

OCJENA POUZDANOSTI DRVENIH PODROŽNICA

RELIABILITY ASSESSMENT OF TIMBER PURLINES

Dean Čizmar, Šime Serdarević, Ivan Volarić, Dalibor Gelo

Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, Zagreb, Hrvatska

Sažetak

U radu su prikazani rezultati proračuna potrebnih dimenzija poprečnog presjeka drvene podrožnice prema tri različita tipa tehničkih propisa za tri različite lokacije. Odabrane lokacije razlikuju se s obzirom na karakteristično opterećenje snijegom. Uspoređuju se rezultati probabilističkog proračuna za tri različita tipa tehničkih propisa uzimajući u obzir različite vrijednosti baznih varijabli visine poprečnog presjeka i opterećenja snijegom. Dobiveni indeksi pouzdanosti za različite lokacije i propise uspoređeni su s normiranom vrijednosti definiranom prema EC0 koja odgovara poredbenom razdoblju od 1 godine i razredu pouzdanosti RC2.

Ključne riječi: *pouzdanost, indeks pouzdanosti, razred pouzdanosti*

Abstract

Timber purlins required cross-section calculation are calculated according to three different types of technical regulations and three different locations. Selected locations differ in terms of the characteristic snow load. The results of the probabilistic calculation according to three different types of technical regulations are compared. Different values of the basic variables, cross-section height and snow loads are taken into account. Reliability index standard value defined by EC0 is compared with calculated values for different locations and regulations.

Keywords: *reliability, reliability index, reliability class*

1. Uvod

1. Introduction

Korištenje drvenih nosača vrlo je učestalo u graditeljskoj praksi. Najčešće se koriste kao sekundarna konstrukcija (podrožnica) unutar krovne konstrukcije ili kao nosač međukatne konstrukcije. Rešetkasti sustavi manjih raspona (do 20 metara) često se izvode od drvenih nosača.

U prošlosti su na snazi bili različiti propisi (norme) za proračun drvenih konstrukcija. Norme definiraju različita pravila kako s obzirom na proračun djelovanja tako i s obzirom na otpornost elementa. Proračunom prema različitim normama, dobivaju se, u pravilu različite dimenzije elemenata što implicira različite pouzdanosti samog elementa.

Cilj ovog rada je istražiti pouzdanost istog konstrukcijskog elementa dimenzioniranog prema različitim normama promatrajući grupu konstrukcija (podrožnice krovne konstrukcije) s namjenom u visokogradnji u Republici Hrvatskoj.

Analiza će se provesti s obzirom na tri tipa tehničkih propisa odnosno normi koji su vrijedili ili vrijede u RH:

- a) JUS U.C.200.: Projektiranje i izvođenje drvenih konstrukcija (JUS) [3]
- b) Tehnički propis za drvene konstrukcije (NN 121/07) (TPDK) [1]
- c) Eurokod 5: HRN EN 1995 (EC5) [4]

Za podrožnicu će se odrediti tri karakteristične snježne zone (područje Zagreba, Osijeka i Ogulina).

2. Dimenzioniranje podrožnica

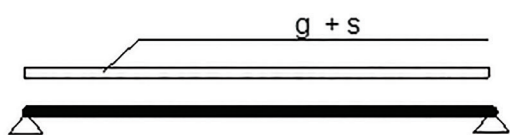
2. Design of purlins

Podrožnice će se dimenzionirati prema tri navedene norme ([3], [1], [4]). Prilikom dimenzioniranja bit će primijenjena djelovanja koja su tada bila na snazi.

Veliki problem je određivanje otpornosti elementa. U svakoj navedenoj normi definira se različita klasifikacija drvene građe. Stari propisi (JUS) razlikuju botaničku klasifikaciju (podjela na četinare i bjelogorično drvo) dok moderni europski propisi razlikuju tvrdo i meko drvo. Donekle, ova osnova podjela se može uvjetno shvatiti kao četinari=meko drvo, bjelogorica=tvrd drvo. Stari (JUS) propisi razlikuju tri, odnosno dvije klase unutar osnovne podjele, a Europske norme definiraju puno sofisticiraniju podjelu na deset odnosno šest klasa drveta. Ne postoji adekvatno rješenje ovog problema osim pretpostavke da su projektanti koji su dimenzionirali konstrukciju prema JUS normama odabrali četinare klase II što je donekle ekvivalentno mekom drvetu klase C24 [1].

Pretpostavlja se jednostavni statički sustav grede oslonjene na dva ležaja prikazan na slici 1. Raspon grede iznosi 3 metra (razmak glavnih nosača krovišta je 3 metra). Osni razmak između dvije podrožnice iznosi 1,5 metara. Krovište je horizontalno.

