

Postopek izdelave LVL (slojnatega furnirnega lesa) iz bukovine (*Fagus sylvatica*)

José Luis Villanueva, Cesefor, Spain

Inovacija, predstavljena v tej publikaciji, je bila izbrana v okviru projekta FOREST4EU. V tem projektu so bile zbrane inovacije, ki so jih v zadnjih letih ustvarile različne operativne skupine v gozdarskem sektorju na evropski ravni. V različnih postopkih določanja prednostnih nalog s strokovnjaki iz sektorja je bilo izbranih 20 inovacij, ki so najbolj pomembne za okrepitev prenosa njihovih rezultatov na področje gozdarstva. V okviru tega postopka je bila 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. Za več informacij obiščite spletno stran projekta <https://www.forest4eu.eu/>.

LVL (slojnati furnirni les) je izdelek, narejen iz zaporedno zloženih slojev luščenega furnirja (Slika 1). Takšno pridobivanje materiala ima sledeče posledice:

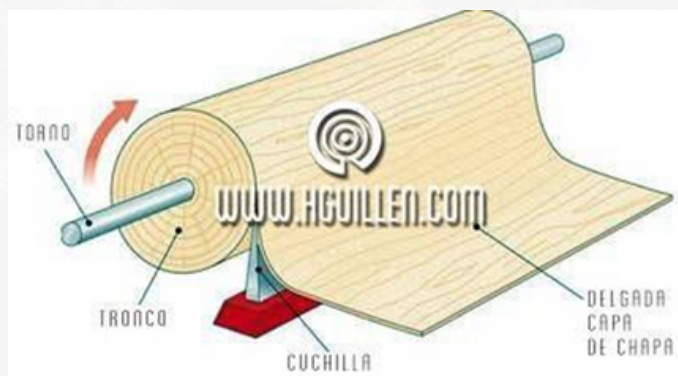


Slika 1. Furnir bukve, uporabljen pri izdelavi LVL.

Surovina za izdelavo tega izdelka je hlodovina visoke kakovosti (velikega premera, ravna, s čim manjšo koničnostjo in čim manj grčami, da se med postopkom luščenja furnirja doseže ustrezen izkoristek volumna in kakovost. Zato je pričakovati, da imajo izdelki iz luščenega furnirja boljše lastnosti kot žagan les iste drevesne vrste.

Kaj je luščenje in kakšen je postopek luščenja?

Kot pove že ime, se hlod olušči, pri čemer se valj spremeni v list. To lahko najbolj nazorno razumemo tako, da to primerjamo z zvikom papirja, pri čemer je hlod zvitek, kos papirja pa list (slika 2). Postopek je sledeč:



Slika 2: Shema luščenja. Vir: Maderas Hermanos Guillen.

Najprej se hlode olupijo. Tako se odstrani lubje in nečistoče, prisotne na hlodih. Nato se hlode pregleda z detektorjem kovin, saj prisotnost kovin v hlodih lahko uniči stroje, ki se uporabljajo pri tem postopku.

Hlode se nato kuha ali pari v parilnih jamah, da postane les mehkejši in prožnejši. Tako se doseže več ciljev: prepreči se cepljenje lesa pod napetostjo pri luščenju, zmanjša se upor rezila in podaljša življenjska doba rezalnih orodij. Na koncu sledi luščenje. Prva faza je centriranje hloda. Sledi vpetje hloda v luščilni stroj (kot je prikazano na sliki 2). Ko je hlod v primernem položaju, se mu približa rezilo in reže furnir zahtevane debeline (slika 3), dokler ne doseže minimalnega delovnega premera.

Pri postopku nastanejo trije končni proizvodi: neuporabne krpe furnirja, furnir (slika 4) in ostanek srednjega dela hloda, ki ga ni več mogoče luščiti (slika 5).

Tako se pridobi surovino za izdelavo vzorcev, testiranih v tem projektu.

Za vir izrazov sem uporabljal DN Luka Štunfa.



Slika 3. Hlod, pripravljen za luščenje.



Slika 4. Furnir, pridobljen iz hloda.



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

PROIZVODNI PROCES

Za namene projekta sta bili izdelani dve vrsti vzorcev:

- Deske dimenzij 125 x 30 x 2500 mm;
- Plošče dimenzij 500 x 500 mm, iz katerih so bili narejeni majhni vzorci.

Ravnesna vlažnost furnirja

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



Slika 6: Meritev vlažnosti furnirja z vlagometrom.

