

UDK: 630*824.89

Vpliv različne mehanske priprave lepilne površine na kvaliteto lepilnega spoja

avtorja **Matevž SELJAK** in **Milan ŠERNEK**, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Rožna dolina C. VIII/34, SI-1001 Ljubljana

1. UVOD

Lepljenje lesa je pogost tehnološki postopek, saj z njim izboljšamo nekatere mehanske in fizikalne lastnosti lesa, kot sta trdnost in dimenzijska stabilnost, izboljšamo kvalitativni in kvantitativni izkoristek lesne surovine ter oblikujemo proizvode takih dimenzij in oblik, ki najučinkovitejše zadovoljijo predpisane zahteve /7/. Prednost različnih postopkov lepljenja je, da lahko iz manj kvalitetne lesne surovine s sistematičnim izžagovanjem napak in s ponovnim dolžinskim, širinskim ali debelinskim spajanjem proizvajamo kvalitetne končne proizvode.

Kvaliteten lepilni spoj dosežemo, če poskrbimo za ustrezen proces oblikovanja lepilnega spoja. Zagotoviti moramo pravšnji nanos lepila, zadosten prenos na nasprotno lepilno površino, dobro omočitev površine lesa, optimalno penetracija lepila v pore lesa in v celično steno ter primerno utrjevanje lepila pri optimalnih parametrih lepljenja (vlažnost lesa, vmesni čas, tlak stiskanja, temperatura stiskanja in čas stiskanja) /5/. Trden lepilni spoj je pogojen z dobro adhezijo med lepilom in lesom. Ker je adhezija neposredno odvisna od površinskih lastnosti obeh materialov, je priprava površine lesa ključnega pomena za lepljenje. Površina mora imeti ustrezne morfološke

lastnosti, biti mora čista in aktivna /5/.

V lesni industriji uporabljamo razne načine mehanske priprave lepilne površine. Najpogostejši načini so skobljanje (klasično in z rotolesom), brušenje in žaganje. Tako pripravljene površine lesa se razlikujejo po hrapavosti, odprtosti por, površinskih razpokah in poškodbah, kar vpliva na kvaliteto lepljenja. V tem prispevku je proučevan vpliv načina mehanske priprave lepilne površine na omočitev lesa in na trdnost lepilnega spoja.

2. MATERIAL IN METODE

V raziskavi smo uporabili dve komercialno pomembnejši lesni vrsti, in sicer smrekovino (*Picea abies* Karst.) in bukovino (*Fagus sylvatica* L.). Les smo pripravili v obliki lamel po standardu SIST EN 205. Vse lamele so bile pripravljene z določeno nadmero za kasnejšo obdelavo oziroma različno mehansko pripravo lepilne površine. Lamele smo sedem dni klimatizirali v standardni klimi s temperaturo 20 ± 2 °C in relativno zračno vlažnostjo 65 ± 5 %. Nato smo lamele razdelili v štiri skupine in za vsako skupino uporabili drug način mehanske priprave lepilne površine. Izvedli smo klasično skobljanje (kombinirani mizarski stroj MiniMax, CU 410 K) in skobljanje z rotolesom (LEDINEK, 400 D-S) ter

grobno in fino brušenje površine (kontaktni brusilni stroj SCM, SANDYA 3). Za grobo brušenje smo uporabili brusni papir z granulacijo brusnih zrn 60, za fino pa 150. Brusili smo s širokotračnim brusilnim strojem, s katerim smo lahko zagotovili enakomerno brušenje po celotni površini. Vse lepilne površine smo po končani mehanski pripravi očistili s stisnjanim zrakom.

Nato smo iz vsake lamele na obeh koncih odžagali po en preskušaneč širine 5 centimetrov, ki smo ga uporabili za ugotavljanje kontaktnega kota oziroma omočitve lesa z lepilom (slika 1). Osrednji del lamele (600 x 104 x 5 mm) smo uporabili za lepljenje z urea-formaldehidnim lepilom (UF), tip LENDUR® 120 iz Nafta Lendava, in z melamin-urea-formaldehidnim lepilom (MUF), tip MELDUR H97 iz Melamina Kočevje.

