

LESENE LEPLJENE KONSTRUKCIJE V ARHITEKTURI

UDK 624.011
COBISS 1.02 pregledni znanstveni članek
prejeto 14.04.2006

Glued timber structures in architecture

izvleček

Članek je nastal kot del raziskave o lesenih lepljenih lameliranih konstrukcijah v Sloveniji in tujini, ki poteka na BF Oddelku za lesarstvo. Obravnavali bomo lesene lepljene lamelirane konstrukcije (LLK), ki so s svojimi izjemnimi tehničnimi zmožnostmi visoka trdnost pri majhni lastni teži in gospodarnosti vplivale na vsestransko uporabo lesa. Opisane bodo tipične oblike in velikosti lepljenih konstrukcijskih elementov in podane prednosti ter pomanjkljivosti lepljenega lameliranega lesa.

V našem okolju so LLLK premalo prisotne, kljub dobrim gradbenim lastnostim in kljub temu, da je les obnovljiv material ter dejstvo da je Slovenija bogata z gozdom in ima tradicijo na tem področju. Izdelana bo analiza proizvodnje in uporabe lepljenega lameliranega lesa v Sloveniji in drugih državah EU. Nakazane bodo možnosti večje uporabe lesenih lepljenih elementov v procesu arhitekturnega načrtovanja.

abstract

The article summarises part of a research about glued timber laminated structures in Slovenia and abroad and was undertaken by the Biotechnical Faculty, Department of wood science and technology. We will deal with glued laminated timber structures (GLTS), whose exceptional technical capabilities high strength at low weight and economic use influenced the versatility of using timber. We will describe the typical forms and sizes of glued structural elements and present the advantages and disadvantages of glued laminated timber.

In our domestic environment GLTS are seldom used, despite their good structural qualities, the fact that wood is a recyclable material and that Slovenia abounds in forests and has a correspondingly rich tradition in the field. We will undertake an analysis of production and use of glued laminated timber in Slovenia and other EU countries. We will also point out possibilities for better use of glued laminated timber elements in architectural design.

ključne besede:

Konstrukcija, lepljen lameliran les, konstrukcijski elementi, kompozit.

key words:

Structure, glued laminated timber, structural element, composite.

Proizvodnja lameliranega lepljenega lesa

Lameliran lepljen les je sodobno kompozitno gradivo, ki ima bolj enakomerne in boljše mehanske lastnosti kot les. Sestavljajo ga tanke lamele, pri katerih je potek vlaken v glavnem vzporeden in so ploskovno zlepljene z lepili za konstrukcijsko uporabo, ki imajo visoko trdnost in trajnost, so odporna proti vodi, povišani vlažnosti in temperaturi ter biološkim dejavnikom. V literaturi najdemo lameliran lepljen les tudi pod drugimi imeni: laminated wood, glued laminated timber, gluelam, gluelam beam, classic gluelam. Na tržišču so prisotni različni proizvajalci: NORDIC LAM™, Goodlam, Binder, Structurlam, Carboglulam® itd.

Leseni lepljeni lamelirani konstrukcijski elementi (LLLKE) so industrijski gradbeni elementi, za katere je značilna velika stopnja prefabrikacije. So med najlažjimi konstrukcijskimi materiali, poleg tega pa se lahko zaradi svojih dobrih elasto-mehanskih lastnosti uporabljajo kot samostojni nosilci ter za ravninske in prostorske konstrukcije velikih razponov.

Lamele

Za lamelirane lepljene lesene konstrukcije lahko uporabljamo vse vrste lesa, najpogosteje pa so v uporabi smreka, jelka, macesen in topol kategorija 1. razreda. Les mora biti zdrav, primerno suh največ 15 % vlažnosti in brez napak. Masiven les je sprva razžagan in naravno sušen, sledi umetno sušenje, kjer je osušen na želeno stopnjo vlažnosti (Slika 3). Pred uporabo se deske skladiščijo v delavnici, kjer morata biti temperatura in vlaga konstantni in kontrolirani. Vlažnost desk mora biti 12 % manjša od predvidene vlažnosti pri kasnejši eksploataciji. Posebno važno je, da so tudi vse deske enake vlažnosti, saj se les pri kasnejših spremembah vlažnosti širi in krči, izrazito različno v različnih smereh. Pri spajanju mora znašati vlažnost vsake lamele od 8% do 15%. Razlika vlažnosti med posameznimi lamelami v

enem gradbenem elementu iz lepljenega lesa ne sme biti večja od 4 % (pr EN 386).

Lamele sestavljajo prereze lepljenih nosilcev in so pri normalni uporabi 32 mm ali manj, izjemoma 42 mm. Neto širina lamel mora biti manjša ali enaka 20 cm, bruto širina pa mora biti enaka ali manjša 21 cm. Najpogosteje uporabljene neto širine se gibljejo med 8 in 22 cm, višine do 250 cm. Neto širina lamele je širina elementa po končani površinski obdelavi elementov, bruto širina pa je širina pred obdelavo. Širino elementov lahko maksimalno povečamo do 30 cm. Pri tej širini moramo imeti v eni vrsti dve lameli in je treba poleg prečnega in horizontalnega spajanja lamel izvesti tudi bočno vzdolžno spajanje.

Zaradi problema zvijanja, je pomembna izbira desk za izdelavo lamel (krajne ali deske iz sredine), saj s pravilnim obračanjem lamel za lepljenje lahko zmanjšamo nezaželene napetosti v ravnini lepljenja. Lamele morajo imeti glede na potek letnic primerno orientacijo tako morajo biti v primeru dveh lamel te obrnjene tako, da so konveksni deli letnic v stiku lepljenja [Lukan,1999:12]. Prav tako velja za večslojne prečne prereze, kjer se lepijo konveksne s konkavnimi stranmi lamel razen krajnih lamel, kjer se zlepi med sabo po konveksni strani (Slika 4).

