

Nataša ČUK\*, Matjaž KUNAVER\*<sup>\*\*</sup>,  
Edita JASIUKAITYTE GROJZDEK\*<sup>\*\*</sup>, Sergej MEDVED\*<sup>\*\*</sup>

UDK 630\*861:630\*813

# UTEKOČINJANJE LESA S POMOČJO ULTRAZVOKA IN IZDELAVA IVERNIH PLOŠČ Z UPORABO LEPILNIH MEŠANIC Z DODANIM UTEKOČINJENIM LESOM

Liquefaction of wood using ultrasound and production of particleboards using adhesive mixtures with added liquefied wood

**Izveček:** Les lahko utekočinimo in uporabimo za sintezo različnih polimernih materialov, med drugim tudi za lepila. Glavni cilj naše raziskave je bil uporabiti utekočinjen les za pripravo lepila za iverne plošče ter določiti fizikalne in mehanske lastnosti izdelanih plošč. Določili smo čas želiranja različnih lepilnih mešanic v odvisnosti od deleža utekočinjenega lesa, vrste ter deleža katalizatorja in temperature. Za izdelavo ivernih plošč smo uporabili melamin-formaldehidno lepilo, ki smo mu dodali utekočinjen les in amonijev formiat kot katalizator. Ugotavljali smo vpliv deleža dodanega utekočinjenega lesa, vrste ter deleža katalizatorja in temperature stiskanja. Rezultati so pokazali, da se je čas želiranja z večanjem deleža dodanega utekočinjenega lesa podaljšal, z večanjem deleža katalizatorja in višanjem temperature pa skrajšal. Optimalne lastnosti ivernih plošč smo dosegli pri deležu utekočinjenega lesa 30 %, deležu katalizatorja 3 % in temperaturi stiskanja 180 °C.

**Ključne besede:** iverne plošče, melamin-formaldehidno lepilo, melamin-urea-formaldehidno lepilo, obnovljivi viri, utekočinjen les.

**Abstract:** Wood can be liquefied and used for the synthesis of different polymer materials as well as for the adhesives. The aim of our research was to evaluate the utilization of liquefied wood as a part of an adhesive mixture in particleboard production and to assess physical and mechanical properties of produced particleboards. We determined gelation time for different adhesive mixtures depending on the liquefied wood portion, the type and the amount of the catalyst and temperature. For particleboard production, we used melamine-formaldehyde resin with added liquefied wood and ammonium formate as a catalyst. We examined the influence of liquefied wood portion, the type and the amount of the catalyst and pressing temperature on the particleboard properties. Results showed that gelation time increased with higher liquefied wood portion and decreased as the amount of catalyst and temperature increased. The optimal properties of particleboards were obtained at 30 % portion of liquefied wood, at 3 % amount of the catalyst and at pressing temperature of 180 °C.

**Keywords:** particleboards, melamine-formaldehyde adhesive, melamine-urea-formaldehyde adhesive, renewable resources, liquefied wood.

\* Kemijski inštitut, Hajdrihova 19, 1001 Ljubljana, Slovenija, e-pošta: nataša.cuk@ki.si

\*\* Center odličnosti za polimerne materiale in tehnologije, Tehnološki park 24, 1000 Ljubljana, Slovenija

\*\*\* Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Rožna dolina Cesta VIII/34, 1000 Ljubljana, Slovenija

## UVOD

V današnjih časih postaja izkoriščanje obnovljivih virov vedno bolj pomembno. Enega najpomembnejših obnovljivih virov predstavlja biomasa, ki igra veliko vlogo pri zmanjšanju odvisnosti od fosilnih goriv. Biomasa rastlinskega izvora je možno pretvoriti tako v različne uporabne oblike energije kot tudi v kemično surovino. Najbolj znana oblika rastlinske biomase je lesna biomasa, ki jo kot vir energije tudi najpogosteje uporabljamo. Obsega predvsem les iz gozdov (hlodi, vejevje, grmovje), lesne ostanke iz industrije (odpadni kosi, žagovina, vejevje ...) ter odslužene proizvode iz lesa (gajbice, palete, odsluženo pohištvo ...).

Obstaja več procesov pretvorbe lesne biomase, med katerimi je tudi utekočinjanje. Poleg lesa kot takega je možno utekočiniti tudi lesne ostanke. Le-ti predstavljajo enega najbolj razširjenih, cenovno konkurenčnih in okolju prijaznih virov biomase. Proizvajalci proizvedejo ogromno količino lesnih ostankov pri proizvodnji različnih produktov kot so stavbni les, pohištvo, palete, papir in drugo. Na splošno velja, da manj kot 50 % drevesa konča v končnem izdelku, kar predstavlja močno neizkoriščen vir. Ena izmed prednosti uporabe lesnih ostankov je poleg zmanjšanja onesnaževanja (zaradi manjše rabe fosilnih goriv) tudi znižanje stroškov odlaganja zaradi preusmeritve lesnih ostankov stran od odlagališč.