Stalno opterećenje iznosi 0,5 kN/m², dok će opterećenje snijegom biti određeno sukladno odabranoj zoni te važećem propisu. Odabrane su tri karakteristične geografske lokacije unutar RH – područje grada Zagreba (n.v. 200 metara), područje Osijeka (n.v. 100 metara) i područje oko Ogulina (n.v. 600 metara). Opterećenje vjetrom se neće uzimati u obzir.



Slika 1 Statički sustav podrožnice

Figure 1 Purlins static system

Prilikom dimenzioniranja nosača u obzir će biti uzeta isključivo otpornost na savijanje. Pretpostavka je također da su projektanti prilikom odabira poprečnog presjeka u potpunosti iskoristili uvjet nosivosti, odnosno da je iskoristivost poprečnog presjeka 100%.

2.1. Proračun prema JUS U.C.200

2.1. Design according to JUS U.C.200

Proračunom prema JUS normi potrebno je dokazati da su naprezanja uslijed djelovanja na konstrukciju manja od dopuštenih naprezanja za odgovarajuću klasu drveta:

$$\sigma_m = \frac{M_y}{W_y} = \frac{6 \cdot q \cdot l^2 \cdot e}{8 \cdot b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot l^2 \cdot (g+s) \cdot e}{8 \cdot b \cdot h^2} \leq \sigma_{dop} = 10 \text{ N/mm}^2$$

(1)

gdje su:

- M_y računski moment savijanja;
- W_y računski moment otpora;
- q ukupno opterećenje;
- l raspon podrožnice;
- g stalno opterećenje;
- s opterećenje snijegom;
- b širina poprečnog presjeka;
- h visina poprečnog presjeka;
- e razmak nosača;
- σ_{dop} dopušteno naprezanje na savijanje.

Opterećenje snijegom prema ovoj normi iznosi 0,75 kN/m² za cijelo područje RH. Utjecaj nadmorske visine h (u metrima) iznad 500 m.n.m. (vrijednost opterećenja snijegom na visini h) uzima se prema izrazu:

$$s = \left(75 + \frac{h-500}{4}\right) \cdot 10^{-2} \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (2)$$

Sukladno ovom izrazu, u tablici 1 su dane vrijednosti opterećenja snijegom.

Tablica 1. Opterećenja snijegom**Table 1.** Snow loads

PODRUČJE	OPTEREĆENJE SNIJEGOM (kN/m ²)
Zagreb (n.v. 200 metara)	0,75
Osijek (n.v. 100 metara)	0,75
Ogulin (n.v. 600 metara)	1,00

U tablici 2 dane su računске dimenzije podrožnica te dimenzije koje bi projektanti odabrali prilikom dimenzioniranja određene prema navedenim izrazima i pretpostavkama. Za potrebe probabilističkog proračuna koristit će se isključivo računске dimenzije podrožnica.

Tablica 2. Dimenzije poprečnog presjeka podrožnice**Table 2.** Purlins cross section dimensions

PODRUČJE	RAČUNSKE DIMENZIJE PODROŽNICE (b/h u cm)	STVARNE DIMENZIJE PODROŽNICE (b/h u cm)
Zagreb	8/12,6	8/13
Osijek	8/12,6	8/13
Ogulin	8/13,8	8/14

2.2. Proračun prema HRN JUS (Tehnički propis za drvene konstrukcije)

2.2. Design according to HRN JUS (Tehnički propis za drvene konstrukcije)

Proračunom prema ovoj normi potrebno je dokazati da su naprezanja uslijed djelovanja na konstrukciju manja od dopuštenih naprezanja za odgovarajuću klasu drveta:

$$\sigma_m = \frac{M_y}{W_y} = \frac{6 \cdot q \cdot l^2 \cdot e}{8 \cdot b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot l^2 \cdot (g+s) \cdot e}{8 \cdot b \cdot h^2} \leq \sigma_{dop} = 10 \text{ N/mm}^2$$

(3)

Opterećenje snijegom prema ovoj normi iznosi $s=2 \text{ kN/m}^2$ za područje Like i Gorskog kotara, za područje Sjeverozapadne Hrvatske i Slavonije 1.0 kN/m^2 a za ostala kontinentalna područja 1.5 kN/m^2 .

Utjecaj nadmorske visine h [m] za visine veće od 500 m.n.m. (vrijednost opterećenja snijegom na visini h) uzima se prema izrazu:

$$s_h = (s + \frac{10 \cdot h - 5000}{4} \cdot 10^{-3}) [\text{kN/m}^2] \quad (4)$$

gdje je s [kN/m²] osnovno opterećenje snijegom (do 500 m.n.m.)

