

# Analiza pouzdanosti drvenih lameliranih nosača

---

**Androić, Boris; Čizmar, Dean; Rajčić, Vlatka**

*Source / Izvornik:* **Građevinar, 2008, 60, 513 - 518**

**Journal article, Published version**

**Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:194802>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-26**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,  
University of Zagreb](#)



# Analiza pouzdanosti drvenih lameliranih nosača

Boris Androić, Dean Čizmar, Vlatka Rajčić

## Ključne riječi

drveni lamelirani nosač,  
indeks pouzdanosti,  
Eurokod 5,  
jednadžbe graničnih stanja, normirana vrijednost

## Key words

laminated timber girder,  
reliability index,  
Eurocode 5,  
limit state equations,  
standard value

## Mots clés

poutre laminé en bois,  
indice de fiabilité,  
Eurocode 5,  
équations d'état limite,  
valeur standard

## Ключевые слова

деревянная  
ламельированная балка,  
индекс надёжности,  
Еврокод 5,  
уравнения предельных состояний,  
нормированное значение

## Schlüsselworte

lamellierter Holzträger,  
Zuverlässigkeitsindex,  
Eurokode 5,  
Gleichungen der Grenzzustände,  
normierter Wert

B. Androić, D. Čizmar, V. Rajčić

Pregledni rad

## Analiza pouzdanosti drvenih lameliranih nosača

Prikazani su rezultati teorijskog istraživanja pouzdanosti drvenih lameliranih nosača. Početne dimenzije analiziranih nosača proračunate su prema Eurokodu 5. Za analizu pouzdanosti formirane su jednadžbe graničnih stanja sa stohastičkim vrijednostima osnovnih varijabli. Jednadžbe su riješene pojednostavljenim postupkom - metodom pouzdanosti prvog reda. Rješenjem su dobiveni indeksi pouzdanosti koji su uspoređeni s njihovim normiranim vrijednostima za razrede konstrukcija RC2 i RC3.

B. Androić, D. Čizmar, V. Rajčić

Subject review

## Reliability analysis for laminated timber girders

Results of the theoretical study aimed at determining reliability of laminated timber girders are presented. Initial dimensions of the analyzed girders are calculated according to Eurocode 5. Limit state equations with stochastic values of basic variables were formed for purposes of this reliability analysis. The equations were solved using the simplified procedure, i.e. the first-order reliability method. Reliability indices obtained as results of this study were compared with the corresponding standard values for structural categories RC2 and RC3.

B. Androić, D. Čizmar, V. Rajčić

Ouvrage de synthèse

## Analyse de fiabilité pour les poutres laminées en bois

Les résultats de l'étude théorique visant à déterminer la fiabilité des poutres laminées en bois sont présentés. Les dimensions initiales des poutres analysées sont calculées selon l'Eurocode 5. Les équations d'état limite, avec les valeurs stochastiques des variables de base, ont été formées pour la présente analyse de fiabilité. Les équations ont été résolues en utilisant le procédé simplifié, c'est-à-dire la méthode de fiabilité du premier ordre. Les indices de fiabilité obtenus comme résultats de la présente étude ont été comparés avec les valeurs standard correspondantes relatives aux catégories structurelles RC2 et RC3.

Б. Андрич, Д. Чизмар, В. Райчић

Обзорная работа

## Анализ надёжности деревянных ламелированных балок

В работе показаны результаты теоретического исследования надёжности деревянных ламелированных балок. Начальные размеры анализируемых балок рассчитаны согласно Еврокоду 5. Для анализа надёжности сформированы уравнения предельных состояний с стохастическими значениями базисных переменных. Уравнения решены упрощённым способом - методом надёжности первого порядка. Решением получены индексы надёжности, которые сравнены с их нормированными значениями для класса конструкций RC2 и RC3.

