



ANALIZA VARIJANTI IZVOĐENJA STRUKTURA SLOŽENIH ŠTAPOVA NA PRIMERIMA STUBOVA DIZALIČNIH STAZA

Goran Pavlović¹, Mile Savković², Goran Marković³, Nebojša Zdravković⁴

Rezime: U ovom radu je prikazana višekriterijumska analiza za dve varijante izvođenja složenih dvodelnih štapova koji su izrađeni od standardnih U profila, sa ispunom od spojnih limova, pri čemu su posmatrani na primerima stubova dizaličnih staza. U ovom istraživanju, pored različitih kriterijuma stabilnosti, analizirani su i različiti slučajevi provere čvrstoće, kao i nosivost šava kod veze spojnih limova sa U profilima. Takođe, izvršena je i optimizacija potrebnog broja spojnih limova, kao i njihovih dimenzija, za obe varijante složenih štapova, pri čemu se posmatralo kako se menja broj ovih limova, kao i njihova masa, pri povećanju sile pritiska na stub dizalične staze. Za postupak analize i optimizacije primenjen je alat Solver, kao i EA algoritam, u Ms EXCEL softveru. Primena ovakvog postupka se pokazalo opravdanim, pre svega zbog same prirode problema i analize, pri čemu se vrlo brzo može doći do potrebnih parametara pri projektovanju ovih tipova struktura. Takođe, pokazano je kako se menja ukupna masa stuba dizalične staze, pri promeni sile pritiska, za jednu i drugu varijantu, kao i poređenje masa stubova ovih varijanti.

Ključne riječi: Optimalno projektovanje, Složeni štap, Stabilnost, Višekriterijumska analiza

ANALYSIS OF VARIANTS OF STRUCTURES OF BUILT-UP COLUMNS ON EXAMPLES OF COLUMNS FOR CRANE RUNWAYS

Abstract: This paper presents a multicriteria analysis for two variants of the built-up columns with two chords, made of standard U profiles, connected with battens, where they are observed on the examples of columns for crane runways. In this study, in addition to different types of stability criteria, various cases of strength checking were analyzed, as well as the capacity of the weld connection, for connecting of battens with U profiles. Also, the optimization of the required number of connecting battens, as well

¹ dr maš.inž., Goran Pavlović, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet u Nišu, Niš, Srbija, goran.pavlovic@elfak.ni.ac.rs

² prof. dr Mile Savković, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu, Kraljevo, Srbija, savkovic.m@mfv.kg.ac.rs

³ prof. dr Goran Marković, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu, Kraljevo, Srbija, markovic.g@mfv.kg.ac.rs

⁴ prof. dr Nebojša Zdravković, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu, Kraljevo, Srbija, zdravkovic.n@mfv.kg.ac.rs

as their dimensions, was performed for both variants of built-up columns, observing how the number of these battens, as well as their mass, changes as the pressure force on the columns for crane runways increases. The Solver tool, as well as the EA algorithm, in Ms EXCEL was applied for the analysis and optimization process. The application of this procedure proved to be justified, primarily because of the nature of the problem and analysis, where it can quickly calculate the required parameters in the design of these types of structures. Also, it is shown how the total mass of the column for crane runways changes with the change of pressure force for both variants, as well as the comparison of the masses of the columns of these variants.

Key words: Built-up column, Multicriteria analysis, Optimal design, Stability

1 UVOD

Kod velikih nosivosti mosnih dizalica, kao stubovi dizalične staze, sve veću primenu imaju složeni štapovi, koji se sastoje od 2 ili više standardna valjana profila spojena rešetkastom ispunom ili veznim limovima. Kao standardni profili najveću primenu imaju U- i L-profil, a takođe se koriste I- i C-profil.