Za krovove čija konstrukcija zajedno s pokrovom i podgledom ima težinu $< 1.000 \text{ N/m}^2$, proračunsko opterećenje snijegom se treba uvećati s koeficijentom k koji ovisi o lokaciji građevine:

Lika i Gorski kotar $k = 1,1$

Sjeverozapadna Hrvatska i Slavonija $k = 1,3$

Ostala kontinentalna područja $k = 1,2$

Sukladno ovom propisu, u tablici 3 dane se vrijednosti ukupnog opterećenja snijegom.

Tablica 3. Opterećenja snijegom**Table 3.** Snow loads

PODRUČJE	OPTEREĆENJE SNIJEGOM (kN/m ²)
Zagreb (n.v. 200 metara)	1,30
Osijek (n.v. 100 metara)	1,30
Ogulin (n.v. 600 metara)	2,48

Tablica 4. Dimenzije poprečnog presjeka podrožnice**Table 4.** Purlins cross section dimensions

PODRUČJE	RAČUNSKE DIMENZIJE PODROŽNICE (b/h u cm)	STVARNE DIMENZIJE PODROŽNICE (b/h u cm)
Zagreb	8,0/15,1	8/16
Osijek	8,0/15,1	8/16
Ogulin	8,0/19,4	8/20

U tablici 4 dane su dimenzije podrožnica određene prema navedenim izrazima i opterećenjima.

2.3. Proračun prema Eurokodu 5

2.3. Design according to Eurocode 5

Prilikom proračuna podrožnica prema Eurokod 5 normama potrebno je dokazati da vrijedi:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (5)$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = 0,75 \cdot \frac{(\gamma_G \cdot g + \gamma_Q \cdot p) \cdot l^2 \cdot e}{b \cdot h^2} \quad (6)$$

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,y,k}}{\gamma_M} \quad (7)$$

gdje su:

$\sigma_{m,y,d}$ proračunska vrijednost naprezanja uslijed savijanja;

$f_{m,y,d}$ proračunska čvrstoća na savijanje;

$f_{m,y,k}$ karakteristična čvrstoća na savijanje;

$M_{y,d}$ proračunski moment savijanja;

W_y proračunski moment otpora poprečnog presjeka;

e razmak nosača;

γ_G parcijalni koeficijent za stalno opterećenje;

γ_Q parcijalni koeficijent za promjenjivo opterećenje;

g karakteristična vrijednost stalnog opterećenja;

g karakteristična vrijednost promjenjivog opterećenja (snijeg);

l raspon podrožnice;

b širina poprečnog presjeka;

h visina poprečnog presjeka.

Koeficijent modifikacije k_{mod} kojim se uzima u obzir smanjenje mehaničkih karakteristika materijala uslijed dugotrajnog opterećenja te vlažnosti usvojit će se s vrijednošću: $k_{mod}=0.9$ (klasa vlažnosti II i snijeg kao kratkotrajno opterećenje). Opterećenje snijegom prema ovom propisu opisano je u [2].

U tablici 5 dane su vrijednosti karakterističnog opterećenja snijegom (vrijednost opterećenja snijegom na tlu). Opterećenje snijega na ravni krov se uzima s koeficijentom oblika $\mu=0.8$.

Tablica 5. Opterećenja snijegom

Table 5. Snow loads

PODRUČJE	OPTEREĆENJE SNIJEGOM (kN/m ²)
Zagreb (n.v. 200 metara)	1,00
Osijek (n.v. 100 metara)	0,80
Ogulin (n.v. 600 metara)	1,80

U tablici 6 dane su dimenzije podrožnica određene prema prijašnjim izrazima i pretpostavkama.

Tablica 6. Dimenzije poprečnog presjeka podrožnice

Table 6. Purlins cross section dimensions

PODRUČJE	RAČUNSKE DIMENZIJE PODROŽNICE (b/h u cm)	STVARNE DIMENZIJE PODROŽNICE (b/h u cm)
Zagreb	8,0/12,9	8/13
Osijek	8,0/12,0	8/13
Ogulin	8,0/16,1	8/17

3. Računski model otpornosti

3. Resistance calculation model

3.1. Općenito

3.1. General

Potrebno je formirati računski model za teoretsku otpornost r_t promatranog konstrukcijskog elementa koji se može prikazati funkcijom otpornosti:

$$r_t = g_{rt}(X) \quad (8)$$

gdje su:

r_t teoretska računska otpornost uzoraka;

g_{rt} funkcija otpornosti;

X vektor baznih varijabli.

Funkcija otpornosti uključuje sve bazne varijable X koje utječu na otpornost u graničnom stanju. Za promatrane drvene nosače funkcija otpornosti u graničnom stanju (otpornost na savijanje) može se prikazati sljedećim izrazom:

$$r_t = \frac{b \cdot h^2}{6} \cdot f_m \quad (9)$$

gdje su:

b širina poprečnog presjeka;

h visina poprečnog presjeka;

f_m čvrstoća na savijanje.