B. Androić, D. Čizmar, V. Rajčić

Übersichtsarbeit

## Analyse der Zuverlässigkeit von lamellierten Holzträgern

Dargestellt sind die Ergebnisse der theoretischen Untersuchung der Zuverlässigkeit von lamellierten Holzträgern. Die anfänglichen Grössen der analysierten Träger sind nach dem Eurokode 5 berechnet. Für die Zuverlässigkeitsanalyse formierte man Gleichungen der Grenzzustände mit stochastischen Werten der Grundvariablen. Die Gleichungen löste man mit einem vereinfachten Verfahren - der Zuverlässigkeitsmethode ersten Grades. Durch die Lösung erreichte man die Zuverlässigkeitsindizes die mit deren normierten Werten für die Konstruktionsklasse RC2 und RC3 verglichen wurden.

Autori: Prof. dr. sc. **Boris Androić**, dipl. ing. građ.; **Dean Čizmar**, dipl. ing. građ.; prof. dr. sc. **Vlatka Rajčić**, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb

## 1 Uvod

Primarna funkcija svih nosivih konstrukcija uvijek je sadržana u preuzimanju opterećenja koja djeluju na građevinu. Pritom je osnovni postulat dostatna pouzdanost konstrukcije protiv otkazivanja, koje ne mora nužno biti urušavanje konstrukcije ili razaranje nekoga konstrukcijskog elementa, nego to može biti i oštećenje ili deformiranje koja ugrožava funkcionalnost. Općenito djelovanje i otpornost konstrukcije čini niz parametara i veličina koje su slučajne, dakle stohastičke veličine gdje je slučajnost opisana slučajnim veličinama. U teoriji pouzdanosti te se veličine nazivaju osnovnim varijablama.

Europskim normama [4] i [5] pouzdanost se određuje po konceptu graničnih stanja primjenom odgovarajućih parcijalnih koeficijenata, odnosno utvrđuje se da u svim odgovarajućim proračunskim situacijama granična stanja nisu premašena kad su u proračunskim modelima upotrijebljene proračunske vrijednosti djelovanja i svojstva materijala. Statističkim su metodama određene fraktilne vrijednosti djelovanja i otpornosti. To su tzv. karakteristične vrijednosti na strani otpornosti i djelovanja na konstrukciju. Svako od tih karakterističnih veličina dodjeljuje se u jednadžbi graničnog stanja parcijalni koeficijent koji bi trebao obuhvatiti nepouzdanosti na strani djelovanja odnosno otpornosti. Parcijalni koeficijenti određeni su uzimanjem u obzir duge i uspješne povijesti graditeljske tradicije, a ne na temelju statističkih procjena eksperimentalnih podataka [4]. Svrha je ovoga rada analiza i usporedba pouzdanosti lameliranog nosača proračunanog na razini I (eurokodovi) i razini II (metoda prvog reda – FORM – First Order Reliability Method). Treba napomenuti da je primjer lameliranog nosača konstantnog presjeka izabran iz edukativnih razloga iako se često rabe i ostali oblici lameliranog nosača kao npr. trapezni, sedlasti i zakrivljeni. U radu će biti detaljno analizirana pouzdanost nosača raspona 8 do 12 metara koji su dimenzionirani prema Eurokodu 5 [5].

## 2 Statički sustav i dimenzioniranje

Statički se sustav sastoji od grede koja je na krajevima zglobno oslonjena. Materijal je drvo BS16h prema njemačkom nacionalnom dokumentu za primjenu [3]. Konstrukcija je opterećena stalnim opterećenjem i snijegom, lokacija je područje Ogulina, oko 600 m n.v. Stalno opterećenje jest 1 kN/m<sup>2</sup> (pretpostavljeno, vlastita težina nije uzeta u obzir), a karakteristično opterećenje snijegom  $s_k = 3,13$  kN/m<sup>2</sup> [3]. Konstrukcija je dimenzionirana sukladno Eurokodu 5 [5] prema graničnom stanju nosivosti na posmik i savijanje te graničnom stanju uporabljivosti. Izrazi prema Eurokodu 5 [5] za dimenzioniranje nosača dani su u jednadžbama (1) - (3). U ovom radu nije analizirano bočno torzijsko izvijanje nosača jer je usvojena

pretpostavka da je nosač bočno pridržan. Kao jedini uvjet uporabljivosti izabran je uvjet da trenutni progib bude manji od  $L/300$ . Vrijednost modifikacijskog koeficijenta  $k_{mod}$  kojim se uzima smanjenje mehaničkih karakteristika materijala zbog dugotrajnog opterećenja te vlažnosti jest s obzirom na kratko trajanje opterećenja i prvi razred vlažnosti uzet  $k_{mod} = 0,9$ . U ovom radu nisu analizirani dugotrajni učinci smanjenja mehaničkih karakteristika i povećanja progiba.