Zbog svojih karakteristika, značaja i široke primene koju nalaze u građevinarstvu, ove strukture su predmet istraživanja brojnih autora. U radu [1] je izvršena MKE analiza složenog štapa sastavljenog od 2 U-profila sa spojnim limovima, koji je opterećen vertikalnom centričnom silom pritiska, pri čemu je primenjen program ABAQUS. Ovi rezultati poredeni sa onima dostupnim u literaturi, kao i sa onima dobijenim primenom severno-američkih specifikacija. Na osnovu ovoga je izveden zaključak da primenjene specifikacije daju dobre rezultate za slučaj kraćih štapova. Isti program je korišćen i u radu [2], gde je izvršena analiza dvodelnog složenog štapa sa pozitivnim i negativnim dejstvom ekscentričnog opterećenja, pri čemu su primenjeni C-profil sa ojačanim rebrom. Ovi rezultati su dali dobru podudarnost u odnosu na eksperimentalne, pri čemu se pokazala opravdanost primene datog programa. Takođe, pokazana je i primena ANSYS programa u određenoj parametarskoj analizi.

U radu [3] je prikazana studija gde je analiziran stub složenog štapa sa pojasevima od C-profila, pri čemu ispunu čine horizontalno postavljeni C-profil. Ovom prilikom je pokazana dobra podudarnost numeričkih rezultata iz MKE analize u ABAQUS programu i eksperimentalnih rezultat. Ovi rezultati su se poredili i sa onima dobijenim prema različitim standardima, pri čemu se ukazalo na prednosti i nedostatke primenjenih standarda. Pored MKE i eksperimentalnih ispitivanja, analiza struktura se može vršiti i teorijskim putem, [4, 5]. Teorijska analiza elastične stabilnosti dvodelnih složenih štapova izvršena je u radu [4], pri čemu su posmatrani kako složeni štapovi sa spojnim limovima, tako i oni sa rešetkastom ispunom, pri čemu je posmatran i tip ispune. Slično ovome, u radu [5] je izvršena teorijska analiza stabilnosti kako elemenata dvodelnog složenog štapa sa spojnim limovima, tako i ramnih struktura.

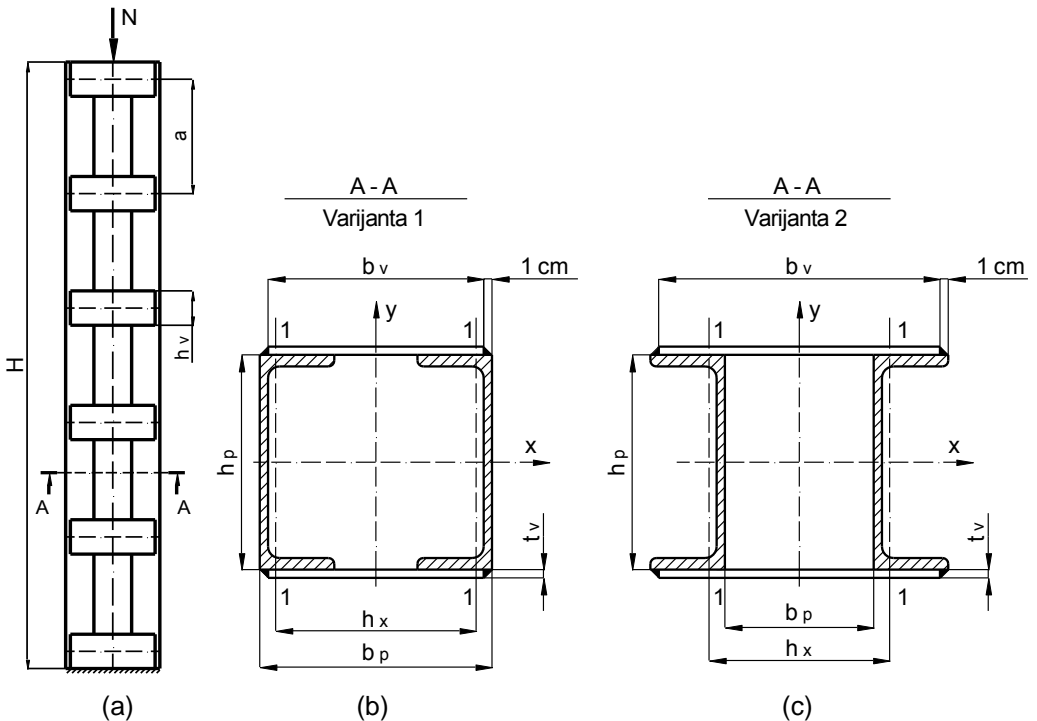
Takođe, pored ovih postupaka, analiza i optimizacija različitih tipova struktura mogu se vršiti korišćenjem analitičkih izraza preuzetih iz različitih tipova standarda i procedura, pri čemu se primenjuju najrazličitije metode optimizacije, [6, 7]. U radu [6] izvršena je optimizacija geometrijskih parametara nosača jednogredne mosne dizalice u Ms EXCEL programu, primenom domaćih propisa, dok je u [7] na istom tipu nosača izvršena optimizacija korišćenjem metaheurističkih algoritama, primenom eurokodova.

