

OCJENA POUZDANOSTI IZVEDENIH ČELIČNIH PODROŽNICA S OBZIROM NA RAZLIČITE NORME PREMA KOJIMA SU PROJEKTIRANE

RELIABILITY ASSESSMENT OF EXISTING STEEL PURLINS REGARDING DIFFERENT CIVIL ENGINEERING CODES

Dean Čizmar, Krunoslav Pavković, Ivana Iljkić, Martina Baković

Tehničko veleučilište u Zagrebu-Graditeljski odjel, Avenija Većeslava Holjevca 15, 10 000 Zagreb

SAŽETAK

Dimenzije poprečnog presjeka čelične podrožnice su izračunate za tri lokacije prema tri tipa tehničkih propisa. Opterećenje snijegom varira za svaku od navedenih lokacija. Rezultati stohastičkih proračuna su dobiveni za tri tipa propisa, uz uzimanje u obzir različitih vrijednosti visine presjeka i opterećenja snijegom. Normirana vrijednost prema Eurokodu 0, koja odgovara razdoblju ispitivanja u trajanju od jedne godine i razredu pouzdanosti RC2, služi kao referentna točka za usporedbu indeksa pouzdanosti u zavisnosti više čimbenika, lokaciji i tipu propisa.

Ključne riječi: Eurokod 0, indeks pouzdanosti, karakteristično opterećenje snijegom

ABSTRACT

The cross-section area for steel purlins is calculated based on three different technical norms and for three dissimilar areas. These locations vary in terms of their snow load. The results of the calculation, based on the three regulations, are compared. Variations in basic variables such as cross-section height and snow loads are considered. The standardized reliability index as defined by Eurocode 0 is compared with the calculated values for different locations and regulations.

Keywords: reliability index, Eurocode 0, characteristic snow load

1. UVOD

1 INTRODUCTION

Zadnjih desetljeća na snazi su bile različite norme za proračun ovakvih konstrukcija, kako sa strane proračuna djelovanja tako i u odnosu na otpornost elemenata. Proračunu obzirom na pojedine propise u pravilu su shodne razne vrijednosti poprečnih presjeka što ukazuje na raznovrsnost vrijednosti pouzdanosti na razini elementa.

Čelične podrožnice krovne konstrukcije u Republici Hrvatskoj primjenjuju u visokogradnji. Svrha rada je provesti analizu pouzdanosti jednog konstrukcijskog elementa proračunatog prema nizu raznih propisa proučavajući takvu skupinu konstrukcija.

Provjera će se izvesti prema tri različite vrste tehničkih normi odnosno propisa koji su prije vrijedili ili su još na snazi u Republici Hrvatskoj:

- a) JUS U:E.7.096/1986: Projektiranje i izvođenje čeličnih konstrukcija [15]
- b) Modificirani JUS (MJUS)
- c) Eurokod 3: EN 1993 (EC3)

Za pojedinu čeličnu podrožnicu će biti određena karakteristična snježna zona (područje Zagreba, Osijeka i Ogulina).

2. DIMENZIONIRANJE ČELIČNIH PODROŽNICA

2 DESIGN OF STEEL PURLINS

U ovom poglavlju izvršit će se dimenzioniranje podrožnica prema tri norme odnosno propisa koji su vrijedili ili još vrijede u Republici Hrvatskoj. Greda oslonjena na dva ležaja primjenjuje se kao jednostavni statički sustav u ovoj analizi. Raspon grede kao i razmak na kojem se nalaze glavni nosači krovišta iznosi 5 metara. Osnovni razmak između dva sekundarna nosača je 2,5 metara. Krov je izveden bez nagiba, horizontalno. Podrožnice su bočno pridržane te ne postoji opasnost od bočnog torzijskog izvijanja. Razmatrane će biti samo podrožnice od čelika S235 (prema [11]).

Vrijednost stalnog opterećenja (težina pokrova i podrožnice) je $0,4 \text{ kN/m}^2$, a opterećenje snijegom definirano je sukladno pripadajućoj zoni i vrijedećoj normi. Tri su geografska područja izdvojena unutar RH: područje Osijeka sa nadmorskom visinom 100 metara, područje grada Zagreba na nadmorskoj visini 200 metara te područje oko Ogulina na nadmorskoj visini od 600 metara. Prilikom proračuna, opterećenje vjetrom neće biti uračunato.

