

Postopek izdelave slojnatega furnirnega lesa iz bukovine (*Fagus sylvatica*) na primeru operativne skupine GOFAGUS

Matevž Triplat, Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno tehniko in ekonomiko
Žiga Lukančič, Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno tehniko in ekonomiko
dr. Matjaž Dremelj, Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno tehniko in ekonomiko

Objavljeno na spletu 27.10.2025 (<https://doi.org/10.20315/IG.2025.0048>)



Inovacije vključujejo nove metode, tehnologije in prakse. Inovacijo razumemo kot proces, ko se ideja, izum ali novost praktično uporabi in prenese na trg ali v prakso. Inovacija, predstavljena v članku, je bila izbrana v okviru projekta FOREST4EU. Projekt FOREST4EU predstavlja evropsko partnerstvo v podporo operativnim skupinam za gozdarstvo in kmetijsko — gozdarski sektor. FOREST4EU je projekt Obzorje Evropa 2020, katerega cilj je povezovanje, prenos znanja in dobrih praks različnih operativnih skupin iz različnih držav Evrope. Izvedli smo popis 86 operativnih skupin različnih držav, med katerimi smo identificirali 176 inovacij. V različnih postopkih določanja prednostnih nalog s strokovnjaki iz sektorja je bilo izbranih 20 inovacij, ki so najpomembnejše za okrepitev prenosa njihovih rezultatov na področje gozdarstva. V okviru tega postopka je bila izbrana tudi s tem prispevkom predstavljena inovacija „LVL (slojnati furnirni les) iz bukovega lesa“, razvita v okviru operativne skupine GO FAGUS, izbrana kot izdelek posebnega pomena za prenos znanja v Španiji.

Izvor in predelava surovin

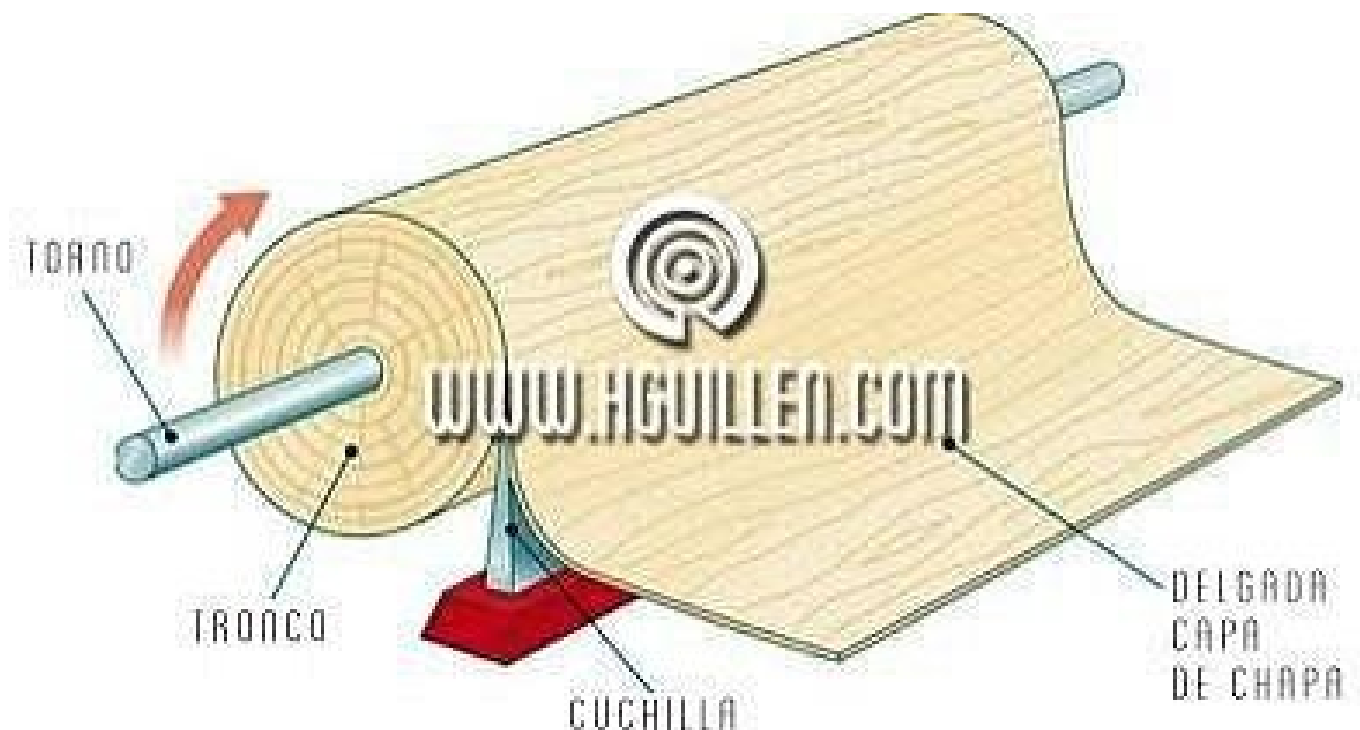
Slojnati furnirni les (LVL) je izdelek, narejen iz enako orientiranih, zaporedno zloženih slojev luščenega furnirja (Slika 1). Surovina za izdelavo slojnatega furnirnega lesa je hlodovina visoke kakovosti, da se med postopkom luščenja dosežeta ustrezen izkoristek in kakovost furnirja.