Pomenuta istraživanja ukazuju na značaj analize i optimizacije nosećih struktura. U ovom istraživanju izvršiće se analiza i optimizacija geometrijskih parametara za dve varijante izvođenja složenog štapa stuba dizalične staze, koje ima za cilj smanjenje mase stuba.

2 MODEL STUBA DIZALIČNE STAZE

U ovoj analizi posmatraće se dve varijante strukture stuba dizalične staze, koju predstavlja složen i dvodelni štap sastavljen od standardnih U-profila (pojaseva) spojena veznim limovima (Slika 1).

Slika 1a pokazuje dispoziciju složenog štapa na kojoj se vide vezni limovi raspoređeni na rastojanju a , dok presek A-A pokazuje položaj pojasa složenog štapa, tj. varijanta izvođenja, Varijanta 1 (Slika 1b) i Varijanta 2 (Slika 1c).



Slika 2. Stub dizalične staze (a – dispozicija stuba; b – poprečni presek stuba - Varijanta 1; c- poprečni presek stuba - Varijanta 2)

Za statički model stub se posmatra kao štap opterećen silom pritiska N , koji je na dnu uklješten, a u gornjem delu je u x pravcu vezan dizaličnom stazom (x – materijalna osa), dok u y pravcu nije poprečno vezan (y - nematerijalna osa).

2.1 Definisane problema analize i optimizacije

Kod ovog inženjerskog problema analiziraće se nosivost stuba za dve varijante izvođenja sa pojasevima od U-profila, pri čemu će se posmatrati kako povećanje sile pritiska utiče na povećanje mase stuba kod obe varijante. Analiza i izbor profila pojasa stuba određiće se prema [8], kao i na osnovu standarda [9] i [10], pri čemu se postupkom optimizacije određuje optimalan broj veznih limova i njegove dimenzije.

Ulazni podaci za postupak optimizacije su: visina stuba dizalične staze H , sila pritiska N , kao i geometrijske i fizičke karakteristike definisanog U-profila.

Varijable u postupku optimizacije su: visina veznog lima h_v , debljina veznog lima t_v i broj limova n_v .

Cilj ovog istraživanja je smanjenje mase stuba dizalične staze (složenog

štapa), tako da je masa stuba funkcija cilja u postupku optimizacije. Takođe, neophodno je da budu zadovoljeni i brojni kriterijumi (ograničenja).

2.2 Funkcija cilja

Funkciju cilja predstavlja masa stuba koju čine masa profila I masa veznih limova. Matematička formulacija data je izrazom (1):

$$M_s = 2 \cdot \rho \cdot (A_p \cdot H + n_v \cdot b_v \cdot h_v \cdot t_v) \quad (1)$$

Standardni U-profil se bira na osnovu sledećih izraza, prema [8]:

$$h_p = \frac{H}{\alpha_x \cdot \lambda_x} \quad (2)$$

$$b_p = \frac{2 \cdot H}{\alpha_y \cdot \lambda_y} \quad (3)$$

2.3 Kriterijumi optimizacije

Kod ove vrste strukture potrebno je da budu zadovoljeni određeni uslovi črstoće, stabilnosti, kao i određene geometrijske preporuke.

