

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

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

Mária Šmidriaková – Milan Kollár

#### ABSTRACT

Gluing belongs to the very important technological operations in woodworking industry. The aim of this work was development of use of biopolymers (waste polymers or lower valued natural polymers) as the additives to adhesive mixtures suitable for gluing of wood at higher moisture content (mixtures based on polyurethane). In the experiments, two types of adhesives in combination with four kinds of additives (bone glue, leather collagen, amaranth flour and amaranth hydrolysate) were used.

Based on the complex evaluation of applicability of individual adhesive mixtures, we can say that the addition of animal biopolymers in polyurethane adhesives results in higher shear strength. The leather collagen, obtained from waste produced in leather industry, showed to be the most suitable additive in polyurethane adhesive mixtures. It increased the strength of glued samples (at 25 % moisture content of glued and tested material) in comparison with the unmodified adhesive. Addition of leather collagen into an adhesive mixture in the amount of 20 % was more appropriate in comparison with the 10 % addition.

Mixtures based on polyurethanes and biopolymers are suitable for gluing of wet wood. They showed good shear strength (at moisture content of 25 %) and a simple way of preparation of adhesive mixture (PUR adhesives are one-component). The best adhesive with addition of leather collagen is Jowapur 685.12 which showed good strength properties at all tested levels of wood moisture content (at gluing and testing of the material) and at both types of conditioning of glued specimens.

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

#### ÚVOD

V drevárskom priemysle patrí lepenie dreva medzi dôležité technologické operácie. Je to veľmi špecifický proces, ktorý závisí na mnohých faktoroch: lepenom materiáli, druhu lepidla, spôsobe lepenia a následnom použití lepeného prvku (SEDLIAČIK 2005).

Doteraz známe spôsoby lepenia, hlavne za studena, vyžadujú vlhkosť lepeného materiálu 8–12 % v celom priereze. Ojedinele bola dokázaná možnosť lepiť drevo aj pri vlhkosti nad 20 %. CURRIER (1960) skúmal spájanie čapov, keď mal materiál vlhkosť 27 %.

Súčasná energetická situácia si vynucuje hľadanie nových výrobných technológií (SEDLIAČIK, DRÁBEK 2007) s minimálnymi nárokmi na tepelnú a elektrickú energiu (BEKHTA *a kol.* 2009b). Pre lepenie za studena sa používa termín montážne lepenie. Zatiaľ sú známe dve lepidlá, s ktorými môžeme lepiť pri nízkych teplotách: kazeínové lepidlo a polyuretánové lepidlá (SEDLIAČIK 2008).

Vysoký obsah polysacharidov v dreve, teda veľký počet voľných hydroxylových skupín spôsobuje vysokú hydrofilnosť dreva a ľahkú adsorbciu vody.

Vzťah dreva a vody sa pri lepení prejavuje tým, že z naneseného lepidla – sólu časť vody oddifunduje do dreva, pričom lepidlo prechádza do gélu. Vlhkosť prítomná v dreve má vplyv na prienik, prípadne na rozptýľ lepidla (SEDLIAČIK, DUDAS 1998). Pri vyššej vlhkosti (22 %) sa lepidlo rozptýľuje v lepenej škáre a film lepidla sa tak stáva nesúvislým. V prípade lepenia tenkých dýh môže už malé množstvo prítomnej vody vyvolať prekročenie BNV dreva, čím sa zastaví, resp. spomalí odľučovanie vody z lepenej škáry. Pri sledovaní spoločného pôsobenia vlhkosti, lisovacieho času, tlaku a teploty bolo zistené, že zvyšovanie vlhkosti dreva spôsobuje predĺženie lisovacieho času, zvýšenie lisovacej teploty a zníženie lisovacieho tlaku. Pre lepidlo v lepenej škáre je výhodnejšie voliť predĺženie lisovacieho času a nie zvyšovať teplotu lisovania (BEKHTA *a kol.* 2009a).

Problematikou lepenia vlhkého dreva sa zaoberalo mnoho autorov na celom svete. STRICKLER (1970) sa zaoberal problematikou koncového lepenia s meniteľnou vlhkosťou. Nadväzoval na práce CURRIERA (1960) a RAKNESA (1967), ktorí sa zaoberali možnosťou lepenia ozubových spojov. Konštatovali, že maximálna vlhkosť prípustná pri koncovom lepení sa pohybuje v rozmedzí 20–30 %.

