bilo je potrebno mase izračunati. Koordinatu težišta autodizalice izračunamo po jednadžbi:

$$x_T = (\sum m_i \cdot x_i) / \sum m_i = (\sum F_{gi} \cdot x_i) / \sum F_{gi} \quad (1)$$

U tablici 1 su za slučaj transporta autodizalice (slika 3) date pojedine težine i koordinate težišta, koje su mjerene lijevo od točke A.



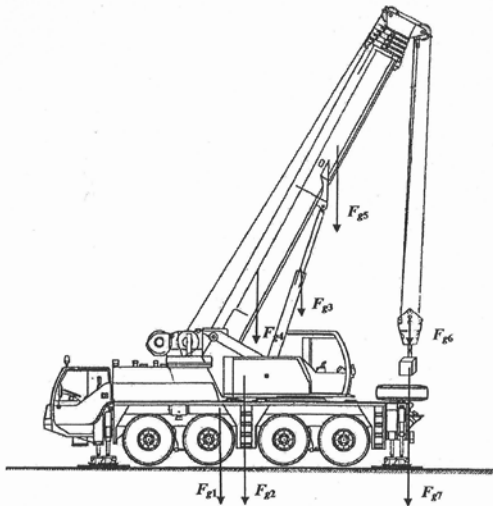
Slika 3. Autodizalica kod transporta cestom.

Tablica 1: Težine i koordinate težišta sastavnih dijelova autodizalice (kod transporta)

Poz.	Sastavni dio	Težina F_{gi} (kN)	Koordinata x_i (m)	Umnožak $F_{gi} \cdot x_i$ (kN m)
1	Podvozje	267,63	5,07	1 356,88
2	Obrtač	95,18	1,11	105,65
3	Cilindar R	17,26	5,95	102,69
4	Cilindar T	16,37	6,40	104,77
5	Ruka	55,89	7,01	391,79
6	Kuka	4,70	10,82	50,85
	Zbir	457,03		112,63

Koordinata težišta autodizalice kod transporta je: $x_T = 2112,63 / 457,03 = 4,623$ m.

Tijekom pogona autodizalice koordinata težišta x_T ovisi o dužini ruke L i naklonskom kutu α . Na slici 4 je prikazano djelovanje pojedinih sila težine F_{gi} , dok su njihove brojčane vrijednosti date u tablici 1.



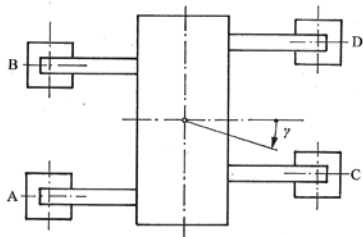
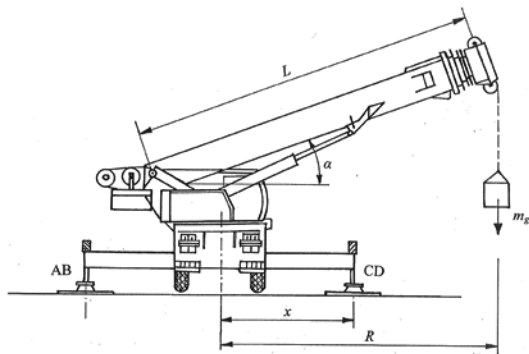
Slika 4. Autodizalica u pogonu.

3 Kritičan položaj ruke glede statičke nosivosti autodizalice

Nosivost autodizalice ovisi o dužini L , naklonskom kutu α , rotacijskom kutu γ teleskopske ruke, kao i o udaljenosti x od centralne ose do potporne noge (slika 5). Granična nosivost se izračunava po jednadžbi (2) i izlazi iz uvjeta, da je zbir momenata sila prevrtanja jednak zbiru momenata sila neprevrtanja za rub prevrtanja C-D.

$$m_g = (\sum m_i \cdot x_i) / x_b \quad (2)$$

U jednadžbi (2) je ručica $x_b = R - x$.



Slika 5. Kritičan položaj autodizalice kod dizanja tereta.