Kriterijum nosivosti složenog štapa oko materijalne ose je zadovoljen, ako je ispunjen uslov prema standardu [9], na osnovu izraza (4):

$$\sigma_N = N / (2 \cdot A_p) \leq \sigma_{im,d} = \chi_{im} \cdot \sigma_d \quad (4)$$

$$\sigma_d = R_e / \nu_1 \quad (5)$$

Kriterijum nosivosti složenog štapa oko nematerijalne ose je zadovoljen, ako je ispunjen uslov prema standardu [9], prema izrazu (6):

$$\sigma_N = N / (2 \cdot A_p) \leq \sigma_{in,d} = \chi_{in} \cdot \sigma_d \quad (6)$$

Za kriterijuma stabilnosti složenog štapa mora biti ispunjen uslov prema standardu [10], pri čemu mora biti zadovoljen izraz (7):

$$N_s = \nu_1 \cdot N \leq N_{E,Q} = 2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot A_p / \lambda_{yi}^2 \quad (7)$$

$$\lambda_{yi} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2} \quad (8)$$

Takođe, mora biti ispunjen i uslov iz izraza (9):

$$\lambda_1 = a / i_{yp} \leq 50 \quad (9)$$

$$a = (H - h_v) / (n_v - 1) \quad (10)$$

Kod kriterijuma nosivosti samostalnog elementa pojas, provera se vrši na osnovu izraza (11), prema standardu [10]:

$$\sigma_{N1} = N_1 / A_p \leq \sigma_{i,d} = \chi \cdot \sigma_d \quad (11)$$

$$N_1 = N / 2 + M_y \cdot A_p \cdot h_x / (2 \cdot I_y) \quad (12)$$

$$M_y = \frac{N \cdot H}{500 \cdot \left[1 - \frac{\nu_1 \cdot N}{2 \cdot A_p \cdot R_e} \cdot \left(\frac{\lambda_{yi}}{\lambda_v} \right)^2 \right]} \quad (13)$$

$$I_y = 2 \cdot (I_{yp} + A_p \cdot h_x^2 / 4) \quad (14)$$

Za kriterijum nosivosti samostalnog elementa u krajnjem polju, provera se vrši na osnovu izraza (15), prema standardu [10]:

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{2 \cdot A_p} + \frac{\pi \cdot a \cdot M_y}{4 \cdot H \cdot W_{yp}} \leq \sigma_d \quad (15)$$

Kod kriterijuma nosivosti veznih limova vrši se provera čvrstoće veznog lima, na osnovu izraza (16), prema [8] i [10]:

$$\sigma_v = \frac{\pi \cdot a \cdot M_y}{4 \cdot H \cdot W_v} \leq \sigma_d \quad (16)$$

$$W_v = t_v \cdot h_v^2 / 6 \quad (17)$$

Pored gorenavedenih uslova, neophodno je da budu zadovoljeni i sledeći konstruktivni uslovi, prema [8]:

$$h_v = (0.5 \div 0.7) \cdot b_p \quad (18)$$

$$t_v \geq h_v / 30 \quad (19)$$

Takođe, potrebno je usvojiti i preporuke da je debljina veznog lima: $t_v=6 \div 12$ mm, kao i da je $b_p \leq 60$ cm, prema [8].

3 REZULTATI OPTIMIZACIJE

U ovom istraživanju posmatraju se Varijanta 1 Varijanta 2 stuba dizalične staze (Slika 2b i Slika 2c). Cilj je sagledati koja varijanta daje manju masu stuba pri određenim uslovima, pri čemu se moraju zadovoljiti svi potrebni kriterijumi čvrstoće i stabilnosti. Takođe, definisani su U-profilu za obe varijante, na osnovu izraza (2) i (3), dok su postupkom optimizacije određeni potrebni brojevi veznih limova, kao i njihove dimenzije.