Pozornost pri usmerjenosti furnirja

Ker je izdelek, ki ga izdelujemo LVL, morajo biti vsi furnirni listi enako usmerjeni. Zato je bilo treba paziti, da je bilo to zagotovljeno med izdelavo, zlasti pri majhnih vzorcih 500x500 mm, kjer se hitro zgodi, da se obrne furnirni list in pomotoma izdelava furnirna vezana plošča (slika 7).

Pozornost pri usmerjenosti furnirja

Ker je izdelek, ki ga izdelujemo LVL, morajo biti vsi furnirni listi enako usmerjeni. Zato je bilo treba paziti, da je bilo to zagotovljeno med izdelavo, zlasti pri majhnih vzorcih 500x500 mm, kjer se hitro zgodi, da se obrne furnirni list in pomotoma izdela furnirna vezana plošča (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, čeprav je po ugotovitvah nekaterih avtorjev to lahko tudi posledica velike trdote lesa. V tem primeru je bilo uporabljeno dvokomponentno lepilo MUF (melamin-ureaformaldehidno 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, tlaka stiskanja in časa stiskanja.

Nekateri parametri, ki se jih upošteva pri izdelavi, so navedeni v preglednici 1.

Preglednica 1: Nekateri parametri, ki se jih upošteva pri izdelavi LVL.

Razmerje med lepilom in trdilcem	Količina nanosa lepila (g/m ²)	Odrti 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 enak za velike in majhne vzorce, razlika je le v velikosti samega vzorca in uporabljeni stiskalnici.

Objekti so bili prototipne narave in ni bilo vzpostavljene linije, ki bi omogočala samostojno nanašanje lepila in trdilca v natančnem razmerju. Zato so bili odmerki pripravljene tako, da so lepilo in trdilec zmešali tik pred nanosom, da se zagotovi zadostni odprti čas lepila. Nato se je napolnilo rezervoar ročnega valja, s katerim se je nanašalo lepilo.

Na ta način sta bila izdelana dva različna izdelka: LVL deske dimenzij 125 x 30 x 2500 mm (slika 8) in vzorci manjših dimenzij, izdelani iz plošč dimenzij 500 x 500 mm (glej sliki 9 in 10). Primerjalo se je njihove lastnosti z lastnostmi konstrukcijskega žaganega lesa.



Slika 8: LVL deske dimenzij 125 x 30 x 2500.



Slika 9: LVL plošča dimenzij 500 x 500 mm, uporabljena za izdelavo vzorcev manjših dimenzij.



Slika 10: Vzorci letev za upogibne preizkuse (zgornji) in za natezne preizkuse (spodaj).

FAZA TESTIRANJA

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

1. Upogibni preizkusi, 10 desk;
2. Upogibni preizkusi, 50 letev;
3. Natezni preizkusi pravokotno na vlakna, 60 vzorcev manjših dimenzij.

Upogibni preizkus

Upogibni preizkus (ne glede na velikost preskusnega primerka) se izvede tako, da se vzorec podpre na dveh koncih (dvotočkovna podpora). S pomočjo bata deluje navpična sila na dveh točkah, tako da je nosilec na odseku med točkami obremenitve izpostavljen le upogibnim in ne strižnim silam. Ko v tem delu vzorca pride do loma, je to posledica upogibnih sil. Ti preizkusi so bili izvedeni v skladu s predlagano metodologijo standarda EN 408 za žagan in lepljen les, kot je navedeno v standardu EN 14374. Slika 11 prikazuje upogibni preizkus, izveden na deskah, slika 12 pa upogibni preizkus, izveden na letvah.



Slika 11: Upogibni preizkus na deskah.



Slika 12: Upogibni preizkus na letvah.

Natezni preizkus pravokotno na vlakna

S tem preizkusom se s pomočjo kovinske naprave, izdelane posebej za ta preizkus, ugotovi odziv LVL na vlek pravokotno na vlakna (najbolj neugodna 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. Na sliki 13 je prikazan eden od teh preizkusov.



Slika 13: Natezni preizkus pravokotno na vlakna.

Preizkuse je treba opraviti v časovnem razponu, določenem v standardu. Les se namreč glede na čas izpostavljenosti obremenitvi odziva različno. Poleg tega je v standardu navedeno tudi, kako je treba izvajati obremenitev. Pri krmiljenju obremenitve pa je mogoča izbira med silo in pomikom na časovno enoto (kg/min ali mm/min).

REZULTATI

V tem poglavju so predstavljeni rezultati, pridobljeni z različnimi preizkusi.

Upogibni preizkus na deskah

Rezultati preizkusov, opravljenih na deskah 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 deskah.