### 2.1 Krajnje granično stanje:

Dokaz na savijanje:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = 0,75 \cdot \frac{e \cdot (\gamma_G \cdot g + \gamma_Q \cdot p) \cdot l^2}{b \cdot h^2} \quad (1)$$

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,v,k}}{\gamma_M}$$

gdje je:

|                  |   |
|------------------|---|
| $\sigma_{m,y,d}$ | proračunska vrijednost naprezanja zbog savijanja                      |
| $f_{m,y,d}$      | proračunska čvrstoća na savijanje                                     |
| $f_{m,v,k}$      | karakteristična čvrstoća na savijanje                                 |
| $M_{y,d}$        | proračunski moment savijanja  |
| $W_y$            | proračunski moment otpora poprečnog presjeka                          |
| $e$              | razmak glavnih nosača   |
| $\gamma_G$       | parcijalni koeficijent za stalno opterećenje                          |
| $\gamma_Q$       | parcijalni koeficijent za promjenjivo opterećenje                     |
| $g$              | karakteristična vrijednost stalnog opterećenja po m <sup>2</sup>      |
| $p$              | karakteristična vrijednost promjenjivog opterećenja po m <sup>2</sup> |
| $l$              | raspon glavnog nosača   |
| $b$              | širina poprečnog presjeka   |
| $h$              | visina poprečnog presjeka   |
| $\gamma_M$       | parcijalni koeficijent za materijal                                   |

Dokaz na posmik:

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{b \cdot h} = 1,5 \cdot \frac{e \cdot (\gamma_G \cdot g + \gamma_Q \cdot p) \cdot l}{2 \cdot b \cdot h} \quad (2)$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M}$$

gdje je:

|           |  |
|-----------|--|
| $\tau_d$  | proračunska vrijednost naprezanja zbog posmika |
| $f_{v,k}$ | karakteristična čvrstoća na posmik             |
| $f_{v,d}$ | proračunska čvrstoća na posmik                 |
| $V_d$     | proračunska poprečna sila                      |

## 2.2 Granično stanje uporabljivosti

$$f_d = \frac{5}{384} \cdot \frac{e \cdot (g+p) \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} \leq \frac{l}{300} \quad (3)$$

gdje je:

$f_d$  proračunski progib

$E_{0,mean}$  srednji modul elastičnosti

$I_y$  moment tromosti oko jače osi

Na osnovi prethodno definiranih jednadžbi provedeno je dimenzioniranje nosača. Na temelju prethodno navedenih jednadžbi određena je potrebna visina nosača i u ovisnosti o rasponu dana u tablici 1. Pri tome je usvojena potpuna iskoristivost poprečnog presjeka.

Tablica 1. Potrebne visine poprečnog presjeka u ovisnosti o rasponu i tipu jednadžbe graničnog stanja

| Raspon [m] | Savijanje<br>Visina nosača [cm] | Posmik<br>Visina nosača [cm] | GSU<br>Visina nosača [cm] |
|------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| 8          | 60                              | 46                           | 58                        |
| 8,2        | 61                              | 47                           | 59                        |
| 8,4        | 63                              | 48                           | 61                        |
| 8,6        | 64                              | 49                           | 62                        |
| 8,8        | 66                              | 51                           | 63                        |
| 9          | 67                              | 52                           | 65                        |
| 9,2        | 69                              | 53                           | 66                        |
| 9,4        | 70                              | 54                           | 68                        |
| 9,6        | 72                              | 55                           | 69                        |
| 9,8        | 73                              | 56                           | 71                        |
| 10         | 75                              | 57                           | 72                        |
| 10,2       | 76                              | 59                           | 73                        |
| 10,4       | 78                              | 60                           | 75                        |
| 10,6       | 79                              | 61                           | 76                        |
| 10,8       | 81                              | 62                           | 78                        |
| 11         | 82                              | 63                           | 79                        |
| 11,2       | 83                              | 64                           | 81                        |
| 11,4       | 85                              | 65                           | 82                        |
| 11,6       | 86                              | 67                           | 83                        |
| 11,8       | 88                              | 68                           | 85                        |
| 12         | 89                              | 69                           | 86                        |

## 3 Formiranje jednadžbi graničnog stanja

Za potrebe probabilističke analize nosača formirat će se tri jednadžbe graničnog stanja: s obzirom na savijanje, posmik i progib.