Po podatkih Statističnega urada Republike Slovenije ima les (in druga trdna biomasa) med porabo obnovljivih virov energije in odpadkov daleč največji delež pred drugimi oblikami obnovljive energije. Podatki za obdobje od leta 2002 do leta 2010 kažejo trend naraščanja porabe obnovljivih virov, predvsem pa po letu 2008 (SURS, 2012a). Na področju obdelave in predelave lesa ter proizvodnje pohištva, papirja in kartona je leta 2010 nastalo skoraj 400.000 ton odpadkov (SURS, 2012b). Poleg odpadkov iz proizvodnih in storitvenih dejavnosti je bilo z javnim odvozom odpadkov ločeno zbranih še okoli 14.500 ton lesa in okoli 46.300 ton papirja in kartona (SURS, 2012c). Največ lesnih ostankov se skuri, problem pri tem pa je, da se lahko v ozračje sproščajo tudi okolju škodljive snovi. Z utekočinjanjem lesa in uporabo utekočinjenega lesa lahko pripomoremo k zmanjšanju količine lesnih odpadkov na odlagališčih ter s tem povečamo izrabo lesne biomase. Hkrati iz obnovljivih virov sintetiziramo nove materiale, ki predstavljajo odlično alternativo materialom, ki jih sicer pridobivamo iz surove nafte.

Utekočinjanje lesa je kemična reakcija, pri kateri pride do razgradnje glavnih lesnih komponent: celuloze, hemice-luloz in lignina (Minami in Saka, 2003; Jasiukaitytė in sod., 2009; Jasiukaitytė in sod., 2010). Med reakcijo utekočinja-

nja komponente lesa razpadejo na manjše molekule, ki so nestabilne in reaktivne, ter pri katerih lahko pride do ponovne polimerizacije. Posledica številnih fizikalnih, strukturnih in kemičnih sprememb, do katerih pride, je, da les preide v tekoče stanje. Spremembe med utekočinjanjem so posledica različnih procesov, ki potekajo med reakcijo in sicer solvolize, depolimerizacije, dekarboksilacije in drugih (Demirbas, 2008). Nov pristop pri utekočinjanju lesa predstavlja uporaba ultrazvoka, ki zavira nastanek velikih molekulskih struktur, skrajša reakcijski čas ter zmanjša porabo energije, hkrati pa ne vpliva na število hidroksilnih skupin. Produkt utekočinjanja s pomočjo ultrazvoka je bolj homogen in ima v primerjavi s klasičnim utekočinjanjem nižjo viskoznost (Kunaver in sod., 2011).

Čeprav je sestava utekočinjenega lesa zelo kompleksna ter močno odvisna od osnovnih sestavin lesa in reagentov, predstavlja utekočinjen les zaradi velikega števila prostih hidroksilnih skupin bogat vir surovin za sintezo najrazličnejših produktov. Med drugim je utekočinjen les možno uporabiti kot lepilo za lepljenje lesa in lesnih ploščnih kompozitov. Med slednjimi največji delež predstavljajo iverne plošče in sicer skoraj 60 %. Novejše raziskave na področju proizvodnje ivernih plošč kažejo težnjo k uporabi alternativnih, predvsem obnovljivih materialov, tako za lepila kot za material za izdelavo plošč.

Z namenom uporabe naravnih in obnovljivih virov, izboljšanja lastnosti ivernih plošč, zniževanja stroškov izdelave, uporabe odpadnih materialov itd., so v zadnjem desetletju različni avtorji za izdelavo ivernih plošč uporabili različne materiale. Poleg običajno uporabljenega urea-formaldehidnega lepila so uporabili tudi druga lepila: urea-formaldehidna lepila, modificirana z melaminom (Hse in sod., 2008), fenol-formaldehidna in melamin-urea-fenol-formaldehidna lepila (Wagner in sod., 2007), izocianatna lepila (Papadopoulos in sod., 2002; Mo in sod., 2003) ter lepila na osnovi sojinih proteinov (Wang in Sun, 2002; Mo in sod., 2003), riževih otrobov (Pan in sod., 2006), trigliceridov in anhidrida polikarbonske kisline (Boquillon in sod., 2004) ter celo cementa (Erakhrumen in sod., 2008). Iz utekočinjenega lesa so pripravili izocianatna lepila, ki so jih uporabili za lepljenje vezanih plošč (Tohmura in sod., 2005) ter epoksi smole, ki so jih prav tako uporabili za lepljenje vezanih plošč, pa tudi za izdelavo raznih kompozitov (Kishi in sod., 2006). Ugovšek in sod. (2010) so pripravili lepilne mešanice iz utekočinjenega lesa v kombinaciji s fenolno smolo in ugotovili, da lahko do 25 % fenolne smole nadomestijo z utekočinjenim lesom, pri tem pa se strižna trdnost suhih vzorcev izboljša. Utekočinjen les so v kombinaciji z melamin-urea-formaldehidnim lepilom uporabili tudi za izdelavo opažnih plošč. Ugotovili so, da lahko 20 % melamin-urea-formaldehidnega lepila nado-