KOLEJÁK (1981) citoval vo svojej práci Pecinu, ktorý zistil, že u bežných fenolových a močovínových lepidiel je horná hranica prípustnej vlhkosti pri lepení za studena 12–16 % a o niečo vyššia (cca 18 %) je pri lepení za tepla.

V posledných rokoch sa ako moderné lepidlá pre lepenie dreva s vyššou vlhkosťou začínajú využívať polyuretánové 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 polyuretánových (PUR) lepidiel na lepenie dreva s rozsahom vlhkosti 35–130 %.

Pridaním rastlinných alebo živočíšnych biopolymérov do jestvujúcich a štandardne vyrábaných lepidiel je možné upraviť ich vlastnosti. Dané látky majú funkciu plnív a nastavovadiel, pričom sa dosiahne technologický, ale aj ekonomický efekt. Lepený spoj je takto heterogénnym systémom, v ktorom sa vlastnosti jednotlivých zložiek podstatne odlišujú a je tu veľká možnosť pre vznik defektov. Nerovnorodosťou sa môže vyznačovať samotné lepidlo a substrát, ale aj použitá lepidlová kompozícia, keďže obsahuje rozličné prídavné látky, polyméry, plnivá a pod. (SEDLIAČIK *a kol.* 2006).

V súčasnej dobe veľmi sledovaný problém voľného formaldehydu sa týka hlavne použitia močovinoformaldehydových a fenolformaldehydových lepidiel. Schopnosť viazať voľný formaldehyd majú látky obsahujúce voľné aminoskupiny. Významnou skupinou biopolymérov sú bielkoviny, ktoré majú rôznorodú štruktúru a voľné aminoskupiny. V súčasnosti je na trhu nadbytočné množstvo bielkovín, hlavne bielkovinových hydrolyzátov z kožiarskych odpadov (MATYAŠOVSKÝ *a kol.* 2001). Sú dostupné a relatívne lacné.

Proteínové molekuly dispergované v roztoku zvyšujú styčnú plochu a adhéziu k povrchu a potom vo vytvrdzovacom procese sa znovu spájajú. Správne zvolená technológia ich modifikácie môže zvýšiť lepivú silu. Za zlepšené vlastnosti lepidiel modifikovaných proteínmi je zodpovedná silná chemická reakcia medzi funkčnými skupinami proteínu a živícami. Hydrolyzovaný sójový proteín (SUN, ZHONG 2000, VIJAYENDRAN, CLAY 2000) v kombinácii s RF živicom dokáže efektívne lepiť vlhké rezivo rôznych drevných vzoriek pri izbovej teplote.

Najstarším typom lepidla je glutínové lepidlo (stolársky glej). Vyrába sa z kostí a kože zvierat a v podstate je zložený z glutínu a látok hydrolytického rozpadu tejto bielkoviny. Glutín vzniká z kolagénu, ktorého obsah je v kostiach 5–30 % a kožiach asi 35 %. Lepený spoj na vlhkosť reaguje podobne ako drevo.

V práci MATYAŠOVSKÉHO *a kol.* (2001) bola riešená modifikácia UF lepidla (Diakol M) kožným hydrolyzátom o hodnote pH 4 a modifikácia PF lepidla (Fenokol 43) kožným hydrolyzátom o hodnote pH 9 v množstvách od 0 do 20 %. Tieto prísady zvyšujú viskozitu lepidiel, čím zabraňujú vnikaniu lepidla do dreva a zamedzujú vznik chudobného spoja.

Zabraňujú tiež prenikaniu lepiacich zmesí pórmi krycích dých. Priaznivo tiež pôsobia na obmedzenie zmršťovania lepidla, zabraňujú tak vzniku škodlivých prnutí v lepenej škáre (SEDLIČIK *a kol.* 2001).

Cieľom nášho výskumu bol vývoj lepidlových zmesí modifikovaných biopolymérmi, ktoré by sa dali použiť pri lepení dreva s vyšším obsahom vlhkosti tak, aby lepidlová zmes vyhovovala triede vodovzdornosti D4. Lepené spoje získané aplikáciou lepidla v triede D4 majú odolávať dlhodobo vplyvom vody alebo vysokej vzdušnej vlhkosti (KOVÁČIK, SEDLIČIK 2004).

## EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

V experimentálnej práci boli použité polyuretánové lepidlá *Jowapur 685.12* a *Jowapur 687.40* (Jowat AG, Detmold, Nemecko).

