

Milan Šernek<sup>1,\*</sup>, Maksimilijan Mravljak<sup>1</sup>

# Adhezija pri lepljenju lesa z jeklom

## POVZETEK

Pri montaži lepljenih lameliranih nosilcev v želeno konstrukcijo se uporabljajo tudi nove vrste vezi - jeklene palice z metričnim navojem, ki jih s pomočjo lepila usidrajo oziroma vlepajo v leseni nosilec. Imenujemo jih »glued-in rods« ali vezi iz vlepljenih jeklenih palic (VIVJP). Za izvedbo kakovostnih VIVJP je ključnega pomena razumevanje kohezije in adhezije pri lepljenju lesa in jekla, za kar je potrebno poznati reološke lastnosti lepila ter relevantne lastnosti obeh lepljencev (les in jeklo). Glavni dejavniki, ki vplivajo na trdnost vezi, so geometrija (globina in premer) in morfologija izvrtine, vlažnost lesa, anatomsko smer lesa in potek lesnih vlaken ter debelina in površina lepilnega spoja.

**Ključne besede:** adhezija, epoksidno lepilo, jeklo, lepljeni lamelirani nosilci, les.

## 1. Uvod

Lepljeni lamelirani nosilci »glued laminated timber« (glulam) so namenjeni gradnji objektov z večjimi razponi, kot so športne dvorane, pokriti bazeni, paviljoni, garažne hiše, industrijske hale in podobno. Dimenzije nosilcev so omejene s proizvodnimi zmogljivostmi, določene omejitve pa obstajajo tudi glede transporta od tovarne do gradbišča. Pogosto je potrebno lepljene lamelirane konstrukcijske elemente spojiti med sabo, za kar se večinoma uporabljajo vezi na osnovi vijakov z maticami ali mozniki (Mravljak in Šernek, 2009). Pri večjih konstrukcijah je lahko število vijakov ali moznikov za posamezen spoj zelo veliko, kar predstavlja dodatno težavo pri sestavi. Takšne vezi z estetskega vidika niso najbolj zaželene (Kuhlmann in sod., 2001), zato se za spajanje lesa in lesnih kompozitov v kompleksnejšo konstrukcijo uporabljajo nove vrste vezi, ki so se zadnjem času uveljavile v praksi. Take konstrukcijske vezi, ki se uporabljajo predvsem pri montaži lepljenih nosilcev, predstavljajo jeklene palice z metričnim navojem, ki jih s pomočjo lepila usidrajo oziroma lepijo v les. Imenujemo jih »glued-in rods« ali vezi iz vlepljenih jeklenih palic (VIVJP).

Za izvedbo kakovostnih VIVJP je ključnega pomena razumevanje kohezije in adhezije pri lepljenju lesa in jekla, za kar je potrebno poznati reološke lastnosti lepila (Mravljak in Šernek, 2011) ter relevantne lastnosti lepljencev (les in jeklo). Pomemben vpliv na obnašanje teh vezi imajo tudi geometrija

(globina in premer) in morfologija izvrtine, ki je odvisna od načina izdelave, anatomsko smer lesa in potek lesnih vlaken, vlažnost lesa ter drugi dejavniki, kot sta debelina lepilnega sloja oz. spoja in način obremenitve. Cilj predstavljene raziskave je bil proučiti vpliv omenjenih dejavnikov na trdnost vezi in s tem zagotoviti varno uporabo VIVJP.

## 2. Materiali in metode

### 2.1. Izbira materialov

V raziskavi smo uporabili tri komercialna epoksidna lepila, primerna za lepljenje lesa in jekla:

1. ERGO 7211 EPOXY 2K 50 ml (7211).
2. EPOX 210 A+B (EPOX 210).
3. NEOSTIK EP 101 (EP 101).

Za izdelavo testnih preskušancev smo uporabili smrekov les (*Picea abies* L.), jeklene ploščice in jeklene palice z metričnim navojem.

### 2.2. Proučevanje reoloških lastnosti lepil

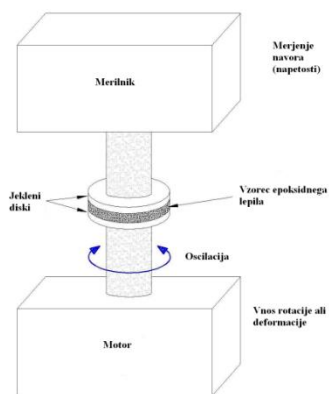
V začetnem delu raziskave smo raziskali reološke lastnosti treh epoksidnih lepil med utrjevanjem pri različnih temperaturah in nato izbrali najustreznejše lepilo za nadaljnje raziskave lepljenja lesa in jekla. Izvedli smo oscilatorni test z reometom ARES G2 (slika 1).

