

## MODIFIKÁCIA REZORCINOLOVÝCH LEPIDIEL BIOPOLYMÉRMI NA LEPENIE DREVA S VYŠŠÍM OBSAHOM VLHKOSTI

### MODIFICATION OF RESORCINOL ADHESIVES WITH BIOPOLYMERS FOR GLUING OF WOOD WITH HIGHER MOISTURE CONTENT

Mária Šmidriaková – Milan Kollár

#### ABSTRACT

Wood moisture content from 8 % to 12 % is recommended for the process of gluing of wood. Only a few kinds of adhesives are able to join wood at higher levels of wood moisture content. The aim of this work was to develop the adhesive mixtures suitable for gluing of wood at higher moisture content. We tested biopolymers (waste polymers or lower valued natural polymers) as the additives for application into the adhesive mixtures. In the experiments, four kinds of additives (bone glue, leather collagen, amaranth flour and amaranth hydrolysate) were added into phenol-resorcinol-formaldehyde (PRF) adhesive Cascosinol 1711. Shear strength of glued joints was measured and evaluated according to the standards STN EN 205, STN EN 204, and STN EN 301.

Researched biopolymers added into adhesive mixtures reduced the quality of glued joints; shear strength of joints was under the shear strength of joints glued with unmodified adhesive, but the requirements of the standard were fulfilled. The biopolymers, such a form which they were applied in, can be used for modification of PRF adhesives for non structural applications. Bone glue and skin collagen (in addition of 20 %) caused formation of carunculas; such mixtures could not be spread on the wood surface.

Based on evaluation of shear strength of specimens, glued and tested at moisture content of 25 %, we conclude that no adhesive mixture reached the shear strength matching the standard at dry conditioning, but almost all adhesive mixtures matched the standard after boiling conditioning. The biopolymers, such a form which they were applied in, can be used for modification of PRF adhesives only for non structural applications.

**Keywords:** gluing, moisture content of wood, biopolymers, resorcinol adhesive mixtures, modification.

#### ÚVOD

Pre proces lepenia dreva sa všeobecne vyžaduje vlhkosť lepeného materiálu 8–12 % v celom priereze. Pri lepení dreva však platí, že drevo by sa malo lepiť pri takej vlhkosti, pri akej sa bude používať lepený výrobok, a tak pre lepenie výrobkov určených na použitie v exteriéri treba hľadať spôsoby lepenia pri vyššej vlhkosti.

Vlhkosť prítomná v dreve má vplyv na prienik lepidla do dreva, prípadne aj na rozptýlenie lepidla v dreve (VARIVODINA *a kol.* 2010). Pri vyššej vlhkosti (22 %) sa lepidlo rozptýľuje v lepenej škáre a film lepidla sa stáva nesúvislým (SEDLIAČIK, DUDAS 1998). CYR *a kol.* (2007) skúmali prenikanie melamin-močovino-formaldehydového (MUF) lepidla pri výrobe MDF dosiek. Metódou laserovej mikroskopie sledovali penetráciu a distribúciu lepidla v drevných vláknach. Následná atómová mikroskopia (Atomic force microscopy, AFM) im umožnila nahliadnúť do detailov povrchu vlákien. Zistili, že lepidlo preniká do všetkých vrstiev

bunkových stien, využíva svoju afinitu k vode aj k polymérom dreva, a tak preniká cez póry z povrchu buniek smerom k lúmenu.

Na proces lepenia má vplyv aj obsah vody v samotnom lepidle. SEDLIAČIK *a kol.* (2010) zistili, že čím je obsah vody nižší, tým rýchlejšie je lepená škára ohriata na teplotu blízku lisovacej teplote. Rovnako je dôležité aj množstvo lepidla, ktoré je nanesené na lepenú plochu. Zvýšením nánosu rastie aj množstvo vody vnesenej do lepenej škáry. Pri lepení vlhkejšieho dreva, sa zníženie množstva vody v lepenej škáre dá dosiahnuť viacerými spôsobmi:

- znížením nánosu lepidla,
- úpravou lepidla (plnením, nastavovaním, speňovaním),
- použitím lepidla vo forme prášku, prípadne lepiacej fólie.

STRICKLER (1970) skúmal spájanie surového dreva pomocou vylisovaných ozubených spojov. Na lepenie boli použité fólie rezorcínolového (RF), MUF a kazeínového lepidla. Lepenie impregnovaného aj neimpregnovaného dreva pri vlhkosti 12, 20 a 26 % sledoval Paxton (KOLEJÁK 1981). Používal rôzne lepidlá: RF, epoxidové, polyvinylacetátové (PVAC), močovinoformaldehydové (UF) a kazeínové. Pevnosť lepených spojov testoval pri pôvodných počiatkových vlhkostiach a tiež po vysušení na vlhkosť 12 %. Zistil, že do vlhkosti 20 % je možné lepiť drevo každým typom lepidla. Pri vlhkosti 26 % sa vyhovujúce spoje dosiahli len s RF lepidlom.