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

Základné parametre prídavných látok:

*Kostný 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 v amarante je možné hydrolyticky štiepiť za prítomnosti enzýmov, kyselín, zásad a lyotropných činidiel.

*Amarantový hydrolyzát* (AH): pripravený pri teplote 80 °C z nasledujúcich surovín: kolagén, močovina, amarantový rastlinný biopolymér, kyselina chlorovodíková a kyselina fosforečná. Je to hnedastá kvapalina, sušina 59,2 %, hustota 1204 kg·m<sup>-3</sup>, pH 4,1, viskozita 2000 mPa.s pri 20 °C.

Lepidlá boli modifikované prídavkom jednotlivých biopolymérov v množstve 10 % a 20 %. Hodnotili sa fyzikálno-chemické parametre pripravených lepidlových zmesí: životnosť lepidlovej zmesi, hodnota pH, obsah sušiny.

Lepidlové zmesi sa aplikovali na lepený povrch pri dvoch rôznych úrovniach vlhkosti dreva (12 ± 2 % a 25 ± 2 %). Vlhkosť bola meraná tesne pred lepením vlhkomerom a zároveň stanovená laboratórne váhovou metódou. Pri testovaní bolo použité bukové drevo (*Fagus sylvatica*). Lepidlová zmes sa nanášala ručne na obe časti skúšobného telieska. Nános lepidlových zmesí :

- Jowapur 687.40: 250 g·m<sup>-2</sup>,
- Jowapur 685.12: 250 g·m<sup>-2</sup>,

Telieska boli lisované pri laboratórnej teplote; čas lisovania 24 hodín, špecifický lisovací tlak 1 MPa.

Kvalita lepených spojov sa skúšala podľa normy STN EN 205: 2003 na základe šmykovej pevnosti lepeného spoja. Šmyková pevnosť sa merala a vyhodnocovala na trhacom stroji LaborTech 4.050 s 5 kN hlavicou.

Merania sa robili pri dvoch rôznych uloženiach lepených vzoriek podľa STN EN 204: 2003:

- uloženie 1: 7 dní v normálnej klíme (23 ± 2 °C),
- uloženie 5: 7 dní v normálnej klíme (23 ± 2 °C), 6 hodín vo vriacej vode, 2 hodiny v studenej vode

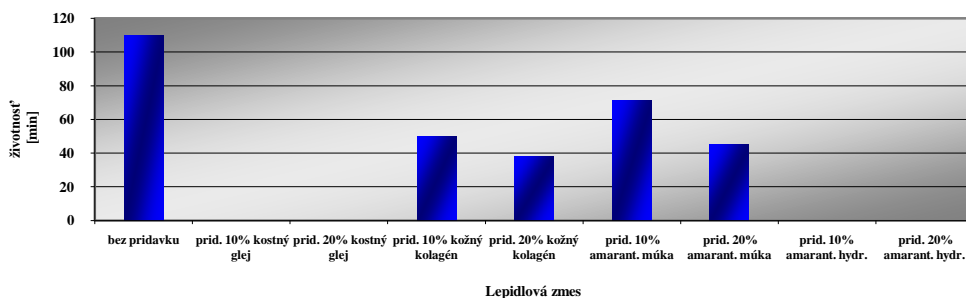
a pri troch vlhkostných úrovniach lepenia a skúšania vzoriek:

- 25 % vlhkosť pri lepení aj skúšaní,
- 25 % pri lepení a 12% pri skúšaní,
- 12 % vlhkosť pri lepení aj skúšaní.

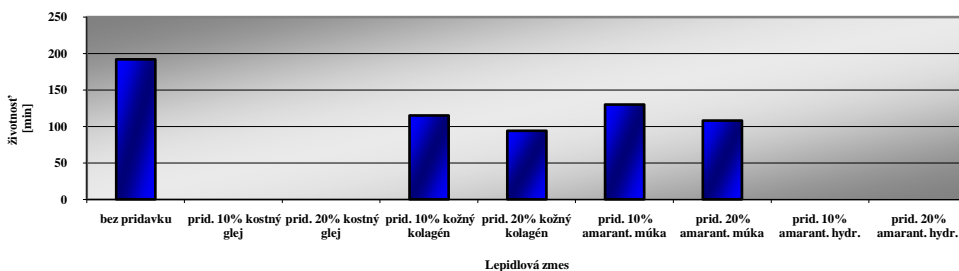
## VÝSLEDKY A DISKUSIA

### Fyzikálno-chemické parametre testovaných lepidlových zmesí

Životnosť lepidlovej zmesi je čas, za aký zostáva lepidlo v stave vhodnom na nanášanie. Výsledky ukázali, že životnosť väčšiny pripravených zmesí bola niekoľkonásobne nižšia v porovnaní so životnosťou čistého lepidla. Výsledky testovania sú graficky znázornené na obrázkoch 1 a 2.