mestijo z utekočinjenim lesom in dosežejo kakovostne lepilne spoje za vlažne in zunanje pogoje uporabe, za suhe pogoje uporabe pa lahko z utekočinjenim lesom nadomestijo kar 40 % melamin-urea-formaldehidnega lepila (Jež, 2011). Utekočinjene lignocelulozne materiale so uporabili tudi za izdelavo ivernih plošč, Lee in Liu (2003) sta iz utekočinjene skorje pripravila fenolno smolo tipa resol in jo uporabila pri izdelavi ivernih plošč, ki so imele dobre mehanske lastnosti.

Na lastnosti ivernih plošč vplivajo številni dejavniki: vrsta lesa, ki ga uporabimo, njegova struktura in lastnosti, oblika in velikost iveri, postopek priprave iveri, vrsta in količina lepila in utrjevalca, pogoji stiskanja, debelina plošče, vsebnost vlage, končna obdelava in drugi (Kollman in sod., 1975). Že iz prejšnjih raziskav smo ugotovili, da lahko utekočinjen les v lepilni mešanici, ki je uporabljena za izdelavo ivernih plošč, v določeni meri uspešno nadomesti sintetično lepilo (Kunaver in sod., 2010). Ker je uporaba utekočinjenega lesa nov pristop k izdelavi ivernih plošč, smo želeli ugotoviti vpliv različnih dejavnikov na lastnosti izdelanih ivernih plošč. Določili smo čas želiranja različnim lepilnim mešanici v odvisnosti od deleža utekočinjenega lesa, vrste ter deleža katalizatorja in temperature. Hkrati smo ugotavljali, kako na lastnosti plošč vpliva delež dodanega utekočinjenega lesa, vrsta ter delež dodanega katalizatorja in temperatura stiskanja.

## EKSPERIMENTALNI DEL

### UTEKOČINJANJE LESA

Žagovino smreke (*Picea abies* (L.) Karst.) smo utekočinjali z mešanico glicerola in dietilenglikola v razmerju 80:20. Razmerje med količino lesa in količino glikolov je bilo 1:3. Kot katalizator smo uporabili 3 % (glede na maso glikolov) p-toluensulfonske kisline.

Mešanico glikolov in kisline smo zatehtali v steklen reaktor z zunanjim segrevanjem, opremljen z mehanskim mešalom, termometrom in hladilnikom. Ko smo les utekočinjali s pomočjo ultrazvoka, je bila skozi pokrov reaktorja vstavljena še sonotroda. Reakcijsko zmes smo segrevali do temperature 160 °C in dodali les. Po dodatku lesa smo temperaturo zvišali na 180 °C in reakcijo določen čas vzdrževali.

Pri utekočinjanju lesa s pomočjo ultrazvoka smo ugotavljali vpliv amplitude ultrazvoka na čas reakcije in netopni ostanek lesa. Za utekočinjen les, ki smo ga uporabili v lepilnih mešanicah za izdelavo ivernih plošč, smo uporabili 80 % amplitudo ultrazvoka.

### UGOTAVLJANJE ČASA ŽELIRANJA/REAKTIVNOSTI

Mešanico utekočinjenega lesa, melamin-formaldehidne (MF) oziroma melamin-urea-formaldehidne (MUF) smole ter ustrezne količine katalizatorja (amonijev sulfat (AS) oziroma amonijev formiat (AF)) smo dali v epruveto in segrevali v silikonski kopeli pri temperaturi 100 °C. Ko smo ugotavljali vpliv temperature na čas želiranja, so bile temperature segrevanja: 100 °C, 110 °C, 120 °C, 130 °C, 140 °C, 150 °C, 160 °C, 170 °C in 180 °C. Pri ugotavljanju vpliva katalizatorja in temperature je bil delež utekočinjenega lesa 30 %, delež katalizatorja pri ugotavljanju vpliva deleža utekočinjenega lesa in temperature pa je bil 3 %. Ob konstantnem mešanju s stekleno palčko smo čas želiranja oziroma reaktivnost lepilne mešanice določili kot čas od začetka segrevanja do nastanka gela. Za vsako meritev smo opravili 3 ponovitve.

### PRIPRAVA LEPILNIH MEŠANIC ZA IZDELAVO IVERNIH PLOŠČ

Lepilne mešanice smo pripravili tako, da smo utekočinjen les dodali MF smoli in dobro premešali. Delež dodanega utekočinjenega lesa je bil 30 %, razen pri določanju lastnosti ivernih plošč v odvisnosti od deleža dodanega utekočinjenega lesa, pri čemer so bili deleži dodanega utekočinjenega lesa 10 %, 20 %, 30 %, 40 % in 50 %. Nato smo dodali vodo in katalizator (10 % vodna raztopina raztopina AF ali 20 % vodna raztopina raztopina AS) in vse skupaj pred uporabo še nekaj minut mešali. Delež katalizatorja je bil 3 %, razen takrat, ko smo ugotavljali vpliv količine katalizatorja na lastnosti plošč.