Kod laboratorijskog ispitivanja potrebno je za svaki uzorak izmjeriti veličine svih baznih varijabli te s tim karakteristikama izračunati teoretske otpornost (indeks i) r_{ti} koje je potrebno usporediti s pripadnim otpornostima dobivenih eksperimentom r_{ei} .

3.2. Određivanje faktora korekcije računskog modela B

3.2. Model correction factor B for a calculation model

Za svaki uzorak i određuje se faktor korekcije računskog modela B_i :

$$B_i = \frac{r_{ei}}{r_{ti}} \quad (10)$$

gdje su:

r_{ei} eksperimentalno određena otpornost;

r_{ti} teoretski određena otpornost.

Srednja vrijednost faktora korekcije računskog modela određuje se prema izrazu:

$$\bar{B} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n B_i \quad (11)$$

gdje je n broj eksperimenata.

Analogno se određuju srednje vrijednosti r_c i r_t te standardne devijacije S_{re} i S_{rt} :

$$S_{re} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n r_{ei}^2 - n \cdot \bar{r}_c^2 \right)} \quad (12)$$

$$S_{rt} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n r_{ti}^2 - n \cdot \bar{r}_t^2 \right)} \quad (13)$$

Koeficijent korelacije dobiva se iz sljedećeg izraza:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n r_{ei} \cdot r_{ti} - n \cdot \bar{r}_c \cdot \bar{r}_t}{n \cdot S_{re} \cdot S_{rt}} \quad (14)$$

Da bi se mogla odrediti teoretska otpornost jednog uzorka na savijanje u odnosu na eksperimentalnu (izmjerenu) veličinu potrebno je poznavati izmjerene dimenzije poprečnog presjeka i izmjerene čvrstoće drveta na savijanje.

U idealnoj situaciji temeljem prethodno definiranih jednažbi mogu se odrediti statistički paramateri faktora korekcije računskog modela.

Faktor korekcije računskog modela otpornosti B – pretpostavlja se lognormalna razdioba, srednja vrijednost 1,44, koeficijent varijacije $V=0,2$. [10]

3.3. Određivanje faktora konverzije

3.3. Defining size effect factor

U jednažbu otpornosti na savijanje potrebno je uvrstiti i faktor konverzije η koji prevodi rezultate ispitivanja čvrstoće na savijanje na malim standardiziranim uzorcima u odnosu na čvrstoću na savijanje u realnim konstrukcijama (size effect).

Utjecaj veličine uzorka na čvrstoću poznat je već dulje vremena: npr. Newlin and Trayer su napisali članak o size effectu još 1924. godine. Autori Freas and Selbo su 1954. g. također pisali o utjecaju veličine uzoraka.

Weibull je još 1939. g. objavio rad vezan uz statistički koncept otpornosti koji je kasnije proučavan i upotrijebljen za otpornost okomito na vlakanca (Barrett 1974.) i posmik (Foschi i Barrett 1975.).

Faktor konverzije je bazna varijabla koja ima svoju funkciju distribucije, srednju vrijednost i koeficijent varijacije.

Norme za proračun konstrukcija uvažavaju size effect kada su visine presjeka veće od 30 (40) cm – lamelirano drvo ili manje od 15cm (puno drvo). Različiti propisi imaju i različite pristupe ovoj problematici (Eurokod, dopušteni naponi, Australske norme itd).

U radu će biti prikazane Europske norme i način na koji se uvažava veća čvrstoća za uzorke manjih dimenzija.

Prema europskim normama klasifikacija punog drveta se radi svrstavanjem u klase. Karakteristične vrijednosti čvrstoće na vlak i savijanje odnose se na usporednu visinu presjeka k_h . Za presjeke manje visine od 150 mm čvrstoće na savijanje treba množiti s manjom vrijednošću od:

$$k_h = \left(\frac{150}{h}\right)^{0,2} \quad (15)$$

$$k_h = 1,3$$

Nosivi elementi prema EC5 ne mogu imati manju visinu od 6 cm, a širinu od 2,4 cm. Iz toga proizlazi da je minimalna vrijednost $k_h=1,2$.

3.4. Određivanje funkcije otpornosti poprečnog presjeka na savijanje

3.4. *Defining cross section resistance function in bending*

Ako se sa R označi funkcija otpornosti poprečnog presjeka na savijanje, tada se za nosače visine manje od 15 cm može pisati:

$$R = k_h \cdot B \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} \cdot f_m = \left(\frac{15}{h}\right)^{0,2} \cdot B \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} \cdot f_m \quad (16)$$

Za nosače visine veće od 15 cm vrijedi da je $k_h=1$, dakle:

$$R = k_h \cdot B \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} \cdot f_m = B \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} \cdot f_m \quad (17)$$

gdje su:

k_h	faktor konverzije;
B	faktor korekcije računskog modela otpornosti;
b	širina nosača;
h	visina nosača;
f_m	čvrstoća na savijanje.