**Obr. 1** Životnosť lepidlových zmesí na báze Jowapur 685.12  
**Fig. 1** Pot life of adhesive mixtures based on Jowapur 685.12



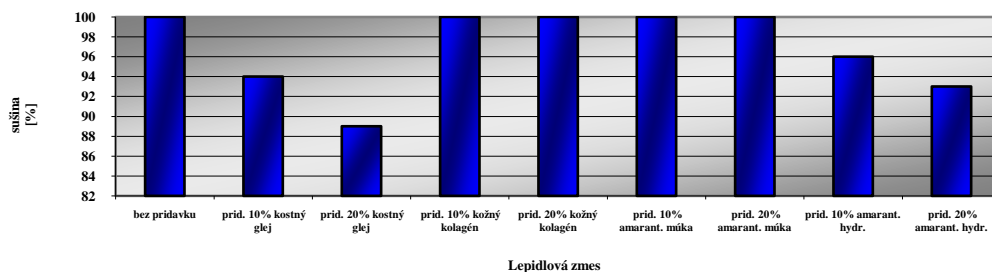
**Obr. 2** Životnosť lepidlových zmesí na báze Jowapur 687.40  
**Fig. 2** Pot life of adhesive mixtures based on Jowapur 687.40

Hodnota pH je z hľadiska lepenia dreva dôležitá, keďže pri extrémnych hodnotách dochádza k hydrolytickému rozkladu zložiek dreva. Prídaním prídavných látok sa mení hodnota pH a tak sa menia podmienky pre vytvrdzovanie lepidla. Predpokladali sme, že skúmané prídavné látky zásadne nezmenia výsledné pH lepidlovej zmesi. Meraním hodnoty pH prídavných látok sme zistili, že náš predpoklad môže byť správny, keďže namerané hodnoty pH nedosahovali hraničné hodnoty, pohybovali sa v rozsahu pH 4,1–6,2 (Tab. 1).

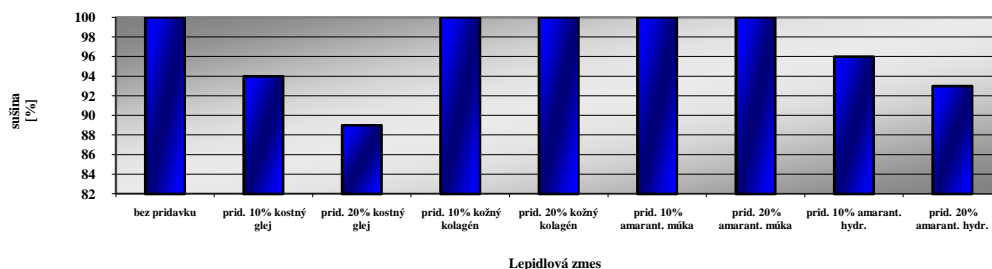
**Tab. 1** Hodnota pH prídavných látok  
**Tab. 1** pH value of the additives

Prídavné látky	Hodnota pH
kostný glej	5,3
kožný kolagén (10 % vodný roztok)	5,2
amarantová múka (10 % vodný roztok)	6,2
amarantový hydrolyzáť	4,1

Skoro všetky lepidlá a pomocné materiály obsahujú určité množstvo vody. Prídavné látky používané v našich experimentoch zásadne nemenili hodnotu sušiny lepidlovej zmesi v porovnaní so sušinou čistých lepidiel (Obr. 3 a 4).



**Obr. 3** Obsah sušiny lepidlových zmesí na báze Jowapur 685.12  
**Fig. 3** Solid content of adhesive mixtures based on Jowapur 685.12



**Obr. 4** Obsah sušiny lepidlových zmesí na báze Jowapur 687.40  
**Fig. 4** Solid content of adhesive mixtures based on Jowapur 687.40

### 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. Metóda je vhodná na posúdenie kvality lepidla a jeho použiteľnosti na lepenie dreva a drevných materiálov, na posúdenie vplyvov na pevnosť lepeného spoja (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. Zamerali sme sa na skupinu namáhania D4 (vnútorné použitie s častým silným pôsobením vody alebo vlhkosti; vonkajšie použitie v ustálenej poveternosti, ale s primeranou ochranou povrchu). Výsledky meranej šmykovej pevnosti jednotlivých kategórií lepených spojov uvádzame v tabuľkách 2 a 3.