### IZDELAVA IVERNIH PLOŠČ

Izdelali smo trislojne iverne plošče z dimenzijami 50 cm x 50 cm, debelino 16 mm in gostoto 0,650 g/cm<sup>3</sup>. Faktor oblepljanja je bil v zunanjem sloju 10,50 % in v srednjem sloju 6,50 %. Faktor oblepljanja je bil določen takšen, kot se uporablja v industriji za določene pogoje stiskanja in uporabo ivernih plošč. Izbrani faktor oblepljanja je služil kot osnova za zatehte iverja in delov lepilne mešanice. Katalizator smo dodali le v lepilno mešanico za srednji sloj.

Iverje lesa smreke (*Picea abies* (L.) Karst.) (75 %) in bukve (*Fagus sylvatica* L.) (25 %) smo najprej posušili na vlažnost približno 4 % in ga nato oblepili v stroju za oblepljanje. Iverje smo oblepili ločeno za zunanji in srednji sloj. Ko je bilo iverje oblepljeno, smo ga ročno natresli in s pomočjo lesenega kalupa izdelali iverno pogačo, ki smo jo prenesli v stiskalnico. Iverno pogačo smo stiskali 3 minute pri temperaturi 180 °C in tlaku 3 N/mm<sup>2</sup>. Kasneje smo plošče stiskali še pri različnih temperaturah 140 °C, 160 °C, 180 °C, 200 °C in 220 °C. Po končanem stiskanju smo plošče kondicionirali 4-5 dni pri temperaturi 20 °C in relativni zračni vlažnosti 65 %.

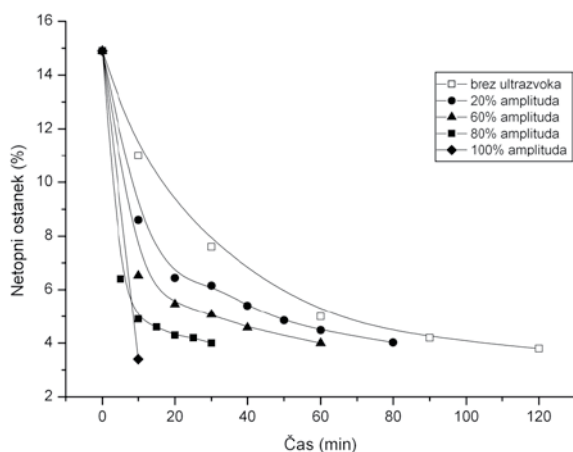
## TESTIRANJE IVERNIH PLOŠČ

Ivernim ploščam smo skladno z Evropskimi standardi določili naslednje fizikalne in mehanske lastnosti: gostoto EN 323, vsebnost vlage EN 322, upogibno trdnost in modul elastičnosti EN 310, razslojno trdnost EN 319, čvrstost površine EN 311 in debelinski nabrek EN 317.

## REZULTATI IN RAZPRAVA

### UTEKOČINJANJE LESA Z ULTRAZVOKOM

Med utekočinjanjem lesa smo spremljali vpliv različnih amplitud ultrazvoka na zmanjševanje deleža netopnega ostanka lesa v odvisnosti od časa reakcije utekočinjanja (slika 1). Reakcijo smo spremljali, dokler delež netopnega ostanka ni znašal manj kot 5 %. Pri utekočinjanju brez ultrazvoka je bil čas, potreben za dokončanje reakcije, 120 minut, že pri amplitudi 20 % pa se je skrajšal za tretjino in znašal 80 minut. Pri 100 % amplitudi smo dosegli skoraj popolno utekočinjenje že po 10 minutah.

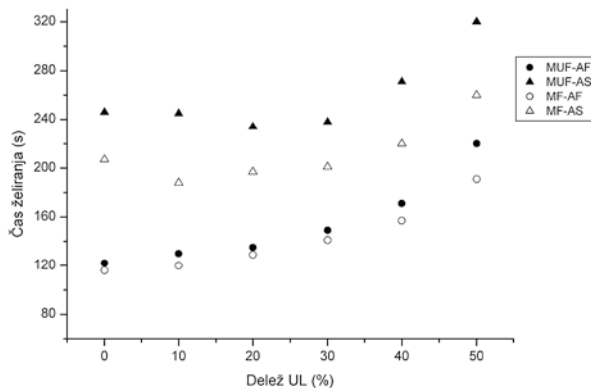


**Slika 1: Spreminjanje deleža netopnega ostanka lesa s časom reakcije pri različnih amplitudah ultrazvoka**

*Figure 1: Variation in the amount of residue with time during the liquefaction at different ultrasound amplitudes*