3.5. Statistički parametri baznih varijabli na strani otpornosti

3.5. *Stochastic parameters for probabilistic variables (resistance)*

Za bazne varijable b i h koje označavaju širinu odnosno visinu poprečnog presjeka pretpostavit će se da slijede normalnu raspodjelu i da je pripadajući koeficijent varijacije $V=0,01$. [5]

O problemu određivanja bazne varijable čvrstoće na savijanje je već rečeno u dijelu o dimenzioniranju področnica. Ovdje će se pretpostaviti da su čvrstoće drveta ekvivalentne drvu klase C24 prema Europskim normama. To je u skladu s [1]. Karakteristična otpornost na savijanje dana je normama kao 5%-na fraktila:

$$f_{mk} = 2,4 \text{ kN/cm}^2$$

Iz matematičke definicije koeficijenta varijacije uz raspisivanje može se dobiti parametar raspodjele σ ($V[X]$ je varijacija, $E[X]$ je matematičko očekivanje)

$$V = \frac{\sqrt{V[X]}}{E[X]} = \sqrt{e^{\sigma^2} - 1} \quad (18)$$

$$\sigma = \sqrt{\ln(1 + v^2)} = 0,246 \quad (19)$$

Tablica 7. Statističke vrijednosti parametara baznih varijabli na strani otpornosti**Table 7.** Stochastic parameters for base variables (resistance side)

Bazna varijabla	Raspodjela N – normalna L – lognormalna G – Gumbelova	Srednja vrijednost X_i	Standardna devijacija σ_i	Koeficijent varijacije V_i
B	L	1,44	0,288	0,20
b [cm]	N	b_{nom}	$0,04 \cdot b$	0,04
h [cm]	N	h_{nom}	$0,04 \cdot h$	0,04
f_m [kN/cm ²]	L	3,71	0,930	0,25

Ako se s $F(x)$ označi kumulativna funkcija lognormalne raspodjele, s Φ kumulativna funkcija standardne normalne raspodjele, dobit će se drugi parametar raspodjele μ :

$$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right) = 0,05 \quad (20)$$

$$\mu = 1,28$$

Uz poznate parametre lognormalne raspodjele (μ i σ), može se izračunati srednja vrijednost bazne varijable:

$$f_m = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}} = 3,71 \text{ kN/cm}^2 \quad (21)$$

4. Računski model djelovanja

4. Load calculation model

4.1. Općenito

4.1. General

U radu se analiziraju dva djelovanja: stalno opterećenje i opterećenje snijegom. Srednja vrijednost stalnog opterećenja iznosi 0,5 kN/m², dok će opterećenje snijegom biti određeno sukladno odabranoj zoni te najnovijim statističkim podacima.

Ako se s E označi funkcija učinaka djelovanja, tada se može pisati:

$$E = \frac{(g + 0,8 \cdot s) \cdot l^2 \cdot e}{8} \quad (22)$$

gdje su:

e – razmak nosača;

g – bazna varijabla – vrijednost stalnog opterećenja;

s – bazna varijabla – vrijednost promjenjivog opterećenja (snijega);

l – raspon nosača.

4.2. Stalno opterećenje

4.2. Permanent load

Za stalno opterećenje odabrani statistički parametri bazne varijable su: srednja vrijednost = 0,5 kN/m², koeficijent varijacije $V=0,10$, normalna razdioba [5].

4.3 Opterećenje snijegom

4.3. Snow load

Opterećenje snijegom određuje se s obzirom na tri karakteristične geografske lokacije unutar RH – područje grada Zagreba (n.v. 200 metara), područje Osijeka (n.v. 100 metara) i područje oko Ogulina (n.v. 600 metara).

Podaci o opterećenju snijegom definirani su u radu [7] gdje su istraživane karakteristike snježnog režima, te je pomoću podataka o sadržaju vode u snijegu i visini snježnog pokrivača određeno karakteristično opterećenje snijegom. Vrijedni podaci o ovom problemu dostupni su u [6] i [8].

a) Područje Zagreba

Za područje Zagreba srednja vrijednost opterećenja snijegom iznosi $\bar{X} = 0,52 \text{ kN/m}^2$,

koeficijent varijacije $V=0.58$, Gumbelova raspodjela [6].

b) Područje Osijeka

Za područje Osijeka srednja vrijednost opterećenja snijegom iznosi $\bar{X}=0,44$ kN/m², koeficijent varijacije $V=0,25$, Gumbelova raspodjela [6].

c) Područje Ogulina

Srednja vrijednost opterećenja snijegom iznosi $\bar{X}=1,54$ kN/m², koeficijent varijacije $V=0,42$, Gumbelova raspodjela [6].

Raspon podrožnice l i razmak podrožnica e definirani su normalnom raspodjelom s vrijednošću koeficijenta varijacije $V=0,01$ [5].