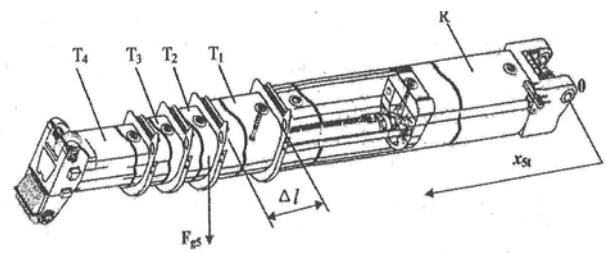
U tablici 2 prikazane su izračunate granične nosivosti autodizalice u ovisnosti od kuta γ kod dužine ruke $L = 18$ m, kuta $\alpha = 30^\circ$ i polumjera $R = 13,8$ m. Iz rezultata u tablici 2 vidi se najmanja nosivost autodizalice kod kuta $\gamma = 0^\circ$ (bočno dizanje tereta), zato se u nastavku analizira taj položaj teleskopske ruke.

Tablica 2: Nosivost autodizalice u ovisnosti od rotacijskog kuta γ

Rotacijski kut γ ($^\circ$)	Udaljenost x (m)	Nosivost m_g (t)
0	3,15	11,91
35	4,06	19,22
90	2,8	12,53
270	5,2	22,93

4 Granična nosivost kod bočnog dizanja tereta

Obavljeni su izračuni granične nosivosti kod bočnog dizanja tereta ($\gamma = 0^\circ$) za različite naklonske kutove α , za slučajeve kada je $x = 3,15$ m i $2,25$ m (slika 5). Kod ovih izračuna uvažavane su različite vrijednosti izvučenosti teleskopskih dijelova ruke T1, T2, T3 i T4 (slika 6). Granične nosivosti autodizalice date su dijagramima na slikama 7...11. U tablici 3 su za pojedine krivulje u dijagramima prikazani podaci o udaljenosti nogu x , dužini ruke L i procentima izvučenosti pojedinih teleskopskih dijelova ruke. Vrijedi upozoriti, da je najmanja izvučenost 0%, a najveća 92%.

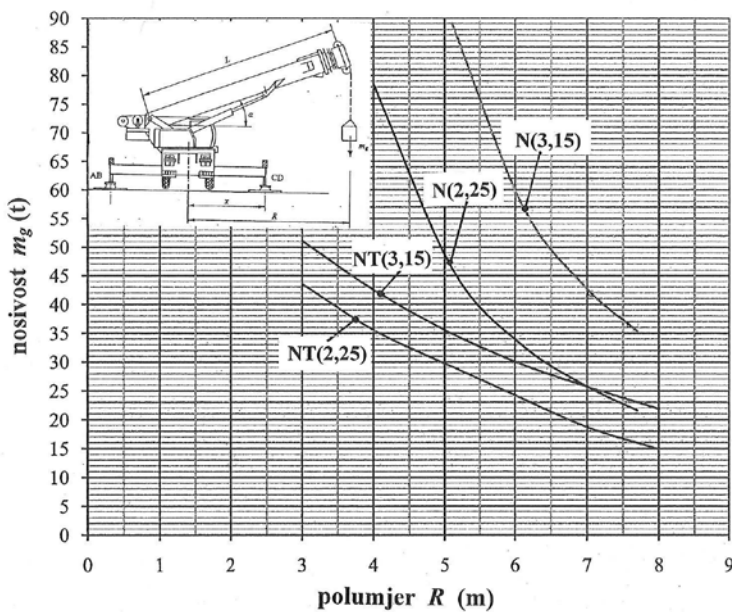


Slika 6. Teleskopski dijelovi ruke autodizalice. R – osnovni dio ruke, T1, T2, T3 i T4 – teleskopski dijelovi ruke, Δl – promjena izvučene dužine teleskopske ruke, x_{st} – koordinata težišta teleskopske ruke