2.1. Ugotavljanje kontaktnega kota

Omočitev oziroma kontaktni kot kapljice lepila na površini lesa smo ugotavljali posredno na osnovi merjenja višine in širine kapljice. Lepilo smo na preskušaneč nanašali 5 do 10 mm od roba preizkušance z 2 ml injekcijsko brizgalko. Takoj po nanosu smo kapljico 22-krat povečali z mikroskopom OLYMPUS in jo nato 35 sekund sne-

mali z digitalnim fotoaparatom. Posnetek smo prenesli na računalnik in s programom OLYMPUS CAMEDIA MASTER 2,5 iz njega izločili digitalne slike kapljice lepila pri 0., 1., 2., 5., 10., 15., 20., 25. in 30. sekundi. Nato smo s programom za analizo slike OLYMPUS DP-SOFT izmerili višino kapljice lepila (h) in širino kapljice (a), ki je bila v stiku z lesom (slika 2). Ob predpostavki, da ima kapljica lepila obliko krogelnega odseka, smo kontaktni kot izračunali po enačbi /1/:

$$\Theta = 2 \times \arctg \frac{2h}{a}$$

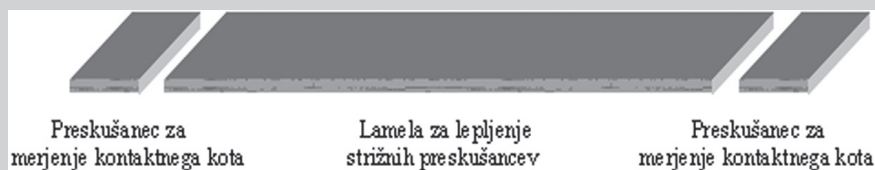
2.2. Ugotavljanje strižne trdnosti lepilnega spoja

Vpliv mehanske obdelave lepilne površine na kvaliteto zlepljenosti smo ugotavljali s preskusom strižne trdnosti po standardu SIST EN 205 /3/. V ta namen smo po dve lameli zlepili pri izbranih parametrih lepljenja (preglednica 1) in izdelali strižne preskušance, ki smo jih nato razdelili v štiri skupine. Pred ugotavljanjem strižne trdnosti smo posamezno skupino preskušancev pripravili po enem izmed štirih načinov po standardu SIST EN 12765 (preglednica 2).

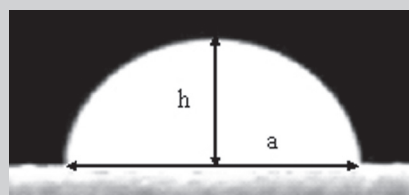
3. REZULTATI IN RAZPRAVA

3.1. Vpliv mehanske obdelave lepilne površine na omočitev z lepilom

V splošnem smo ugotovili, da je bil kontaktni kot UF lepila največji na lepilni površini, pripravljeni z rotulesom, nekoliko manjši na brušeni površini in najmanjši na klasično skobljani površini lesa (preglednica 3). Začetni kontaktni kot UF lepila je na smrekovini, skobljani z rotolesom, znašal $100,2^\circ$, na bukovini pa $103,1^\circ$. Površina lesa, ki je bila brušena, se je nekoliko bolje omakala z UF lepilom, saj je



□ **Slika 1.** Priprava lamel za lepljenje in preskušancev za merjenje kontaktnih kotov



□ **Slika 2.** Način merjenja višine in širine kapljice lepila na površini lesa

□ **Preglednica 1.** Parametri lepljenja lamel za ugotavljanje kvalitete zlepljenosti