<sup>1</sup>Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Rožna dolina C. VIII/34, 1000 Ljubljana

E-naslov: milan.sernek@bf.uni-lj.si

\* Avtor za korespondenco; Tel.: +1-320-3623;

Fax: +1-257-2297



Slika 1. Zasnova oscilatornega testa z reometrom (levo) in reometer ARES G2 (desno).

### 2.3. Preskušanje strižne trdnosti lepilnega spoja

Za proučevanje trdnosti vezi med lesom in jeklom smo izdelali strižne preskušance s preklpom, in sicer tako, da je bil en del preskušanca iz lesa, drugi del pa iz jekla (slika 2). Oba dela preskušanca smo med seboj zlepili z epoksidnim lepilom ERGO 7211.

Leseni del preskušanca (lamela dimenzij 150 mm x 20 mm x 5 mm) je bil izdelan iz smrekovine z ravnovesno vlažnostjo 12 %. Izdelali smo tri vrste lamel glede na orientacijo lesnih vlaken:

1. Lamelle z radialno strukturo
2. Lamelle s tangencialno strukturo
3. Lamelle z radialno/tangencialno strukturo

Jekleni del preskušanca je bil izdelan iz jekla z nominalno natezno trdnostjo 1000 N/mm<sup>2</sup>. Strižni test smo opravili v skladu s standardnim postopkom z univerzalnim testirnim strojem Zwick Z100.

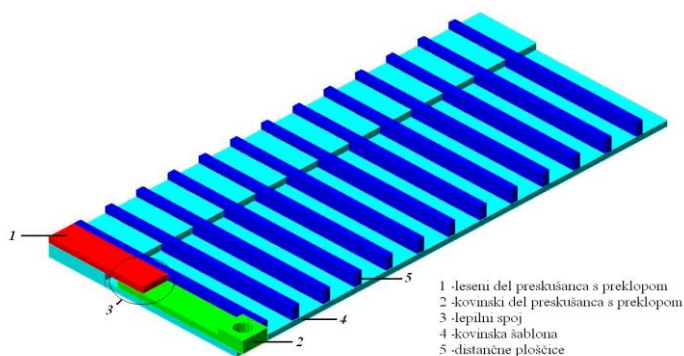
### 2.4. Preskušanje VIVJP

V zaključnem delu raziskave smo izdelali VIVJP ter ugotavljali vpliv debeline lepilnega sloja in sidriščne dolžine na

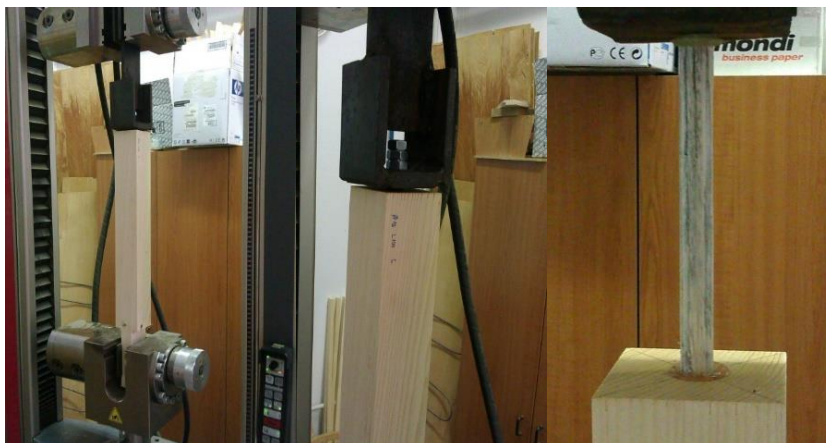
trdnost vezi. Leseni del VIVJP smo izdelali iz smrekovega lesa in pripravili šest ponovitev za vsako od naslednjih kombinacij preskušancev:

1. Tri različne debeline lepilnega sloja okoli jeklene palice: 0 mm, 0,5 mm in 1 mm.
2. Dva različna premera palic: 10 mm in 12 mm.
3. Dve sidriščni dolžini: 100 mm in 150 mm.