Spajanje (stikovanje) lamel

Zaradi dimenzij desk, žag, sušilnic in zaradi odstranjevanja napak je treba lamele med seboj stikovati, da lahko dosežemo zahtevane dolžine nosilcev. Poznamo dve vrsti spajanja lamel: podolžno spajanje (pri prerezih, kjer je širina večja od 20 cm) in prečno spajanje (pri podaljševanju lamel) (Slika 1). Pri izdelavi prerezov je zelo pomembna razporeditev prečnih stikov po dolžini nosilca.

Najpogosteje se uporablja zobata vez s klinastimi čepi. Izvedba in minimalne zahteve za proizvodnjo obravnava

standard EN 385:1995 in jo opredeljuje kot samocentrirno konična vez, ki jo oblikujemo s strojnim rezkanjem enakih, simetrično koničnih zagozdnih zob, ki jih nato zlepimo.

Vzdolžno spajanja lamel	
<p>1. Čelno spajanje s topim spojem Ima najslabše lastnosti od vseh spojev topi spoj</p>	
<p>2. Spajanje s poševnim čelom ali spoj na list Ima večjo nosilnost na nateg, vendar zahteva velike pritiske pri lepljenju. Obremenitev na upogib je problematična.</p>	
<p>3. Zobčasti spoj – zobata vez s klinastimi čepi Je najpogostejše v uporabi. Omogočeno je, da se doseže enako ali pa tudi večjo natezno trdnost spoja, kot je sama natezna trdnost lesa.</p>	

Slika 1: Vzdolžno spajanje lamel.
End jointing the lumber- the most common end joint- a finger joint.
Müller, A. 2000: Holzleimbau. Birkhäuser, Basel-Berlin-Boston. 32 str.

Lepila za lepljenje

Vsestransko uporabo lesenih lepljenih konstrukcij je omogočil razvoj sintetičnih lepil. Zahteve, ki jih morajo konstrukcijska lepila izpolnjevati, podaja standard SIST EN 301. Uporaba lepil, ki se odlikujejo po odpornosti na temperaturo, klimatske spremembe, kemikalije in mikroorganizme, zagotavljajo lesenim lepljenim konstrukcijam v določenih primerih prednost pred armiranobetonskimi in jeklenimi. Lepilo poveže les v nov material. Lepilo mora imeti take mehanske lastnosti, da je stik praktično nedeformabilen. Pogoji, ki jih morajo izpolnjevati lepila za izdelavo lameliranih lepljenih konstrukcij, so: konstantna trdnost, trdnost v stiku mora biti vsaj enkrat večja ali enaka, kot je trdnost lesa na strig vzporedno ali pa pravokotno na vlakna, odpornost na anorganske in organske snovi, odpornost na kemijske vplive, strjevanje na temperaturah do 25°C, ognjeodpornost, hitrost lepljenja- ustrezni odprti čas lepila (čas od takrat, ko nanesemo lepilo, pa do takrat, ko lamele stisnemo).

Lastnosti lepljenega izdelka niso vedno v skladu s kakovostjo lepilnega spoja izdelek je lahko nekakovosten, čeprav so lepilni spoji v njem ustrezni. Marra [1992] razvršča dejavnike, ki vplivajo na kakovostno lepljenje, glede na njihov izvor v 6 skupin: (1) dejavniki zgradbe lepila, (2) dejavniki lastnosti lesa, (3) dejavniki priprave lesa, (4) dejavniki aplikacije lepila, (5) dejavniki geometrije lesa in (6) dejavniki uporabe lepljenega izdelka.

Vse vrste lesa niso primerne za lepljenje les mora biti dovolj porozen, da lepilo prodre v celice. Če lepljenje ni pravilno, se element lahko zlomi zlomi so pogosto hipni (primer porušitve Telovadnica OŠ Ig, 1980). Pri lepljenju so zelo pomembni dejavniki priprave lesa, saj lahko pride do velikih sprememb v lastnosti lesa. Sušenje lesa vpliva na mehansko obdelavo, na stabilnost lesa, na medsebojno delovanje med lepilom in lesom med lepljenjem in na oblikovanje notranjih napetosti, ki so posledica delovanja lesa po lepljenju.

Lepila za konstrukcijsko uporabo, ki so izdelana na osnovi fenola in aminoplastov (ureaformaldehidna (UF), melaminformaldehidna (MF) in melamin-ureaformaldehidna (MUF) lepila), razvrščamo v dve skupini: Tip I in Tip II. Pri razvrščanju konstrukcijskih lepil upoštevamo strižno trdnost spojev, odpornost lepila proti delaminaciji, odpornost lepila na ciklično obremenjevanje s temperaturo in vlago ter odpornost lepila na obremenitve, ki posledično vplivajo krcenje lesa. Dejavniki, ki vplivajo na oblikovanje lepilnega spoja, so: nanos

lepila, tehnike nanašanja, vmesni čas, tlak stiskanja, čas stiskanja, temperatura lepljenja, kondicioniranje lepljencev. Barva lepilnega sloja pa je odvisna vrste lepila (Slika 2).

Lepilo	Barva lepilnega spoja
Urea-ormaldehidno lepilo	Zelo svetla
Modificirano melaminsko lepilo	Svetla do kakav rjave
Fenol resorcinol lepilo	Rdečkastorjava
Poliuretani	Svetlo-prozorna

Slika 2: Odvisnost barve lepilnega spoja od uporabljenega lepila.
Colour glue-line dependence on the type of applied glue.
Informationsdinst Holz: Bauen mit BS-Holz 10/96: str 4.