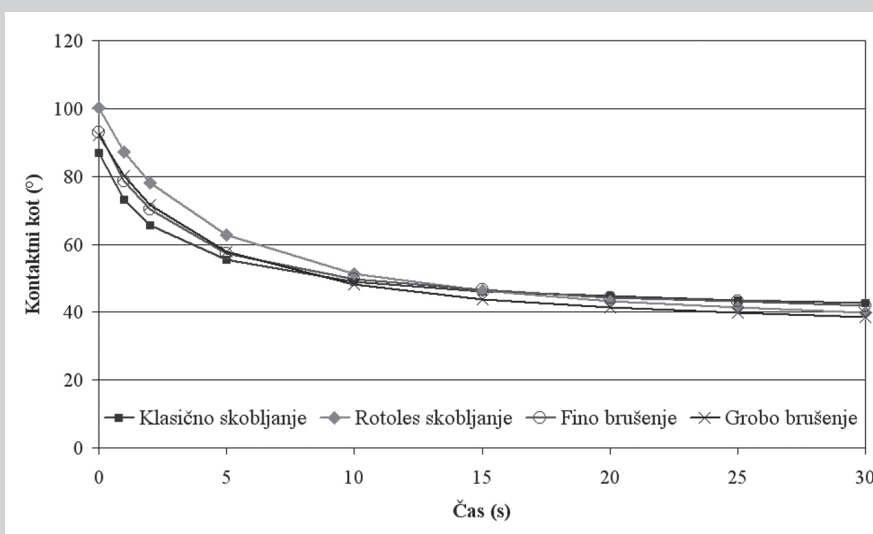
Parameter	Vrednost	
Nanos lepila	UF lepilo	200 g/m ²
	MUF lepilo	200 g/m ²
Tlak stiskanja	Smrekovina	1,0 N/mm ²
	Bukovina	1,5 N/mm ²
Temperatura stiskanja	UF lepilo	120 °C
	MUF lepilo	130 °C
Čas stiskanja	UF lepilo	7 min
	MUF lepilo	10 min

□ **Preglednica 2.** Priprava preskušancev pred ugotavljanjem kvalitete zlepljenosti / 2/

Priprava	Klimatski pogoji priprave
I.	7 dni v standardni klimi
II.	7 dni v standardni klimi 1 dan v vodi (20±5) °C
III.	7 dni v standardni klimi 3 ure v vodi (67±2) °C 2 uri v vodi (20±5) °C
IV.	7 dni v standardni klimi 3 ure v vreli vodi 2 uri v vodi (20±5) °C

□ Preglednica 3. Kontaktni kot (°) UF in MUF lepila na smrekovini in bukovini v odvisnosti od časa in od načina mehanske priprave lepilne površine

Vrsta lesa	Vrsta lepila	Vrsta obdelave	Čas (s)								
			0	1	2	5	10	15	20	25	30
SMREKOVINA	UF	Klasično skobljanje	87,0	73,1	65,7	55,4	49,0	46,2	44,8	43,4	42,8
		Rotoles skobljanje	100,2	87,3	78,1	62,7	51,4	46,4	43,3	41,5	39,8
		Fino brušenje	92,8	78,6	70,3	57,2	49,7	46,5	44,3	43,1	42,0
		Grobo brušenje	92,2	80,2	71,6	57,8	48,2	43,8	41,3	39,7	38,4
	MUF	Klasično skobljanje	88,3	79,3	74,9	68,1	64,9	62,6	61,9	60,8	60,1
		Rotoles skobljanje	107,3	98,2	91,8	81,1	72,3	67,8	65,3	63,5	62,4
		Fino brušenje	104,4	95,2	89,6	81,7	75,4	72,5	70,8	69,7	68,6
		Grobo brušenje	99,8	91,9	86,9	81,7	75,4	72,5	70,8	69,7	68,6
BUKOVINA	UF	Klasično skobljanje	85,6	75,7	69,3	59,9	52,5	49,1	47,2	45,7	44,5
		Rotoles skobljanje	103,1	92,8	85,3	73,4	63,6	58,2	54,5	52,2	50,3
		Fino brušenje	96,5	83,1	75,1	62,9	53,8	49,7	47,2	45,7	43,9
		Grobo brušenje	98,8	87,6	80,3	68,3	58,1	53,2	49,7	47,8	46,1
	MUF	Klasično skobljanje	98,3	91,2	86,4	79,1	74,6	72,4	71,1	70,0	69,0
		Rotoles skobljanje	110,9	105,1	101,1	94,9	89,8	86,9	84,9	83,5	82,5
		Fino brušenje	102,0	93,4	87,9	80,8	75,9	73,6	72,0	71,3	70,5
		Grobo brušenje	101,6	94,5	90,3	83,9	79,3	76,7	75,7	74,6	73,9



