

## APLIKÁCIA NAPENENEJ PVAC DISPERZIE PRI VÝROBE PREGLEJOVANÝCH DOSIEK

### APPLICATION OF FOAMED PVAC DISPERSION IN PLYWOOD PRODUCTION

Mária Šmidriaková – Ján Sedliačik – Balázs Végh – Pavlo Bekhta

#### ABSTRACT

Different thermoplastic and thermosetting adhesives have been used for production of engineered wood products. Polyvinyl acetate (PVAC) adhesives have good bending properties and water resistance. Due to health hazards of formaldehyde emissions from formaldehyde based adhesives, there is growing interest in the application of PVAC-based composites in furniture or interior construction. The aim of the work was to find out the optimal process of gluing veneers and plywood by PVAC adhesive dispersion D3. Used adhesive was applied in the air foamed form with 30 % increased volume and experimental plywood was pressed at the temperature of 70 °C. Research is focused on the reduction of spread to the value when the strength meets the standard EN 314-2 requirements. Good shear strength of plywood was measured at the reduced spread of 120 g·m<sup>-2</sup> of foamed adhesive.

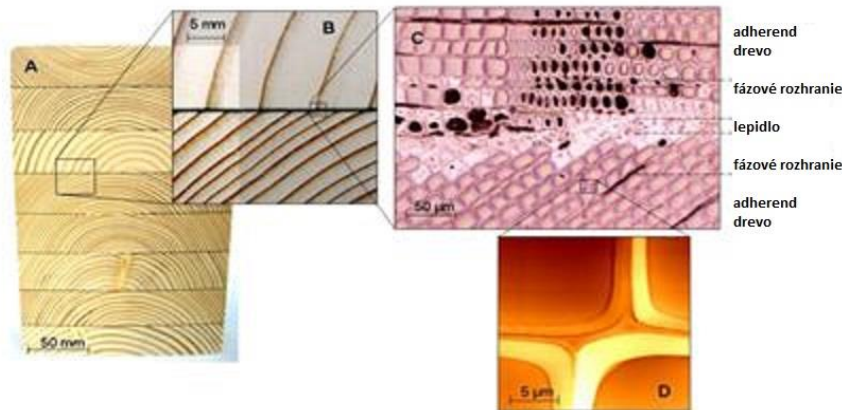
**Key words:** PVAC adhesive, foaming, shear strength, spread, non-formaldehyde plywood.

#### ÚVOD

Čoraz väčší dôraz na kvalitu životného prostredia z hľadiska jeho hygienickej bezpečnosti núti výskum a produkciu venovať sa problému emisie formaldehydu z lepených materiálov. Preto sa do popredia záujmu dostávajú lepidlá, ktoré nie sú syntetizované na základe formaldehydu. Jedným z čoraz viac využívaných lepidiel na lepenie dreva je polyvinylacetátové (PVAC) lepidlo. Lepidlo sa bežne vyrába ako vodná disperzia, má dobré adhézne vlastnosti, lepený spoj je bezfarebný, odolný voči vode a má vysokú pevnosť. Emisie formaldehydu z PVAC lepidla sú nulové.

Lepidlá na drevo vykazujú veľkú variabilitu mechanických vlastností v ich vytvrdnutom stave, modul pružnosti jednotlivých lepidiel stanovený rôznymi metódami sa nachádza v širokom intervale hodnôt. Vlhkosť zvyčajne spôsobuje mäknutie lepidlového filmu a teplota zvyčajne znižuje tvrdosť lepidlového filmu. PVAC patrí do skupiny termoplastických polymérov a je schopné sa reverzibilne deformovať v špecifickom rozsahu teplôt. K mechanickým vlastnostiam lepidiel ako takým, musia byť brané do úvahy aj faktory, ktoré pravdepodobne ovplyvňujú výsledky lepenia: teplota, vlhkosť alebo starnutie spojov. Pre pochopenie účinku zaťaženia v lepenom spoji, je dôležité skúmať aj spôsob vytvorenia spoja a interakciu jednotlivých jeho komponentov