Slika 1: Furnir bukve, uporabljen za izdelavo slojnatega furnirnega lesa.

Kaj je in kakšen je postopek luščenja?

Hlod se olušči, pri čemer pridobimo furnir. To lahko najbolj nazorno razumemo s primerjavo hloda z zvitkom papirja (Slika 2). Postopek izdelave furnirja je sledeč:



Slika 2: Shema luščnja. Vir: Maderas Hermanos Guilen.

Najprej se hlodi olupijo. Tako se odstrani lubje in nečistoče, prisotne na hlodih. Nato se pregledajo z detektorjem kovin, saj prisotnost kovin v hlodih lahko uniči stroje, ki se uporabljajo pri postopku. Hlodi se nato kuhajo (ali pariyo) v parilnih jamah, da postane les mehkejši in prožnejši. Tako se prepreči cepljenje lesa pod napetostjo pri luščanju, zmanjša upor rezila in podaljša življenjsko dobo orodij. Naslednja faza je centriranje hloda (obdelovanca). Ko je hlod v primernem položaju vpet v luščilni stroj (Slika 2), se mu približa rezilo, ki lušči furnir zahtevane debeline (Slika 3), dokler obdelovanec ne doseže minimalnega delovnega premera. Pri postopku nastanejo trije proizvodi: neuporabne krpe furnirja, furnir (Slika 4) in ostanek srednjega dela hloda, ki ga ni več mogoče luščiti (Slika 5).



Slika 3: Hlod, pripravljen na luščenje.



Slika 4: Furnir, pridobljen iz hloda.



Slika 5: Ostanek srednjega dela hloda, ki ga ni več mogoče luščiti.

Proizvodni proces

Za namene projekta so bili izdelani: celi nosilci (dimenzij 125 x 30 x 2500 mm) ter plošče (dimenzij 500 x 500 mm), iz katerih so bili narejeni manjši preizkušanci in vzorci manjših dimenzij.

Ravnovesna vlažnost furnirja

Ko je furnir prispel v prostore podjetja Cesefor, se je v izogib težavam z vlažnostjo zaradi razlike v klimatskih pogojih v furnirnici in podjetju, nekaj dni uravnovešal na klimatske pogoje v podjetju. Vlažnost je bila merjena z uporovnim merilnikom vlažnosti lesa (slika 6).



Slika 6: Meritev vlažnosti furnirja z vlagomerom.

Pozornost pri usmerjenosti furnirja

Ker je izdelek, ki ga izdelujemo slojnati furnirni les, morajo biti vsi furnirni listi enako usmerjeni. Zato je bilo treba paziti, da je bilo to zagotovljeno med izdelavo, zlasti pri vzorcih dimenzije 500 x 500 mm, kjer se hitro zgodi, da se furnirni list obrne (Slika 7).



Slika 7: Lepljenje in zlaganje furnirja.