### ČAS ŽELIRANJA/REAKTIVNOST

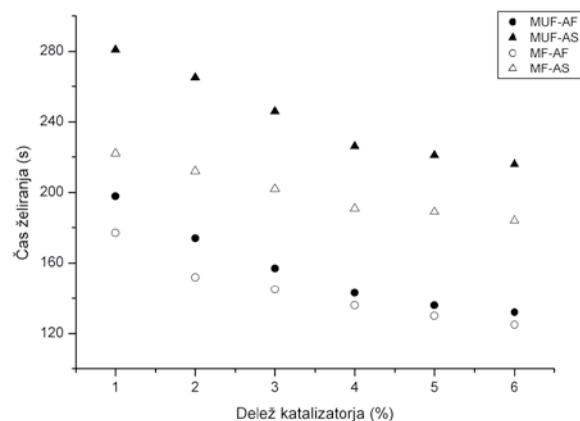
Rezultati so pokazali, da se je čas želiranja pri večjem deležu utekočinjenega lesa v lepilni mešanici podaljšal, kar je tudi razvidno iz slike 2. Čas želiranja je bil krajši, ko smo kot katalizator uporabili AF. Če primerjamo čas želiranja obeh vrst smole, vidimo, da je bil čas želiranja krajši pri MF, razlike med njima pa so bile manjše v primeru uporabe katalizatorja AF.



**Slika 2: Čas želiranja različnih lepilnih mešanic v odvisnosti od deleža utekočinjenega lesa**  
*Figure 2: Gelation time of different adhesive mixtures as a function of the portion of liquefied wood*

Na sliki 3 so prikazani časi želiranja v odvisnosti od deleža katalizatorja. Ugotovili smo, da se je z večanjem deleža obeh dodanih katalizatorjev v lepilni mešanici čas želiranja skrajšal, pri čemer so bili časi želiranja krajši pri dodatnem AF. Večje razlike v času želiranja so bile opazne pri nižjih deležih katalizatorja in sicer do 3 %. Čas želiranja pri obeh dodanih katalizatorjih je bil krajši v primeru uporabe MF smole. Ko smo uporabili katalizator AF, so bile razlike med MUF in MF smolo bistveno manjše, kot ko smo uporabili katalizator AS.

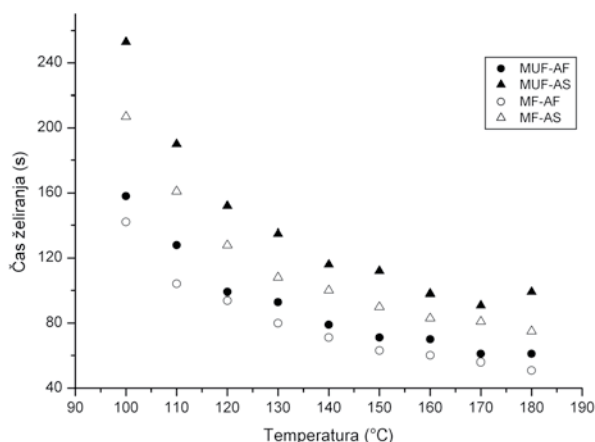
Ugotavljali smo tudi vpliv temperature na čas želiranja in ugotovili, da se je z višanjem temperature čas želiranja skrajšal, kar pomeni, da je reakcija kondenzacije pri višjih



**Slika 3: Čas želiranja različnih lepilnih mešanic s 30 % dodanega utekočinjenega lesa v odvisnosti od deleža katalizatorja**

*Figure 3: Gelation time of different adhesive mixtures with 30% portion of added liquefied wood as a function of the amount of the catalyst*





**Slika 4. Čas želiranja različnih lepilnih mešanic s 30 % dodanega utekočinjenega lesa v odvisnosti od temperature**

**Figure 4. Gelation time of different adhesive mixtures with 30 % portion of added liquefied wood as a function of the temperature**

temperaturah potekala hitreje. Reaktivnost se je torej z višjo temperaturo povečala, kar prikazuje slika 4. Skladno s prejšnjimi ugotovitvami so bili časi želiranja krajši pri MF smoli in pri katalizatorju AF.

### LASTNOSTI IVERNIIH PLOŠČ

Lastnosti ivernih plošč, ki smo jih izdelali z različnimi deleži utekočinjenega lesa v lepilni mešanici, so prikazane v preglednici 1. Rezultati so pokazali, da so se z dodatkom utekočinjenega lesa MF lepilu lastnosti izdelanih ivernih plošč izboljšale. Kot optimalno količino dodanega utekočinjenega lesa smo ocenili 30 %. Pri tem deležu so bile sicer lastnosti ivernih plošč približno enake kot pri 20 %