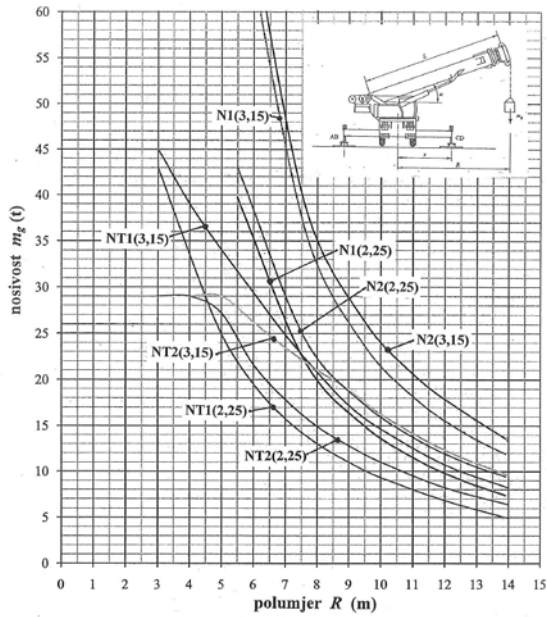
Tablica 3: Podaci za dijagrame graničnih nosivosti autodizalice

Krivulja	Udaljenost nogu x	Dužina ruke L	T1	T2	T3	T4	Prikaz dijagrama
	m	m	%	%	%	%	
N(3,15), NT(3,15)	3,15	10,9	0	0	0	0	Slika 7
N(2,25), NT(2,25)	2,25	10,9	0	0	0	0	
N1(3,15), NT1(3,15)	3,15	18	92	0	0	0	Slika 8
N1(2,25), NT1(2,25)	2,25	18	92	0	0	0	
N2(3,15), NT2(3,15)	3,15	18	0	0	46	46	
N2(2,25), NT2(2,25)	2,25	18	0	0	46	46	Slika 9
N3(3,15), NT3(3,15)	3,15	25,2	92	46	46	0	
N3(2,25), NT3(2,25)	2,25	25,2	92	46	46	0	
N4(3,15), NT4(3,15)	3,15	25,2	0	92	46	46	Slika 10
N4(2,25), NT4(2,25)	2,25	25,2	0	92	46	46	
N5(3,15), NT5(3,15)	3,15	32,4	92	92	46	46	
N5(2,25), NT5(2,25)	2,25	32,4	92	92	46	46	Slika 11
N6(3,15), NT6(3,15)	3,15	32,4	0	92	92	92	
N6(2,25), NT6(2,25)	2,25	32,4	0	92	92	92	
N7(3,15), NT7(3,15)	3,15	39,5	92	92	92	92	Slika 11
N7(2,25), NT7(2,25)	2,25	39,5	92	92	92	92	

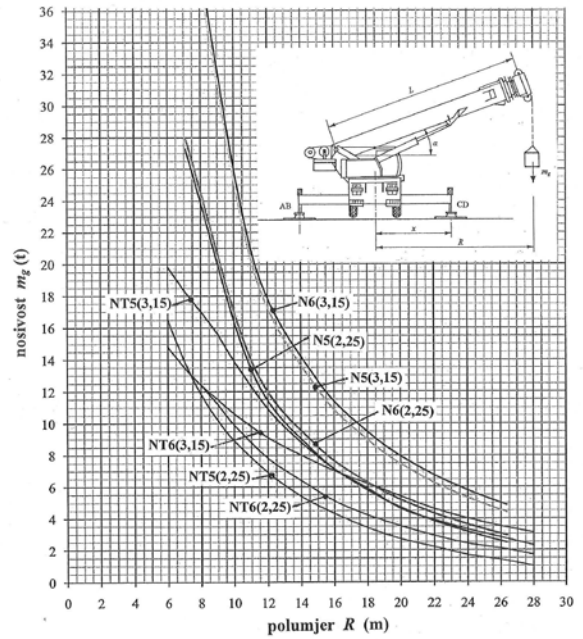
N – računski i NT – tvornički granični nosivost, T1, T2, T3, T4 - % izvučenosti pojedinih teleskopskih dije lova ruke dizalice