Presek preskušancev smo določili glede na premer vlepljene palice pri čemer smo upoštevali varnostno razdaljo od roba preskušanca, ki je potrebna, da ne pride do nezaželenega prečnega pokanja po lesu. Jekleni del preskušanca smo izdelali iz palic z metričnim navojem premera 10 mm in 12 mm. Za preskušance z globino izvrtine 100 mm smo pripravili palice dolžine 150 mm, za preskušance z globino izvrtine 150 mm pa palice dolžine 200 mm. Tako smo zagotovili 50 mm jeklene palice izven lesenega dela, potrebne za učinkovito vpetje v čeljust trgalnega stroja (slika 3). Palice smo temeljito očistili in razmastili ter tako preprečili vnos nečistoč v lepilo oz. spoj. Lepili smo z epoksidnim lepilom ERGO 7211, ki smo ga nanесли v izvrtino, vanjo vstavili jekleno palico in pustili, da je lepilo utrdilo.



Slika 2. Sestava strižnih preskušancev s preklpom s pomočjo šablone (levo) in zlepljen preskušanec po porušitvi (desno).



**Slika 3.** Vpetje VIVJP v univerzalni testirni stroj Zwick Z100 (levo), detajl vpetja vijaka z metričnim navojem (v sredini) in porušitev VIVJP preskušanca po lesnih vlaknih (desno).

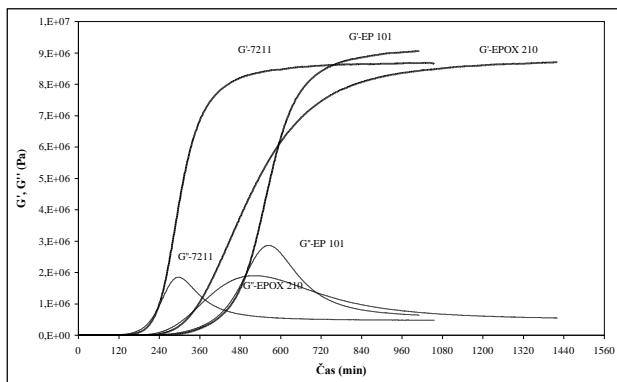
### 3. Rezultati in razprava

**Preglednica 1.** Časi želiranja ( $t_{zel}$ ) in zamreženja ( $t_{zam}$ ) proučevanih lepil pri različnih temperaturah ( $T$ ).

#### 3.1. Utrjevanje lepil

S pomočjo reometrije smo spremljali proces utrjevanja lepil in določili njihove karakteristične lastnosti. Profil utrjevanja proučevanih epoksidnih lepil pri temperaturi 30 °C je prikazan na sliki 4. Na osnovi sečišča krivulj  $G'$  in  $G''$  (točka želiranja) smo ugotovili, da je najhitreje utrdilo lepilo ERGO 7211, nato EPOX 210 in zatem EP 101.

Lepilo	EP 101		EPOX 210		ERGO 7211	
	$t_{zel}$ (min)	$t_{zam}$ (min)	$t_{zel}$ (min)	$t_{zam}$ (min)	$t_{zel}$ (min)	$t_{zam}$ (min)
30	499	565	345	527	238	297
40	186	365	151	321	139	174
50	91	277	69	272	64	103
60	44	334	38	457	30	57
80	8	103	11	1183	6	33