Lepidlá na báze sóje boli prvýkrát patentované v roku 1923. Vhodne hydrolyzovaný sójový proteín v kombinácii s RF živicom dokáže efektívne lepiť vlhké rezivo rôznych drevných vzoriek pri laboratórnej teplote (SUN, ZHONG 2000, VIJAYENDRAN, CLAY 2000). Sójový proteín sa najprv hydrolyzuje, potom sa mieša s lepidlami a tým sa vytvorí husto zosieťovaná, teplom tvrditeľná matica. Za zlepšené vlastnosti takto modifikovaných lepidiel je zodpovedná silná chemická reakcia medzi funkčnými skupinami sójového proteínu a živicami.

Tiež samotné komponenty dreva, celulóza a lignín, sú schopné chemickej interakcie s proteínmi. POLUS-RATAJZAK *a kol.* (2003) infračervenou spektroskopiou sledovali chemické zmeny celulózy a lignínu počas reakcie s proteínmi (albumín vaječného bielka, sušená krvná plazma). Získané spektrá ukazovali výrazný pík absorpcie väzieb C=O (aminokarboxylové kyseliny). Zníženie intenzity absorpčných pásov pre karbonyl- a éterové funkčné skupiny spojené so zvýšením intenzity pásov pre väzby –CO–NH– poukazovali na prebiehajúcu chemickú reakciu medzi peptidickým reťazcom a reaktívnymi skupinami prítomnými v reťazcoch celulózy a lignínu.

Skrátenie lisovacieho času, prípadne možnosť zníženia lisovacej teploty pre fenolformaldehydové (PF) lepidlá modifikované prídavkom polymérov - amidov skúmali DUKARSKA a LECKA (2006). Uvedené látky zvyšovali reaktivitu lepidla a pevnosť spoja bola aj pri zmenených lisovacích podmienkach porovnateľná, prípadne lepšia, ako pevnosť spojov základného lepidla.

V súčasnosti je na trhu veľké množstvo bielkovín, hlavne bielkovinových hydrolyzátov z odpadov v kožiarskom priemysle. Kožné nerozpustné gély sa dajú využiť ako modifikátory vlastností lepidlových zmesí polykondenzačných lepidiel (SEDLIAČIK *a kol.* 2001, MATYAŠOVSKÝ *a kol.* 2011).

Modifikáciu lepidlových zmesí na báze MUF lepidla zemiakovým škrobom a ražnou múkou skúmal JOZWIAK (2007). Ukázalo sa, že testovanými lepidlovými zmesami bolo možné lepiť drevo pri rôznej vlhkosti dreva (6–21 %) a lepené preglejky spĺňali požiadavky normy pre triedu lepenia 3. Prípravou brezovej preglejky z dýh s vlhkosťou 15 % sa zaoberali BITS *a kol.* (2008). Na modifikáciu fenol-rezorcínol-formaldehydového (PRF) lepidla používali pšeničný škrob a ražnú múku. Pevnosť lepených spojov bola porovnateľná s pevnosťou spojov lepených nemoifikovaným lepidlom a zodpovedala požiadavkám normy EN 314-1. Pri experimentoch takéhoto typu je proces nárastu pevnosti spoja pri lisovaní pozmenený. JOST a SERNEK (2008) využitím dielektrickej analýzy (DEA) a modifikovaného systému vyhodnocovania spoja (ABES) dokázali, že prídavok ražnej múky do PF lepidla posúva nadobudnutie konečnej

pevnosti spoja do konečnej fázy lisovacieho procesu, kedy je samotné lepidlo už zosieťované. Tvorba spoja je teda závislá na konkrétnom zložení lepidlovej zmesi a lisovacom čase.

Tvorba novej generácie lepených výrobkov sa zvyčajne spája s návrhom nových technologických postupov a novými modifikáciami lepidiel (NOVÁK *a kol.* 2004, SEDLIAČIK, SEDLIAČIKOVÁ 2009). V posledných rokoch sa ako moderné lepidlá pre lepenie dreva s vyššou vlhkosťou začínajú využívať polyuretánové (PUR) lepidlá. Veľký počet voľných hydroxylových skupín na povrchu dreva môže reagovať s izokyanátovými skupinami lepidla za vzniku pevnej uretánovej väzby. STERLEY *a kol.* (2004) popisujú použitie jednozložkových PUR lepidiel na lepenie dreva s rozsahom vlhkosti 35–130 %.