Pri dimenzioniranju sekundarnog nosača u obzir će se uzeti samo savijanje. Pretpostavlja se, također, da je prilikom projektiranja odnosno odabira poprečnog presjeka u potpunosti iskorišten uvjet graničnog stanja, točnije da je iskoristivost 100%. Da bi se ostvarila iskoristivost od 100% napravljena je varijacija raspona podrožnica.

Proračun će se provesti sukladno prijašnje ili trenutno važećim tehničkim propisima Republike Hrvatske:

- JUS U:E.7.096/1986: Projektiranje i izvođenje čeličnih konstrukcija [15]
- Modificirani JUS (MJUS)
- Eurokod 3: EN 1993 (EC3) [11]

2.1. PRORAČUN PREMA JUS

2.1 JUS ANALYSIS

Analizom kroz JUS model treba dokazati da naprezanje prilikom svih djelovanja na

konstrukciju neće prekoračiti dopuštena naprezanja, već od njih biti manja:

$$\sigma_m = \frac{M_y}{W_y} = \frac{6 \cdot q \cdot l^2}{W_y} = \frac{6 \cdot l^2 \cdot (g + s)}{W_y} \leq \sigma_{dop} = 160 \text{ N/mm}^2 \quad (20)$$

gdje je:

M_y	proračunski moment savijanja
W_y	proračunski moment otpora
q	sumarno opterećenje
l	raspon nosača
g	stalno opterećenje po m^2
s	promjenjivo opterećenje - snijeg po m^2
σ_{dop}	dopušteno naprezanje na savijanje

U tablici 2 izračunato je opterećenje snijegom prema ovom propisu.

Odabrani čelični profili s pripadajućim rasponom podrožnica vidljivi su u tablici 1.

Tablica 1

LOKACIJA	TIP PODROŽNICE	RASPON PODROŽNICE (cm)
Zagreb	IPE 120	485
Osijek	IPE 120	485
Ogulin	IPE 140	532

2.2. PRORAČUN PREMA MODIFICIRANOM JUS-U

2.2 DESIGN ACCORDING TO MODIFIED JUS

Proračun je u potpunosti identičan proračunu prema JUS normi uz razliku većeg opterećenja snijegom. Opterećenja koja su dana ovom „normom“ nikada nije postala službena, no projektanti su vrlo često koristiti ova opterećenja.

Prema doradenoj JUS normi opterećenje snijegom je $1,25 \text{ kN/m}^2$ za cijelo područje RH, s time da se vrijednost opterećenja snijegom za nadmorsku visinu h iznad 500 m.n.m. uzima prema izrazu:

$$s = \left(75 + \frac{h - 500}{4}\right) \cdot 10^{-2} \quad (21)$$

Shodno navedenom izrazu, tablici 2 prikazuje dane vrijednosti opterećenja snijegom.

Tablica 2

LOKACIJA	OPTEREĆENJE SNIJEGOM (kN/m ²)
Zagreb	1,25
Osijek	1,25
Ogulin	1,50

U tablici 3 dani su odabrani čelični profili s pripadajućim rasponom podrožnica.

Tablica 3

PODRUČJE	TIP PODROŽNICE	RASPON PODROŽNICE (cm)
Zagreb	IPE 140	490
Osijek	IPE 140	490
Ogulin	IPE 160	542

2.3 PRORAČUN PREMA EN 1993 (EC3)

2.3 DESIGN ACCORDING TO EN 1993 (EC3)

Proračunom prema Eurokodu 3 nužno je potvrditi da je učinak djelovanja uzrokovan momentom savijanja manji od otpornosti:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} \quad (22)$$

$$M_{Ed} = (\gamma_G \cdot g + \gamma_Q \cdot p) \cdot l^2 \cdot e \quad (23)$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{pl,rd} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad (24)$$

gdje je:

- M_{Ed} projektirani moment savijanja
- M_{Rd} projektirani otpornost poprečnog presjeka (za klasu presjeka 1)
- $W_{pl,rd}$ proračunski moment plastifikacije poprečnog presjeka

- e osni razmak nosača
- γ_i pripadajući parcijalni koeficijenti
- g karakteristična vrijednost stalnog opterećenja po m²
- p karakteristična vrijednost promjenjivog opterećenja snijegom po m² krova
- l raspon glavnog nosača
- γ_{M1} parcijalni koeficijent za čelik na

Proračunom prema Eurokodu 3 dokazano je da su svi odabrani profili klase 1 što je preduvjet za korištenje navedenih izraza.