Jednadžba graničnog stanja nosivosti za poprečni presjek nosača u općem obliku prema radu [7] glasi:

$$g(X) = z_d \cdot R \cdot X_M - \sum_i S_i = 0 \quad (4)$$

gdje je  $z_d$  proračunska vrijednost geometrijskih podataka,  $R$  otpornost,  $\sum_i S_i$  učinci od svih djelovanja, a  $X_M$

faktor nepouzdanosti proračunskog modela.

Jednadžba graničnog stanja uporabljivosti u općem slučaju glasi [7]:

$$g(t) = \delta_L - W_\Delta(\sum S_i, E_{0,mean}, t) \cdot X_M = 0 \quad (5)$$

Gdje je  $\delta_L$  dopušteni progib,  $W_\Delta(\sum S_i, E_{0,mean}, t)$  je progib u vremenu  $t$ , ovisan o djelovanjima ( $S_i$ ) i modulu elastičnosti ( $E_{0,mean}$ ) a  $X_M$  je faktor nepouzdanosti proračunskog modela.

U našem slučaju jednadžba graničnog stanja neće biti ovisna o vremenu, odnosno jednadžba će biti formulirana za  $t = 0$ .

## 3.1 Jednadžbe graničnog stanja nosivosti:

Savijanje:

$$g(X) = X_1 \cdot \frac{X_2 \cdot X_3^2}{6} \cdot X_4 - \frac{5}{8} \cdot l^2 (X_5 + X_6) = 0 \quad (6)$$

Posmik:

$$g(X) = X_1 \cdot X_7 - \frac{3,75 \cdot l \cdot (X_5 + X_6)}{X_2 \cdot X_3} = 0 \quad (7)$$

## 3.2 Jednadžba graničnog stanja uporabljivosti:

$$g(X) = \frac{l}{300} - X_1 \cdot \frac{l^4 \cdot (X_5 + X_6)}{128 \cdot X_8 \cdot X_2 \cdot X_3^3} = 0 \quad (8)$$

gdje su:

$X_1$  - faktor nepouzdanosti proračunskog modela

$X_2$  - širina nosača

$X_3$  - visina nosača

$X_4$  - otpornost na savijanje

$X_5$  - stalno opterećenje

$X_6$  - opterećenje snijegom

$X_7$  - otpornost na posmik

$X_8$  - modul elastičnosti

$l$  - duljina nosača

Valja napomenuti da se faktor nepouzdanosti proračunskog modela razlikuje u tome radi li se o jednadžbi graničnog stanja nosivosti ili graničnog stanja uporabljivosti, odnosno ovisno o nepouzdanosti na strani djelovanja ili otpornosti. S obzirom da su pretpostavljeni statistički

parametri faktora nepouzdanosti i na strani djelovanja i otpornosti u ovom radu jednaki, možemo formulirati sve jednadžbe (6)-(8) s osnovnom varijablom  $X_1$ .

#### 4 Modeliranje osnovnih varijabli

U poglavlju 3. definirane su jednadžbe graničnog stanja. U ovom ćemo poglavlju definirati osnovne varijable. Problem definiranje tih varijabli nije jednoznačan jer je u literaturi vrlo teško naći odgovarajuće funkcije raspodjele i koeficijente varijacije pojedinih varijabli. Pri odabiru funkcija upotrijebljene su preporuke dane u [6], [7], [11] i [13].

- a) Faktor nepouzdanosti proračunskog modela ( $X_1$ ) – pretpostavlja se lognormalna raspodjela, koeficijent varijacije  $V = 0,1$
- b) Širina nosača ( $X_2$ ) – pretpostavlja se normalna raspodjela s koeficijentom varijacije  $V = 0,01$
- c) Visina nosača ( $X_3$ ) - pretpostavlja se normalna raspodjela s koeficijentom varijacije  $V = 0,01$
- d) Otpornost na savijanje ( $X_4$ ) - pretpostavlja se lognormalna raspodjela, koeficijent varijacije  $V = 0,15$ .