V našich predchádzajúcich prácach (ŠMIDRIAKOVÁ, KOLLÁR 2010) sme pri podobných experimentoch, avšak pri modifikácii iného typu lepidiel, dosiahli dobré výsledky. Prídavok kožného kolagénu do PUR lepidla v množstve 20 % zvyšoval pevnosť lepených spojov pri všetkých testovaných úrovniach vlhkosti lepeného a skúšaného materiálu.

Cieľom nášho výskumu bol vývoj lepidlových zmesí na báze rezorcín-fenol-formaldehydového (PRF) lepidla modifikovaného biopolyméromi, ktoré by sa dali použiť pri lepení dreva s vyšším obsahom vlhkosti. Lepidlová zmes by mala vyhovovať triede vodovzdornosti D4 (vnútorné použitie s častým silným pôsobením vody alebo vlhkosti; vonkajšie použitie v ustálenej poveternosti, ale s primeranou ochranou povrchu).

## EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

V experimentálnej práci bolo použité rezorcín-fenolové lepidlo Cascosinol 1711 (Casco Nobel, Kristinehamn, Švédsko). Je to dvojitá zložková lepidlo; tmavohnedá tekutina s obsahom sušiny 56 %, pH 8, hustotou  $1,13 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , viskozitou pri  $25 \text{ }^\circ\text{C}$   $5000 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ , otvoreným časom pri  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  10–25 minút. Príslušné tvrdivo Cascosinol 2622 je paraformaldehyd, hnedý prášok s hustotou  $480 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ; výrobcom stanovený prídavok do lepidla je 20 %.

Ako prídavné látky sa pri príprave lepidlových zmesí použili biopolyméry živočíšneho pôvodu (kožný glej, kožný kolagén) a biopolyméry rastlinného pôvodu (amarantová múka, amarantový hydrolyzát).

Uvádzame základné charakteristiky prídavných látok:

*Kožný glej* (KG): hnedá kvapalina, sušina 35 %, pH 5,3.

*Kožný kolagén* (KK): žltý prášok, pH 6,0–7,5; druhotná surovina vznikajúca pri brúsení tukočinených usní.

*Amarantová múka* (AM): svetlohnedý prášok, obsahuje škrob, rastlinné proteíny, flavonoidy a iné zložky. Polymérne látky nachádzajúce sa v amarante je možné hydrolyticky štiepiť za prítomnosti enzýmov, kyselín, zásad a lyotropných činidiel.

*Amarantový hydrolyzát* (AH): pripravený pri teplote  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  z nasledujúcich surovín: kolagén, močovina, amarantový rastlinný biopolymér, kyselina chlorovodíková a kyselina fosforečná. Je to hnedastá kvapalina, sušina 59,2 %, hustota  $1204 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , pH 4,1, viskozita  $2000 \text{ mPa}\cdot\text{s}$  pri  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Lepidlo bolo modifikované prídavkom jednotlivých biopolymérov v množstve 10 % a 20 %. Hodnotili sa fyzikálno-chemické parametre pripravených lepidlových zmesí: životnosť lepidlovej zmesi, hodnota pH, obsah sušiny (SEDLIAČIK 2008).

Pri testovaní bolo použité bukové drevo (*Fagus sylvatica*). Lepidlové zmesi sa aplikovali na lepený povrch pri dvoch rôznych úrovniach vlhkosti dreva ( $12 \pm 2 \%$  a  $25 \pm 2 \%$ ). Vlhosť dreva bola meraná tesne pred lepením vlhkomerom GMH 3830 a zároveň stanovená gravimetricky podľa STN EN 322. Nános lepidlovej zmesi bol  $400 \text{ g}/\text{m}^2$ , telieska boli lisované pri laboratórnej teplote počas 24 hodín pri špecifickom lisovacom tlaku  $1 \text{ MPa}$ .

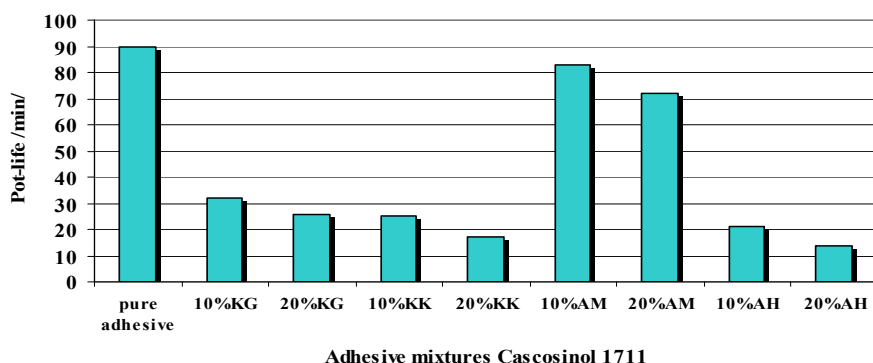
Kvalita lepených spojov sa skúšala podľa normy STN EN 205: 2003 a STN EN 301: 2007 na základe šmykovej pevnosti lepeného spoja. Šmyková pevnosť sa merala a vyhodnocovala na trhácom stroji LaborTech 4.050 s  $5 \text{ kN}$  hlavicou. Merania sa robili pri dvoch rôznych uloženiach lepených vzoriek podľa STN EN 204: 2003:

