

# Primjena odabranih modela puzanja kod lijepljenih lameliranih nosača od graba

---

Lovrić Vranković, Jelena; Boko, Ivica; Uzelac Glavinić, Ivana

*Source / Izvornik:* Zajednički temelji 2023. - uniSTem : deseti skup mladih istraživača iz područja građevinarstva i srodnih tehničkih znanosti, Split, 14.-17. rujna, 2023. : zbornik radova, 2023, 56 - 61

Conference paper / Rad u zborniku

*Publication status / Verzija rada:* **Published version / Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

<https://doi.org/10.31534/10.ZT.2023.17>

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:811295>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-10-03**



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UDRUGA  
HRVATSKIH  
GRAĐEVINSKIH  
FAKULTETA



<https://doi.org/10.31534/10.ZT.2023.17>

## PRIMJENA ODABRANIH MODELA PUZANJA KOD LIJEPLJENIH LAMELIRANIH NOSAČA OD GRABA

Jelena Lovrić Vranković<sup>1</sup>, Ivica Boko<sup>1</sup>, Ivana Uzelac Glavinić<sup>1</sup>

(1) *Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Hrvatska, [jlovric@gradst.hr](mailto:jlovric@gradst.hr);  
[iboko@gradst.hr](mailto:iboko@gradst.hr); [iuzelac@gradst.hr](mailto:iuzelac@gradst.hr)*

### Sažetak

U ovom radu prikazana je primjena tri odabrana modela za opisivanje puzanja lijepljenih lameliranih nosača (LLN) izrađenih od graba (*Carpinus betulus* L.) i opterećenih konstantnom silom tijekom razdoblja od tri mjeseca. Odabrani modeli su 'power law', Norton-Bailey i Burgerov model. Istraživanja su provedena u Laboratoriju za konstrukcije Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije (FGAG) u Splitu. LLN-i su ispitani na savijanje u 4 točke na način da su opterećeni silom koja iznosi 30 % maksimalne sile dobivene prethodno provedenim kratkotrajnim testovima na gredama istih dimenzija. Usporedbom koeficijenata determinacije dobivenih programskim paketom Matlab može se uočiti da se sva tri modela mogu koristiti za predviđanje ponašanja LLN-a izloženog dugotrajnom konstantnom opterećenju.

*Cljučne riječi: puzanje, lijepljeno lamelirano drvo, grab*

## THE APPLICATION OF SELECTED CREEP MODELS FOR GLULAM MADE FROM EUROPEAN HORNBEAM

### Abstract

This paper presents the application of selected models in order to determine the creep behavior of glued laminated timber beams (glulam) made from European hornbeam (*Carpinus betulus* L.) and loaded with a constant force during a period of three months. The selected models are the 'power law', Norton-Bailey, and Burger's model. The investigations were performed in the Construction Laboratory of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy in Split. Four-point bending tests were performed on glulam beams with an applied load level of 30% of the maximum force obtained from previously conducted short-term tests. The comparison was made between the coefficients of determination obtained in Matlab for each model. It can be concluded that all three of the selected models can be successfully applied in order to describe the creep behavior of glulam beams under long-term loading.

*Keywords: creep, glued laminated timber, European hornbeam*

## 1. Uvod

Tijekom nekoliko posljednjih desetljeća lijepljeni lamelirani nosači (LLN) dominantno su se, s obzirom na veliku dostupnost, povoljna mehanička svojstva i laku obradivost, izrađivali od drva četinjača (jela, smreka, bor, itd.). Klimatske promjene i kontinuirano pošumljavanje četinjača utjecali su na porast udjela tvrdih listača u europskim šumama što je potaknulo intenzivna istraživanja lijepljenih lameliranih nosača, kao i ostalih proizvoda na bazi tvrdih listača. Europski standardi sadrže zahtjeve za proizvodnju i projektiranje lameliranih nosača od drva četinjača [1, 2]. U 2021. godini Europska organizacija za tehničko ocjenjivanje izdala je dokument European Assessment Document (EAD) [3] za LLN od tvrdog drva, no s ograničenjem na nekoliko vrsta tvrdog drva. Sukladno tome, provedena su brojna istraživanja kako bi se dokazao potencijal primjene tvrdih drva te formirao jedinstveni europski standard za LLN od tvrdog drva.