Lepidlová zmes na báze Jowapur 685.12 dosiahla dobré výsledky šmykovej pevnosti skúšobných vzoriek (Tab. 2). Nie všetky prídavné látky boli však vhodné ako prídavok do lepiacej zmesi. Pri použití glutínového lepidla a hydrolyzátu amarantu došlo k predčasnemu vytvrdnutiu zmesi. Táto skutočnosť je zrejماً aj z obr. 1. Okamžité vytvrdnutie lepidla spôsobil vysoký obsah vody v prídavných látkach.

**Tab. 2 Pevnostné vlastnosti vzoriek spájaných zmesou na báze lepidla Jowapur 685.12**  
**Tab. 2 Shear strength of samples glued with a mixture based on the adhesive Jowapur 685.12**

Lepidlová zmes Požadovaná pevnosť [MPa]	Vlhkosť lepeného a skúšaného materiálu					
	12 – 12 %		25 – 25 %		25 – 12 %	
	Šmyková pevnosť [MPa] a percento porušenia vlákien [%]					
1. Jowapur 685.12 bez prídavku						
uloženie 1 [10 MPa]	<b>11,69</b>	46	7,67	27	<b>10,12</b>	53
uloženie 5 [4 MPa]	3,60	0	3,95	4	<b>4,81</b>	21
4. Jowapur 685.12 + 10% KK						
uloženie 1 [10 MPa]	<b>10,83</b>	23	7,99	31	9,62	43
uloženie 5 [4 MPa]	<b>4,83</b>	11	<b>4,73</b>	21	<b>4,79</b>	24
5. Jowapur 685.12 + 20% KK						
uloženie 1 [10 MPa]	<b>10,90</b>	46	<b>10,54</b>	34	<b>10,66</b>	47
uloženie 5 [4 MPa]	<b>4,92</b>	10	<b>4,15</b>	0	<b>4,51</b>	17
6. Jowapur 685.12 + 10% AM						
uloženie 1 [10 MPa]	<b>10,29</b>	37	6,00	0	9,15	37
uloženie 5 [4 MPa]	3,79	12	<b>4,65</b>	16	<b>5,18</b>	23
7. Jowapur 685.12 + 20% AM						
uloženie 1 [10 MPa]	9,69	21	5,73	18	7,68	24
uloženie 5 [4 MPa]	<b>4,23</b>	15	<b>4,17</b>	29	<b>4,83</b>	17

Lepidlové zmesi na báze Jowapur 687.40 (Tab. 3) dosiahli relatívne dobré výsledky šmykovej pevnosti skúšobných vzoriek. V prípade tohto lepidla, podobne ako to bolo v prípade lepidla Jowapur 685.12, z rovnakých príčin nebolo možné použiť prídavné látky glutínové lepidlo a hydrolyzát amarantu (vid' obr. 2).

**Tab. 3 Pevnostné vlastnosti vzoriek spájaných zmesou na báze lepidla Jowapur 687.40**  
**Tab. 3 Shear strength of specimens glued with a mixture based on the adhesive Jowapur 687.40**

Lepidlová zmes Požadovaná pevnosť [MPa]	Vlhkosť lepeného a skúšaného materiálu					
	12 – 12 %		25 – 25 %		25 – 12 %	
	Šmyková pevnosť [MPa] a percento porušenia vlákien [%]					
1. Jowapur 687.40 bez prídavku						
uloženie 1 [10 MPa]	<b>10,65</b>	56	8,05	23	6,80	12
uloženie 5 [4 MPa]	3,89	0	3,98	10	<b>4,40</b>	0
4. Jowapur 687.40 + 10% KK						
uloženie 1 [10 MPa]	<b>11,03</b>	73	8,21	25	9,71	28
uloženie 5 [4 MPa]	<b>5,29</b>	29	3,99	16	<b>4,38</b>	40
5. Jowapur 687.40 + 20% KK						
uloženie 1 [10 MPa]	9,55	38	<b>10,08</b>	42	<b>11,58</b>	69
uloženie 5 [4 MPa]	<b>4,83</b>	13	3,58	12	<b>5,93</b>	40
6. Jowapur 687.40 + 10% AM						
uloženie 1 [10 MPa]	9,64	29	5,62	8	8,61	34
uloženie 5 [4 MPa]	3,52	15	2,46	0	3,21	10
7. Jowapur 687.40 + 20% AM						
uloženie 1 [10 MPa]	<b>11,04</b>	59	4,90	15	5,53	20
uloženie 5 [4 MPa]	3,80	12	3,14	0	3,25	8