- uloženie 1: 7 dní v normálnej klíme ( $23 \pm 2$  °C),
  - uloženie 5: 7 dní v normálnej klíme ( $23 \pm 2$  °C), 6 hodín vo vriacej vode, 2 hodiny v studenej vode
- a pri troch vlhkostných úrovniach lepenia a skúšania vzoriek:
- 12 % vlhkosť pri lepení aj skúšaní.
  - 25 % vlhkosť pri lepení aj skúšaní,
  - 25 % pri lepení a 12% pri skúšaní.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

### Fyzikálno-chemické parametre testovaných lepidlových zmesí

Životnosť lepidlovej zmesi sa vyjadruje ako čas, v ktorom lepidlová zmes zachováva konzistenciu umožňujúcu dobré nanášanie na lepený povrch. Ukázalo sa (Obr. 1), že životnosť väčšiny pripravených zmesí bola niekoľkonásobne nižšia v porovnaní so životnosťou základného lepidla. Jedine lepidlová zmes modifikovaná prídavkom amarantovej múky mala približne rovnakú životnosť ako základné lepidlo.



**Obr. 1** Životnosť lepidlových zmesí na báze Cascosinol 1711.

**Fig. 1** Pot life of adhesive mixtures based on Cascosinol 1711 (KG – bone glue, KK – leather collagen, AM – amaranth flour, AH – amaranth hydrolysate).

Z hľadiska lepenia dreva je dôležitá aj hodnota pH lepidlovej zmesi, keďže pri extrémnych hodnotách pH dochádza k hydrolytickému rozkladu zložiek dreva. Prítomnosťou prídavných látok sa môže meniť hodnota pH lepidlovej zmesi (menia sa podmienky pre vytvrdzovanie lepidla). Predpokladali sme, že prídavné látky zásadne nezmenia pH lepidlovej zmesi v porovnaní s pH základného lepidla, keďže namerané hodnoty pH jednotlivých prídavných látok nedosahovali extrémne hodnoty a pohybovali sa v rozsahu pH 4,1–6,2 (Tab. 1).

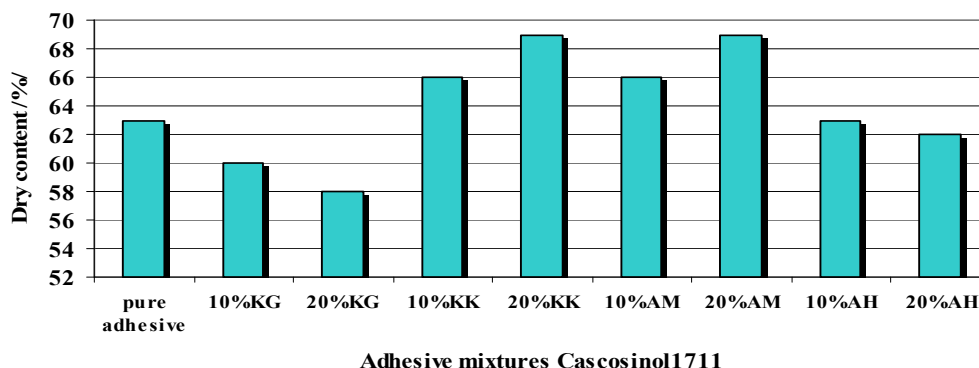
**Tab. 1** Hodnota pH prídavných látok.

**Tab. 1** pH value of the additives.

Prídavné látky	pH
kostný glej (KG)	5,3
kožný kolagén (KK) (10 % vodný roztok)	5,2
amarantová múka (AM) (10 % vodný roztok)	6,2
amarantový hydrolyzát (AH)	4,1

Takmer všetky lepidlá a pomocné materiály obsahujú isté množstvo vody. Prídavné látky používané v našich experimentoch nemenili výrazne hodnotu sušiny lepidlovej zmesi v porovnaní so sušinou základného lepidla (Obr. 2). Pochopiteľný je nárast hodnoty sušiny

lepidlovej zmesi pri prídavku kožného kolagénu a amarantovej múky. Tieto dve prídavné látky boli do lepidlovej zmesi prídavané vo forme suchého prášku.