Karakteristična otpornost na savijanje dana je normama kao 5% fraktila:

$$X_{4,k} = 3,2 \text{ kN/cm}^2 \quad (9)$$

Iz matematičke definicije koeficijenta varijacije dobiven je parametar raspodjele  $\sigma$  (10) gdje je:

$V[X]$  varijacija

$E[X]$  matematičko očekivanje.

$$V = \frac{\sqrt{V[X]}}{E[X]} = \sqrt{e^{\sigma^2} - 1} \quad (10)$$

Iz toga slijedi (11):

$$\sigma = \sqrt{\ln(1 + V^2)} = 0,1492$$

Ako sa  $F(x)$  označimo kumulativnu funkciju lognormalne raspodjele, s  $\Phi$  kumulativnu funkciju standardne normalne raspodjele, sukladno izrazu (12), dobiven je drugi parametar raspodjele  $\mu$  (13).

$$F(X) = \Phi\left(\frac{\ln X - \mu}{\sigma}\right) = 0,05 \quad (12)$$

$$\mu = 1,4085 \quad (13)$$

Dobivši oba parametra lognormalne raspodjele ( $\mu$  i  $\sigma$ ) možemo proračunati srednju vrijednost osnovne varijable (14):

$$\overline{X_3} = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}} = 4,14 \text{ kN/cm}^2 \quad (14)$$

- e) Stalno opterećenje ( $X_5$ ), srednja vrijednost  $\overline{X_5} = 1 \text{ kN/m}^2$ , koeficijent varijacije  $V = 0,1$ , normalna raspodjela

- f) Opterećenje snijegom ( $X_6$ ), srednja vrijednost  $\overline{X_6} = 1,54 \text{ kN/m}^2$  koeficijent varijacije  $V = 0,416$ , Gumbelova raspodjela.

Podaci o opterećenju snijegom preuzeti su iz rada Zanimović i dr. [14], gdje su istraživane karakteristike snježnog režima, te je s pomoću podataka o sadržaju vode u snijegu i visini snježnog pokrivača određeno karakteristično opterećenje snijegom.

- g) Otpornost na posmik ( $X_7$ ) - koeficijent varijacije  $V = 0,15$ , lognormalna raspodjela

Karakteristična otpornost na posmik dana je normama kao 5 %-tna fraktila:

$$X_{7,k} = 0,27 \text{ kN/cm}^2 \quad (15)$$

Koristeći se istim jednadžbama kao u (10)-(13) dobivamo:

$$\overline{X_7} = 0,349 \text{ kN/cm}^2 \quad (16)$$

- h) Modul elastičnosti ( $X_8$ ) - koeficijent varijacije  $V = 0,12$ , normalna raspodjela (proračun jednak kao što je prije definirano (10)-(13).

Duljina nosača  $l = 1000 \text{ cm}$  i razmak glavnih nosača  $e = 500 \text{ cm}$  modelirani su kao konstantne vrijednosti.

U tablici 2. prikazane su sve osnovne varijable s pripadajućim tipom raspodjele, srednjom vrijednošću, standardnom devijacijom i koeficijentom varijacije.

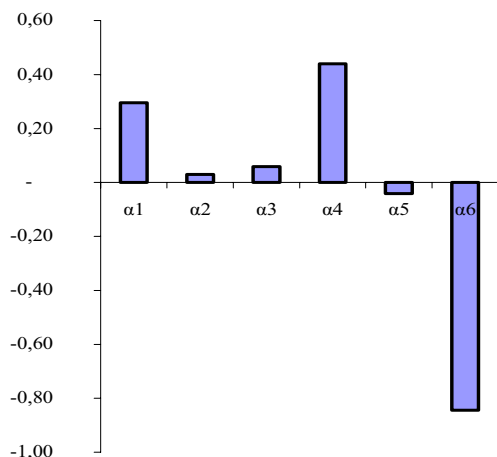
Tablica 2. Statističke vrijednosti parametara osnovnih varijabli