Granično stanje uporabivosti (GSU) često je odlučujući kriterij prilikom dimenzioniranja drvenih elemenata. Sukladno Eurocodu 5, GSU definira proračun konačnog progiba  $u_{fin}$  uslijed stalnog opterećenja sukladno sljedećem izrazu (1):

$$u_{fin} = u_{inst}(1 + k_{def}) \quad (1)$$

gdje  $u_{inst}$  predstavlja trenutni progib, dok  $k_{def}$  predstavlja faktor deformacije definiran ovisno o razredu uporabe, odnosno vlažnosti. Očekivane vrijednosti  $k_{def}$  su između 0,6 za razred uporabe 1 i vrijednosti 2 za razred uporabe 3 gdje je progib od puzanja dvostruko veći od trenutnog progiba. Općenito, puzanje materijala može se opisati u tri faze. Prva faza uključuje kontinuirani rast deformacije (opadanje brzine deformacije), sekundarna faza obuhvaća linearnu krivulju puzanja (konstantna brzina deformacije), dok tercijarna faza uključuje nagli porast brzine deformacije i lom.

S obzirom da je drvo prirodan i anizotropan materijal, mnogi parametri utječu na puzanje drvenih elemenata kao što su: vlažnost, temperatura, relativna vlažnost, vrsta opterećenja, veličina elementa, čvorovi, otklon vlaknaca, itd. Sukladno tomu, ne postoji standardizirana metoda za opisivanje vremenski ovisnog ponašanja drvenih elemenata uslijed konstantnog opterećenja. Eksperimentalno je potvrđeno da se drvo ponaša kao linearno viskoelastičan materijal pri nižim vrijednostima naprežanja [4-6]. Isto tako, dugotrajna opterećenja niža od 45 - 60 % maksimalne sile dobivene kratkotrajnim testom ne uzrokuju otkazivanje elementa [7]. Trenutno, prema saznanjima autora ne postoje istraživanja provedena na lameliranim nosačima od graba osim studije Moosavi-ja [8] koji je proveo testove puzanja na malim uzorcima od punog drva graba.

Nekoliko matematičkih i reoloških modela razvijeno je kako bi se procijenili parametri puzanja linearnih i nelinearnih materijala u uvjetima s konstantnom i promjenjivom temperaturom te relativnom vlažnosti. Dosadašnje studije opisuju puzanje materijala u različitim aspektima koji uključuju progibe, popustljivost, relativni progib, relativne deformacije, itd. [9, 10]. Neki od modela uspoređeni u ovom radu su 'power law', Norton-Bailey i Burgerov model. Burgerov model ili četveroparametarski model s parametrima a, b, c i d jedan je od najčešće korištenih

reoloških modela za opisivanje vremenski ovisnih deformacija viskoelastičnih materijala, a prikazan je sljedećim izrazom (2):

$$\varepsilon(t) = a + b(1 - e^{-ct}) + dt \quad (2)$$

Nekoliko autora [7,9] pokazalo je kako je 'power law' funkcija najprikladnija za opisivanje puzanja uzoraka od smreke i bukve uslijed savijanja, a definirana je jednačbom (3):

$$\varepsilon(t) = at^b + \varepsilon_0 \quad (3)$$

Norton-Bailey funkciju definiramo koristeći izraz (4):

$$\varepsilon(t) = a\sigma^b t^c \quad (4)$$

U ovom radu prikazani su parametri i koeficijenti determinacije za svaku od prethodno navedenih jednačbi u usporedbi s krivuljama puzanja dobivenim eksperimentalnim testovima na dva LLN-a (LLN-1 i LLN-2) od graba.

## **2. Eksperimentalno ispitivanje**

### **2.1. Kratkotrajni testovi na savijanje**

LLN-i proizvedeni su od lokalnog drva grab (*Carpinus betulus* L.) od strane tvrtke Drvene konstrukcije d.o.o. Udio graba u šumama RH je 8,4 %, a dosada se, uglavnom, koristio za ogrjev. Prije nanošenja ljepila lamele su površinski obrađene blanjanjem na debljinu od 2 cm nakon čega je izmjerena vlažnost pojedine lamele (8 - 15 %) i gustoća (790 kg/m<sup>3</sup>). Prilikom izrade LLN-a korišteno je ljepilo melamin-urea-formaldehid (Prefere 4535+5035). Konačno, LLN-i su blanjani sa svake strane kako bi se dobili nosači dimenzija 60x80x1700 mm, bez zupčastog spoja. Testovi na savijanje u 4 točke provedeni su u Laboratoriju za konstrukcije (FGAG) na okviru Automax Multitest [11, 12]. Opterećenje se simetrično nanosilo s dva cilindra na način da se maksimalna sila ( $F_{max}$ ) dosegne u vremenskom intervalu od 300±120 s. Progibi su mjereni LVDT-ima povezanim s HBM akvizicijskim sustavom. Izmjerena prosječna maksimalna sila pri kojoj su grede otkazale iznosila je 30,64 kN.