5. Formiranje jednadžbe graničnog stanja

5. Defining limit state equation

U općem slučaju jednadžba graničnog stanja se definira kao:

$$\begin{aligned} g(X) &= 0 \\ g(X) &= R - E \end{aligned} \quad (23)$$

Gdje je R otpornost elementa, a E učinak djelovanja.

Ako se ova jednadžba raspiše, onda za nosače visine do 14 cm vrijedi:

$$g(x) = \left(\frac{15}{h}\right)^{0.2} \cdot B \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} \cdot f_m - \frac{e \cdot (g + 0.8 \cdot s) \cdot l^2}{8 \cdot 100^2} \quad (24)$$

Za nosače visine veće ili jednake 15 cm vrijedi:

$$g(x) = B \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} \cdot f_m - \frac{e \cdot (g + 0.8 \cdot p) \cdot l^2}{8 \cdot 100^2} \quad (25)$$

gdje su:

- B faktor korekcije računskog modela otpornosti;
- b širina poprečnog presjeka;
- h visina poprečnog presjeka;
- f_m čvrstoća na savijanje;
- e razmak nosača;
- g vrijednost stalnog opterećenja;
- s vrijednost promjenjivog opterećenja (snijega);
- l raspon nosača.

Bazna varijabla	Raspodjela N – normalna L – lognormalna G – Gumbelova	Srednja vrijednost X_i	Standardna devijacija σ_i	Koeficijent varijacije V_i
g [kN/m ²]	N	0,50	0,050	0,10
s [kN/m ²] (Zagreb, n.v. 200 metara)	G	0,52	0,300	0,58
s [kN/m ²] (Osijek, n.v. 100 metara)	G	0,44	0,250	0,58
s [kN/m ²] (Ogulin, n.v. 600 metara)	G	1,54	0,650	0,42
e (cm)	N	150	1,500	0,01
l (cm)	N	300	3,000	0,01

Tablica 8. Statističke vrijednosti parametara baznih varijabli na strani djelovanja

Table 8. Stochastic parameters for base variables on the load side

Za potrebe probabilističke analize u jednadžbe graničnog stanja uvrštene su računске dimenzije podrožnica.

6. Rezultati proračuna

6. Calculation results

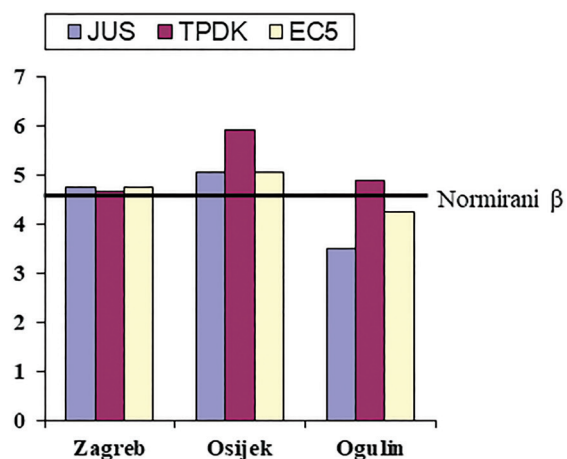
Probabilistički proračun (metoda pouzdanosti prvog reda) je napravljen za tri tipa tehničkih propisa odnosno normi uzimajući u obzir različite vrijednosti baznih varijabli visine poprečnog presjeka (h) i opterećenja snijegom (s). Za potrebe proračuna korišten je softverski paket VaP 1.5. Dobiveni indeksi pouzdanosti za različite zone i norme (propise) prikazani su na slici 2 i u tablici 9. Dobiveni indeksi pouzdanosti uspoređeni su s normiranom vrijednosti od 4,7, definiranom prema EC0. Vrijednost 4,7 odgovara poredbenom razdoblju od 1 godine i razredu pouzdanosti RC2, odnosno razredu posljedica CC2 koji definira srednje posljedice gubitaka ljudskih života i znatne ekonomske i društvene posljedice [9].

Stari propisi (JUS) imaju velika odstupanja u pouzdanosti ovisno o lokaciji konstrukcije. Pouzdanost konstrukcija u područjima s većim opterećenjem snijegom je nedostatna. Konstrukcije dimenzionirane prema Tehničkom propisu za drvene konstrukcije također imaju velika odstupanja ovisno o lokaciji konstrukcije, ali imaju veću pouzdanost nego što je to zahtijevano prema EC5. Konstrukcije dimenzionirane prema EC5 propisu imaju veću ili jednaku razinu pouzdanosti od normirane za područja s manjim opterećenjem snijegom, a donekle smanjenu za područja s većim opterećenjem snijegom. Indeks pouzdanosti za konstrukcije dimenzionirane prema EC5 je ujednačen s trendom smanjenja pouzdanosti u slučaju većeg opterećenja snijegom.