Dimenzije in oblike lesenih lepljenih laminiranih konstrukcijskih elementov (LLLKE) in statičnih sistemov

Z uporabo LLLKE lahko sestavimo konstrukcije različnih oblik. Omogočajo praktično neomejeno izbiro dimenzij prečnih prereзов elementov, pokrivanje velikih površin, velike razpone in lahko, enostavno prilagajanje sodobnim arhitektonskim zahtevam. Dimenzije nosilnih gradbenih elementov so odvisne od: statičnega sistema konstrukcije, nosilnosti gradiva, tehnologije proizvodnje in vgraditve ter pričakovanega učinka arhitektonske kompozicije zgradbe [Kušar, 1999].

Nosilne sisteme lahko delimo v skupine: nosilci, tročlenski loki, okvirji, ukrivljeni nosilci, konzole, viseči sistemi. Razvrščeni so glede na prevladujoče obremenitve (Slika 5): npr. paličje- osna obremenitev, nosilci upogibna obremenitev. Med prostorske konstrukcije prištevamo: kupole, prostorske okvirne konstrukcije, prostorsko paličje, brane, lupine, itd.

Prečni prerez nosilcev in stebrov iz lepljenega lesa

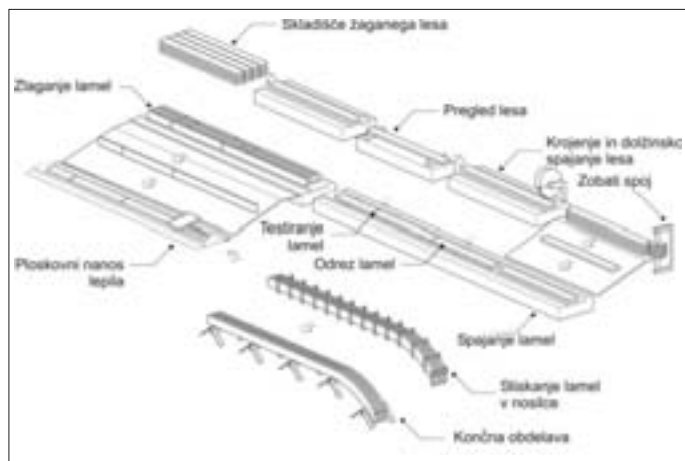
Prečni prerezi so sestavljeni iz lamel, ki so med seboj zlepljene. Izbor različnih vrst prečnih prereзов se je povečal z razvojem lepil, ki so vedno bolj obstojna in ognjeodporna. Tako lahko dobimo najrazličnejše prereze (Slika 6): nosilce s konstantno višino, nosilce s spreminjajočo višino, zakrivljene nosilce itd. Najpogostejši so: pravokotni prerez, prerez "I" oblike in sestavljeni škatlasti prerez.

Prilagajanje geometrije prereza poteku napetosti temelji na principu, da je potrebno kar največ materiala namestiti tam, kjer največ doprinese k nosilnosti, t. j. na robove, kjer so največje napetosti. Primer nosilca iz lameliranega lepljenega lesa: na robove običajno v zunanji šestini višine (Sliki 11a in 11b) pri lepljenju namestimo boljši material z višjo trdnostjo, v sredico pa slabši in tako prilagajamo kakovost materiala glede na razpored napetosti po prerezu [Wallner, 2003].

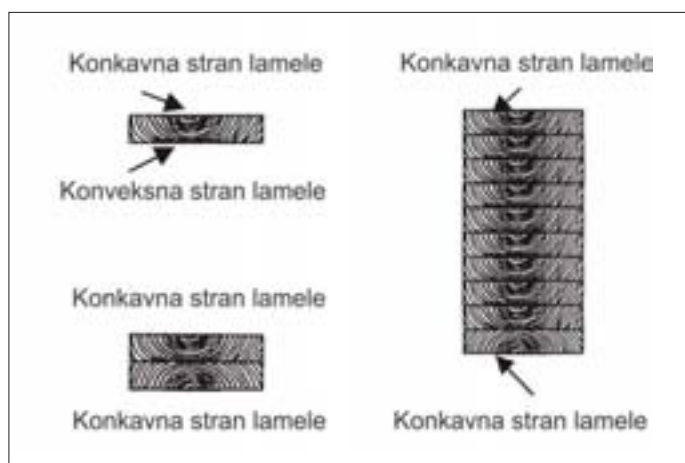
Poraba lesa in upogibnih nosilnosti je odvisna od izbranega materiala in izbrane oblike prereza (Slika 12). Primerjava kombinacije prilagajanja geometrije in trdnosti lesenega prereza pove, kako prihraniti na materialu v primerjavi z nosilnostjo.

Najpogosteje uporabljeni tipi lesenih lepljenih lameliranih konstrukcijskih elementov (LLLKE)

Razlikujemo več vrst LLLKE: enostranski poševni nosilec, dvostransko poševni nosilec, ukrivljeni nosilec s konstantno višino, ukrivljeni nosilec s spremenljivo višino, nosilci na več podporah, kontinuirni nosilci, dvotečajni ali trotečajni lomljeni okvir, dvo ali tročlenski ločni okvir, itd. (Slika 13). V literaturi so nosilci z ukrivljenim spodnjim robom in ostrim prelomom zgornjega ravnega robu v temenu označeni tudi kot nosilci s spremenljivo višino prereza- sedlasti nosilci, medtem ko so nosilci z zaobljenim temenom označeni kot nosilci s konstantno višino prereza [Blatnik, 1993].



Slika 3: Shematski prikaz proizvodnje lepljenega lameliranega lesa po kontinuiranem postopku.
Manufacture of Gluelam.
Manuel de la construction en Bois, 135 str. www.cwc.ca



Slika 4: Lepljenje nosilca.
Glued lumber- small pieces of wood glued together; orientation of laminations in cross section.
Lukan, M., 1999: Eksperimentalne preiskave obnašanja lameliranih lepljenih lesenih nosilcev. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 12 str.