Izbira lepila

Bukev je iz vidika lepljenja zahtevna lesna vrsta, saj lepilne linije težko izpolnjujejo zahteve predpisov. To je po ugotovitvah nekaterih avtorjev lahko tudi posledica velike trdote lesa. V tem primeru je bilo uporabljeno dvokomponentno lepilo MUF (melamin-urea formaldehidno lepilo) s komercialnim imenom GripPro™ Design podjetja AzkoNobel. Uporaba lepila je določena na podlagi tehničnega lista proizvajalca ob upoštevanju zračne vlažnosti in temperature lesa ter prostora za lepljenje, odprtega časa lepilne mešanice, razmerja mešanja lepila ter tlaka in časa stiskanja. Nekateri parametri, ki se upoštevajo pri izdelavi, so navedeni v preglednici 1.

Preglednica 1: Nekateri parametri, ki se upoštevajo pri izdelavi slojnatega furnirnega lesa.

Razmerje med lepilom in trdilcem	Količina nanosa lepila (g/m ²)	Odprti čas lepila (min)	
		Ločeno	Mešano
2/1	350	30 – 40	15 – 20

Izdelava vzorcev

Po kondicioniranju in pripravi materiala in naprav se je začel postopek izdelave. Ta postopek je za velike in majhne vzorce enak, razlika je le v velikosti samega vzorca in uporabljeni stiskalnici. Proizvodi so bili prototipne narave. Linij, ki bi omogočale samostojno nanašanje lepila in trdilca v natančnem razmerju, ni bilo. Zato so bili odmerki pripravljeni tako, da so lepilo in trdilec zmešali tik pred nanosom, da se zagotovi zadostni odprti čas lepila. Nato se je napolnil rezervoar ročnega valja, s katerim se je nanašalo lepilo. Na ta način sta bila izdelana dva različna izdelka slojnatega furnirnega lesa: celi nosilci dimenzij 125 x 30 x 2500 mm (Slika 8) in iz plošče dimenzij 500 x 500 mm (Slika 9 in 10). Primerjale so se njihove lastnosti z lastnostmi konstrukcijskega žaganega lesa.



Slika 8: Celi nosilci iz slojnatega furnirnega lesa dimenzij 125 x 30 x 2500.



Slika 9: Plošča iz slojnatega furnirnega lesa dimenzij 500 x 500 mm, uporabljena za izdelavo vzorcev manjših dimenzij.



Slika 10: Vzorci manjših preizkušancev za upogibne preizkuse (zgornji) in vzorcev manjših dimenzij za natezne preizkuse (spodaj).

Faza testiranja

Na izdelanih vzorcih so bili izvedeni trije različni preizkusi za oceno njihovih mehanskih lastnosti.

1. Upogibni preizkus na 10 celih nosilcih (120 mm x 30 mm x 2160 mm).
2. Upogibni preizkus na 50 manjših preizkušancih (25 mm x 20 mm x 450 mm).
3. Natezni preizkus pravokotno na vlakna na 60 vzorcih manjših dimenzij (50 mm x 20 mm x 55 mm).

Upogibni preizkus

Upogibni preizkus se izvede tako, da se vzorec podpre na dveh točkah. S pomočjo bata deluje Navpična sila deluje s pomočjo bata na dveh točkah, tako da je nosilec na odseku med točkami obremenitve izpostavljen le upogibnim silam. Ko v tem delu vzorca pride do loma, je ta posledica upogibnih sil. Preizkusi so bili izvedeni v skladu s predlagano metodologijo standarda EN 408 za žagan in lepljen les. Slika 11 prikazuje upogibni preizkus, izveden na celih nosilcih, slika 12 pa upogibni preizkus, izveden na manjših preizkušancih.



Slika 11: Upogibni preizkus na celih nosilcih.



Slika 12: Upogibni preizkus na manjših preizkušancih.

Natezni preizkus pravokotno na vlakna

S tem preizkusom se s pomočjo naprave, izdelane posebej za ta preizkus, ugotovi odziv slojnatega furnirnega lesa na vlek pravokotno na vlakna, kar simulira najbolj neugodno obremenitev, ki ji je les lahko izpostavljen. Ta naprava je sestavljena iz dveh kovinskih objemk, ki prijemata vzorec, ne da bi ga poškodovali. Nato se pomikata stran druga od druge, pri čemer nastane natezna napetost. Slika 13 prikazuje primer enega izmed teh preizkusov.



Slika 13: Natezni preizkus pravokotno na vlakna.