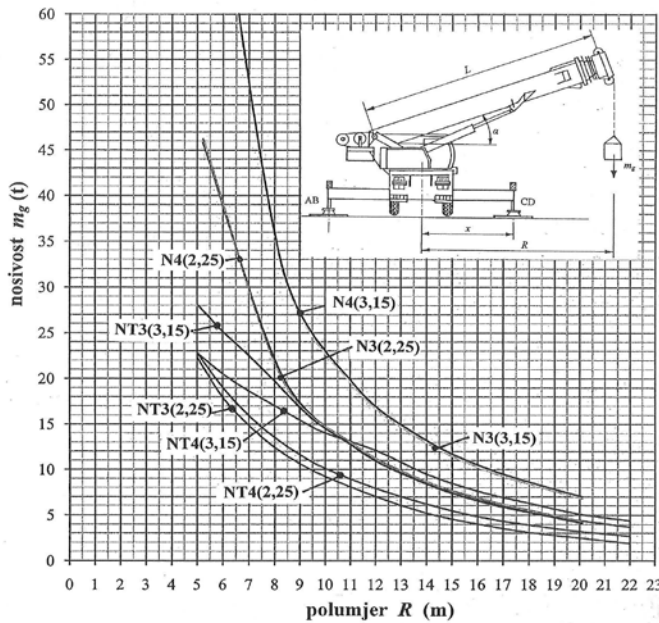
Slika 7. Granična nosivost autodizalice kod dužine ruke $L = 10,9$ m.



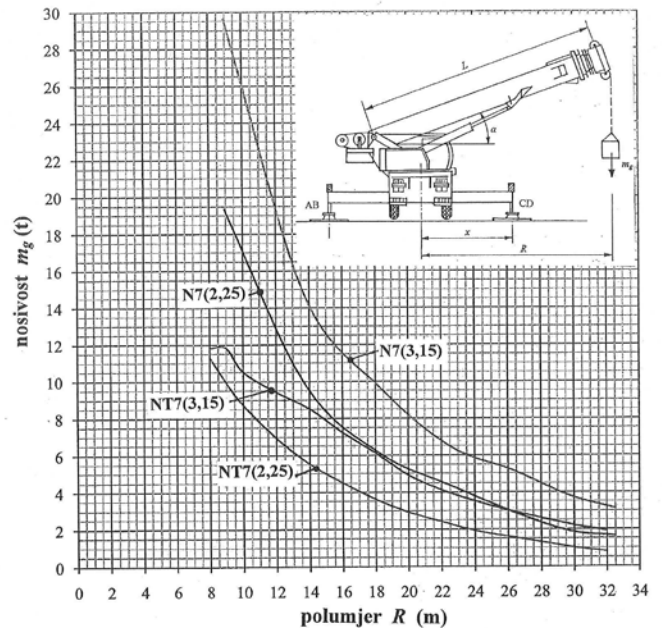
Slika 8. Granična nosivost autodizalice kod dužine ruke $L = 18$ m.



Slika 10. Granična nosivost autodizalice kod dužine ruke $L = 32,4$ m.



Slika 9. Granična nosivost autodizalice kod dužine ruke $L = 25,2$ m.



Slika 11. Granična nosivost autodizalice kod dužine ruke $L = 39,5$ m.

Iz dijagrama graničnih nosivosti autodizalice vidi-mo, da je račun-ska granična nosivost (oznaka N) veća od nosivosti, koju daje proizvođač autodizalice (oznaka NT). Odnos između račun-ske m_{gr} i tvornički dozvoljene nosivosti m_{gt} je dodatni faktor sigurnosti S , dakle:

$$S = m_{gr} / m_{gt}$$

(3)

Faktor sigurnosti S ovisi o dužini ruke L , polumjeru R , daljini x i o veličini izvučenosti pojedinog dijela teleskopske ruke, a kreće se od 1,14 do 3,33 (tablica 4).

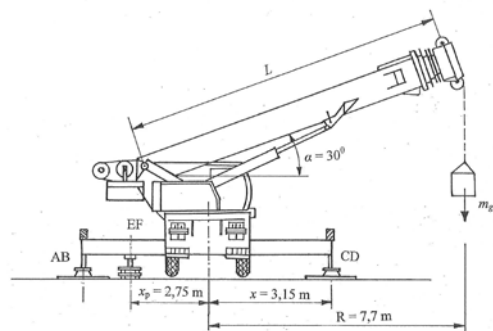
Tablica 4. Faktor sigurnosti S u ovisnosti o L , R i x