### Preglednica 1. Lastnosti ivernih plošč v odvisnosti od deleža utekočinjenega lesa v lepilu

**Table 1. Properties of particleboards made by using an adhesive with different liquefied wood loading**

	Delež dodanega utekočinjenega lesa					
	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
Gostota (g/cm <sup>3</sup> )	0,641	0,653	0,644	0,680	0,649	0,666
Vsebnost vlage (%)	6,22	6,40	5,98	5,74	5,55	5,53
Upogibna trdnost (N/mm <sup>2</sup> )	11,80	12,79	14,21	13,89	12,70	10,69
Modul elastičnosti (N/mm <sup>2</sup> )	2239	2456	2701	2718	2512	2463
Razslojna trdnost (N/mm <sup>2</sup> )	0,38	0,43	0,55	0,54	0,48	0,39
Čvrstost površine (N/mm <sup>2</sup> )	1,08	1,07	1,09	1,06	0,88	0,81
Debelinski nabrek (%)	19,35	18,12	19,86	20,43	25,02	29,65

dodanega utekočinjenega lesa, vendar je bil naš cilj dodati čim večji delež utekočinjenega lesa, hkrati pa doseči čim boljše mehanske lastnosti plošč. Pri deležu dodanega utekočinjenega lesa 40 % in več so se mehanske lastnosti plošč v primerjavi s 30 % deležem poslabšale. Predvsem sta se poslabšala čvrstost površine in debelinski nabrek, ki sta dosegla slabše lastnosti tudi v primerjavi z MF lepilom brez utekočinjenega lesa, medtem ko so bile ostale lastnosti primerljive z lepilom brez utekočinjenega lesa ali celo boljše.

Količina katalizatorja v lepilnih mešanicah, ki smo jih uporabili za izdelavo ivernih plošč, je znašala od 1 % do 4 %. Ugotovili smo, da so se mehanske lastnosti z deležem katalizatorja sicer izboljšale, vendar smo optimalne lastnosti dosegli pri količini katalizatorja 3 % (preglednica 2). Opazili smo, da količina katalizatorja ni bistveno vplivala na debelinski nabrek, pa tudi čvrstost površine se bistveno ni spreminjala, kar pa niti ni presenetljivo, saj v lepilno mešanico za zunanji sloj katalizatorja nismo dodali. Količino katalizatorja moramo vedno prilagoditi pogojem utrjevanja (temperaturi, času) in je ne smemo nenadzorovano večati, saj ima prevelika količina lahko negativen vpliv na kakovost plošče. Prevelik dodatek kislega katalizatorja lahko povzroči delno utrjenost še pred stiskanjem ali preveliko utrjenost po stiskanju in s tem krhkost lepilnega spoja ter prevelik delež ostanka kisline v spoju. To lahko privede do degradacije utrjenega lepilnega spoja in s tem do izgube mehanske trdnosti (Akyüz in sod., 2010; Marra, 1992; Pizzi in Mittal, 2003). Kislost v območju lepilnega spoja se lahko še dodatno poveča glede na to, da je lepilni mešanici dodaten utekočinjen les, ki ima nizko pH vrednost (Ugovšek in Šernek, 2011). Poleg degradacije lepilnega spoja prevelika koncentracija kisline lahko povzroči tudi hidrolizo celičnih sten lesa ob lepilnem spoju (Gamage in sod., 2009).

V preglednici 3 so zbrani rezultati testiranja ivernih plošč, ki smo jih stiskali pri različnih temperaturah. Ugotovili smo, da so se z višanjem temperature končne lastnosti ivernih plošč izboljšale, optimalne lastnosti pa smo dosegli pri temperaturi 180 °C. Temperatura stiskanja ni imela bistvenega vpliva na debelinski nabrek. Pri temperaturah stiskanja 200 °C in 220 °C smo opazili poslabšanje mehanskih lastnosti ivernih plošč. Razlog za to bi lahko bilo zmanjšanje trdnosti polimernih vezi, ki se pojavi kot posledica delovanja visokih temperatur. Poleg tega temperatura lahko še poveča

**Preglednica 2: Lastnosti ivernih plošč, izdelanih z uporabo lepilne mešanice na osnovi utekočinjenega lesa in MF lepila pri različnih deležih katalizatorja**

**Table 2: Properties of particleboards made with an adhesive mixture based on liquefied wood and MF adhesive at different amount of the catalyst**

	Delež AF			
	1 %	2 %	3 %	4 %
Gostota (g/cm <sup>3</sup> )	0,658	0,643	0,627	0,660
Vsebnost vlage (%)	7,80	7,55	7,98	8,27
Upogibna trdnost (N/mm <sup>2</sup> )	12,37	12,71	13,42	12,70
Modul elastičnosti (N/mm <sup>2</sup> )	2286	2327	2322	2240
Razslojna trdnost (N/mm <sup>2</sup> )	0,40	0,54	0,47	0,47
Čvrstost površine (N/mm <sup>2</sup> )	1,22	1,22	1,28	1,18
Debelinski nabrek (%)	20,82	18,77	19,51	18,20

**Preglednica 3: Lastnosti ivernih plošč, izdelanih z uporabo lepilne mešanice na osnovi utekočinjenega lesa in MF lepila pri različnih temperaturah stiskanja**