Opterećenje snijegom prema ovoj normi proračunato je i dano u tablici 2.

U tablici 4 dani su odabrani čelični profili s pripadajućim rasponom podrožnica.

Tablica 4

PODRUČJE	TIP PODROŽNICE	RASPON PODROŽNICE (cm)
Zagreb	IPE 140	537
Osijek	IPE 120	473
Ogulin	IPE 180	513

3. PRORAČUNSKI MODEL OTPORNOSTI

3 RESILIENCE CALCULATION MODEL

Ako funkciju otpornosti poprečnog presjeka obzirom na savijanje označimo sa R onda možemo pisati

$$R = B \cdot W_{pl} \cdot f_y \quad (25)$$

Pri čemu je:

- B koeficijent korekcije računskog modela otpornosti
- W_{pl} plastični moment otpora poprečnog presjeka
- f_y granica popuštanja

Tablica 5

Osnovna varijabla	Distribucija N – normalna L – lognormalna	Srednja vrijednost X_i	Standardna devijacija σ_i
B	L	1,28	0,05
W_{pl} [cm ³]	N	$W_{pl, norm}$	$0,04 \cdot W_{pl, norm}$
f_y [kN/cm ²]	L	$1,19 \cdot f_{y, nom}$	$0,068 \cdot f_{y, nom}$

4. PRORAČUNSKI MODEL DJELOVANJA

4 LOAD CALCULATION MODEL

4.1. OPĆENITO

4.1 GENERAL

Kroz rad se provodi analiza dva djelovanja: opterećenje snijegom i stalno opterećenje. Vrijednost stalnog opterećenja (težina pokrova i podrožnice) je 0,4 kN/m², a opterećenje zbog snijega definirano je prema pripadajućoj zoni i te novim statističkim podacima.

Ako sa E označimo funkciju učinaka djelovanja tada možemo pisati:

$$E = \frac{(g + 0.8 \cdot s) \cdot l^2 \cdot e}{8} \quad (26)$$

Pri čemu je:

- e osni razmak nosača
- g osnovni parametar - vrijednost stalnog opterećenja po m²
- s osnovni parametar - promjenjivo

opterećenje (snijeg) po m²

l raspon nosača

4.2. STALNO OPTEREĆENJE

4.2 CONSTANT LOAD

Statistički parametri osnovne varijable stalnog opterećenja su: srednja vrijednost $\bar{X}=0.4$ kN/m², koeficijent varijacije $V=0,15$, normalna distribucija.

4.3 OPTEREĆENJE SNIJEGOM

4.3 SNOW LOAD

Tri su geografska područja izdvojena unutar RH: područje Osijeka sa nadmorskom visinom 100 metara, područje grada Zagreba na nadmorskoj visini 200 metara te područje oko Ogulina na nadmorskoj visini od 600 metara. Informacije o opterećenju snijegom su preuzeti iz rada Zaninović i ostali [9] gdje su ispitivane značajke snježnog režima, te je uz pomoć podataka o sadržaju vode u snijegu i visini snježnog pokrivača određeno karakteristično opterećenje snijegom. Vrijedni podaci o ovom problemu dostupni su u [11].

a) Zagreb (200 m.n.m.)

Za područje Zagreba srednja vrijednost opterećenja snijegom iznosi $\bar{X}=0,56$ kN/m², koeficijent varijacije $V=0.554$, Gumbelova distribucija [8].

b) Osijek (100 m.n.m.)

Za područje Osijeka srednja vrijednost opterećenja snijegom iznosi $\bar{X}=0,45$ kN/m², koeficijent varijacije $V=0,689$, Gumbelova distribucija [8].