Z uvedených výsledkov je zrejme, že prídavné látky s vysokým obsahom vody nie je možné uvažovať pre modifikáciu lepidlových zmesí na báze polyuretánov. Zo štyroch testovaných prídavných látok len dve boli použiteľné. Jednou bola látka živočíšneho pôvodu (kožný kolagén) a druhou látka rastlinného pôvodu (amarantová múka), obe boli použité v práškovej forme.

Ak vzájomne porovnáваме pevnosť lepených spojov na jednotlivých úrovniach vlhkosti lepeného a skúšaného materiálu, lepidlové zmesi modifikované kožným kolagénom zaistili vyššiu šmykovú pevnosť spoja v porovnaní s pevnosťou spoja lepeného lepidlom modifikovaným prídavkom amarantovej múky.

Kolagén je skleroproteín, fibrilárna bielkovina, nerozpustná vo vode a v roztokoch solí. Fibrilárne proteíny sú v živočíšnych organizmoch podpornými a štruktúrnymi komponentmi. V makromolekule kolagénu sú aminokyseliny pospájané polyamidickou väzbou. Makromolekuly dispergované v roztoku majú dobrú adhéziu k lepenému povrchu a vo vytvrdzovacom procese sa znovu spájajú. Za zlepšené pevnostné vlastnosti lepidiel modifikovaných proteínmi je zodpovedná chemická reakcia medzi funkčnými skupinami proteínu a lepidla.

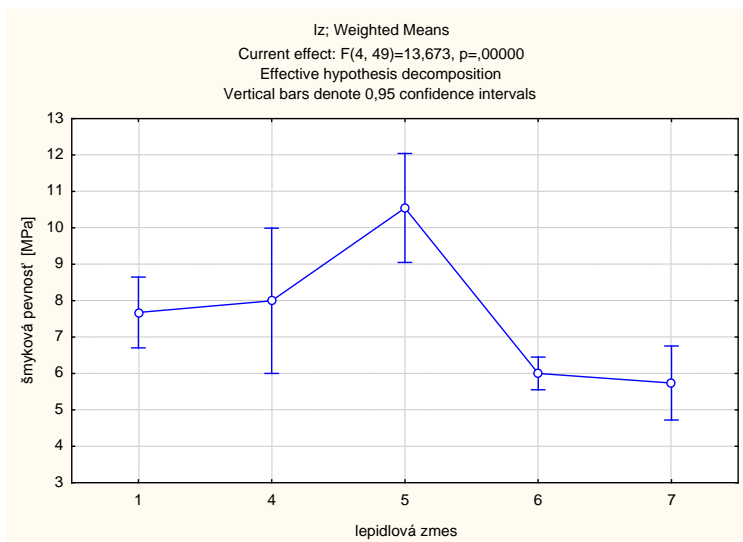
Ak vyslovíme požiadavku, aby lepidlová zmes zaistila lepený spoj normou požadovanej pevnosti pre všetky testované úrovne vlhkosti lepeného a skúšaného materiálu, ako aj pre obidva typy uloženia lepených vzoriek, môžeme konštatovať, že lepidlo Jowapur 685.12 umožnilo dosiahnuť žiadaný výsledok. Lepidlová zmes Jowapur 685.12 s prídavkom kožného kolagénu v množstve 20 % ako jediná dosiahla pevnostné vlastnosti požadované normou pri všetkých testovaných vlhkostných úrovniach lepenia a skúšania materiálu a tiež pri obidvoch typoch uloženia lepených vzoriek.

### **Matematicko-štatistické vyhodnotenie výsledkov**

Pomocou uvedených experimentálnych meraní sa získalo značné množstvo informácií, na základe ktorých sa dá bližšie posúdiť vplyv viacerých sledovaných faktorov (lepidlová zmes, prídavné latky a ich množstvo, vlhkosť lepeného materiálu, spôsob skúšania pevnostných vlastností vzoriek) na pevnosť v šmyku. Štatistickú významnosť rozdielov medzi rôznymi úrovňami sledovaných faktorov je možné vyhodnotiť jednofaktorovou a dvojfaktorovou analýzou rozptylu.