**Obr.2 Obsah sušiny lepidlových zmesí na báze Cascosinol 1711.**  
**Fig. 2 Solid content of adhesive mixtures based on Cascosinol 1711.**

Množstvo a charakter látok (biopolymérov) prídavaných do lepidlovej zmesi sú dôležité aj z hľadiska konzistencie výslednej lepidlovej zmesi, keďže konzistencia musí umožniť správny a rovnomerný nanos. V lepidlových zmesiach s 20 % prídavkom kostného gleja a s 20 % prídavkom kolagénu, sa vytvorili zhluky a hrčky. Takéto zmesi nebolo možné správne naniesť na povrch lepeného materiálu.

#### Šmyková pevnosť lepených spojov

Norma STN EN 205 stanovuje skúšky lepidiel na drevo a drevné materiály podľa stupňa namáhania vzhľadom na ich odolnosť proti rozličným fyzikálnym a mechanickým vplyvom (podmienky lepenia, klimatizovanie a manipulácia so vzorkami pred lepením a po ňom). Norma STN EN 204 zaraďuje lepidlové zmesi do skupín namáhania D1 až D4, kde požiadavka šmykovej pevnosti je 4 MPa. Norma STN EN 301 stanovuje pevnostné požiadavky na lepidlá na nosné drevené konštrukčné dielce, kde požiadavka šmykovej pevnosti je 6 MPa.

Výsledky nameranej šmykovej pevnosti jednotlivých kategórií lepených spojov uvádzame v tabuľke 2.

**Pevnostné vlastnosti základného nemodifikovaného lepidla:** Šmyková pevnosť dosiahla normou požadované hodnoty pri všetkých hodnotách vlhkosti lepeného a skúšaného materiálu pre obidve uloženia. Jedinou výnimkou bola hodnota pevnosti pri uložení 1 pri vlhkosti lepeného aj skúšaného materiálu 25 %.

#### Pevnostné vlastnosti modifikovaných lepidlových zmesí:

*Vzorky lepené aj skúšané pri vlhkosti 25 %:*

- pri uložení 1 pevnosť nedosahuje ani v jednom prípade normou stanovenú hodnotu,
- pri uložení 5 len jediná lepidlová zmes (č. 9 t.j. 20 % prídavok amarantového hydrolyzátu) nedosiahla normou požadovanú hodnotu, hodnota pevnosti bola však nižšia len o stotinu pod normovanou hodnotou (avšak pri vysokej hodnote variačného koeficientu).

*Vzorky lepené pri 25 % a skúšané pri 12 % vlhkosti:*

- dosiahli relatívne dobré výsledky šmykovej pevnosti lepených spojov. Prídavok v množstve 10 % kostného gleja alebo amarantovej múky (č. 2 a č. 6), poskytol lepidlovú zmes s pevnosťou spoja, ktorá vyhovela požiadavke normy a bola porovnateľná s pevnosťou spoja lepeného nemodifikovaným lepidlom pri obidvoch spôsoboch uloženia. Po uložení 5 hodnoty šmykovej pevnosti všetkých typov lepidlových zmesí vyhoveli požiadavkám normy.

*Pri vlhkosti lepeného aj skúšaného materiálu 12 %:*

- sú pevnostné výsledky modifikovaných lepidlových zmesí uspokojivé. Takúto úroveň vlhkosti ani nepovažujeme za zvýšenú vlhkosť a predsa sú pevnostné vlastnosti spojov nižšie ako pevnosť spojov lepených základným lepidlom.

**Tab. 2 Pevnosť lepených spojov drevných vzoriek spájaných lepidlovou zmesou na báze lepidla Cascosinol 1711 podľa STN EN 204 (301).**

**Tab. 2 Shear strength of specimens glued with an adhesive mixture based on the adhesive Cascosinol 1711 according to STN EN 204 (301).**

Lepidlová zmes Požadovaná pevnosť [MPa]	Vlhkosť lepeného materiálu; Vlhkosť skúšaného materiálu					
	12%; 12%		25%; 25%		25%; 12%	
	Šmyková pevnosť [MPa] a percento porušenia vlákien [%]					
1. Cascosinol 1711 bez prídavku biopolyméru						
uloženie 1 [10 MPa]	<b>11,76</b>	89	7,81	49	<b>10,32</b>	72
uloženie 5 [4 (6) MPa]	<b>7,55</b>	58	<b>7,46</b>	71	<b>7,20</b>	65
2. Cascosinol 1711 + 10% KG						
uloženie 1 [10 MPa]	8,39	10	9,85	54	<b>10,61</b>	83
uloženie 5 [4 (6) MPa]	<b>5,70</b>	61	<b>6,35</b>	38	<b>6,58</b>	45
4. Cascosinol 1711 + 10% KK						
uloženie 1 [10 MPa]	8,71	32	8,63	41	8,64	28
uloženie 5 [4 (6) MPa]	<b>6,73</b>	12	<b>5,64</b>	28	<b>6,32</b>	23
6. Cascosinol 1711 + 10% AM						
uloženie 1 [10 MPa]	<b>10,82</b>	78	8,09	43	<b>10,41</b>	68
uloženie 5 [4 (6) MPa]	<b>5,40</b>	18	<b>5,67</b>	22	<b>6,30</b>	38
7. Cascosinol 1711 + 20% AM						
uloženie 1 [10 MPa]	9,01	42	7,47	53	9,55	37
uloženie 5 [4 (6) MPa]	<b>6,36</b>	28	<b>5,15</b>	35	<b>6,28</b>	44
8. Cascosinol 1711 + 10% AH						
uloženie 1 [10 MPa]	<b>11,38</b>	82	6,24	35	9,36	42
uloženie 5 [4 (6) MPa]	<b>5,03</b>	12	<b>5,27</b>	23	<b>6,08</b>	31
9. Cascosinol 1711 + 20% AH						
uloženie 1 [10 MPa]	<b>10,58</b>	54	5,90	40	7,75	58
uloženie 5 [4 (6) MPa]	<b>4,69</b>	21	3,99	11	<b>4,93</b>	32