### **2.2. Puzanje LLN-a**

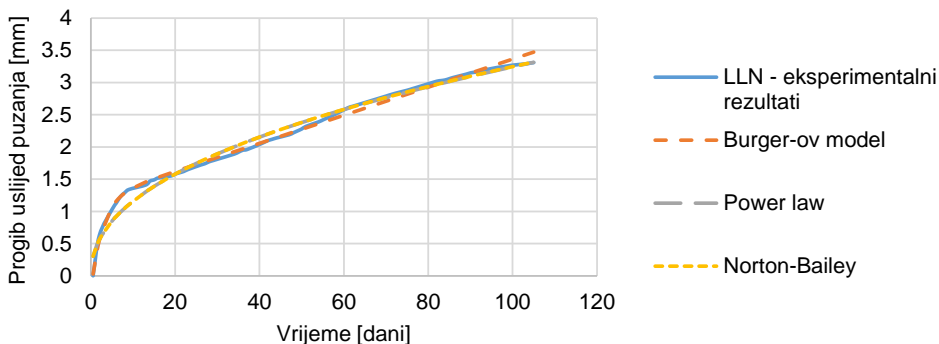
LLN-i su kondicionirani u identičnim uvjetima prije provođenja testova puzanja u Laboratoriju za konstrukcije (FGAG). Grede raspona 1500 mm postavljene su simetrično na ležajeve od inox-a i opterećene na savijanje u 4 točke s konstantnom silom koja iznosi 30 %  $F_{max}$ . Opterećenje se nanosilo betonskim kockama kako je prikazano na Slici 1. Početni elastični vertikalni progib očitao je neposredno nakon nanošenja opterećenja s mikrourom Mituyoto, s preciznošću od 0,01 mm. Progibi su očitavani svaki dan tijekom razdoblja od 3 mjeseca. Isto tako, temperatura i relativna vlažnost laboratorija, kao i vlažnost nosača, očitavani su na dnevnoj razini.



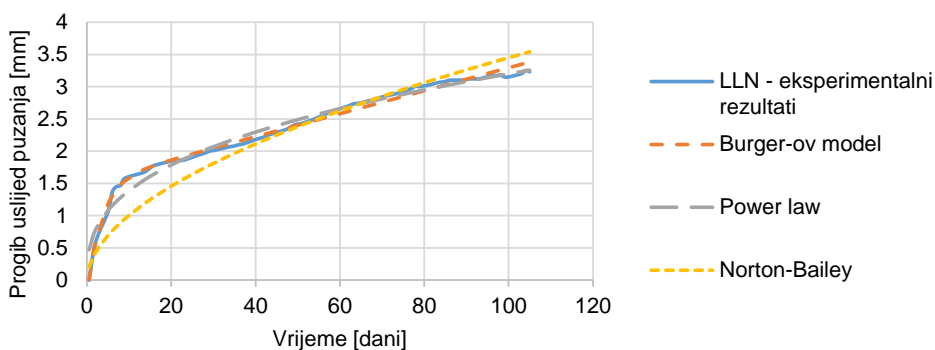
Slika 1. LLN opterećen silom od  $0,3F_{max}$

### 3. Rezultati

Testovi puzanja provedeni su kako bi se definiralo vremenski ovisno ponašanje LLN-a izrađenih od graba, a za koji ne postoje definirani zahtjevi za proizvodnju i projektiranje u Europskim standardima kao ni tehničko odobrenje. Sukladno očitanim vrijednostima temperature i relativne vlažnosti, laboratorijski uvjeti odgovaraju razredu uporabe 1 prema Eurocodu 5. S obzirom na razinu opterećenja koja odgovara  $0,3F_{max}$ , nijedna greda nije otkazala, odnosno nije došlo do pojave tercijarne faze puzanja. Grafovi progib-vrijeme za oba nosača LLN-1 (Slika 2.) i LLN-2 (Slika 3.) dobiveni su na osnovu očitanih vrijednosti progiba u vremenu te uspoređeni podešavanjem ("fitanjem") podataka s tri funkcije puzanja koristeći nelinearnu metodu najmanjih kvadrata uz pomoć Matlab Curve Fitter. U tablici 1. dani su parametri funkcije kao i koeficijent determinacije za svaku od tri funkcije puzanja i to 'power law', Norton-Bailey i Burger. Prema grafovima koji prikazuju očitane vrijednosti progiba tijekom tri mjeseca može se uočiti primarna faza puzanja kao i dio sekundarne faze. Zaključeno je da se sva tri odabrana modela mogu primijeniti za opisivanje vremenski ovisnog ponašanja LLN-a od graba. Navedeno je potrebno potvrditi na većem broju uzoraka.