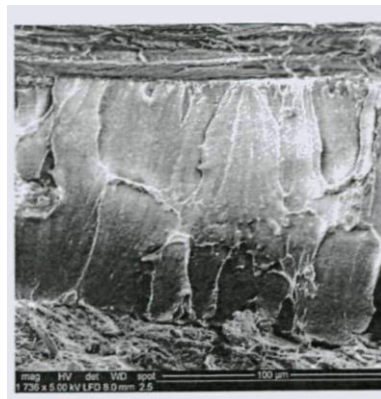
v mikroskopickom meradle (Obr. 1). Hlavné komponenty prítomné v lepenom spoji pri lepení dreva, sú: samotné lepidlo, drevo – adherend a fázové rozhranie, kde sú obidva komponenty vo vzájomnej v interakcii (STOECKEL a kol. 2013).



**Obr. 1** Lepený spoj masívneho dreva (STOECKEL a kol., 2013). (A) a (B) makroskopický obraz, (C) mikroskopický obraz s označenými oblasťami spoja, (D) AFM mikroskopický obraz buniek dreva.

**Fig. 1** Adhesive bond of solid wood (STOECKEL et al., 2013). (A) and (B) macroscopic scale, (C) microscopic scale with indicated bond regions, (D) atomic force microscopy image of wood cell walls.

MINELGA a kol. (2013) zdokumentovali štruktúru lepeného spoja PVAC lepidla v dubovom dreve využitím SEM mikroskopu (scanning electron microscope). Lepidlo penetruje do dreva a spája oba povrchy. Mikroskopický obraz ukázal, že adhézný spoj je súvislý, bez veľkých trhlín a je dôkladne priľnutý k drevu (Obr. 2).



**Obr. 2** Spoj lepený PVAC disperziou v masívnom dreve (MINELGA a kol. 2013).

**Fig. 2** Bond line with PVAC dispersion of native wood (Minelga et al. 2013).

Prvky lepené PVAC lepidlami môžu byť v priestoroch s vlhkým alebo horúcim prostredím ohrozené delamináciou. Ako voda preniká do dreva, vrstva lepidla môže pôsobiť ako prekážka spôsobujúca lokálne preťaženie. WIMMER a kol. (2013) robili dynamické sorpčné analýzy nasycovania parou a skúmali sorpčné procesy disperzných lepidiel na drevo. PVAC lepidlo absorbovalo 10 % vlhkosti a zo všetkých lepidiel sa ukázalo ako najrýchlejšie absorbujúce. Vplyv vody na lepidlo samotné má veľkú dôležitosť keď uvažujeme o trvanlivosti lepeného spoja. Dokonca malé množstvo prijatej vody môže ovplyvniť mechanické vlastnosti lepenej škáry s rizikom ohrozenia bezpečnosti lepených výrobkov alebo štruktúrnych prvkov na báze dreva. Zistilo sa, že

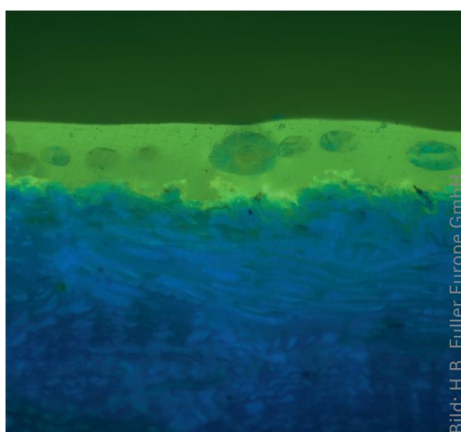
v podmienkach ponorenia do vody, modul pružnosti a tvrdosť lepidla (pre rôzne skúmané lepidlá) boli znížené až skoro o polovicu v porovnaní s hodnotami za sucha. Možné napúčanie lepenej škáry môže vyvolať vnútorné napätia, akýsi špongiový efekt v prípade, ak vlhkosť polyméru dosiahne vyššie hodnoty, a to tiež prispieva k zhoršeniu mechanických vlastností.