**Table 3: Properties of particleboards made with an adhesive mixture based on liquefied wood and MF adhesive pressed at different temperatures**

	Temperatura stiskanja				
	140 °C	160 °C	180 °C	200 °C	220 °C
Gostota (g/cm <sup>3</sup> )	0,668	0,658	0,666	0,663	0,665
Vsebnost vlage (%)	7,73	7,30	7,01	6,56	6,15
Upogibna trdnost (N/mm <sup>2</sup> )	10,98	12,52	12,65	12,05	11,42
Modul elastičnosti (N/mm <sup>2</sup> )	2381	2601	2663	2673	2491
Razslojna trdnost (N/mm <sup>2</sup> )	0,52	0,63	0,63	0,54	0,51
Čvrstost površine (N/mm <sup>2</sup> )	1,23	1,23	1,28	1,24	1,18
Debelinski nabrek (%)	19,64	19,20	18,67	19,94	19,09

vpliv kislosti, ki jo v lepilnem sloju povzročata katalizator in utekočinjen les (Angles in sod., 1999; Pizzi in Mittal, 2003).

## SKLEPI

V prispevku je predstavljena uporaba utekočinjenega lesa za pripravo lepilnih mešanic za iverne plošče. Poleg ugotavljanja lastnosti ivernih plošč smo določili tudi čas želiranja za različne lepilne mešanice v odvisnosti od deleža dodanega utekočinjenega lesa, vrste in deleža katalizatorja ter temperature. Rezultati so pokazali, da se je z večanjem deleža katalizatorja v lepilni mešanici in z višanjem temperature čas želiranja skrajšal, kar pomeni, da se je reaktivnost zvišala, medtem ko se je z večjim deležem utekočinjenega lesa čas želiranja podaljšal. Pri testiranju ivernih plošč smo ugotovili, da je za doseganje ustreznih lastnosti plošč optimalna količina dodanega utekočinje-

nega lesa 30 %. Lastnosti ivernih plošč so se izboljšale z večanjem deleža dodanega katalizatorja, kot optimalno količino katalizatorja pa smo določili 3 %. Prav tako so se lastnosti ivernih plošč izboljšale z naraščajočo temperaturo, pri čemer je bila optimalna temperatura 180 °C.

## ZAHVALA

Avtorji se zahvaljujemo:

- ▶ Ministrstvu za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo Republike Slovenije v okviru programa P2-0145-0104,
- ▶ GG Postojna za njihovo finančno in materialno podporo,
- ▶ Melaminu Kočevje za njihovo materialno podporo,
- ▶ Janezu Renku za njegovo tehnično pomoč pri izdelavi ivernih plošč.