| Bazna varijabla          | Raspodjela<br>N – normalna<br>L – lognormalna<br>G – Gumbelova | Srednja vrijednost $X_i$ | Standardna devijacija $\sigma_i$ | Koeficijent varijacije $V_i$ |
|--------------------------|--|--------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| X1                       | L  | 1                        | 0,1                              | 0,1                          |
| X2 [cm]                  | N  | 18                       | 0,18                             | 0,01                         |
| X3 [cm]                  | N  | 90                       | 0,9                              | 0,01                         |
| X4 [kN/cm <sup>2</sup> ] | L  | 4,14                     | 0,621                            | 0,15                         |
| X5 [kN/m <sup>2</sup> ]  | N  | 1                        | 0,1                              | 0,1                          |
| X6 [kN/m <sup>2</sup> ]  | G  | 1,54                     | 0,64                             | 0,416                        |
| X7 [kN/cm <sup>2</sup> ] | L  | 0,349                    | 0,052                            | 0,15                         |
| X8 [kN/cm <sup>2</sup> ] | L  | 1350                     | 162                              | 0,12                         |

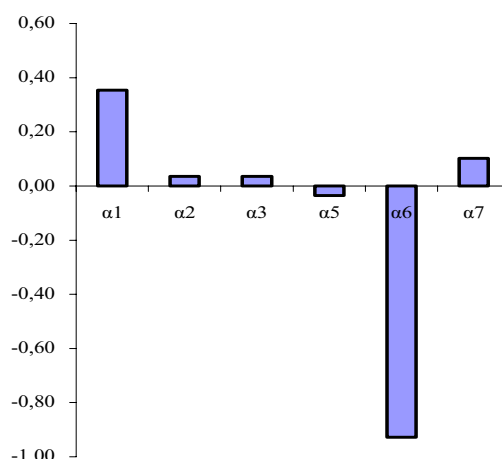
### 5 Analiza dobivenih rezultata

U tablici 3. prikazani su proračunani i normirani indeksi pouzdanosti za nosač raspona 10 metara s obzirom na postavljene jednadžbe graničnog stanja. Odabran je razred pouzdanosti (RC) 2. Prema Eurokodu 0 [4] to je srednji razred pouzdanosti kojem pripada srednji razred posljedica (znatni ljudski i materijalni gubici). Primjeri konstrukcija razreda RC2 su stambene i uredske građevine.

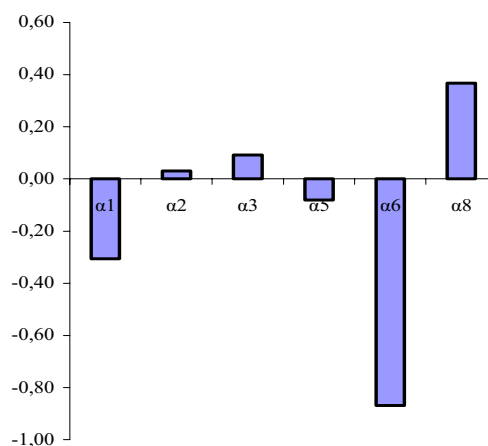
Vidi se da je pouzdanost nosača s obzirom na posmik najveća i iznosi 5,55. U slučaju savijanja pouzdanost je približno jednaka i iznosi 4,5. Jednadžba graničnog stanja uporabljivosti pokazuje indeks pouzdanosti od 1,9. Na slikama 1., 2. i 3. prikazani su faktori osjetljivosti redom za savijanje, posmik i progib. Iz prve se slike vidi da najveću važnost u jednadžbi graničnog stanja imaju čvrstoća na savijanje, opterećenje snijegom te faktor nepouzdanosti. Ostale veličine nemaju gotovo nikakvog utjecaja. Slika 2. prikazuje da najveću osjetljivost u jednadžbi graničnog stanja ima opterećenje snijegom, zatim faktor nepouzdanosti te posmična čvrstoća. U slučaju progiba postoje tri dominantne varijable – opterećenje snijegom na strani djelovanja te modul elastičnosti i visina nosača na strani otpornosti. U svim jednadžbama graničnog stanja izuzetno male faktore osjetljivosti ima stalno opterećenje. Stalno se opterećenje moglo tretirati kao determinističku veličinu.