Tablica 9. Izračunati indeks pouzdanosti u ovisnosti o lokaciji konstrukcije i normi

Table 9. Calculated reliability index, location and standard dependent

Lokacija konstrukcije	JUS	TPDK	EC5	Normirano prema EC0
Zagreb	4,77	4,67	4,77	4,70
Osijek	5,08	5,94	5,08	4,70
Ogulin	3,50	4,90	4,26	4,70



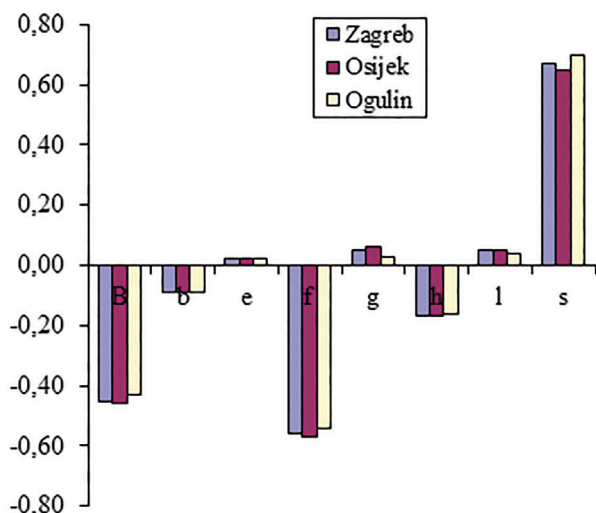
Slika 2 Izračunati indeks pouzdanosti u ovisnosti o lokaciji konstrukcije i normi

Figure 2 Calculated reliability index for different location and code

Na sljedećim slikama (slike 3, 4 i 5) prikazani su faktori senzibiliteta za pojedine bazne varijable u ovisnosti o propisu (normi) (slika 3: JUS, slika 4: TPKD, slika 5: EC5) i lokaciji konstrukcije. Faktori senzibiliteta su prilično ujednačeni s obzirom na lokacije objekta i propise (norme) prema kojima je podrožnica dimenzionirana.

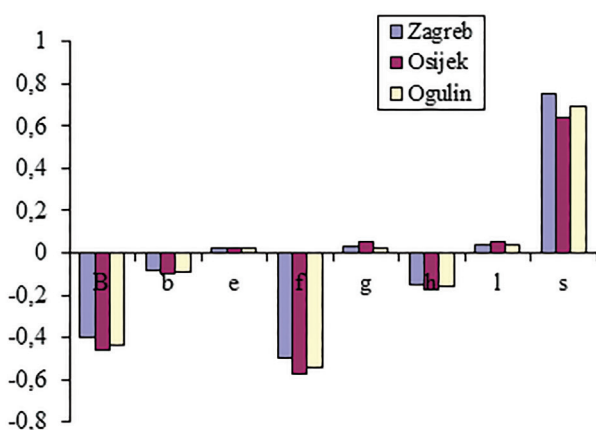
Na strani djelovanja daleko najveći utjecaj ima bazna varijabla opterećenja snijegom (s). Stalno opterećenje (g) ima značajno manji utjecaj. Raspon nosača (l) također ima vrlo mali faktor senzibiliteta. Osni razmak podrožnica (e) se praktički ponaša kao deterministička vrijednost.

Na strani otpornosti najveći utjecaj ima čvrstoća na savijanje (f). Na drugom mjestu je bazna varijabla korekcije računskog modela otpornosti (B). Visina poprečnog presjeka (h) nalazi se na trećem mjestu, a najmanji utjecaj ima širina poprečnog presjeka (b).



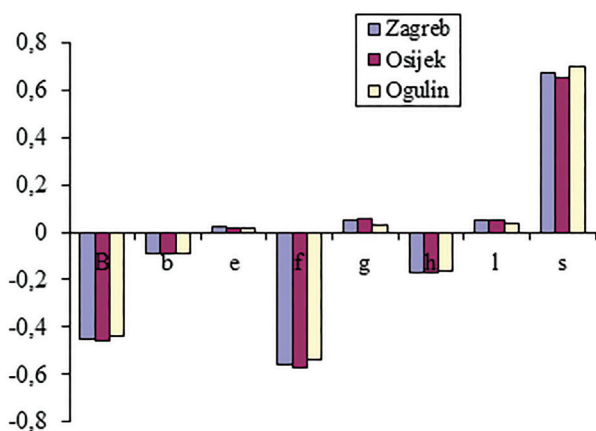
Slika 3 Faktori senzibiliteta baznih varijabli za JUS norme