□ Slika 3. Spremembe kontaktnega kota UF lepila na smrekovini v odvisnosti od časa

bil kontaktni kot na fino brušeni smrekovini 92,8° in na grobo brušeni 92,2°, medtem ko je bil kontaktni kot na fino brušeni bukovini 96,5° in na grobo brušeni 98,8°. Razlike v omočitvi med fino in grobo brušeno površino niso bile značilne. Najboljše omočenje površine oziroma najnižji kontaktni kot je bil ugotovljen na klasično skobljani bukovini (85,6°) in smrekovini (87,0°).

Tudi za MUF lepilo je bil začetni kon-

taktni kot največji na lepilni površini, pripravljeni z rotolesom, manjši na brušeni površini in najmanjši na klasično skobljani površini. Ugotovili smo, da UF lepilo bolje omaka površino lesa kot MUF lepilo. Razlika v začetnem kontaktnem kotu med UF in MUF lepiloma je bila nekaj stopinj, nato pa se je ta razlika s časom večala in je bila po 30 sekundah od nanosa kapljice lepila na površino lesa tudi do 30,2°. Te

razlike so posledice različne kemijske sestave UF in MUF lepila in s tem povezane različne površinske napetosti in viskoznosti teh dveh lepil /5/.

Dinamika zmanjševanja kontaktnega kota je bila največja takoj po nanosu kapljice lepila na površino lesa (0-10 s), nato pa so bile spremembe manj izrazite in po 30 sekundah zanemarljive (slika 3). Na površini, ki je bila pripravljena z rotolesom, smo ugotovili največji padec kontaktnega kota (tudi do 60° v 30 sekundah), kar kaže na dejstvo, da je bila penetracija lepila zelo intenzivna. Znano je, da je površina, obdelana z rotolesom, bolj odprta in lahko lepilo bolje oziroma globlje penetrira /4/.

3.3. Trdnost lepilnega spoja

Trdnost lepilnega spoja je bila v splošnem odvisna od vrste lepila, vrste lesa, načina priprave preskušancev in vrste mehanske priprave lepilne površine (preglednica 4). Ugotovili smo, da je trdnost lepilnega spoja padala z naraščajočo ostrino priprave preskušancev (od I. do IV.), kar je bilo pričakovano. Priprava I. (klimatiziranje v standardni klimi) namreč ni oslabil lepilnega

spoja in je lom kvalitetno zlepljenih lamel potekal pretežno po lesu, medtem ko je priprava IV. močno oslabila lepilni spoj in je lom potekal pretežno po lepilnem spoju. V primerih, ko je lom potekal po lesu, so bile ugotovljene razlike v trdnosti predvsem zaradi različnih trdnostnih lastnosti med bukovino in smrekovino. V primerih, ko je lom potekal po lepilu, so bile ugotovljene razlike v trdnosti predvsem zaradi različnih trdnostnih in trajnostnih lastnosti med UF in MUF lepilom.