Slika 1. Faktori osjetljivosti (savijanje)



Slika 2. Faktori osjetljivosti (posmik)



Slika 3. Faktori osjetljivosti (progib)

Analizirani su nosači raspona 8 do 12 metara, dakle 21 raspon što čini ukupnu 63 jednadžbi graničnog stanja. U jednadžbama graničnog stanja umjesto  $l$  stavljamo:

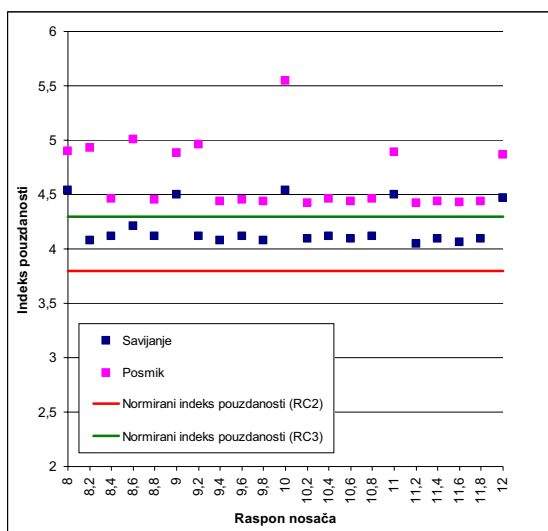
$$l_x = k \cdot l, \quad k \in [0,8, 1,2] \quad (11)$$

Visina nosača, dakle osnovna varijabla  $X_3$ , mijenja se sukladno tablici 1., dok su ostale varijable iste kao u tablici 2.

Na slikama 4. i 5. prikazani su proračunom dobiveni indeksi pouzdanosti te normirani prema Eurokodu 0 [4] (razredi RC2 i RC3 – prikazani linijama).

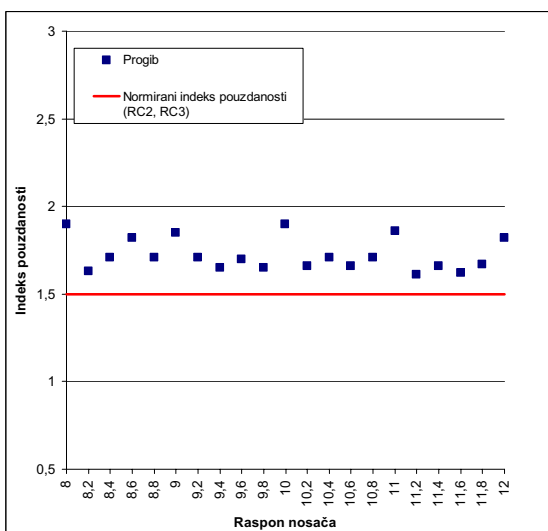
Tablica 3. Proračunani i normirani indeksi pouzdanosti

| Jednadžba graničnog stanja     | Proračunani indeks pouzdanosti | Vjerojatnost otkazivanja $P_f$ | Normirani indeks pouzdanosti (EN 1990) 50 god. (razred RC2) | Vjerojatnost otkazivanja $P_f$ |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|
| Otpornost na savijanje         | 4,54                           | $2,82 \times 10^{-6}$          | 3,8   | $7,23 \times 10^{-5}$          |
| Otpornost na posmik            | 5,55                           | $1,43 \times 10^{-6}$          | 3,8   | $7,23 \times 10^{-5}$          |
| Granično stanje uporabljivosti | 1,90                           | $2,80 \times 10^{-2}$          | 1,5   | $6,70 \times 10^{-2}$          |



$\beta=4,2$   
 $\beta=3,8$

Slika 4. Indeks pouzdanosti za raspone 8 do 12 metara za granično stanje nosivosti



$\beta=1,5$

Slika 5. Indeks pouzdanosti za raspone 8 do 12 metara za granično stanje uporabljivosti

Razina pouzdanosti dobivena prema razini II (savijanje i posmik) veća je od one zahtijevane normom Eurokod 0 [4] za konstrukcije razreda RC2. Za konstrukcije višeg razreda (RC3) pouzdanost je bitno manja te svega 20 % uzoraka ima pouzdanost veću od normirane. U slučaju savijanja minimalni je indeks pouzdanosti 4,08, a u slučaju posmika 4,42. Indeks pouzdanosti s obzirom na granično stanje uporabljivosti iznosi najmanje 1,61, tako da konstrukcije razreda RC2 i RC3 zadovoljavaju provjeru pouzdanosti.