Figure 3 Sensibility factors of base variables according to JUS standard



Slika 4 Faktori senzibiliteta baznih varijabli za TPKD

Figure 4 Sensibility factors of base variables according to TPKD standard



Slika 5 Faktori senzibiliteta baznih varijabli za EC5

Figure 5 Sensibility factors of base variables according to EC5 standard

5. REFERENCE

5. REFERENCES

- [1] Tehnički propis za drvene konstrukcije, NN 121/07, Narodne Novine, 2007.
- [2] HRN EN 1991-1-3:2012/NA: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-3: Opća djelovanja – Opterećenje snijegom – Nacionalni dodatak, Zagreb, 2012.
- [3] JUS U.C.200.: Projektiranje i izvođenje drvenih konstrukcija
- [4] EN 1995-1-1: Eurocode – Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, European committee for standardization, Brussels, 2003.
- [5] Androić, B., Čizmar, D., Rajčić, V.: Analiza pouzdanosti drvenih lameliranih nosača, GRAĐEVINAR, 60 (2008) 6
- [6] Pulić, D., Kalibracija tankostijenih trapeznih limova obzirom na opterećenje snijegom u Republici Hrvatskoj, Magistarski rad, Zagreb, 2002.
- [7] Zaninović, K. et all, Određivanje karakterističnog opterećenja snijegom, Građevinar, Zagreb, 2001.
- [8] 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
- [9] EN 1990: Eurocode: Basis of structural design, European committee for standardization, Brussels, 2002.
- [10] Čizmar, D. Robusnost nosivih sustava drvenih rešetkastih nosača, doktorska disertacija, Zagreb, 2012.

AUTORI · AUTHORS**Dean Čizmar**

Nakon završenog studija radio je u tvrtki Ekonerg, a od 2006. na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu gdje je 2012. obranio je doktorsku disertaciju i 2013. biran u znanstveno zvanje viši znanstveni suradnik. Iste godine prelazi na TVZ. Koautor je dva sveučilišna udžbenika, 19 radova u časopisima (dva rada indeksirana u Curent Contents, šest radova u SCI-E) te više od 25 radova na međunarodnim skupovima. Njegovi interesi obuhvaćaju drvene konstrukcije, održivu gradnju, energetska učinkovitost, pouzdanost i robusnost konstrukcija. Ovlašteni je inženjer, stalni sudski vještak za graditeljstvo i procjenu nekretnina, te energetska certifikator. Na TVZ-u je predstojnik Zavoda za visokogradnju i konstrukcije.

Korespodencija

cizmar@tvz.hr

Šime Serdarević

Diplomirao je u srpnju 2015. godine na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, smjer Konstrukcije. U prosincu 2015. godine započinje se na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu gdje radi i danas. Na matičnoj ustanovi izvodi auditorne i konstruktivne vježbe iz predmeta Metalne konstrukcije, Drvene konstrukcije, Inženjerske građevine i Otpornost materijala. Tijekom rada na Tehničkom veleučilištu sudjelovao je na projektiranju objekata u fazama glavnog i izvedbenog projekta. Od 2018. godine ovlašteni je projektant. Radi praćenja struke sudjeluje u nizu radionica kompjuterskih programa za analizu i proračun konstruktivnih elemenata (Robot Structural Analysis, Scia Engineer, Nemetchek Allplan, Revit i AutoCAD). Primarni interesi rada i obrazovanja su modeliranje, proračun i analiza ponašanja čeličnih, drvenih i armiranobetonskih konstrukcija u visokogradnji.

Korespodencija

sime.serdarevic@tvz.hr

Ivan Volarić - nepromjenjena biografija nalazi se u časopisu Polytechnic & Design Vol. 5, No. 3, 2017.

Korespodencija

ivan.volaric@tvz.hr

Dalibor Gelo

Po završetku Graditeljske tehničke škole u Zagrebu 2000. godine upisuje se na Tehničko veleučilište u Zagrebu. Studij završava u roku i 2005. godine upisuje preddiplomski studij na Građevinskom fakultetu u Zagrebu. Preddiplomski studij završava 2008. godine, iste godine upisuje diplomski studij na Građevinskom fakultetu u Zagrebu a odlučuje se za usmjerenje Teorija i modeliranje konstrukcija. Tijekom studija dobiva dvije nagrade dekana. 2010. godine upisuje poslijediplomski studij na Građevinskom fakultetu u Zagrebu. 2016. godine brani Doktorski rad pod naslovom Ocjena primjenjivosti nelinearne metode postupnog guranja na niskoj građevini od kamena pod mentorstvom prof. dr. sc. Mladena Meštovića. Objavio je šest radova u zbornicima i časopisima. Koautor je skripte Proračun konstrukcija. 2010. godine započinje se u d.i.j.o. trgovini d.o.o. a paralelno radi na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu na predmetima Tehnička mehanika, Proračun konstrukcija i Građevna statika. 2013. godine stupa u puni radni odnos na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu.

Korespodencija

dalibor.gelo@tvz.hr