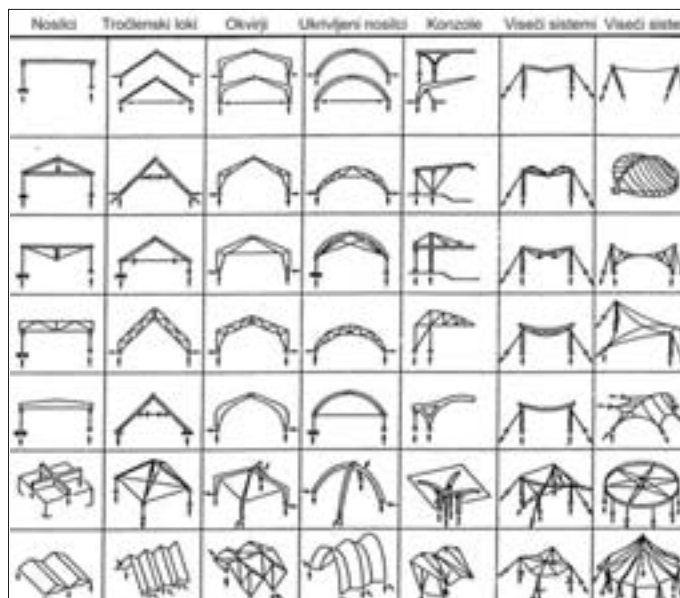
Leseni lepljeni lamelirani konstrukcijski elementi ter njihove prednosti in pomanjkljivost pri uporabi

Leseni lamelirani lepljeni elementi omogočajo fleksibilnost pri konstruiranju različnih oblik in dimenzij. Imajo estetski videz in ohranjajo eleganco pri večjih razponih, saj se preseki nosilcev zaradi majhne teže ne povečujejo tako kot pri armiranem betonu. Možne so izvedbe različnih krivin in oblik ukrivljenih LLLKE.

Mehanske lastnosti

Smernice za projektiranje lesenih konstrukcij so podane v SIST EN 1995 1-1 [Eurokod 5- Projektiranje lesenih konstrukcij], način preizkušanja nosilnosti pa v SIST EN 408 [Ugotavljanje mehanskih lastnosti). Sprejet je evropski standard za lepljen les [EN 14080]. Lepljen les je razvrščen v 4 trdnostne razrede. Homogen lepljeni les označujemo z GL 24h - GL 36h, kombiniran pa z GL 24c - GL 36c. Številka zraven oznake GL (glued laminated) pomeni karakteristično upogibno trdnost v Mpa [Srpčič, 2005] (Slika 7).

Leseni lamelirani lepljeni elementi imajo dobre trdnostne lastnosti v primerjavi z drugimi materiali, ter visoko nosilnost



Slika 5: Skupine nosilnih sistemov.
Wood structural systems.
Winter, 2004, str. 4



Slika 6: Različni prečni prerezi stebrov in nosilcev iz lepljenega lesa.
Glued members are available in a wide range of sections sizes to suit every application.
Pro:Holz Austria, 2002, str. 84.

glede na prostorninsko maso. So lahki gradbeni elementi, saj pri istem volumnu predstavljajo le 20% teže železobetonskih. LLLKE imajo večjo trdnost in togost kot masiven les. V primerjavi z masivnim lesom ima lameliran lepljen les več prednosti: dimenzijska stabilnost, možnosti različnih izvedb prečnega prereza in večje dimenzije kot jih dopušča žagan les [Russell C. Moody, 2004]. Pri sušenju skoraj ni razpok. Velika prednost lameliranih lepljenih nosilcev pred masivnim lesom je možnost oblikovanja vzdolžne osi nosilca. Če primerjamo odpadke pri masivnem lesu in lepljenem lesu, vidimo, da je količina odpadka odvisna od konstrukcije. Širši je nosilec, boljši je izkoristek. Približna ocena porabe je cca 1,5 m³ lesne mase za netto 1 m³ nosilca.

Ekologija

Z okoljevarstvenega vidika predstavlja pomemben faktor razgradljivost materiala in možnost recikliranja lesenih lameliranih lepljenih konstrukcijskih elementov. Za obe lastnosti ni bistvenih razlik med LLKE in masivnim lesom. Do razlike pa pride pri oceni porabe materiala in energije, ter uporabi lepila. Frühwald [2005] ugotavlja, da je za proizvodnjo LLKE potrebne

približno še enkrat več energije (1.218 kWh/m^3) kot za primerljiv konstrukcijski element iz masivnega lesa (688 kWh/m^3).

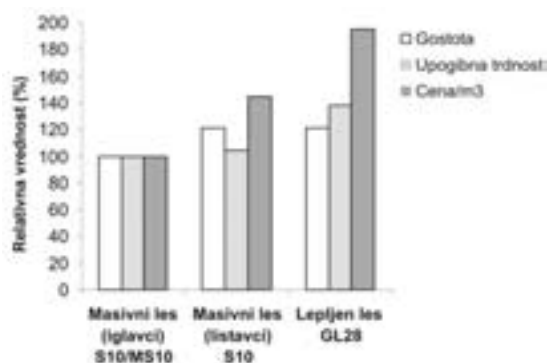
Lepilo je bistvenega pomena za nosilnost LLK. Zaradi vsebnosti formaldehida lepilo škodljivo deluje na vse, ki imajo opraviti z njim in že sam po sebi obremenjuje okolje. Vendar pa je delež lepila v celotnem volumnu konstrukcije samo cca 1% [Burgbacher, 1991], tako, da ekološke prednosti lepljenih lameliranih konstrukcij niso bistveno manjše od konstrukcij iz masivnega lesa, sploh pa če upoštevamo skoraj neizbežno uporabo kovinskih spojnih sredstev.