Zbog specifičnosti problema optimizacije, primenjen je EA kod u Ms EXCEL programu, pre svega zbog mogućnosti tretiranja varijabli kao celobrojnih vrednosti.

Kao primer posmatran je stub dizalične staze visine $H=5$ m, izrađen od čelika S235. Na vrhu stuba deluje sila pritiska $N=300$ kN, pri čemu je posmatrano kako se menjaju rezultati optimizacije sa povećanjem ove sile, za vrednosti: $N=400$ kN i $N=500$ kN. Za obe varijante i vrednosti sila pritiska usvojena je gornja granična vrednost za preporučenu vrednost vitkosti $\lambda=80$, prema [8], radi poređenja rezultata.

Za izabrani materijal, potrebne vrednosti su sledeće: $\rho=7850$ kg/m³, $E=21000$ kN/cm², $R_e=23,5$ kN/cm², $\lambda_v=92,9$ i $\sigma_d=15,67$ kN/cm².

Kod Varijante 1, na osnovu izraza (2) i (3), usvojen je profil U18. Takođe, za ovu varijantu, potrebni koeficijenti uzimaju sledeće vrednosti: $\alpha_x=0,38$ i $\alpha_y=0,44$, prema [8].

Primenom postupka optimizacije, i sa povećanjem sile pritiska N , dobijeni su sledeći rezultati (Tabela 1 i Tabela 2):

Tabela 1. Rezultati optimizacije za Varijantu 1 stuba dizalične staze

N (kN)	n_V	t_V (mm)	b_V (cm)	h_V (cm)	M_S (kg)
300	6	6	26	14	240,37
400	6	6	26	14	240,37
500	9	6	26	14	250,66

Tabela 2. Vrednosti funkcija ograničenja za Varijantu 1 stuba dizalične staze

N (kN)	σ_N (kN/cm ²)	$\sigma_{im,d}$ (kN/cm ²)	$\sigma_{in,d}$ (kN/cm ²)	N_S (kN)	$N_{E,Q}$ (kN)	σ_{N1} (kN/cm ²)	$\sigma_{i,d}$ (kN/cm ²)	σ_{max} (kN/cm ²)	σ_V (kN/cm ²)
300	5,36	10,63	8,46	450	1292,2	6,01	13,05	8,49	3,59
400	7,14	10,63	8,46	600	1292,2	8,20	13,05	12,23	5,82
500	8,93	10,63	9,05	750	1533	10,37	14,68	13,10	4,77

U gornjim tabelama prikazani su rezultati optimizacije za Varijantu 1 stuba dizalične staze, optimalna masa stuba, optimalan broj limova i njegove dimenzije (Tabela 1), kao i vrednosti stvarnih i graničnih napona i ostalih uslova (Tabela 2). Primećuje se da su u sva tri slučaja dobijene iste dimenzije veznih limova, tj. minimalne dopuštene vrednosti, pri čemu nije došlo do prekoračenja dozvoljenog napona. Za vrednost sile 300 kN i 400 kN dobijeno je 6 veznih limova (Tabela 1), pri čemu se vidi kako se povećavaju vrednosti napona pri povećanju sile (Tabela 2), dok za vrednost sile od 500 kN broj ovih limova iznosi 9.

Kod Varijante 2, na osnovu izraza (2) i (3), usvojen je profil U16. Takođe, za ovu varijantu, potrebni koeficijenti uzimaju sledeće vrednosti: $\alpha_x=0,41$ i $\alpha_y=0,52$, prema [8].