Preizkuse je bilo potrebno opraviti v časovnem razponu, določenem s standardom. Les se namreč glede na čas izpostavljenosti obremenitvi odziva različno. Poleg tega je v standardu navedeno tudi, kako je treba izvajati obremenitev.

Rezultati

Upogibni preizkus na celih nosilcih

Rezultati preizkusov, opravljenih na celih nosilcih, so prikazani v preglednici 2. Preizkušeni so bili nosilci s prečnim prerezom 120 mm x 30 mm in dolžino 2160 mm. Opravljenih je bilo deset preizkusov in pridobljene so bile zahtevane karakteristične lastnosti v skladu s standardom EN 14358. Določeni so bili povprečna in karakteristična gostota vzorca, povprečna in karakteristična upogibna trdnost ter lokalni in globalni modul elastičnosti. Vrednost upogibne trdnosti je prilagojena za referenčno dolžino vzorca 300 mm v skladu s standardom EN 14358.

Preglednica 2: Rezultati upogibnega preizkusa na celih nosilcih (Vrednosti v oklepajih ustrezajo koeficientu variacije.).

Upogibni preizkus	CH (%) Koeficient vlažnosti.	ρ_m (kg/m ³) Povprečna gostota.	ρ_k (kg/m ³) Karakteristična gostota, ki ustreza $p=5\%$.	$f_{m,m}$ (MPa) Upogibna trdnost, povprečna vrednost.	$f_{m,k}$ (MPa) Upogibna trdnost, karakteristična vrednost.	$E_{m,g}$ (MPa) Globalni modul elastičnosti (s strižnim učinkom).	$E_{m,l}$ (MPa) Lokalni modul elastičnosti (brez strižnega učinka).
Celi nosilci iz slojnatega furnirnega lesa	10.7 (9 %)	704 (4 %)	641	65.4 (10 %)	46	10992 (3 %)	13425 (7 %)

Upogibni preizkus na manjših preizkušancih

Rezultati preizkusov, opravljenih na manjših preizkušancih so prikazani v preglednici 3. Preizkušeni so bili vzorci s prečnim prerezo 25 mm x 20 mm in dolžino 450 mm. Izvedenih je bilo petdeset preizkusov in pridobljene so bile iskane značilne lastnosti v skladu s standardom EN 14358. V tem primeru smo dobili povprečno in karakteristično upogibno trdnost ter skupni modul elastičnosti. Vrednost upogibne trdnosti je prilagojena referenčni dolžini vzorca 300 mm v skladu s standardom EN 14358.

Preglednica 3: Rezultati upogibnega preizkusa na vzorcih manjših dimenzij (vrednosti v oklepajih ustrezajo koeficientu variacije).

Upogibni preizkus	$f_{m,m}$ (MPa) Upogibna trdnost, povprečna vrednost	$f_{m,k}$ (MPa) Upogibna trdnost, karakteristična vrednost	$E_{m,g}$ (MPa) Globalni modul elastičnosti (s strižnim učinkom)
Manjši preizkušanci iz slojnatega furnirnega lesa	91.0 (9 %)	77	15702 (8 %)

Natezni preizkus pravokotno na vlakna

Rezultati preizkusov, opravljenih na vzorcih manjših dimenzij, so prikazani v preglednici 4. Preizkušeni so bili vzorci dimenzij 55 mm x 50 mm in debelino 20 mm. Izvedenih je bilo trideset preizkusov in pridobljene so bile zahtevane lastnosti v skladu s standardom EN 14358. Pridobljeni sta bili povprečna in karakteristična natezna trdnost pravokotno na vlakna.

Preglednica 4: Rezultati nateznega preizkusa pravokotno na vlakna na vzorcih manjših dimenzij (vrednosti v oklepajih ustrezajo koeficientu variacije).

Natezni preizkus pravokotno na vlakna	>q	$f_{t,90,k}$ (MPa) – Natezna trdnost pravokotno na vlakna, 5. percentila
Vzorci slojnatega furnirnega lesa manjših dimenzij	2.5 (35 %)	0.94

*Vrednost v oklepaju ustreza koeficientu variacije.

Razprava

Rezultate, pridobljene z upogibnim preskusom na celih nosilcih, je mogoče primerjati z rezultati, navedenimi za trdnostne razrede žaganega (EN 338) ali lepljenega lesa (EN 14080), čeprav se slednji uporablja za iglavce.