$x = 3,15 \text{ m}$				$x = 2,25 \text{ m}$			
Slučaj	$L \text{ (m)}$	$R \text{ (m)}$	S	Slučaj	$L \text{ (m)}$	$R \text{ (m)}$	S
N	10,9	5,0	2,50	N	10,9	4	2,23
		7,7	1,52			7,7	1,31
N1	18	5,5	2,28	N1	18	5,5	1,82
		14	1,50			14	1,4
N2	18	5,5	2,75	N2	18	5,5	1,72
		14	1,44			14	1,38
N3	25,2	5,0	3,14	N3	25,2	5,2	2,0
		20	1,17			20	1,14
N4	25,2	7,0	2,31	N4	25,2	5,2	2,04
		20	1,75			20	1,33
N5	32,4	8,5	3,27	N5	32,4	7,0	1,96
		26	1,29			26	1,67
N6	32,4	7,0	3,33	N6	32,4	7,0	2,07
		26	1,43			26	1,50
N7	39,5	9,0	2,50	N7	39,5	9,0	1,95
		32	1,60			32	2,1

5 Provjera granične stabilnosti autodizalice

Računski dobivena granična nosivost autodizalice bila je i eksperimentalno provjerena. Bilo je potrebno izmjeriti sile u dvjema stabilizacijskim nogama. U svakoj nozi pomoću hidrauličke tlačne pumpe je izmjeren pritisak, dok je sila izračunata, s obzirom da je bio poznat promjer klipa u pumpi. Pumpe su ugrađene u potpornim nogama A i B na mjestima E (zadnja noga) i F (prednja noga) na udaljenosti $x_p = 2,75 \text{ m}$ (slika 12). Pritisci su izmjereni za bočni položaj ruke ($\gamma = 0^\circ$), kod naklonskog kuta ($\gamma = 0^\circ$), dužine ruke $L = 18 \text{ m}$ (teleskopski dijelovi nisu bili izvučeni), polumjera

$R = 7,7 \text{ m}$ i udaljenosti stabilizacijskih nogu C i D $x = 3,15 \text{ m}$. Kod mjerenja pritiska stabilizacijske noge nisu dodirivale tlo (slika 13).



Slika 12. Položaj tlačnih pumpi E i F u stabilizacijskim nogama A i B.

Za navedene parametre izmjereni su pritisci $p_E = 470 \text{ bar}$ i $p_F = 325 \text{ bar}$, što kod promjera klipa pumpe $d = 65 \text{ mm}$ (odn. površine $A = 3318 \text{ mm}^2$) predstavlja sile $F_E = 155,95 \text{ kN}$ i $F_F = 107,84 \text{ kN}$.



Slika 13. Mjerenje pritiska u stabilizacijskoj nozi A na mjestu E.

Za rub prevrtanja C-D (slika 13) granična nosivost dana je jednadžbom (4).

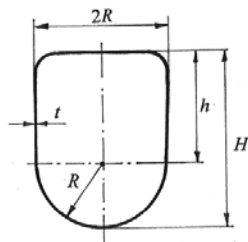
$$m_g = (F_E + F_F) \cdot (x_p + x) / [g \cdot (R - x)] \quad (4)$$

Po jednadžbi (4) za navedene izmjerene podatke izračunata je granična nosivost $34,87 \text{ t}$, dok teoretski

izračunata granična nosivost, koja je prikazana u dijagramu na slici 8, iznosi 35,4 t. Rezultati se razlikuju za 1,5%, što pokazuje pravilnost teoretski izračunatih graničnih nosivosti autodizalice.

6 Granična nosivost autodizalice glede napetosti u teleskopskoj ruci

Granična nosivost autodizalice je osim o opasnosti prevrtanja ovisna i o najvećim normalnim napetostima u pojedinim presjecima teleskopske ruke. Ove napetosti prouzrokuju osna sila i moment savijanja tereta i vlastite težine ruke. Na slici 14 je prikazan presjek teleskopske ruke, dok su njene dimenzije date u tablici 5.



Slika 14. Oblik presjeka teleskopske ruke.