Osnovna varijabla	Distribucija N – normalna L – lognormalna G – Gumbelova	Srednja vrijednost X_i	Standardna devijacija σ_i
g [kN/m ²]	N	0,40	0,06
s [kN/m ²] (Zagreb, 200 m.n.m.)	G	0,52	0,30
s [kN/m ²] (Osijek, 100 m.n.m.)	G	0,44	0,25
s [kN/m ²] (Ogulin, 600 m.n.m.)	G	1,54	0,65
e (cm)	N	250	2,5
l (cm)	N	473-541	4,37-5,41

Tablica 6

c) Ogulin (600 m.n.m.)

Srednja vrijednost opterećenja snijegom iznosi $\bar{X}=1,54 \text{ kN/m}^2$, koeficijent varijacije $V=0,416$, Gumbelova distribucija [8, 17].

5. STVARANJE JEDNADŽBE GRANIČNOG STANJA

5 FORMATION OF THE LIMIT STATE EQUATION

$$g(X) = 0 \quad (27)$$

$$g(X) = R - E$$

gdje R označava otpornost elementa, dok je E učinak djelovanja.

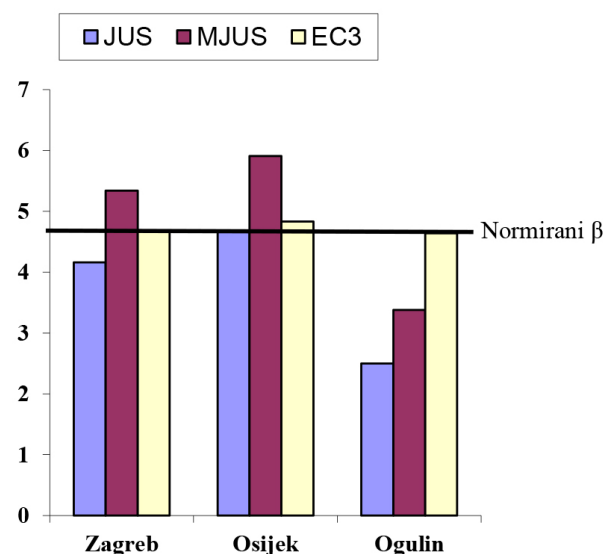
Ako ovu jednadžbu raspišemo dobivamo:

$$g(x) = B \cdot W_{pl} \cdot f_y - \frac{e \cdot (g + 0,8 \cdot s) \cdot l^2}{8 \cdot 100^2} \quad (28)$$

6. REZULTATI PRORAČUNA 6 ANALYSIS RESULTS

Stohastička analiza, točnije, metoda pouzdanosti prvog reda rađena je za tri tipa tehničkih normi (propisa) vodeći računa o različitim vrijednostima baznih varijabli plastičnog momenta otpora, raspona podrožnice i opterećenja snijegom. Slika 1 te tablica 7 prikazuju sve izračunate indekse pouzdanosti za različite propise i zone. Proračunom ispitani indeksi pouzdanosti komparirani su s normativnom vrijednosti od 4,7, specificiranom prema EN 1990. Dobivena veličina od 4,7 odgovara poredbenom razdoblju u trajanju od jedne godine i razredu pouzdanosti RC2, odnosno razredu posljedica CC2 koji označava srednje posljedice [9]. Tablica 7 i slika 2 grafički je prikaz proračunskih indeksa pouzdanosti prema različitim propisima i zonama. Prilikom

iščitavanja dobivenih rezultata treba naglasiti da su razmatrane čelične podrožnice bile klase presjeka 1 što uvelike utječe odnosno uvećava indeks pouzdanosti. Pouzdanost prema prijašnjim JUS propisima uvelike odudaraju ovisno o području pojedine konstrukcije. Pouzdanost konstrukcija u područjima s velikim promjenjivim opterećenjem (snijeg) je izuzetno mala. Konstrukcije proračunate prema starim propisima, ali s povećanim snježnim opterećenjem (MJUS) imaju bitno veću pouzdanost no i ovdje se može uočiti trend smanjenja pouzdanosti za područja s velikim opterećenjem snijegom. S druge strane pouzdanost za područje Ogulina je nedostatna. Konstrukcije proračunate obzirom na normu EC3 imaju razinu pouzdanosti vrlo blizu normirane. Indeks pouzdanosti je praktički konstantan. Na slici 2 su komparirani i objedinjeni rezultati proračuna pouzdanosti prema navedenim propisima odnosno normama za čelične elemente a također su prikazani i rezultati za drvene elemente koji su detaljno opisani u radu [16].