Primenom postupka optimizacije, i sa povećanjem sile pritiska N , dobijeni su sledeći rezultati (Tabela 3 i Tabela 4):

Tabela 3. Rezultati optimizacije za Varijantu 2 stuba dizalične staze

N (kN)	n_V	t_V (mm)	b_V (cm)	h_V (cm)	M_S (kg)
300	7	6	35	12	216,09
400	7	6	35	12	216,09

Tabela 4. Vrednosti funkcija ograničenja za Varijantu 2 stuba dizalične staze

N (kN)	σ_N (kN/cm ²)	$\sigma_{im,d}$ (kN/cm ²)	$\sigma_{in,d}$ (kN/cm ²)	N_S (kN)	$N_{E,Q}$ (kN)	σ_{N1} (kN/cm ²)	$\sigma_{i,d}$ (kN/cm ²)	σ_{max} (kN/cm ²)	σ_V (kN/cm ²)
300	6,25	9,73	9,41	450	1425,8	6,90	13,53	9,31	3,89
400	8,33	9,73	9,41	600	1425,8	9,37	13,53	13,15	6,13

U gornjim tabelama prikazani su rezultati optimizacije za Varijantu 2 stuba dizalične staze, optimalna masa stuba, optimalan broj limova i njegove dimenzije (Tabela 3), kao i vrednosti stvarnih i graničnih napona i ostalih uslova (Tabela 4). Rezultati su prikazani za vrednost sile pritiska: 300 kN i 400 kN, dok za 500 kN za date uslove se nije dobilo rešenje, što znači da je potrebno usvojiti novu vrednost za vitkost stuba, i izabrati novi U-profil. Primećuje se da su u oba slučaja dobijen broj od 7 veznih limova istih dimenzija (Tabela 3), pri čemu su isto dobijene minimalne dopuštene vrednosti, kao i kod Varijante 1. U Tabeli 4 se vidi kako se povećavaju vrednosti napona pri povećanju sile pritiska N .

4 ZAKLJUČCI

Korišćenjem Ms EXCEL programa i EA koda, izvršena je analiza i optimizacija dve varijante stuba dizalične staze, koju čini složeni štap sastavljen od 2 standardna U-profila spojena veznim limovima. Cilj je smanjenje mase stuba, kao i poređenje varijanti na osnovu određenih uslova i pri promeni sile pritiska na stub. Ovom prilikom su zadovoljeni svi potrebni uslovi optimizacije.

Kod Varijante 1 se primećuje da pri povećanju sile od 300 kN na 500 kN nije došlo do velikog povećanja u masi stuba (Tabela 1), pri čemu su ispunjeni svi potrebni kriterijumi (Tabela 2). Došlo je samo do povećanja broja veznih limova, i izabrani U-profil i dalje zadovoljava sve potrebne uslove stabilnosti i čvrstoće. Ovo znači da se pravilnim izborom broja veznih limova može znatno uticati na nosivost stuba.

Kod Varijante 2, kao i kod Varijante 1, dobijena je ista masa stuba za silu pritiska od: 300 kN i 400 kN, tj. isti broj veznih limova i njene dimenzije.

Kao što se može videti na osnovu Tabele 1 i Tabele 3, Varijanta 2 daje manju masu stuba za vrednosti sile pritiska: 300 kN i 400 kN, za 11,2%, pri čemu Varijanta 2 za vrednost sile pritiska od 500 kN ne zadovoljava date uslove. Na osnovu Tabele 2 i Tabele 4 se vidi da su najkritičnijumi kriterijumi nosivosti složenog štapa oko nematerijalne ose i kriterijum nosivosti samostalnog elementa u krajnjem polju.

Pomenuti postupak analize i optimizacije se može uspešno primeniti kod istraživanja, kao i kod projektovanja ovih ali i sličnih tipova struktura, jer se vrlo brzo može doći do željenih rezultata.

Za dalja istraživanja ovih tipova struktura mogu se posmatrati drugi standardni profili, vrsta materijala, kao i uticaj dimenzija veznih limova. Takođe, neophodno je izvršiti proveru ovih rezultata primenom MKE.