Tablica 5: Dimenzije pojedinih presjeka teleskopske ruke

Dijelovi ruke	R (mm)	H (mm)	h (mm)	t (mm)	A (cm ²)	W (cm ³)
Osnovna ruka R	377,5	875	497,5	5	142,6	3113
Teleskop T1	347,5	805	457,5	5	131,3	2636
Teleskop T2	317,5	735,5	417,5	4,5	108,1	1982
Teleskop T3	288	666	378	4	87,1	1447
Teleskop T4	258	596	338	4	78,1	1160

Ukupna normalna napetost u pojedinom presjeku ruke dana je jednadžbom (5).

$$\sigma = \sigma_N + \sigma_f = F_N / A + M / W \quad (5)$$

U jednadžbi (5) F_N je osna sila, M moment savijanja, A površina i W moment otpora presjeka teleskopske ruke.

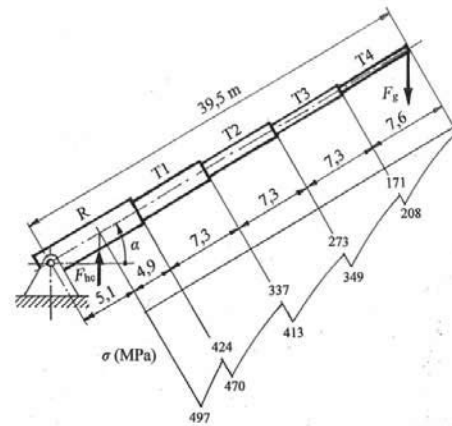
Za različite slučajeve, koji su razmatrani za izračun graničnih nosivosti glede prevrtanja autodizalice, bile su izračunate i ukupne normalne napetosti po

jednadžbi (5). U tablici 6 prikazane su vrijednosti napetosti σ za različite naklonske kutove α za najviše ispruženu ruku $L = 39,5$ m, udaljenost stabilizacijskih nogu za $x = 3,15$ m i kut $\gamma = 0^\circ$.

Tablica 6. Ukupne normalne napetosti za najviše ispruženu ruku

Slučaj	Naklonski kut α	Granična nosivost F_g (kN)	Ukupna normalna napetost σ	napetost (MPa)	u presjeku		
			R	T1	T2	T3	T4
1	30°	30,61	497	470	413	349	208
2	45°	50,7	522	553	506	445	279
3	60°	94,53	658	649	624	566	374
4	75°	290,6	955	967	973	826	660

Za slučaj 1 (iz tablice 6) je na slici 15 prikazan tok napetosti σ uzduž ruke autodizalice.



Slika 15. Tok ukupnih računskih normalnih napetosti u ruci autodizalice.

Teleskopska ruka autodizalice izrađena je od poboljšanog čelika sa čvrstoćom na istezanje $R_m = 1100$ MPa i minimalnom granicom puzanja $R_{min} = 1000$ MPa. Glede na računsku graničnu nosivost za slučaj prevrtanja autodizalice definiramo još i koeficijente sigurnosti S_1 i S_2 . Koeficijent S_1 izražen je jednadžbom (6) i predstavlja odnos između čvrstoće na istezanje i najveće računске napetosti. Koeficijent sigurnosti S_2 , koji je izražen jednadžbom (7), predstavlja odnos između granice puzanja i računске napetosti.

$$S_1 = R_m / \sigma$$

$$(6)$$

$$S_2 = R_{min} / \sigma$$

(7)

Za razmatrani slučaj koeficijenti sigurnosti S_1 i S_2 u pojedinim presjecima teleskopske ruke prikazani su u tablici 7.

Tablica 7. Koeficijenti sigurnosti S_1 i S_2 u presjecima teleskopske ruke

Slučaj	Naklon kut	Granična nosivost	Koeficijenti	sigurnosti	S_1/S_2	u presjeku		
	α	F_g (kN)	R	T1	T2	T3	T4	
1	30°	30,61	2,21/ 2,01	2,34/ 2,13	2,66/ 2,42	3,15/ 2,87	5,29/ 4,81	
2	45°	50,7	2,10/ 1,92	1,99/ 1,80	2,17/ 1,98	2,48/ 2,25	3,94/ 3,58	
3	60°	94,53	1,67/ 1,52	1,69/ 1,54	1,76/ 1,60	1,94/ 1,77	2,94/ 2,67	
4	75°	290,68	1,15/ 1,05	1,14/ 1,03	1,13/ 1,03	1,33/ 1,21	1,67/ 1,52	

U tablici 7 prikazani su koeficijenti sigurnosti za najneugodnije slučajeve opterećenja autodizalice. Ti koeficijenti su veći od 1, zato je za graničnu nosivost autodizalice odlučujuća vrijednost, izračunata iz opasnosti prevrtanja dizalice.