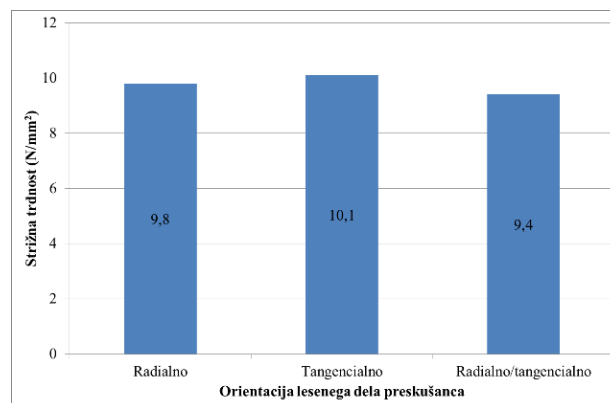


**Slika 4.** Prikaz profilov utrjevanja proučevanih epoksidnih lepil pri 30 °C.

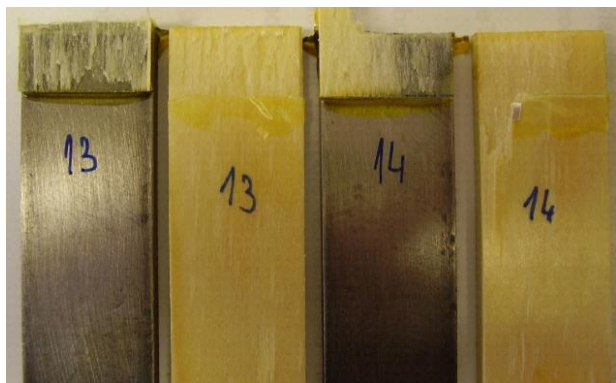
Temperatura utrjevanja je imela bistveni vpliv na čas želiranja in zamreženja lepil (preglednica 1). Z arščajajočo temperaturo se je povečala hitrost utrjevanja lepil in s tem skrajšal čas za želiranje in zamreženje.

#### 3.2. Strižna trdnost lepilnega spoja

Ugotovili smo, da orientacija lesnih vlaken v lesenem delu preskušanca ni bistveno vplivala na strižno trdnost lepilnega spoja (slika 5). Delež loma po lesnih vlaknih je bil v vseh primerih zelo visok (slika 6), kar pomeni, da je bil lepilni spoj »močnejši«, in da ugotovljena trdnost pravzaprav predstavlja strižno trdnost smrekovine. S praktičnega vidika to pomeni, da je bilo izbrano epoksidno lepilo kakovostno in primerno za lepljenje lesa in jekla.



**Slika 5.** Strižna trdnost lepilnega spoja glede na orientacijo lesenega dela preskušanca.



**Slika 6.** Visok delež loma po lesu preskušancev s preklopom

*RILEM - Symposium on Joints in Timber Structures, 2001, Stuttgart, Germany: 343-352.*

- Mravljak M., Šernek M. Vpliv osnovnih dejavnikov na kratkotrajno obnašanje vezi iz vlepljenih jeklenih palic. *Les*, **2009**, 61, 7-8.
- Mravljak M., Šernek M. The influence of curing temperature on the rheological properties of epoxy adhesives. *Drvna industrija*, **2011**, 62(1), 19-25.

### 3.3. Trdnost VIVJP

Maksimalna obremenitev potrebna za porušitev VIVJP je naraščala z sidriščno dolžino jeklene palice in njenim premerom (preglednica 2). To je bilo pričakovano, saj se je pri tem povečala lepilna površina. Na trdnost vezi je vplivala tudi debelina lepilnega sloja in sicer so bili v večini primerov najboljši rezultati doseženi pri srednji debelini (0,5 mm).

**Preglednica 2.** Maksimalna obremenitev (kN) VIVJP glede na debelino lepilnega sloja, premer palice in sidriščno dolžino.

Debelina lepilnega sloja (mm)	Premer palice $\phi$ in sidriščna dolžina (mm)			
	$\phi$ 10		$\phi$ 12	
	100	150	100	150
0,0	21,9	23,5	23,4	29,7
0,5	22,9	23,1	29,6	33,3
1,0	20,2	18,8	25,6	29,7

## 4. Sklepi

Ugotovili smo, da lahko z merjenjem reoloških lastnosti zelo podrobno spremljamo proces utrjevanja epoksidnih lepil ter določimo čas želiranja in zamreženja. Z naraščajočo temperaturo utrjevanja sta se omenjena časa bistveno skrajšala. Najhitreje je utrdilo lepilo ERGO 7211, nato EPOX 210 in najkasneje EP 101. Orientacija lesnih vlaken ni vplivala na strižno trdnost preskušancev s preklopom. Lom preskušancev je potekal po lesnih vlaknih. Največjo obremenitev so prenesle VIVJP z daljšo (150 mm) sidriščno dolžino, večjim (12 mm) premerom palice in s srednjo (0,5 mm) debelino lepilnega sloja.

## Zahvala

Raziskava je potekala v okviru raziskovalnega programa P4-0015 »Les in lignocelulozni kompoziti«, ki ga financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS.

## Literatura

- Kuhlmann U., Aicher S., Lippert P. Rigid frame corners with glued-in rods. V: *Proceedings of the International*