V našej práci sa namerané hodnoty šmykovej pevnosti porovnávali za pomoci jednofaktorovej analýzy rozptylu. Matematicko-štatistické vyhodnotenie výsledkov meraní pevnostných vlastností zlepených bukových vzoriek bolo robené pre obidva typy lepidiel: Jowapur 685.12 a Jowapur 687.40. Štatistika sa robila pre hodnoty šmykovej pevnosti pri dvoch typoch uloženia lepených vzoriek (uloženie 1 a 5) a dvoch vlhkostných úrovniach lepenia a skúšania vzoriek (pri 25 % vlhkosti lepenia a skúšania pevnosti vzoriek; a pri 25 % vlhkosti lepenia a 12 % vlhkosti skúšania vzoriek).

Na obr. 5 je znázornená závislosť šmykovej pevnosti na zložení lepidlovej zmesi na báze Jowapur 685.12 skúšobných teliesok lepených a skúšaných pri vlhkosti dreva 25 %. Z jednofaktorovej analýzy rozptylu zloženia lepidlovej zmesi vyplýva, že faktor „zloženie lepidlovej zmesi“ má štatisticky významný vplyv. Pevnostné vlastnosti lepidlovej zmesi č. 5 (20 % prídavok kolagénu) sa štatisticky významne líšia od pevností všetkých ostatných lepidlových zmesí a pevnosť spoja dosahuje normou požadovanú hodnotu. Pevnostné vlastnosti vzoriek lepených zmesou č. 6 (10 % prídavok amarantovej múky) sú rovnocenné s pevnostnými vlastnosťami vzoriek lepených zmesou č. 7. (20 % prídavok amarantovej múky) a zároveň štatisticky významne odlišné od pevnostných vlastností vzoriek lepených zmesami č. 1 (nemodifikované lepidlo), č. 4 (10 % prídavok kolagénu) a zmesou číslo 5 (20 % prídavok kolagénu). Z obr. 5 je evidentné, že prídavok amarantovej múky do lepidlovej zmesi štatisticky významne znižuje pevnosť lepeného spoja.



**Obr. 5. Závislosť pevnosti v šmyku bukových vzoriek (uloženie 1) od typu lepidlovej zmesi na báze Jowapur 685.12 – graf 95 % intervalov spoľahlivosti.**

**Fig. 5 Relationship of shear strength of beech specimens (conditioning 1) with types of adhesive mixtures based on Jowapur 685.12 – 95 % confidence intervals.**

## ZÁVER

Na základe celkového vyhodnotenia jednotlivých lepidlových zmesí pre lepenie vlhkého dreva konštatujeme, že prídavok živočíšnych biopolymérov do polyuretánových lepidiel zvyšuje pevnostné vlastnosti lepidiel. Spoje lepené lepidlovými zmesami na báze lepidiel Jowapur 685.12 a 687.40 vykazovali vyššie hodnoty šmykovej pevnosti v porovnaní s pevnosťou spojov lepených čistým, nemodifikovaným lepidlom. Lepené spoje vykazujú dobré pevnostné vlastnosti (pri vlhkosti lepeného a skúšaného materiálu 25 %). Príprava lepidlovej zmesi je jednoduchá, keďže lepidlá Jowapur 685.12 a 687.40 sú jednozložkové.

Najvhodnejšou prídavnou látkou do polyuretánových lepidiel Jowat bol kožný kolagén (získaný z odpadu kožiarskeho priemyslu), ktorý v porovnaní s čistým lepidlom zvýšil pevnosť lepených vzoriek (pri 25 % vlhkosti lepeného a skúšaného materiálu). Prídavok kožného kolagénu do lepidlovej zmesi v množstve 20 % sa ukázal ako vhodnejší v porovnaní s prídavkom 10 %. Lepidlo Jowapur 685.12 s týmto prídavkom dosiahlo pevnostné vlastnosti požadované normou pri všetkých testovaných vlhkosťových úrovniach lepenia a skúšania materiálu a tiež pri oboch typoch uloženia lepených vzoriek.