	GL 24h	GL 28h	GL 32h	GL 36h
Karakteristična upogibna trdnost [N/mm ²]				
$f_{m,k}$	24	28	32	36
Karakteristična natezna trdnost [N/mm ²]				
$f_{t,0,g,k}$	16,5	19,5	22,5	26
$f_{t,90,g,k}$	0,4	0,45	0,5	0,6
Karakteristična tlačna trdnost [N/mm ²]				
$f_{c,0,g,k}$	24	26,5	29	31
$f_{c,90,g,k}$	2,7	3,0	3,3	3,6
Karakteristična strižna trdnost [N/mm ²]				
$f_{v,g,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3
Povprečen modul elastičnosti [N/mm ²]				
$E_{0,g,mean}$	11 600	12 600	13 700	14 700
$E_{0,g,05}$	9 400	10 200	11 100	11 900
$E_{90,g,mean}$	390	420	460	490
Povprečen strižni modul N/mm ²				
$G_{v,mean}$	720	780	850	910
Karakteristična gostota [kg/m ³]				
$\rho_{k,0}$	380	410	430	450

Slika 7: Elasto-mehanske lastnosti za lesene lepljene laminirane nosilce GL 24h - GL 36h SIST EN 1194: Karakteristične trdnosti (f), elastični (E) in strižni (G) modul v N/mm², ter specifična teža (ρ) v kg/m³.
Characteristic strength and stiffness properties in N/mm² and densities in kg/m³ for four standard strength classes, EN 1194.

VRSTA NAPETOSTI	Lepljen les Jelka, smreka, bor		Lepljen les Hrast , bukev	
	I	II	I	II
Upogib σ_{md}	1400	1100	1620	1370
Nateg σ_{tld}	1050	850	1800	1080
Tlak σ_{cld}	1100	850	1500	1200
Tlak pravokotno na vlakna $\sigma_{t,d}$	200	200	490	430
Strig τ_{ld}	90	90	150	150
Strig zaradi prečne sile $\tau_{m,ld}$	120	120	130	110

Slika 8: Dovoljene osnovne napetosti za lepljene lamelirane konstrukcije razreda I in II v N/cm².
Permissible basic tensions for glued laminated timber constructions of classes I and II in N/cm².
Berdajs, 2004, str. 257.

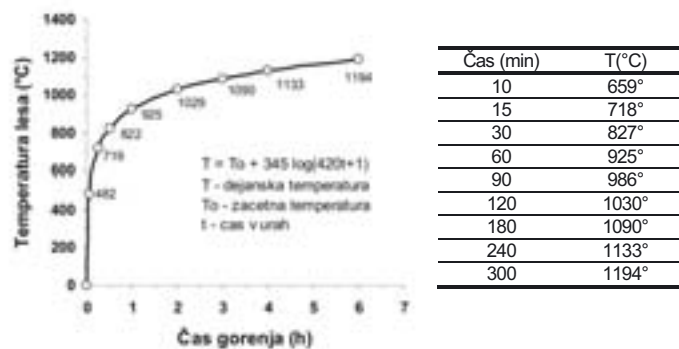


Slika 9: Primerjava masivnega lesa z lepljenim glede na gostoto, upogibno trdnost in ceno m³.
Comparison between massive and laminated wood regarding density, bending strength and price per m³.
Milonig, 2003, str. 4.9

Požarna odpornost

Lesene lepljene lamelirane konstrukcije imajo bistveno večjo požarno odpornost, kot jim na splošno pripisujemo in presegajo pri tem jeklo in armirani beton. Sposobnost lesa za prevajanje toplote je zelo majhna, saj toploto prevajajo 300 do 400 krat počasneje kot jeklo. Elementi zoglelenijo počasi s površine proti notranjosti. Ustvarjena zoglelenost zmanjšuje prevajanje toplote in onemogoča pristop kisika do lesa. Nosilci ohranijo v nezoglenelnem preseku polno nosilnost. V normalno potekajočem požaru masivni smrekovi les gori s hitrostjo 0,6 do 1,1 mm/min, lepljen les pa 0,1 mm/min [Zbašnik Senegačnik, 2001]. LLLKE med gorenjem ne spreminjajo oblike, zato nosilci ne povzročajo pritiska na obodne stene in ne povzročajo njihove porušitve.

Požarno odpornost lesene konstrukcije lahko dosežemo, če (1) izdelek ustrezno dimenzioniramo, (2) lahko ga obložimo s protipožarnimi oblogami ali (3) ga zaščitimo s kemičnimi sredstvi, kjer moramo upoštevati dejanski namen zaščite ter izbrati primeren pripravek [Rep, 2005]. Slika 9 prikazuje standardno požarno krivuljo za gorenje lesa skladno z EC 1- les [41], kjer vidimo, da v 10 minutah gorenja les doseže temperaturo 700 stopinj, nakar se temperatura bistveno počasneje povečuje.



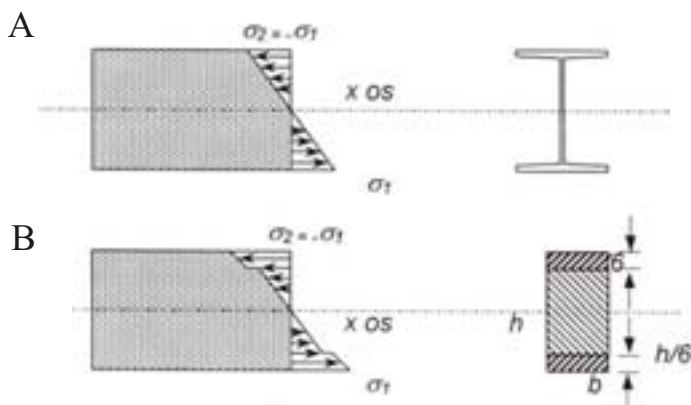
Slika 10: Standardna požarna krivulja za gorenje lesa.
Standard temperature - time curve nominal curve for representing mainly celluloses type fire loads.
Eurocode 1. Actions on structures. General actions. Actions on structures exposed to fire.