ZAHVALNOST

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

NOMENKLATURA

H visina stuba dizalične staze, m

N sila pritiska na stub, kN

h_p visina poprečnog preseka složenog štapa, cm

b_p širina poprečnog preseka složenog štapa, cm

A_p površina U-profila, cm²

h_x osno rastojanje između U-profila, cm

i_{yp} poluprečnik inercije U-profila za y-osu, cm

W_{yp} otporni moment inercije U-profila za y-osu, cm³

I_{yp} moment inercije U-profila za y-osu, cm⁴

R_e napon granice tečenja za materijal stuba, kN/cm²

E modul elastičnosti za materijal stuba, kN/cm²

a rastojanje između veznih limova, cm

n_v broj veznih limova u jednom redu

b_v širina vevnog lima, cm

h_v visina vevnog lima, cm

t_v debljina vevnog lima, mm

M_s masa stuba, kg

N_s sila pritiska uvećana za vrednost koeficijenta sigurnosti, kN

N_1 udeo sile pritiska koji otpada na jedan segment višedelnog štapa, kN
 $N_{E,Q}$ Ojlerova kritična sila izvijanja, kN
 M_y moment savijanja višedelnog štapa prema teoriji 2. reda, kNcm
 I_y moment inercije poprečnog preseka složenog štapa za y -osu, cm^4
 W_V otporni moment inercije veznog lima, cm^3
 α bezdimenzioni koeficijent, prema [8]
 v_1 koeficijent sigurnosti za 1. slučaj opterećenja, prema [8]
 λ vitkost, prema [9]
 λ_v vitkost na granici tečenja materijala profila stuba, prema [8]
 χ bezdimenzioni koeficijent, prema [9]
 σ vrednost normalnog napona, kN/cm^2
 ρ gustina materijala stuba, kg/m^3
 x, y ose
 im materijalna osa
 in nematerijalna osa
 d dozvoljena (granična) vrednost
 V vezni lim

LITERATURA

- [1] Dar, M.A., Sahoo, D.R., Jain, A.K. (2018). Numerical Study on the Structural Integrity of Built-up Cold-Formed Steel Battened Columns, *Structural Integrity Assessment - Proceedings of ICONS 2018*, p.p. 815–814.
- [2] Zhou, X., Chen, M. (2018). Experimental investigation and finite element analysis of web-stiffened coldformed lipped channel columns with batten sheets. *Thin-Walled Structures*, vol. 125, p.p. 38–50.
- [3] Roy, K., Ting, T.C.H., Lau, H.H., Lim, J.B.P. (2018). Nonlinear behaviour of back-to-back gapped built-up cold-formed steel channel sections under compression. *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 147, p.p. 257–276.
- [4] Razdolsky, A.G. (2018). Determination of Slenderness Ratio for Laced and Battened Columns, *Pract. Period. Struct. Des. Constr.*, vol. 23/4, 04018019.
- [5] Bekdache, J.A.H. (2003). *A Study of the Critical Condition of a Battened Column and a Fram by Classical Methods*, MSc thesis, College of Engineering, University of South Florida, Tampa.
- [6] Pavlović, G., Stepanović, A., Vidaković, J., Savković, M., Zdravković, N. (2015). Design Optimization of the Box Section of the Single-Girder Bridge Crane by Generalized Reduced gradient Algorithm, *IMK-14, Research & Development in Heavy Machinery*, vol. 21/ 3, p.p. 79-86.
- [7] Savković, M., Bulatović, R., Gašić, M., Pavlović, G., Stepanović, A. (2017). Optimization of the box section of the main girder of the single-girder bridge crane by applying biologically inspired algorithms, *Engineering Structures*, vol. 148. p.p. 452-465.
- [8] Petković, Z., Ostrić, D. (1996). *Metalne konstrukcije u masinogradnji 1*, Institut za mehanizaciju Mašinskog Fakulteta Univerziteta u Beogradu, Beograd.
- [9] Jugoslovenski zavod za standardizaciju (1986). SRPS U.E7.081, *Provera stabilnosti nosećih čeličnih konstrukcija - Centrično pritisnuti štapovi konstantnog jednodelnog preseka*, Beograd.
- [10] Jugoslovenski zavod za standardizaciju (1986). SRPS U.E7.091, *Provera stabilnosti nosećih čeličnih konstrukcija - Centrično pritisnuti štapovi konstantnog višedelnog preseka*, Beograd.