Prídavok amarantovej múky v množstve 10 % poskytol lepidlovú zmes (č. 6), ktorej pevnosť dosiahla normou požadované hodnoty pri oboch typoch uloženia pri všetkých vlhkosťných úrovniach lepenia a skúšania vzoriek, okrem lepenia a skúšania šmykovej pevnosti pri vlhkosti 25 % pri uložení 1.

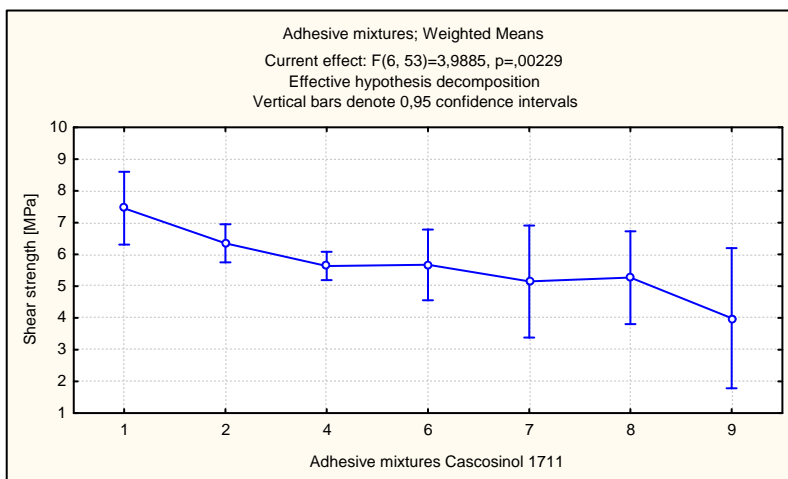
#### Matematicko-štatistické vyhodnotenie výsledkov

Pomocou uvedených experimentálnych meraní sa získali údaje, na základe ktorých sa dá bližšie posúdiť vplyv niekoľkých sledovaných faktorov na pevnosť v šmyku (lepidlová zmes, prídavné latky a ich množstvo, vlhkosť lepeného materiálu, spôsob skúšania pevnostných vlastností vzoriek). Namerané hodnoty šmykovej pevnosti sme porovnávali za pomoci jednofaktorovej analýzy rozptylu na hladine významnosti  $\alpha = 0,05$ . Štatistika sa robila pre hodnoty šmykovej pevnosti pri dvoch typoch uloženia lepených vzoriek (uloženie 1 a 5) a dvoch vlhkosťných úrovniach lepenia a skúšania vzoriek (pri 25 % vlhkosti lepenia a skúšania pevnosti vzoriek; a pri 25 % vlhkosti lepenia a 12 % vlhkosti skúšania vzoriek).

Z jednofaktorovej analýzy rozptylu zloženia lepidlovej zmesi vyplýva, že faktor „zloženie lepidlovej zmesi“ má štatisticky významný vplyv na hodnotu pevnosti v šmyku pre lepenú bukú vzorku. Normou stanovené hodnoty šmykovej pevnosti pri matematicko – štatistickom vyhodnotení spĺňajú až tri lepidlové zmesi na báze Cascosinol 1711 a to lepidlová zmes č. 1 bez prídavku biopolyméru, lepidlová zmes č. 2 s 10 % prídavkom kostného gleja a lepidlová zmes

č. 6 s 10 % prídavkom amarantovej múky. Vo všetkých týchto prípadoch sa jedna o skúšobné vzorky lepené pri 25 % vlhkosti materiálu a skúšané pri vlhkosti 12 % pri oboch typoch uloženia vzoriek.