Dôležitým kritériom pre stabilitu lepených spojov dreva je posúdenie vhodnosti lepidla z hľadiska jeho stability pri zvýšenej teplote. Pri zaťažení teplom sa nesmie znižovať kohézia lepidla. Medzi jednotlivými typmi lepidiel sú veľké rozdiely. PVAC lepidlo má termoplastický charakter, pri zvýšenej teplote mäkne (CLAUSS a kol. 2011). Za účelom zlepšenia vlastností lepidla v meniacom sa prostredí, sú tieto lepidlá modifikované sieťovacími činidlami, už počas polymerizácie. Sieťované PVAC sú lepšie odolné voči teplote a vlhkosti. Keď sa testovala šmyková pevnosť spomenutých PVAC lepidiel, bola priemerná pevnosť spojov po klimatickom namáhaní v niektorých prípadoch mierne vyššia. Táto skutočnosť môže byť pripísaná dodatočnému vytvrdzovaniu lepidla počas klimatického testu (SHUKLA a kol. 2008).

Cieľom našej práce bolo zistiť optimálny proces lepenia dých s PVAC disperziou triedy vodovzdornosti D3. Nános lepidla sme znižovali na hodnotu, kedy sme očakávali, že pevnosti ešte vyhovujú požiadavkám normy STN EN 314-2 pre lepenie v triede 1. Pevnosť lepených spojov v šmyku sa hodnotila na brezových trojvrstvových preglejkách, pripravených podľa normy STN EN 314-1. Štatisticky sa určili rozdiely šmykových pevností v závislosti od množstva nánosu lepidla, po skúšaní za sucha a po máčaní podľa príslušnej predbežnej prípravy skúšobných telies.

## MATERIÁL A METODIKA

Na experimenty bolo použité disperzné jednozložkové polyvinylacetátové PVAC lepidlo RAKOLL® 4330. Lepidlo spĺňa požiadavky normy EN 204: D3 a je certifikované IFT Rosenheim ústavom (Tecnimadera, 2013). Pre zabezpečenie rovnomerného nánosu bolo lepidlo nanášané vo vzduchu napenenej forme so zvýšeným objemom o 30 %. Viskozita lepidla v jeho základnom i napenenom stave bola meraná pri teplote 20 °C rotačným viskozimetrom RHEOTEST RV 20. Aplikovaním vo forme homogénnej a stabilnej mikropeny lepidla (Obr. 3), sa znižuje napúčanie vlákien a súvisiace prenikanie vody v bunkových stenách, čo vedie k vyššej kvalite povrchu. Vlákna pomaly absorbujú vodu, čím sa minimalizuje napúčanie, nasiakavosť, a tak ako následok sa vytvorí hladký povrch.



Obr. 3 Nános napenenej PVAC disperzie (HB Fuller Europe GmbH, 2013).  
Fig. 3 The spread of foamed PVAC dispersion (HB Fuller Europe GmbH, 2013).

Experimentálne trojvrstvové preglejky boli vyrobené z dýh Brezy bradavičnatej (*Betula verrucosa* Ehrh.). Referenčné preglejky boli lepené jednostranným nánosom  $180 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  nanoseným ručným valčekom, lepidlo nebolo napenené. Pre lepenie experimentálnych preglejovaných dosiek bolo lepidlo napeňované vzduchom dovtedy, kým pôvodný objem lepidla narástol o 30 % (cca. počas 4 minút). Experimentálne preglejky boli lepené jednostranným nánosom 180, 160, 140, alebo  $120 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  napeneného lepidla. Preglejky boli lisované na hydraulickom lise FONTIJNE pri špecifickom tlaku 0,8 MPa, teplote  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  a čase 15 minút.

Skúšobné telesá na meranie pevnosti lepeného spoja v šmyku boli vyrobené podľa normy EN 314-1 a predbežná príprava skúšobných telies sa robila podľa normy EN 314-2 pre triedu 1, t.j. 24 hodinové máčanie skúšobných telies vo vode pri teplote  $20 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ . Pevnosť sa skúšala na trhacom stroji LaborTech 4.050 s 5 kN hlavicou. Namerané hodnoty šmykovej pevnosti boli porovnávané za pomoci jednofaktorovej analýzy rozptylu ANOVA na hladine významnosti  $\alpha = 0,05$ . Štatistické vyhodnotenie bolo robené pre rôzne nánosy lepidla pre dve rôzne skúšky pevnosti – za sucha a po predbežnej príprave máčaním.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Viskozita lepidla RAKOLL® 4330 D3 v nenapenenom (základnom) stave bola 14 600 mPa.s, viskozita napeneného lepidla bola 13 300 mPa.s. Pri nanášaní napeneného lepidla valčekom bolo možné cítiť rozdiel viskozity; napenené lepidlo sa nanášalo oveľa ľahšie.