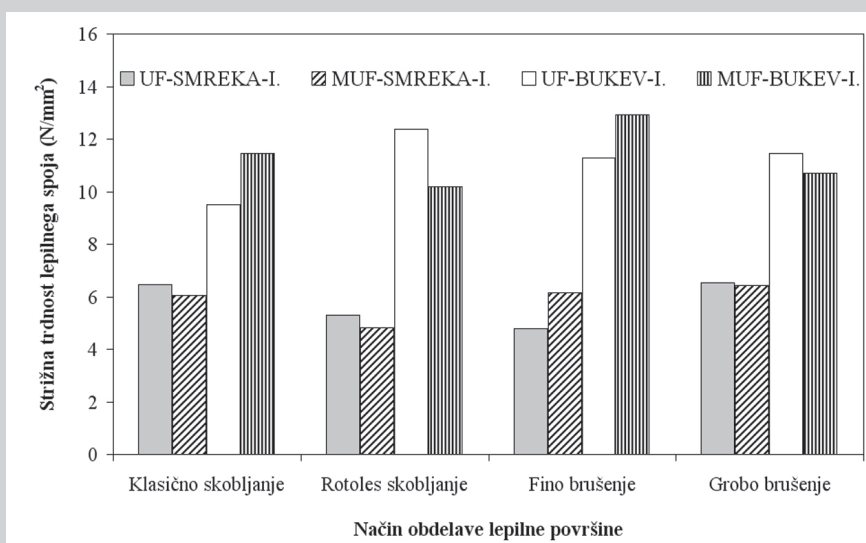
3.4. Vpliv mehanske obdelave lepilne površine na trdnost lepilnega spoja

Strižna trdnost lepilnega spoja preskušancev, ki so bili pred ugotavljanjem trdnosti izpostavljeni standardni klimi (priprava I.), ni bila statistično značilno odvisna od mehanske priprave lepilne površine (slika 4). Razlog za to je bil visok odstotek loma po lesu – kohezijski lom, na kar pa priprava površine ne vpliva. Odstotek loma po lesu je pri smrekovih preskušancih znašal 100 %, pri bukovih pa od 93 do 100 %. To pomeni, da loma po lepilnem spoju praktično ni bilo, zato je bila izmerjena strižna trdnost lesa, ki pa je pogojena z anatomsko zgradbo lesne vrste in ne z načinom priprave lesne površine. Ker ima bukovina bistveno večjo trdnost kot smrekovina, so bile velike razlike v trdnosti med bukovimi in smrekovimi preskušanci pričakovane.

Strižna trdnost lepilnega spoja smrekovih preskušancev, ki so bili pred ugotavljanjem trdnosti umetno pospešeno starani (priprava preskušancev IV.), ni bila bistveno odvisna od mehanske priprave lepilne površine (slika 5). Trdnosti lepilnega spoja bukovih preskušancev, ki so bili lepljeni z UF lepilom, praktično ni bilo moč izmeriti, saj so le-ti razpadli že med pripravo preskušancev. Vpliv mehanske obdelave

□ Preglednica 4. Strižna trdnost (N/mm^2) UF in MUF lepilnega spoja glede na vrsto lesa in način mehanske priprave lepilne površine

Vrsta lesa	Vrsta lepila	Vrsta obdelave	Način priprave preskušancev			
			I.	II.	III.	IV.
SMREKOVINA	UF	Klasično skobljanje	6,46	4,27	2,76	1
		Rotoles skobljanje	5,29	4,78	2,16	0,46
		Fino brušenje	4,79	5,36	4,42	0,75
		Grobo brušenje	6,54	3,34	3,80	1,36
	MUF	Klasično skobljanje	6,04	5,25	4,18	4,06
		Rotoles skobljanje	4,82	4,68	4,46	4,36
		Fino brušenje	6,17	6,07	4,06	4,58
		Grobo brušenje	6,42	2,94	4,66	3,62
BUKOVINA	UF	Klasično skobljanje	9,50	5,54	3,01	0
		Rotoles skobljanje	12,36	6,64	2,83	0
		Fino brušenje	11,27	7,53	3,69	0
		Grobo brušenje	11,44	8,30	2,58	0
	MUF	Klasično skobljanje	11,46	9,17	7,62	2,08
		Rotoles skobljanje	10,20	8,85	7,35	2,24
		Fino brušenje	12,94	8,70	9,01	5,06
		Grobo brušenje	10,69	7,26	6,10	4,87