Ako príklad (Obr. 3) uvádzame štatistické spracovanie závislosti šmykovej pevnosti na zložení lepidlovej zmesi na báze lepidla Cascosinol 1711 pre skúšobné telieska lepené a skúšané pri vlhkosti dreva 25 % pri uložení 5. Z grafického zobrazenia vidieť, že najnižšiu pevnosť v šmyku dosahuje vzorka lepená s lepidlovou zmesou č. 9. Najvyššiu pevnosť dosahuje nemodifikovaná lepidlová zmes č. 1, ktorá spolu so všetkými ostatnými lepidlovými zmesami spĺňa normou stanovenú hodnotu šmykovej pevnosti (4 MPa). Podľa Duncanovho testu môžeme posúdiť hladinu štatistickej významnosti rozdielu medzi dvoma priemernými hodnotami šmykovej pevnosti lepených spojov rôznych typov lepidlových zmesí. Vplyv lepidlovej zmesi č. 1 na šmykovú pevnosť je štatisticky významne odlišný od vplyvu ostatných zmesí (lepidlové zmesi č. 4, 6, 7, 8 a 9) okrem č. 2, s ktorou je štatisticky rovnocenný. Hodnoty variačného koeficientu vykazovali väčší rozptyl u vzoriek č. 7, 8 a 9.



**Obr. 3** Závislosť pevnosti v šmyku bukových vzoriek od typu lepidlovej zmesi na báze Cascosinol 1711 (graf 95 % intervalov spoľahlivosti, vlhkosťná úroveň 25 %; 25 %, uloženie 5).  
**Fig. 3** Relationship of shear strength of beech specimens with types of adhesive mixtures based on Cascosinol 1711 (95 % confidence intervals, moisture content 25 %; 25 %, conditioning 5).

## ZÁVER

Na prípravu lepidlových zmesí nebolo možné použiť všetky prídavné látky v obidvoch testovaných množstvách, prídavok kostného gleja a tiež prídavok kožného kolagénu v množstve 20 % veľmi zvyšovali viskozitu lepidlovej zmesi.

Zaujímala nás hlavne pevnosť vzoriek, ktoré boli lepené a aj skúšané pri vlhkosti 25 %. Pri pohľade na pevnostné vlastnosti skúmaných PRF lepidlových zmesí musíme konštatovať, že hodnoty pevnosti na tejto úrovni vlhkosti nespĺňajú ani v jednom prípade normou stanovené hodnoty pri uložení 1, avšak všetky modifikované lepidlové zmesi dosiahli pevnosť zodpovedajúcu norme pri uložení 5.

Na základe celkového vyhodnotenia jednotlivých lepidlových zmesí pre lepenie vlhkého dreva konštatujeme, že prídavok biopolymérov v lepidlových zmesiach na báze rezorcín-fenol-formaldehydového lepidla Cascosinol 1711 znižoval šmykovú pevnosť lepeného spoja v porovnaní s pevnosťou spoja lepeného základným lepidlom. Dosiahnuté pevnosti sú dostačujúce na to, aby takto modifikované PRF lepidlové zmesi boli používané na lepenie

drevárskych a nábytkárskych výrobkov určených na použitie v exteriéri, ale nie sú vhodné na lepenie nosných drevených konštrukcií.

Lepidlo Cascosinol 1711, vybrané pre experimenty zamerané na modifikáciu PRF lepidiel, je vhodné nadstavovať len biopolymérmí na báze amarantovej múky a lepidlová zmes môže byť určená len na nenosné konštrukčné účely.