Cena in trajnost

Cena osnovnega proizvoda LLLKE je okoli 2,5 krat večja [Haiman, 2005] v primerjavi z masivnim lesom. Vendar pa na končno ceno izdelka vpliva tudi niz drugih faktorjev kot so: planiranje gradnje, hitrost izvedbe, enostavnost transporta in montaže, spojna sredstva, kvaliteta proizvoda, trajnost vgrajenih elementov. Cena zakrivljenih nosilcev je odvisna od radija zakrivljenosti, od preseka nosilca in od števila izdelanih konstrukcijskih elementov. Cena raste sorazmerno z večjo debelino lamele in manjšim radijem. Večji je radij, bolj se cena približuje ceni ravnih nosilcev.

Gospodarnost lesenih lepljenih konstrukcij je predvsem v predizdelavi elementov. Industrijska izdelava omogoča hitro, lahko in enostavno izdelavo, neodvisno od vremenskih vplivov. Tovarniška serijska proizvodnja LLLKE zagotavlja gradnjo z minimalnim številom napak in občutno zmanjšanje dejavnikov tveganja, kar poceni in pospeši gradnjo objekta.

Trajnost lesenih konstrukcij je danes ocenjena na več kot 100 let v povprečno spremenljivih zunanjih pogojih [Pihlajavaara, 1980], poleg tega pa mora biti zagotovljena pravilna izvedba detajlov in ustrežna zaščita. Haiman [2005] ugotavlja v prispevku Zakaj lepljene lamelirane lesene konstrukcije?, da je gradnja konstrukcij z LLE na koncu 15-20% cenejša kot ista armiranobetonska ali jeklena izvedba.

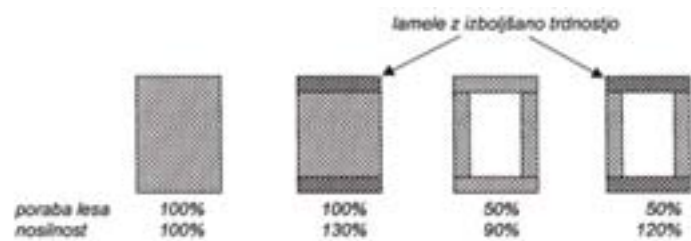


Slika 11: Prilaganje geometrije preseza poteku napetosti (A) in prilaganje kvalitete materiala poteku napetosti (B).
Geometry (A) and material structure adaptation (B) follow tension profile.
Wallner, 2003, str.3.

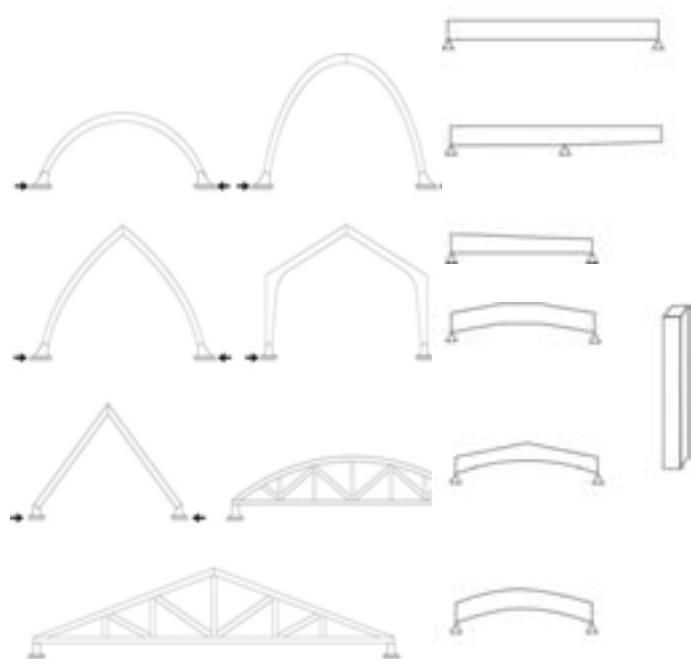
Uporaba lesenih lepljenih konstrukcij v arhitekturi

Lepljen les je nepogrešljiv pri konstrukcijah, kjer je potrebna večja trdnost, dimenzijska stabilnost in ustrezen estetski videz lesenega proizvoda. Po podatkih CNDB [2002] se največ lepljenega lesa v EU porabi za izgradnjo ne-stanovanjskih stavb (trgovski objekti, objekti za šport in prosti čas, industrijske stavbe, ter kulturni objekti). Delež stanovanjskih objektov predstavlja 11 %. Panoga za izgradnje lesenih zgradb za kulturne namene je v največjem porastu.

Lepljeni konstrukcijski elementi so lahko enostavni ali sestavljeni nosilci, stebri, okvirji, različna vešala, palični nosilci in paneli (lahko so sestavljeni iz elementov iz masivnega lesa in laminiranega lesa). Poznamo pa tudi različne netipične izvedbe lesenih lameliranih lepljenih nosilcev, kjer lahko lepljen les (LVL) kombiniramo z masivnim lesom. Taki so npr. I nosilci, ki imajo natezno cono v delu, kjer je lepljen les. Predstavniki sestavljenih proizvodov so tudi kompozitni pasovni nosilci iz lesa in polistirena [Lopatič, 1993]. Posebna oblika lepljenih elementov so leseni lamelirani lepljeni nosilci, pri katerih za izboljšanje lastnosti (upogib, strig) izvedemo predkrivljenje [Wallner, 2003]. Poznamo tudi lamelirane nosilce s prerezi, ki imajo vertikalno nameščene lamele v natezni coni ali vertikalne lamele po celotnem prerezu, lamelirane lesene nosilce, ki imajo v natezni coni prilepljeno armaturo v obliki trakov (jeklo, karbonske lamele, lamele iz steklenih vlaken) [Natterer, 2000], ojačane nosilce s prednapetjem [Peter, Weber, 1980], nosilce z vlepljenimi jeklenimi palicami z navoji [Möhler in Hemmer, 1981], prednapete lesene nosilce, kjer prednapenjanje dosežemo z zunanji plastičnimi kabli, lepljene lamelirane elemente obogatene s karbonskimi vlakni- Carboglugulam [CTBA, 2002]. V zadnjem času se povečuje uporaba sovprežnih konstrukcij iz lesa in betona, ki se uporabljajo zlasti kot upogibi elementi stropnih konstrukcij.