Slika 2. Graf ovisnosti progiba uslijed puzanja o vremenu za LLN-1



Slika 3. Graf ovisnosti progiba uslijed puzanja o vremenu za LLN-1

Tablica 1. Parametri za pojedini nosač LLN-1 i LLN-2

| Model         | Parametar      | LLN-1   | LLN-2   |
|---------------|----------------|---------|---------|
| Norton-Bailey | a              | -0,2134 | -0,2346 |
|               | b              | 1,401   | 1,745   |
|               | c              | 0,3648  | 0,2841  |
|               | d              | 0,02175 | 0,01783 |
|               | R <sup>2</sup> | 0,99    | 0,99    |
| Power law     | a              | 0,4143  | 0,6038  |
|               | b              | 0,4467  | 0,362   |
|               | R <sup>2</sup> | 0,98    | 0,98    |
| Norton-Bailey | a              | 2,107   | 0,02018 |
|               | b              | -0,4514 | 0,7408  |
|               | c              | 0,4477  | 0,5356  |
|               | R <sup>2</sup> | 0,98    | 0,86    |

## Zahvala

Ovo istraživanje djelomično je podržano kroz projekte:

- IRI-2 KK.01.2.1.02.0330 Povećanje razvoja novih proizvoda drvne industrije koji se koriste u građevini
- KK.01.1.1.02.0027 projekt koji sufinanciraju Vlada RH i Europska unija kroz Europski fond za regionalni razvoj - Operativni program Konkurentnost i kohezija.

## **Literatura**

- [1] Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, European Committee for Standardization: Brussels, Belgium, 2004.
- [2] EN 14080; Timber Structures - Glued Laminated Timber and Glued Solid Timber - Requirements, European Committee for Standardization: Brussels, Belgium, 2013.
- [3] EAD 130320-00-0304 Glued Laminated Timber made of solid hardwood, European Organisation for Technical Assessment (EOTA), June 2018.
- [4] Bach, L.: Nonlinear mechanical behavior of wood in longitudinal tension, *Forest Prod. J.*, 18, pp. 60 - 66, 1968
- [5] Grossman, P.: Requirements for a model that exhibits mechano-sorptive behavior, *Wood Sci. Technol.*, 10, pp. 163-168, 1976, doi: 10.1007/BF00355737
- [6] Schaffer, E.: Modeling the creep of wood in a changing moisture environment, *Wood Fiber Sci.*, 3, pp. 232 - 235, 1972
- [7] Clouser, W.S.: Creep of small wood beams under constant bending load, Forest Product laboratory, Forest Service, 1959
- [8] Moosavi, V., Eslam, H.K., Bazayr, B., Najafi, A., Talaee poor, M.: Bending Creep Behaviour of Hornbeam Wood, *Drvna industrija*, 67, pp. 341 - 350, 2016, doi:10.5552/drind.2016.1609
- [9] Holzer, S.M., Loferski, J.R., Dillard, D.A.: A review of creep in wood: Concepts relevant to develop long-term behavior predictions for wood structures, *Wood and Fiber Science*, 21(4), pp. 376 - 392, 1989
- [10] Fu, H., Dun, M., Wang, H., Wang, W., Ou, R., Wang, Y., Liu, T., Wang, Q.: Creep response of wood flour-high-density polyethylene/laminated veneer lumber coextruded composites, *Construction and Building Materials*, 237, 117499, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117499
- [11] Uzelac Glavinić, I., Boko, I., Lovrić Vranković, J., Torić, N., Abramović, M.: An Experimental Investigation of Hardwoods Harvested in Croatian Forests for the Production of Glued Laminated Timber, *Materials*, 16(5), 1843, 2023, doi:10.3390/ma16051843
- [12] Boko, I., Uzelac Glavinić, I., Boko, I., Torić, N., Hrzić, T., Lovrić Vranković, J.: Potential of hardwoods harvested in Croatian forests for the production of glued laminated timber, *International Conference on Building Materials and Construction*, Kyoto, Japan, March 17 - 20, 2023