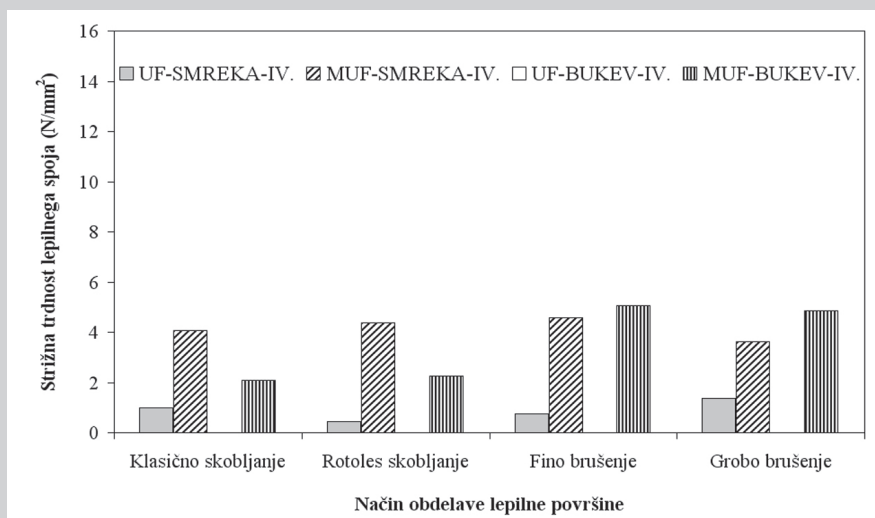


□ Slika 4. Strižna trdnost lepilnega spoja v odvisnosti od načina obdelave lepilne površine (priprava preskušancev I.)

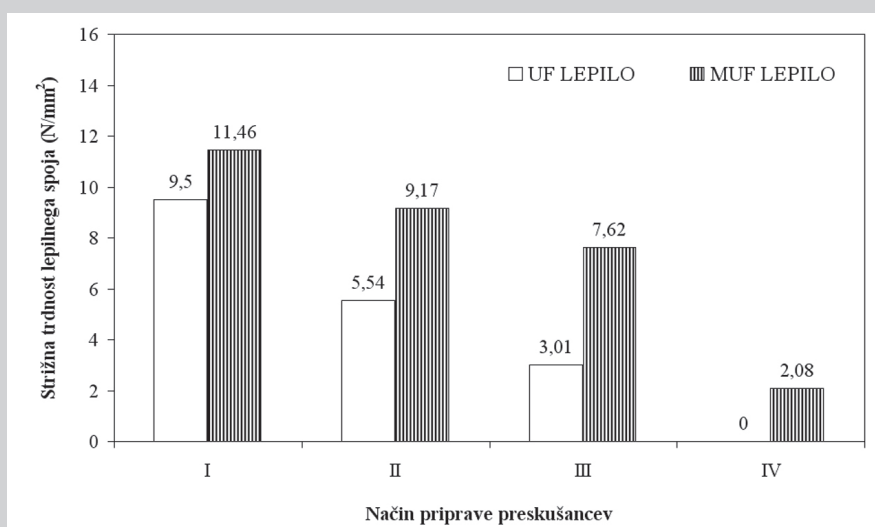
lepilne površine je bil ugotovljen le za bukove preskušance, lepljene z MUF lepilom, kjer so fino in grobo brušene površine izkazovale do 2,5-krat večjo trdnost od skobljanih. Pri finem brušenju je bil lom po lesu 15 %, pri grobem pa 60 %, medtem ko je bil lom po lesu pri klasičnem in rotoles skobljanju 0 %.