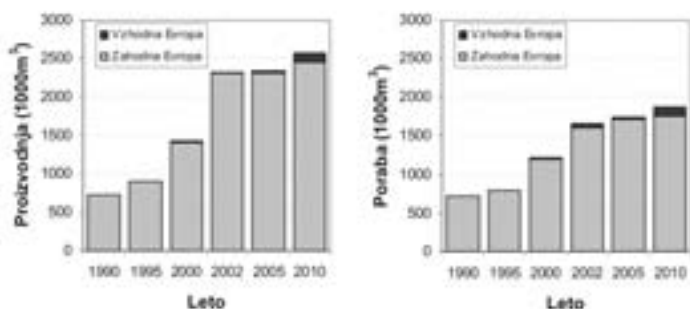
Slika 12: Vpliv oblike preseza nosilca in kvalitete uporabljenega materiala na razmerje med porabo lesa in nosilnostjo.
The effect of the element geometric profile and material quality on the ratio between material consumption and bearing strength.
Wallner, 2003, str 4.



Slika 13: Tipične oblike LLLKE iz vrst prostoležečih linijskih, ukrivljenih in rešetkastih konstrukcijskih elementov.
Typical gluelam shapes and sizes.
Natterer, 1996, str. 101, <http://www.cwc.co>

LLKE se uporabljajo za klasične strešne konstrukcije, za montažne strešne palične elemente, stropne konstrukcije, sestavljene lepljene profile (I-presek), ki se uporabljajo v opazni tehniki, za monolitne ali sestavljene podporne konstrukcije, idr. Ravni lepljeni nosilci se uporabljajo kot nosilni podporni elementi v gradbenih konstrukcijah, kot so stropniki, lege, stebri, elementi v montažnih zidovih in inženirskih konstrukcijah. V nekonstrukcijske namene se LLKE uporabljajo za stavbno pohištvo, za drogove, železniške pragove, kot pohištveni elementi, obloge, itd.

Uporaba lesa v Sloveniji na področju gradbenih inženirskih konstrukcij je usmerjena predvsem na les v njegovi naravni obliki in premalo na namenske proizvode z višjo dodano vrednostjo. Prodaja okroglega lesa se zaostruje zaradi vse manjših kapacitet v primarni predelavi lesa (žagarstvo, proizvodnja ivernih in panelnih plošč) in kemični predelavi lesa (proizvodnja celuloze). Konkurenčnost na trgu žaganega lesa pa izgublamo zaradi visokih stroškov predelave, ki so tudi posledica pomembno manjših predelovalnih kapacitet v primerjavi s kapacitetami v tujini in vse slabši kakovosti lesa, ki ga predelujemo [Furlan, Winkler, 2005]. Po podatkih CEI-Bois se bo proizvodnja lepljenih lesenih nosilcev v obdobju 1990 do 2010 več kot potrojila kar pripisujejo velikemu izvozu na japonski trg med leti 1995 in 2002. Stopnja rasti proizvodnje po letu 2002 pa pada zaradi zrelosti japonskega trga in omejenih zahtev rasti vzhodno-evropskega trga. Na drugi strani je pričakovana rast proizvodnje lepljenega lesa v Vzhodni Evropi zaradi boljše uporabe obstoječih kapacitet, kakor tudi pričakovanih novih kapacitet v drugih delih vzhodne Evrope (Slika 14).



Slika 14: Proizvodnja in poraba lepljenega lesa v vzhodni in zahodni Evropi.
Production and consumption of glued-laminated timber in east and west Europe.

CEI- Bois, Roadmap, 2004, str. 16.

Poraba lepljenega lesa v Evropi se je skokovito povečala v obdobju od 1995 do 2002 pretežno v mediteranskih in državah centralno-zahodne Evrope. Povečana poraba lepljenega lesa v zahodni Evropi pa se predvideva še do leta 2010. Države centralno zahodne Evrope so največji izvozniki lepljenega lesa. Pričakuje se povečana ponudba lepljenega lesa azijskih držav (vključno Rusije). Znotraj Evrope so mediteranske države glavni uvozniki, kar se bo predvidoma v naslednjih letih nadaljevalo.

V Sloveniji močno zastajamo v proizvodnji in porabi lepljenega lesa za geografsko primerljivo Avstrijo, pri čemer je pogozdenost obeh držav primerljiva. Razlogov je več, predvsem v nekonkurenčni proizvodnji ter v majhnem povpraševanju po LLKE. Letna poraba lesa in lesnih kompozitov na različnih področjih gradbeništva je okoli 400.000 m³, za pohištvo pa približno 800.000 m³. Največji proizvajalec lepljenega lesa v Sloveniji je podjetje Hoja, ki proizvede 3750 neto m³ ravnih in krivljenih nosilcev. Lepljen les proizvajata tudi podjetji Svea in Legoles. Proizvodni program Legolesa zajema: dolžinsko spojen konstrukcijski les (KLH) 50%, dvoslojni lepljen les (DUO) in trislojni lepljen les (TRIO) 20%, lameliran lepljen les (BSH) 30%, stropne elemente, lepljena bruna in znaša 2950 neto m³ letno. Podjetje Svea proizvede 4000 neto m³ letno.

Po nekaterih ocenah predstavlja delež lepljenega lesa v celotni količini predelanega lesa v Sloveniji že več kot 50% [Šega, 2003:1]. Med lepljen les prištevamo predvsem lesne plošče (iverne, OSB, vlaknene, vezane) in konstrukcijski kompozitni les – LVL, PSL, LSL.