Amarantová múka nie je vhodná ako prídavná látka. Lepidlové zmesi modifikované prídavkom amarantovej múky vykazovali štatisticky významne odlišnú, nízku pevnosť lepeného spoja.

Práca bola zameraná na nájdenie vhodného variantu lepidlovej zmesi s prídavkom biopolymérov, zmesi na báze polyuretánového lepidla, ktorá by bola použiteľná na lepenie vlhkého dreva. Podarilo sa nám zvýšiť pevnostné vlastnosti pôvodného lepidla, ale aj znížiť cenu lepenia, a to vďaka využitiu odpadových kožných kolagénov.

Nami otestované lepidlové zmesi na báze polyuretánových lepidiel firmy Jowat s 20 % prídavkom kožného kolagénu je možné použiť na plošné lepenie, dyhovanie, výrobu dverových alebo stavebných sendvičov, tiež na dĺžkové nadpájanie (cinkovanie), výrobu obkladov, drevených podláh, konštrukčné a montážne lepenie.



## LITERATÚRA

- BEKHTA, P., HIZIROGLU, S., POTAPOVA, O., SEDLIAČIK, J. 2009a. Shear Strength of Exterior Plywood Panels Pressed at Low Temperature. *Journal of Materials*, 2: 876–882.
- BEKHTA, P., ORTYNSKA, G., SEDLIAČIK, J. 2009b. The effect of pressing regime on plywood fabrication from the veneer with high moisture content. In: *Pokroky vo výrobe a použití lepidiel v drevopriemysle*. Zvolen: TU vo Zvolene, s. 85–90. ISBN 978-80-228-2024-0.
- CURRIER, R.A. 1960. Finger jointing at high moisture content. *Forest Product Journal*, (6): 287–293.
- KOLEJÁK, M. 1981. *Sledovanie podmienok pre lepenie dreva s vysokou počiatočnou vlhkosťou*. Kandidátska práca. Zvolen: VŠLD, 111 s.
- KOVÁČIK, J., SEDLIAČIK, J. 2004. Lepidlo na drevo v triede vodovzdornosti D4. In *Drevné kompozitné materiály*. Zvolen: TU vo Zvolene, s. 136–141. ISBN 80-228-1302-8.
- MATYAŠOVSKÝ, J., KOPNÝ, J., MELUŠ, P., SEDLIAČIK, J., SEDLIAČIK, M. 2001. Modifikácia polykondenzačných lepidiel bielkovinami. In *Pokroky vo výrobe a použití lepidiel v drevopriemysle*. Zvolen: TU vo Zvolene, s. 37–42. ISBN 80-228-09580-6.
- RAKNES, E. 1967. Finger jointing with resorcinol glues at high wood moisture content. Report č 32, Blindern: Norwegian Inst. of Woodworking and Wood Tech.
- SEDLIAČIK, M., SEDLIAČIK, J., MATYAŠOVSKÝ, J., KOPNÝ, J. 2001. Bielkoviny ako nastavovadlo pre močovínové a fenolické lepidlá. *Drevo*, 56(8): 164–165.
- SEDLIAČIK, J., DRÁBEK, J. 2007. Innovation tendencies at wood gluing technology. In *Annals of Warsaw University of Life Sciences. Forestry and Wood Technology*, Warszawa, (62): 224–226.
- SEDLIAČIK, J., DUDAS, J. 1998. Lepenie vlhkejšieho dreva. *Drevo*, 53(5): 115–117.
- SEDLIAČIK, J. 2008. Lepidlá pre montážne lepenie. In *Drevné kompozitné materiály*. Zvolen: TU vo Zvolene, s. 18–22, ISBN 978-80-228-1864-3.
- SEDLIAČIK, J. 2005. *Procesy lepenia dreva, plastov a kovov*. Zvolen: TU vo Zvolene, 220 s. ISBN 80-228-1500-4.
- SEDLIAČIK, M., SEDLIAČIK, J., POTAPOVA, O. 2006. *K problematike lepených spojov*. Zvolen: TU vo Zvolene, 75 s., ISBN 80-228-1425-3.
- STERLEY, M., BLÜMER, H., WÄLINDER, M. E. P. 2004. Edge and face gluing of green timber using a one-component polyurethane adhesive. *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.
- 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.
- 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 (Acknowledgement)

Táto práca bola podporená agentúrou VEGA projektom č. 1/0517/09 s názvom Adhezívne kompozície pre výrobu drevných kompozitov s nízkou energetickou náročnosťou lisovania.

### 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