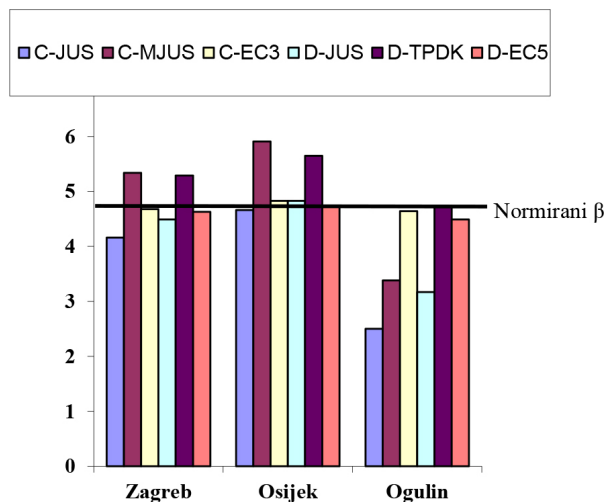


Slika 1 Proračunski Indeks pouzdanosti zavisno o različitim lokacijama, materijalima i propisima

Figure 1 Estimated Reliability Index dependent on different locations, materials and regulations

Područje konstrukcije	JUS	MJUS	EC3	Normirano prema EC3
Zagreb	4,16	5,34	4,68	4,70
Osijek	4,66	5,91	4,83	4,70
Ogulin	2,50	3,38	4,64	4,70

Tablica 7



Slika 2 Rezultati proračuna pouzdanosti prema normama za čelične i drvene elemente

Figure 2 Reliability calculation results according to standards for steel and wooden elements

7. ZAKLJUČAK 7 CONCLUSION

Zadnjih desetljeća na snazi su bile različite norme za proračun ovakvih konstrukcija, kako sa strane proračuna djelovanja tako i u odnosu na otpornost elemenata. Proračunu obzirom na pojedine propise u pravilu su shodne razne vrijednosti poprečnih presjeka što ukazuje na raznovrsnost vrijednosti pouzdanosti na razini elementa. Svrha rada bila je ispitati pouzdanost elemenata dimenzioniranih prema različitim normama odnosno propisima uzimajući u obzir jedan materijal (čelik). Koristeći različite norme određene su dimenzije poprečnih presjeka koje su uvrštene u pripadajuću jednadžbu graničnog stanja. Metodom pouzdanosti prvog reda jednadžba je riješena uzimajući u obzir različite vrijednosti baznih varijabli s obzirom na normu odnosno propis te lokaciju građevine.

Analizom je dokazana velika neujednačenost pouzdanosti konstrukcija dimenzioniranih prema JUS normama. Konstrukcije na lokacijama s velikim snježnim opterećenjem imaju manju pouzdanost nego je zahtijevana prema europskim normama.

Čelične podrožnice dimenzionirane prema modificiranim JUS normama (MJUS) imaju znatno veću pouzdanost od normirane (područje

Zagreba i Osijeka). Pouzdanost čeličnih podrožnica prema normiranom indeksu pouzdanosti nedostatna je za područje Zagreba i Ogulina. Primjetno je veliko smanjenje pouzdanosti za lokacije s velikim snježnim opterećenje. Za ove lokacije pouzdanost nije dostatna.