Priemerné hodnoty šmykovej pevnosti lepeného spoja brezových preglejok po testovaní za sucha sú uvedené v Tab. 1. Najvyššia priemerná pevnosť 4,2 MPa sa dosiahla pri preglejke s nánosom  $180 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  napeneného lepidla.

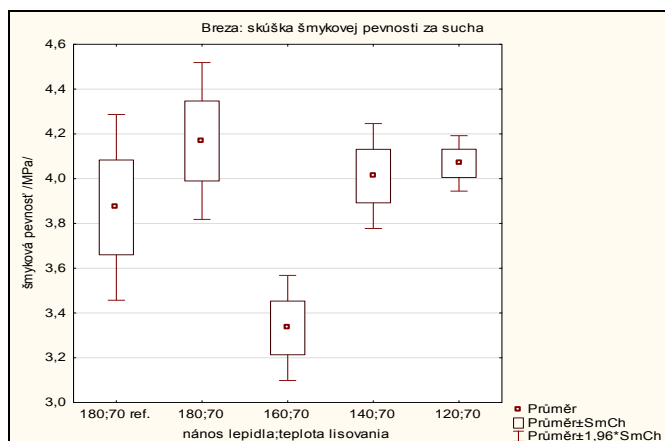
**Tab. 1 Rozkladová tabuľka popisných štatistík, skúška za sucha.**  
**Tab. 1 Table of descriptive statistics, tested after dry conditioning.**

Nános a lisovacia teplota	Pevnosť Priemer [MPa]	95 % Interval spoľahlivosti [MPa]		Počet meraní	Smerodajná odchýlka [MPa]	Variačný koeficient [%]
		dol. hranica	hor. hranica			
180;70 ref.	3,9	3,33	4,42	16	0,518	11,6
180;70	4,2	3,71	4,63	16	0,438	10,4
160;70	3,3	3,03	3,64	16	0,294	27,1
140;70	4,0	3,70	4,32	16	0,293	16,8
120;70	4,1	3,91	4,23	16	0,155	15,4

Pozn. ref- referenčná preglejka, lepidlo nebolo napenené

Podľa Duncanovho testu je možné posúdiť hladinu štatistickej významnosti rozdielu medzi dvoma priemernými hodnotami šmykovej pevnosti. Duncanov test ukázal že medzi pevnosťou referenčnej preglejky a preglejkami s nánosom 180, 140 a  $120 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  napeneného lepidla, nie je štatisticky významný rozdiel (Obr. 4). Pri znížení nánosu a napeňovaní lepidla sa pevnosti štatisticky nelíšia, z čoho je zrejmé, že je možné znížiť nános napeneného lepidla až na hodnotu  $120 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ .

V Tab. 2 sú uvedené priemerné hodnoty šmykovej pevnosti lepeného spoja pri rôznych nánosoch po predbežnej príprave máčaním vo vode  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Najvyššia priemerná pevnosť 0,9 MPa bola dosiahnutá u referenčnej preglejky. Preglejka lepená nánosom  $120 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  mala priemernú pevnosť v porovnaní s referenčnou preglejkou nižšiu o 22 %.



Obr. 4 Vplyv nánosu lepidla na šmykovú pevnosť lepeného spoja pre brezovú preglejku – skúška za sucha podľa normy EN 314-1.

Fig. 4 Influence of spread of the adhesive on the shear strength for beech plywood – testing according the EN 314-1.

Tab. 2 Rozkladová tabuľka popisných štatistík, skúška za mokra.