Če rezultate primerjamo s trdnostnimi razredi žaganega lesa, lahko kot referenco vzamemo trdnostna razreda D40 in D45. Hkrati lahko rezultate tega preizkusa primerjamo z rezultati, pridobljenimi v projektu EGURALT, kjer je bilo pri upogibu preizkušanih 38 kosov bukovega žaganega lesa druge kakovosti s prečnim prerezo 120 mm x 30 mm. Preglednica 5 prikazuje primerjavo med lastnostmi trdnostnih razredov, pridobljenih za slojnati furnirni les in žagan les.

Preglednica 5: Primerjava indikatorskih lastnosti razredov odpornosti z lastnostmi slojnatega furnirnega lesa in žaganega lesa.

Lastnost	D40	D45	LVL	MA
ρ_k (kg/m ³)	550	580	641	616
$f_{m,k}$ (MPa)	40	45	46	34
$E_{m,l}$ (MPa)	13.0	13.5	13.4	13.1

Rezultati nam pokažejo, da je upogibna trdnost slojnatega furnirnega lesa večja od upogibne trdnosti preizkusnega vzorca žaganega lesa. Opravljenih je bilo le deset preizkusov celih nosilcev iz slojnatega furnirnega lesa (kar zmanjšuje karakteristično vrednost). To je skladno z dejstvom, da imajo lesni kompoziti, kot je slojnati furnirni les, boljše lastnosti od žaganega lesa zaradi boljšega izkoristka materiala in zmanjšanja nehomogenosti v konstrukcijskih elementih.

Pri analizi rezultatov upogibnih preizkusov, opravljenih na manjših preizkušancih, po pričakovanjih ugotovimo, da so ti vzorci močnejši in bolj togi kot celi nosilci. Razmerje med trdnostmi je 1,67 (k), skupni modul elastičnosti pa 1,43. To je mogoče razložiti z manjšo količino nehomogenosti, ki jih imajo vzorci lesa manjšega prereza v primerjavi z vzorci večjega prereza. Po drugi strani pa je postopek

stiskanja s hidravlično stiskalnico z ogrevanimi ploščami, ki je bila uporabljena za izdelavo plošč, iz katerih so bili pridobljeni manjši preizkušanci bolj nadzorovan kot postopek z veliko stiskalnico, ki je bila uporabljena za izdelavo celih nosilcev. Slednje lahko vpliva tudi na boljše rezultate, dobljene z manjšimi preizkušanci.

Iz rezultatov nateznih preizkusov pravokotno na vlakna je mogoče ugotoviti, da je dobljena vrednost trdnosti 0,94 MPa višja od vrednosti 0,6 MPa, ki je v standardu EN 338 navedena za vse trdnostne razrede lesa listavcev D.

Sklepi

Na podlagi opravljenega dela je bilo mogoče izdelati in ovrednotiti slojnati furnirni les iz hlodovine bukve drugega kakovostnega razreda v skladu z merili za vizualno razvrščanje na žagi.

Izvedeni so bili upogibni preizkusi na manjših preizkušancih in celih nosilcih ter natezni preizkusi pravokotno na vlakna. Rezultati preizkusov so zadovoljivi in spodbudni, saj so bile dosežene dobre mehanske lastnosti, ki kažejo, da je surovina primerna za proizvodnjo nosilcev iz slojnatega furnirnega lesa. Če primerjamo lastnosti njihove lastnosti, ugotovljene z upogibnim preizkusom z lastnostmi žaganega lesa iste vrste, so bili rezultati boljši tako pri upogibni kot natezni trdnosti. Za več informacij obiščite spletno stran projekta <https://www.forest4eu.eu/>.



FOREST4EU - Evropsko partnerstvo v podporo operativnim skupinam na področju gozdarstva

Projektni partnerji: Gozdarski inštitut Slovenije, Univerza v Firencah (vodenje projekta) in 15 drugih organizacij iz EU

Spletna stran: <https://www.forest4eu.eu>

Financiranje: Financira Evropska unija (št. 101086216). Predstavljena stališča in mnenja so izključno stališča avtorjev in ne odražajo nujno stališč in mnenj Evropske unije.

Trajanje projekta: 3 leta (do 31. 12. 2025)