## 6 Zaključak

U radu su uspoređene pouzdanosti lameliranog nosača proračunanog na razini I (eurokodovi) i razini II (metoda prvog reda – FORM – *First Order Reliability Method*). Analizirane su 3 jednadžbe graničnog stanja za nosače raspona 8 - 12 metara. Dobiveni su indeksi pouzdanosti veći od normiranih za konstrukcije razreda RC2 prema normi [4], osobito za jednadžbu graničnog stanja nosivosti s obzirom na posmik. Kod konstrukcija najvišeg razreda (RC3) situacija je bitno drukčija – svega 20 % nosača ima razinu pouzdanosti veću ili jednaku normiranoj prema Eurokodu 0 [4]. Ovo nas navodi na zaključak da se povećanjem zahtjeva na konstrukciju, razina pouzdanosti konstrukcija dimenzioniranih prema Eurokodu 5 [5] bitno mijenja te je ona za konstrukcije razreda RC3 nedostatan. S obzirom na dobivene rezultate, autori predlažu da se za drvene konstrukcije razreda RC3 svakako provede probabilistička analiza (razina II) jer je iz navedenog razvidno da je u ovom slučaju proračun isključivo prema Eurokodu 5 [5] nedostatan. Za konstrukcije čija bi zahtijevana pouzdanost bila veća od razreda RC3, probabilistički je proračun nužan jer norme [4] i [5] ne nude mogućnost proračuna ovih razreda konstrukcija.

## LITERATURA

- [1] Androić, B.; Dujmović, D.; Džeba, I.: *Metalne konstrukcije 4*, IAP, Zagreb, 2003.
- [2] Androić, B.; Dujmović, D.; Džeba, I.: *Inženjerstvo pouzdanosti 1*, IA Projektiranje, Zagreb, 2006.
- [3] Bjelanović, A.; Rajčić, V.: *Drvene konstrukcije prema Europskim normama*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Hrvatska sveučilišna naklada, 2007.
- [4] EN 1990: *Eurocode - Basis of structural design*, European committee for standardization, Brussels, 2001.
- [5] EN 1995-1-1: *Eurocode – Design of timber structures: Common rules and rules for buildings*, European committee for standardization, Brussels, 2003.
- [6] Faber, H.V et al., *Probabilistic Model Code*, JCSS Publication, 2001.
- [7] Koehler, J.; Sørensen, J. D.; Faber, H.V.: *Probabilistic modeling of timber structure*, Structural Safety, pp. 255-267, 2007.
- [8] Milčić, V.; Peroš, B.: *Uvod u teoriju sigurnosti nosivih konstrukcija*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split, 2003.
- [9] Pulić, D.: *Kalibracija tankostijenih trapezних limova obzirom na opterećenje snijegom u Republici Hrvatskoj*, magistarski rad, Zagreb, 2002.
- [10] Struel user manual, RCP GmbH Group, Muenchen, 2004.
- [11] Tkalčević, V.: *Pouzdanost sačastih nosača iz aspekta bočnog izvijanja*, disertacija, Zagreb, 2006.
- [12] Tkalčević, V.; Džeba, I.; Androić, B.: *Pouzdanost sačastih nosača na bočno-torzijsko izvijanje*, GRAĐEVINAR 59 (2007), 4, 311-318
- [13] Torradi, T.; Schnabl, S.; Turk, G.: *Reliability analysis of glulam beam*, Probabilistic Concepts in the Design of Timber Structures, Structural safety, pp. 279-293., 2007.
- [14] Zaninović, K.; Gajić-Čapka, M.; Androić, B.; Džeba, I.; Dujmović, D.: *Određivanje karakterističnog opterećenja snijegom*, Zagreb, Građevinar 53 (2001) 10, 619-629