7 Zaključak

U istraživanju je obavljena analiza granične statičke stabilnosti autodizalice LIEBHERR LTM 1060/2 pod različitim uvjetima djelovanja. Granične statičke nosivosti autodizalice glede mogućnosti prevrtanja su za najneugodnije bočno dizanje tereta i za različite dužine ruke dizalice prikazane u obliku dijagrama. U dijagramima su prikazane i granične nosivosti, koje propisuje proizvođač autodizalice. Iz rezultata se vidi razlika između obje granične nosivosti. Rukovalac autodizalice je dužan uvažavati graničnu nosivost proizvođača, iako ponekad na terenu dođe u situaciju, kada je teret nešto veći od te granične

nosivosti. U takvom slučaju moći će pomoću prikazanih dijagrama utvrditi, kolika je rezerva, čiji će određeni dio u granicama sigurnosti iskoristiti i tako ispuniti opravdane želje svoje stranke.

Provjerom mjerenja sila ispod stabilizacijskih nogu bila je potvrđena pravilnost teoretskih izračuna granične nosivosti, budući da se rezultati razlikuju za svega 1,5%. Izračunate su i napetosti u pojedinim presjecima teleskopske ruke za vrijednosti graničnih nosivosti glede prevrtanja autodizalice i zbog vlastite težine ruke. Sve ove napetosti bile su manje od granice puzanja materijala, od kojeg je izrađena teleskopska ruka, zbog čega je za graničnu nosivost autodizalice odlučujuća vrijednost, izračunata iz uvjeta prevrtanja dizalice.

Literatura

- Andrejaš, M.: Diplomski rad, FS, Ljubljana 2010
- Androjić, B., et al.: Metalne konstrukcije 1, Inštitut građevinarstva Hrvatske, Zagreb 1994
- Grbavac, Jacinta; Plenković, Mario; Grbavac, Vitomir. Concept of Methodological Approach to the Info Systems Design. // *Poljoprivredna znanstvena smotra*. 73 (2008), 1; 59-65 (pregledni rad, znanstveni).
- Kraut, B.: Krautov strojniški priručnik, Littera picta, Ljubljana 2007
- Stropnik, J., et al.: Statika, TZS, Ljubljana 2009.
- Plenković, Juraj. Humana ekologija i tehnologija transcendentne komunikacije. // *Informatologia*. 41 (2008), 4; 276-285 (članak, znanstveni).
- Plenković, Juraj (ur.). Društvo i tehnologija 2010 / Zagreb : Hrvatsko komunikološko društvo i Nonacom, 2010 (knjiga sažetaka).
- Plenković, Juraj (ur.). Društvo i tehnologija 2010. / Zagreb : Hrvatsko komunikološko društvo i Nonacom, 2010. (zbornik).
- Plenković, Mario (ur.). Društvo i tehnologija 2010. / Zagreb : Hrvatsko komunikološko društvo i Nonacom, 2010 (knjiga sažetaka).
- Plenković, Mario (ur.). Društvo i tehnologija 2010. / Zagreb : Hrvatsko komunikološko društvo i Nonacom, 2010 (zbornik).
- Plenković, Juraj; Plenković, Mario (ur.). Society and Technology 2008/Zagreb : Hrvatsko komunikološko društvo i Nonacom, 2008. (zbornik).
- Plenković, Mario; Mustić, Daria. Graphic technologies and communicational behaviour in ecological crises // *Informatologia*. 44 (2011), 4; 296-308 (članak, znanstveni).
- Žitnik, J., et al.: Gradbeniški priručnik, TZS, Ljubljana 2008