Ugotovili smo razlike v strižni trdnosti UF in MUF lepilnega spoja (slika 6),

kar je bilo predvsem izrazito za preskušance, ki so bili med pripravo izpostavljeni vodi (priprave preskušancev II., III. in IV.). UF lepilo je manj odporno proti vodi kot MUF lepilo / 6/, zato je bil tak rezultat pričakovan. Po standardu SIST EN 12765 lahko v raziskavi uporabljeno MUF lepilo uvrstimo v trajnostni razred C3. V ta razred spadajo duromerna lepila za les za nekonstrukcijsko uporabo v:



□ Slika 5. Strižna trdnost lepilnega spoja v odvisnosti od načina obdelave lepilne površine (priprava preskušancev IV.)



□ Slika 6. Vpliv načina priprave bukovih preskušancev na strižno trdnost lepilnega spoja

- notranjih prostorih s pogostimi kratkotrajnimi izpostavitvami tekoči ali kondenzirani vodi in/ali visoki relativni zračni vlažnosti in
- zunanjih pokritih prostorih.

4. SKLEP

Z raziskavo smo ugotovili, da omočitev lesa z UF in MUF lepilom ni bila statistično značilno odvisna od načina mehanske priprave površine. Najnižji kontaktni kot ali najboljša omočitev površine bukovega in smrekovega lesa

z UF in MUF lepilom je bila sicer ugotovljena na lepilni površini, ki je bila pripravljena s klasičnim skobeljnim strojem, nato na brušeni površini in na površini, pripravljene z rotolesom. Kontaktni kot UF in MUF lepila je padal s časom – spremembe so bile največje v prvih petih sekundah po nanosu lepila na površino lesa. Največje zmanjšanje kontaktnega kota (tudi do 60° v 30 sekundah) smo ugotovili na površini, ki je bila skobljana z rotolesom, kar kaže na dejstvo, da je bila penetracija lepila zelo intenzivna. Površine, obde-

lane z rotolesom, so bolj odprte, zato lepilo lažje penetrira v les /4/.

Mehanska priprava lepilne površine je vplivala na trdnost lepilnega spoja, vendar je bila odvisna tudi od vrste lepila, vrste lesa in načina priprave preskušancev pred testiranjem. Pri I. in II. načinu priprave preskušancev (SIST EN 12765) nismo ugotovili razlik v trdnosti lepilnega spoja glede na različno mehansko pripravo lepilne površine. Pri III. načinu priprave preskušancev smo ugotovili največje trdnosti lepilnega spoja pri smrekovih preskušancih, lepljenih z UF lepilom, kjer je bila lepilna površina pripravljena z grobim in finim brušenjem. Pri IV. načinu priprave preskušancev smo največje trdnosti lepilnega spoja ugotovili pri bukovih preskušancih, lepljenih z MUF lepilom, kjer je bila lepilna površina pripravljena z grobim in finim brušenjem.

Zahvala

Avtorja članka se zahvaljujeta podjetju LESTRO-LEDINEK, d.o.o. iz Hoč, ki je omogočilo skobljanje lamel z rotolesom. □

literatura

1. **Bogner, A.;** Modifikation der Holzoberfläche zur Verbesserung der Verleimung, Holz als Roh- und Werkstoff, 49 (1991); 271-275.
2. **EN 12765;** Classification of thermosetting wood adhesives for non-structural applications. 2001; 1-8.
3. **EN 205;** Test methods for wood adhesives for non-structural applications –Determination of tensile shear strength of lap joints. 1991; 1-8.
4. **http://www.ledinek.com/slo/program/rotoles.html**(16.3.2005) Ledinek-Lesnoobdelovalni stroji
5. **Marra, A.A.;** Technology of wood Bonding; Principles in Practice. New York, Van Nostrand Reinhold. (1992); 61-90.
6. **Šernek, M.;** Vpliv bistvenih dejavnikov na penetracijo in trdnost UF lepilnega spoja pri lepljenju bukovine. Magistrsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo. (1999); 9-34.
7. **Šernek, M.;** Termično inaktiviranje lesne površine. Les, 54 (2002) 9; 276-280.