## VIRI

1. **Akyüz K.C., Nemli G., Baharoglu M., Zekovic (2010)** Effects of acidity of the particles and amount of hardener on the physical and mechanical properties of particleboards bonded with urea formaldehyde. *International journal of adhesion & adhesives*, 30:166-169
2. **Angles M.N., Reguant J., Montane D., Ferrando F., Farriol X., Salvado J. (1999)** Binderless composites from pretreated residual softwood. *Journal of applied polymer science*, 73: 2485-2491
3. **Boquillon N., Elbez G., Schönfeld U. (2004)** Properties of wheat straw particleboards bonded with different types of resin. *Journal of wood science*, 50: 230-235
4. **Demirbas A. (2008)** Liquefaction of biomass using glycerol. Energy sources, part A: recovery, utilization and environmental effects, 30: 1120-1126
5. **EN 310 (1993)** Wood-based panels – Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength.
6. **EN 311 (2002)** Wood-based panels – Surface soundness – Test method.
7. **EN 317 (1993)** Particleboards and fibreboards – Determination of swelling in thickness after immersion in water.
8. **EN 319 (1993)** Particleboards and fibreboards – Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board.
9. **EN 322 (1993)** Wood-based panels – Determination of moisture content.
10. **EN 323 (1993)** Wood-based panels – Determination of density.
11. **Erakhrumen A.A., Areghan S.E., Ogunleye M.B., Larinde S.L., Odeyale O.O. (2008)** Selected physico-mechanical properties of cement-bonded particleboard made from pine (*Pinus caribaea* M.) sawdust-coir (*Cocos nucifera* L.) mixture. *Scientific research and essay*, 3: 197-203
12. **Gamage N., Setunge S., Jollands M., Hague J. (2009)** Properties of hardwood saw mill residue-based particleboards as affected by processing parameters. *Industrial crops and products*, 29: 248-254
13. **Hse C.Y., Fu F., Pan H. (2008)** Melamine-modified urea-formaldehyde resin for bonding particleboard. *Forest products journal*, 58: 56-61
14. **Jasiukaitytė E., Kunaver M., Crestini C. (2010)** Lignin behaviour during wood liquefaction-Characterization by quantitative <sup>31</sup>P, <sup>13</sup>C NMR and size-exclusion chromatography. *Catalysis today*, 156: 23-30
15. **Jasiukaitytė E., Kunaver M., Strlič M. (2009)** Cellulose liquefaction in acidified ethylene glycol. *Cellulose*, 16: 393-405
16. **Jež B. (2011)** Izdelava opažne plošče z lepilom na osnovi utekočinjenega lesa. Diplomski projekt. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 30 str.
17. **Kishi H., Fujita A., Miyazaki H., Matsuda S., Murakami A. (2006)** Synthesis of wood-based epoxy resins and their mechanical and adhesive properties. *Journal of applied polymer science*, 102: 2285-2292
18. **Kollmann F.F.P., Kuenzi E.W., Stamm A.J. (1975)** Principles of wood science and technology. Volume II: Wood based materials. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 463
19. **Kunaver M., Jasiukaitytė E., Čuk N. (2011)** Ultrasonically assisted liquefaction of lignocellulosic materials. *Bioresource technology*, 103: 360-366
20. **Kunaver M., Medved S., Čuk N., Jasiukaitytė E., Poljanšek I., Strnad T. (2010)** Application of liquefied wood as a new particle board adhesive system. *Bioresource technology*, 101: 1361-1368
21. **Lee W.J., Liu C.T. (2003)** Preparation of liquefied bark-based resol resin and its application to particleboard. *Journal of applied polymer science*, 87: 1837-1841
22. **Marra A. (1992)** Technology of wood bonding: principles and practice. Van Nostrand Reinhold, New York, 454
23. **Minami E., Saka S. (2003)** Comparison of the decomposition behaviours of hardwood and softwood in supercritical methanol. *Journal of wood science*, 49: 73-78
24. **Mo X., Cheng E., Wang D., Sun X.S. (2003)** Physical properties of medium-density wheat straw particleboard using different adhesives. *Industrial crops and products*, 18: 47-53
25. **Pan Z., Cathcart A., Wang D. (2006)** Properties of particleboard bond with rice bran and polymeric methylene diphenyl diisocyanate adhesives. *Industrial crops and products*, 23: 40-45
26. **Papadopoulos A.N., Traboulay E.A., Hill C.A.S. (2002)** One layer experimental particleboard from coconut chips – (*Cocos nucifera* L.). *Holz als Roh- und Werkstoff*, 60: 394-396
27. **SURS (2012a)** Poraba obnovljivih virov energije in odpadkov, Slovenija, letno. Statistični urad Republike Slovenije.
28. **SURS (2012b)** Nastale količine odpadkov iz proizvodnih in storitvenih dejavnosti in ravnanje z njimi po klasifikacijskem seznamu odpadkov, Slovenija, letno. Statistični urad Republike Slovenije. [http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=2706303S&ti=&path=../Database/Okolje/27\\_okolje/02\\_Odpadki/02\\_27063\\_odpadki\\_iz\\_dej/&lang=2](http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=2706303S&ti=&path=../Database/Okolje/27_okolje/02_Odpadki/02_27063_odpadki_iz_dej/&lang=2) (17.2.2012) [http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=1822303S&ti=&path=../Database/Okolje/18\\_energetika/05\\_18223\\_obnovljivi\\_viri\\_odpadki/&lang=2](http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=1822303S&ti=&path=../Database/Okolje/18_energetika/05_18223_obnovljivi_viri_odpadki/&lang=2) (17.2.2012)
29. **SURS (2012c)** Skupne količine ločeno zbranih frakcij, zbranih z javnim odvozom odpadkov (tone), Slovenija, letno. Statistični urad Republike Slovenije. [http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=2706101S&ti=&path=../Database/Okolje/02\\_Odpadki/01\\_27061\\_odvoz\\_odpadkov/&lang=2](http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=2706101S&ti=&path=../Database/Okolje/02_Odpadki/01_27061_odvoz_odpadkov/&lang=2) (17.2.2012)
30. **Tohmura S.I., Li G.Y., Qin T.F. (2005)** Preparation and characterization of wood polyalcohol-based isocyanate adhesives. *Journal of applied polymer science*, 98: 791-795
31. **Ugovšek A., Kariž M., Šernek M. (2010)** Bonding of wood with adhesive mixtures made of liquefied wood combined with tannin or phenolic resin, V: Ristić R, Madarević M, Popović Z (ur.), Congress Abstracts of the »Future with forest« - First Serbian forestry congress. Beograd, Serbia, 11-13 November 2010, 263-264
32. **Ugovšek A., Šernek M. (2011)** Vpliv vrednosti pH utekočinjenega lesa na strižno trdnost in trajnost lepljenih spojev. *Les(wood)*, 63: 232-237
33. **Wagner D., Schwarzinger C., Leidl M., Schmidt H., Endesfelder A. (2007)** Particleboards from acetylated wood flakes. *Monatshefte für Chemie*, 138: 321-325
34. **Wang D., Sun X.S. (2002)** Low density particleboard from wheat straw and corn pith. *Industrial crops and products*, 15: 43-50