Zaključek

Lepljen les je danes konkurenčnejši od drugih materialov zaradi pomena ekologije, poleg tega je nepogrešljiv v gradbenih konstrukcijah zaradi svojih izjemnih fizikalnih in mehansko-tehnoloških lastnosti. Cenjen je tudi zaradi svojih estetskih lastnosti, saj omogoča formiranje zahtevnih arhitektonskih oblik, izdelovanje novih prostorskih konceptov in poljubno oblikovanih konstrukcij.

Z optimiranjem, krojenjem in lepljenjem lahko LLLKE oplemenitimo, kar omogoča uporabo slabšega, tudi recikliranega lesa. V svetu sta proizvodnja in poraba lesenih lameliranih elementov v izrednem vzponu. V perspektivi se bo njihova poraba še povečala, k čimer bodo prispevale tudi nove tehnologije, ki bodo omogočale večjo natančnost izdelave in načrtovanja. Trenutno stanje proizvodnje in porabe LLLKE v Sloveniji je zaskrbljujoče, vendar menimo, da bi s promocijo in osveščanjem o prednostih tovrstnih konstrukcij lahko pripomogli k večji razširjenosti lemeliranih lesenih konstrukcij tudi v našem okolju.

Viri in literatura

- Burgbacher, C., 1991: Geformtes Holz ist umweltfreundlich, energiesparend und leistungsfähig. *Bauen mit Holz*, 5, str.327.
- Berdajs, A., Žitnik, D. et al., 2004: *Gradbeniški priročnik*. Tehniška založba Slovenije, Ljubljana, str.214-238.
- Blatnik, E., 1993: *Analiza napetosti ukrivljenih lameliranih lesenih nosilcev*. Diplomski naloga, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, str.10.
- CEI- Bois, Roadmap 2010 for the European Woodworking Industries., 2004: *Key findings and Conclusions- market, Industry&Forest Resource Analysis as part of the Roadmap to 2010 Process*, str.16.
- Centre National pour Development du Bois., 2002 : *Recherche- production Lamellé Collé*. CNDB, Paris, str.5-13.
- Frühwald, A., 2005: *Comparison of wood products and major substitutes with respect to environmental energy balance*. University of Hamburg, Centre for Wood Science and Technology, Federal Research Center for Forestry and Forest Products, str. 5.
- Furlan, F., Winkler, I., 2005: *Poslovanje gozdarskih gospodarskih družb v letu 2004*. V: *Gozdarški vestnik*, 63-10, str. 430-454.
- Haiman, M., 2005: *Zašto lepljene lamelirane drvene konstrukcije?* V: *Drvo*, 45, str.85.
- Informationdienst Holz, 2002: *Argumente für BS Holz*, str. 4.
- Lopatič, J., 1993: *Preiskava kompozitnih nosilcev iz lesa in stiropora*. V: *Les*, 45:10, str. 281-288.
- Lukan, M., 1999: *Eksperimentalne preiskave obnašanja lameliranih lepljenih lesenih nosilcev*. Diplomski naloga. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, str.12.
- Kušar, J., 1999: *Konstruiranje in dimenzioniranje*. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, str. 148.
- Marra, AA., 1992: *Technology of wood bonding. Principles in practice*. New York, Van Nostrand Reinhold, str. 454.
- Milonig, S., 2003: *Bausysteme Holzbau. Vom Baum zum Werkstoff*. Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau, TU Wien, str. 4.9.
- Möhler, K., Hemmer, K., 1981: *Eingeleimte Gewindestangen*. V: *Bauen mit Holz*, 5, str. 296-298.
- Müller, A., 2000: *Holzleimbau*. Birkhäuser, Basel-Berlin-Boston, str. 32.
- Natterer, J., Herzog T., Volz, M., 1996: *Holzbau - Atlas*. Rudolf Müller, Köln, str.101.
- Pihlajavaara, S.E., 1980: *Background and Principles of Long-Term Performance of Building Materials. Durability of Building Materials and Components*, ASTM STP 691, American Society for Testing and Materials, str. 5-17.
- Pro:Holz Austria, 2002: *Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich*. proHolz Information, str. 84.
- Rep, G., 2005: *Gorenje lesa*. V: *Zbornik referatov*. Ljubljana: Slovensko združenje za požarno varstvo, str.71.
- Russell, C. Moody., 1999: *Glued Structural Members*. V: *Wood handbook, Wood as an Engineering Material*. USDA Madison, str.11/3.
- Srpčič, J., 2005: *Dimenzioniranje lesenih konstrukcij po metodi mejnih stanj*. V: <http://www.gzs.si/DRNivo3.asp?IDpm=6687&ID=25893<27.04.2006>>
- Šega, B., 2003: *Osnove lepljenega lesa*. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, str.1.
- Vittone, R., 2002: *Manuel de la construction en Bois*. Presses Polytechniques et Universitaires Romande, str.135.
- Vratuša, S., 1995: *Eurocode 5, projektiranje lesenih konstrukcij (Splošna pravila in pravila za stavbe)*. V: *Zbornik seminarjev Uvajanje sodobnih evropskih standardov Eurocode v Sloveniji*, str. 98-114.
- Wallner, E., 2003: *Ekonomičnost upogibno obremenjenih nosilcev*. Raziskovalna naloga, Univerza v Ljubljani- Fakulteta za arhitekturo, str. 3-4.
- Winter, W., 2003/2004: *Bausysteme Holzbau: C Holzeinsatz bei Tragwerken: Praktische Hinweise zur entwicklung von Tragwerken*. Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau, TU, str. 4.
- Zbačnik Senegačnik, M., 2001: *Hiša iz masivnega lesa*. V: *Les Wood*, 53(2001)10, str. 339-344

Manja Kitek Kuzman,
doc dr Jasna Hrovatin,
prof dr Jože Kušar
Biotehniška fakulteta
Fakulteta za arhitekturo
Univerza v Ljubljani
manja.kuzman@bf.uni-lj.si