Ovim radom je dokazano da su europske norme za proračun čeličnih konstrukcija s aspekta pouzdanosti najadekvatnije. Elementi dimenzionirani prema ovim normama imaju ujednačenu razinu pouzdanosti neovisno o lokacijama gdje su sagrađeni. Općenito se i za čelične konstrukcije mogu izvući isti zaključci kako je napravljeno i za drvene u radu [16]

8. REFERENCE

8 REFERENCES

- [1.] Bjelanović, A., Rajčić, V., Drvene konstrukcije prema Europskim normama, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu & Hrvatska sveučilišna naklada, 2007.
- [2.] Tehnički propis za drvene konstrukcije, NN 121/07, Narodne Novine, 2007.
- [3.] HRN ENV 1991-2-3: 2005: Djelovanja na konstrukcije – Opterećenje snijegom, Nacionalni dokument za primjenu u RH, Zagreb, 2005.
- [4.] JUS U.C.200.: Projektiranje i izvođenje drvenih konstrukcija
- [5.] EN 1995-1-1: Eurocode – Design of timber structures: Common rules and rules for buildings, European committee for standardization, Brussels, 2003.
- [6.] Androić, B., Dujmović, D., Džeba, I., Metalne konstrukcije 4, IAP, Zagreb, 2003.
- [7.] Androić, B., Dujmović, D., Džeba, I., Inženjerstvo pouzdanosti 1, IA Projektiranje, Zagreb, 2006.
- [8.] Androić, Boris; Čizmar, Dean; Rajčić, Vlatka. Analiza pouzdanosti drvenih lameliranih nosača. // Građevinar. 59 (2008), 6; 513-518
- [9.] Zaninović, K. et al., Određivanje karakterističnog opterećenja snijegom, Građevinar, Zagreb, 2001.

- [10.] Tkalčević, V., Džeba, I., Androić, B., Pouzdanost sačastih nosača na bočno-torzijsko izvijanje, GRAĐEVINAR 59 (2007), 4, pp. 311-318, 2007.
- [11.] CEN - European Comitee for Standardization (2003): Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, prEN 1993-1-1:2003
- [12.] Androić, B., Dujmović, D., Džeba, I., Metalne konstrukcije 1, IGH, Zagreb, 1994.
- [13.] Androić, B., Dujmović, D., Džeba, I., Metalne konstrukcije 3, IA Projektiranje, Zagreb, 1998.
- [14.] Branco, J., Varum, H., Cruz, P., Structural Grades of Timber by Bending and Compression Tests, Material Science Forum, vol. 514-516, pp. 1663-1667., Švicerska, 2006.
- [15.] JUS U:E.7.096/1986: Projektiranje i izvođenje čeličnih konstrukcija
- [16.] Čizmar, D., Serdarević, Šime, Volarić, I., & Gelo, D. (2018). Ocjena pouzdanosti drvenih področnica. Politehnika I Dizajn, 6(02). //URL:
- [17.] Čizmar, Dean; Kirkegaard, Poul Henning; Sorensen, John Dalsgaard; Rajčić, Vlatka. Reliability-based robustness analysis for a Croatian sports hall. // Engineering structures. 33 (2011), 11; 3118-3124

AUTORI · AUTHORS



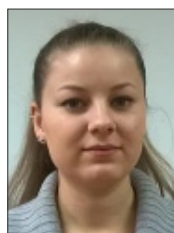
• **izv. prof. dr. sc. Dean Čizmar, mag.ing.aedif.** - nepromijenjena biografija nalazi se u časopisu Polytechnic & Design Vol. 6, No. 2, 2018.

Korespondencija · Correspondence

dcizmar@tvz.hr



• **doc. dr. sc. Krunoslav Pavković, mag.ing.aedif.** - nepromijenjena biografija nalazi se u časopisu Polytechnic & Design Vol. 7, No. 2, 2019.



• **Ivana Iljkić, bacc.ing. aedif.** - rođena je 27. listopada 1994.godine u Zagrebu. Opću gimnaziju završila je u Zagrebu nakon čega upisuje preddiplomski studij u Zagrebu na Građevinskom fakultetu

Sveučilišta u Zagrebu. 2016. godine prelazi na TVZ. Trenutačno je na prvoj godini diplomskog studija. Prima stipendiju poznate projektantske firme iz Zagreba.



• **Martina Baković** - rođena je 17. ožujka 2000.godine u Zadru. Opću gimnaziju završila je u Šibeniku 2018. godine nakon čega upisuje preddiplomski studij u Zagrebu na Građevinskom fakultetu

Sveučilišta u Zagrebu. 2021. godine prelazi na TVZ. Za vrijeme preddiplomskog stručnog studija radi kao studentski demonstrator iz kolegija Mehanika tla.