Upogibni preizkus	CH (%)	ρ_m (kg/m ³)	ρ_k (kg/m ³)	$f_{m,m}$ (MPa)	$f_{m,k}$ (MPa)	$E_{m,g}$ (MPa)	$E_{m,l}$ (MPa)
Deske iz LVL	10.7 (9%)	704 (4%)	641	65.4 (10%)	46	10992 (3%)	13425 (7%)

* Vrednosti v oklepajih ustrezajo koeficientu variacije.

- CH (%) – Koeficient vlažnosti;
- ρ_m (kg/m³) – Povprečna gostota;
- ρ_k (kg/m³) – 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).

Upogibni preizkus na letvah

Rezultati preizkusov, opravljenih na letvah so prikazani v preglednici 3. Preizkušeni so bili vzorci s prečnim prerezom 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.

Upogibni preizkus	$f_{m,m}$ (MPa)	$f_{m,k}$ (MPa)	$E_{m,g}$ (MPa)
Vzorci LVL	91.0 (9%)	77	15702 (8%)

* Vrednosti v oklepajih ustrezajo koeficientu variacije.

- $f_{m,m}$ (MPa) – Upogibna trdnost, povprečna vrednost;
- $f_{m,k}$ (MPa) – Upogibna trdnost, karakteristična vrednost;
- $E_{m,g}$ (MPa) – Globalni modul elastičnosti (s strižnim učinkom).

Natezni preizkus pravokotno na vlakna

Rezultati preizkusov, opravljenih na vzorcih manjših dimenzij, so prikazani v preglednici 4. Preizkušeni so bili vzorci s prečnim prerezom 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.

Natezni preizkus pravokotno na vlakna	$f_{t,90,m}$ (MPa)	$f_{t,90,k}$ (MPa)
Vzorci LVL manjših dimenzij	2.5 (35%)	0.94

* Vrednosti v oklepajih ustrezajo koeficientu variacije.

- $t_{,90,m}$ (MPa) – Natezna trdnost pravokotno na vlakna, povprečna vrednost;
- $f_{i,90,k}$ (MPa) – Natezna trdnost pravokotno na vlakna, 5. percentila.

RAZPRAVA

Rezultate, pridobljene z upogibnim preskusom na deskah je mogoče primerjati z rezultati, navedenimi za trdnostne razrede žaganega lesa (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 prerezom 120 mm x 30 mm. Preglednica 5 prikazuje primerjavo med lastnostmi trdnostnih razredov, pridobljenih za LVL in žagan les.

Preglednica 5: Primerjava indikatorskih lastnosti razredov odpornosti z lastnostmi LVL 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 LVL večja od upogibne trdnosti preizkusnega vzorca žaganega lesa, čeprav je bilo opravljenih le deset preizkusov desk LVL (kar zmanjšuje karakteristično vrednost). To je skladno z dejstvom, da lesni kompoziti, kot je LVL, izboljšajo lastnosti žaganega lesa zaradi boljšega izkoristka materiala in zmanjšanja nehomogenosti v konstrukcijskih elementih.

Pri analizi rezultatov upogibnih preizkusov, opravljenih na letvah, lahko pričakovano ugotovimo, da so ti vzorci močnejši in bolj togi kot deske. Zlasti razmerje med trdnostmi je 1,67 (k), skupni modul elastičnosti pa 1,43 (k).

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 ogravanimi ploščami, ki je bila uporabljena za izdelavo plošč, iz katerih so bile pridobljene letve bolj nadzorovan kot postopek z veliko stiskalnico, ki je bila uporabljena za izdelavo desk. Slednje lahko vpliva tudi na boljše rezultate, dobljene z letvami.

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 LVL iz hlodovine bukve drugega kakovostnega razreda v skladu z merili za vizualno razvrščanje na žagi.

Izvedeni so bili upogibni preizkusi na vzorcih letev in desk 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 tega izdelka. Če primerjamo lastnosti LVL, ki smo jih ugotovili z upogibnim preizkusom z lastnostmi žaganega lesa iste lesne vrste, so se rezultati izboljšali tako pri upogibni kot natezni trdnosti.

Further information

<https://gofagus.es/>

Contacts

joseluis.villanueva@cesefor.com

FOREST4EU partners:



Funded by the European Union (Grant n. 101086216). Views and opinions expressed are however those of the authors only and do not necessarily reflect those of the European Union or REA. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

cesefor
FORESTRY HEART, research spirit



FOREST4EU Project
info@forest4eu.eu

FOREST4EU