## LITERATÚRA

- BITS, G., BEKHTA, P., SEDLIAČIK, J. 2008. Gluing of veneers with high moisture content. In *Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW. Forestry and Wood Technology* No 63, p. 60–65.
- CYR, P.L., RIEDL, B., WANG, X.M. 2008. Investigation of Urea-Melamine-Formaldehyde (UMF) resin penetration in Medium-Density Fiberboard (MDF) by High Resolution Confocal Laser Scanning Microscopy. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 66: 129–134.
- DUKARSKA, D., LECKA, J. 2006. Optimalization of the process of pressing particleboards by means of modifying phenol-formaldehyde resin with amide polymers. *Holz als Roh- und Werkstoff* 64; 403–409.
- JOST, M., SERNEK, M. 2009. Shear strength development of the phenol-formaldehyde adhesive bond during cure. In *Wood Sci Technol* 43; 153–166.
- JOZWIAK, M. 2007. Possibility of gluing veneers with high moisture content with the use modified MUF adhesives resin. In *Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW. Forestry and Wood Technology*, Warszawa, No. 61.
- KOLEJÁK, M. 1981. Sledovanie podmienok pre lepenie dreva s vysokou počiatočnou vlhkosťou. Kandidátska práca. Zvolen: VŠLD, 111 s.
- MATYAŠOVSKÝ, J., SEDLIAČIK, J., JURKOVIČ P., KOPNÝ, J., DUCHOVIČ P. 2011. De-chroming of chromium shavings without oxidation to hazardous Cr6+. *Journal of the American Leather Chemists Association*, 106(1): 8–17. ISSN 0002-9726.
- NOVÁK, I., KRUPA, I., CHODÁK, I. 2004. Electroconductive adhesives based on epoxy and polyurethane resins filled with silver-coated inorganic fillers. *Synthetic Metals*. 144(1): 13–19. ISSN 0379-6779.
- POLUS-RATAJCZAK, I., MAZELA, B., GOLINSKI P. 2003. The chemical interaction of animal origin proteins with cellulose and lignin in wood preservation. In *Annals of Warsaw Agricultural University - SGGW, Forestry and Wood Technology*, Warszawa, No. 53: 296–299.
- SEDLIAČIK, J. 2008. Lepidlá a lepenie dreva. Návody na cvičenia. Zvolen: TU vo Zvolene, 104 s., ISBN 978-80-228-1989-3.
- SEDLIAČIK, J., BEKHTA, P., POTAPOVA, O. A. 2010. Technology of low-temperature production of plywood bonded with modified phenol-formaldehyde resin. *Wood Research*, 55(4): 123–130. ISSN 1336-4561.
- SEDLIAČIK, J., DUDAS, J. 1998. Lepenie vlhkejšieho dreva. *Drevo*, 53(5): 115–117.
- SEDLIAČIK, J., SEDLIAČIKOVÁ, M. 2009. Innovation technologies in the processes of wood gluing. In *Innovation in woodworking industry and engineering design*. Soňa: Lesotechničeski universitet, p. 137–141. ISSN 1314-0663.
- SEDLIAČIK, M., SEDLIAČIK, J., MATYAŠOVSKÝ, J., KOPNÝ, J. 2001. Bielkoviny ako nadstavovadlo pre močovínové a fenolické lepidlá. *Drevo*, 56(8): 164–165. ISSN 0012-6144.
- STERLEY, M., BLÜMER, H., WÄLINDER, M. E. P. 2004. Edge and face gluing of green timber using a one-component polyurethane adhesive. In *Holz Roh. Werkst.*, 62: 479–482.
- STN EN 204: 2003. Triedenie lepidiel na spájanie dreva a drevných materiálov na nekonštrukčné účely.
- STN EN 205: 2003. Metódy skúšania lepidiel na drevo na nenosné konštrukčné dielce. Stanovenie pevnosti pozdĺžne lepených spojov v šmyku pri zaťažovaní ťahom.
- STN EN 301: 2007. Lepidlá na nosné drevené konštrukčné dielce: fenoplasty a aminoplasty. Triedenie a pevnostné požiadavky.
- STN EN 322: 1995. Dosky z dreva. Zisťovanie vlhkosti.
- STRICKLER, M. D. 1970. End gluing of green lumber. *Forest Product Journal*, 20(9): 47–51.
- SUN, S., ZHONG, Z. 2000. Adhesives from modified soy proteins. In *Wood Adhesives 2000 Extended Abstracts*. Nevada: Forest Products Society, s. 5–6. ISBN 1-892529-10-6.
- ŠMIDRIAKOVÁ, M., KOLLÁR, M. 2010. Modifikácia polyuretánových lepidiel biopolymérmí na lepenie dreva s vyšším obsahom vlhkosti. *Acta facultatis xylogologiae Zvolen*, 52(1): 75–83, ISSN 1336-3824.
- VARIVODINA, I., KOSICHENKO, N., VARIVODIN V., SEDLIAČIK, J. 2010. Interconnections among the rate of growth, porosity and wood water absorption. In *Wood Research*, 55(1): 59–66. ISSN 1336-4561.
- VIJAYENDRAN, B.R., CLAY, J. 2000. Some recent studies on soy protein-based wood adhesives. In *Wood Adhesives 2000 Extended Abstracts*. Nevada: Forest Products Society, s. 4–5, ISBN 1-892529-10-6.



### **PodĎakovanie**

Táto práca bola podporená agentúrou VEGA projektom č. 1/0517/09 s názvom: Adhezívne kompozície pre výrobu drevných kompozitov s nízkou energetickou náročnosťou lisovania a projektom APVV-0521-07 s názvom: Riešenie negatívneho vplyvu tuhých chromitých odpadov kožiarskeho priemyslu na životné prostredie.

### **Adresy autorov**

Ing. Mária Šmidriaková  
Technická univerzita vo Zvolene  
Drevárska fakulta  
T. G. Masaryka 24  
960 53 Zvolen  
Slovakia  
smidriak@vsld.tuzvo.sk

Ing. Milan Kollár, PhD.  
AGGLU s.r.o.  
Nábřežná 4/1013  
039 01 Turčianske Teplice  
Slovakia  
kollar@agglu.sk