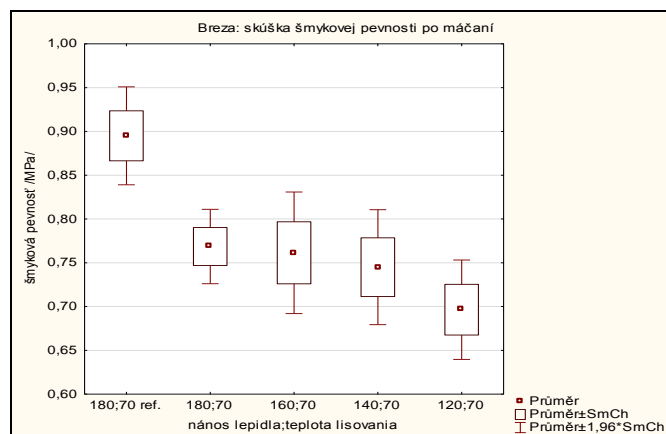
Tab. 2 Table of descriptive statistics, tested after wet conditioning.

Nános a lisovacia teplota	Pevnosť Priemer [MPa]	95% Interval spoľahlivosti [MPa]		Počet meraní	Smer. odchýlka [MPa]	Variačný koeficient [%]	Porušené drevné vlákna [%]
		dolná hranica	horná hranica				
180;70ref.	0,9	0,833	0,957	14	0,107	11,9	>40
180;70	0,8	0,722	0,815	14	0,081	10,5	>40
160;70	0,8	0,685	0,838	14	0,133	12,1	>40
140;70	0,7	0,673	0,817	14	0,125	16,8	>40
120;70	0,7	0,634	0,759	14	0,108	15,4	>40

Pozn. ref. - referenčná preglejka, lepidlo nebolo napenené

Priemerné šmykové pevnosti pre skúšané lepené spoje v preglejke boli v rozsahu 0,7 až 0,9 MPa. Pre vyhodnotenie kvality lepenia, t.j. lepeného spoja ako dostatočne pevného, norma EN 314-2 požaduje šmykovú pevnosť minimálne 1 MPa. Pre prípad, ak je priemerná hodnota pevnosti v šmyku menšia ako 1 MPa, príloha A tejto normy definuje povolený priemerný podiel porušených drevných vlákien pre konkrétne hodnoty priemernej pevnosti v šmyku. Ak je priemerná hodnota pevnosti v šmyku pri najmenej 10 skúšobných telesách z intervalu 0,6–1,0 MPa, potom priemerný podiel porušených drevných vlákien musí byť väčší ako 40 %. Pri vizuálnom hodnotení zlomu v lepenom spoji všetkých skúšobných telies bolo možné vidieť, že zlom nastal z časti v lepidlovej vrstve a sčasti v dreve v takom rozsahu, že doplňujúca požiadavka normy bola splnená.

Pri štatistickom hodnotení výsledkov Duncanov test ukázal štatisticky významný rozdiel medzi pevnosťou referenčnej preglejky a ostatnými preglejkami (Obr. 5). Medzi preglejkami lepenými napeneným lepidlom nebol štatisticky významný rozdiel. Toto poukazuje na skutočnosť, že pri lepení napeneným lepidlom RAKOLL® 4330 D3 je možné znížiť nános až na hodnotu 120 g·m<sup>-2</sup>. Je však odôvodnené predpokladať, že pre dosiahnutie požadovanej pevnosti triedy 1, teda priemernej hodnoty pevnosti v šmyku minimálne 1,0 MPa, by bolo vhodné použiť vyššiu triedu lepidla, čo sa týka jeho odolnosti voči vode – lepidla PVAC D4.



**Obr. 5** Vplyv nánosu lepidla na šmykovú pevnosť lepeného spoja pre brezovú preglejku – skúška po máčaní podľa normy EN 314-2 pre triedu 1.

**Fig. 5** Influence of spread of the adhesive on the shear strength for beech plywood – testing according the EN 314-2 standard for class 1.

V procese lepenia sa simultánne vyskytuje niekoľko procesov, fyzikálnych a chemických, ktoré prebiehajú podľa špecifických vlastností dreva ako materiálu, vlastností použitého lepidla, a tiež vzájomnej interakcie technológie lepenia a materiálov.

Priemysel spracovania dreva požaduje zrýchľovanie procesu lepenia. Toto je možné dosiahnuť zvyšovaním teploty v lepenej škáre. Zvýšená teplota urýchľuje pohyb kvapaliny a nástup fyzikálnych procesov a chemických reakcií v lepidle. Teplota je zároveň kľúčovým faktorom pre zabezpečenie odolnosti lepeného spoja proti vode. Pri lisovaní pri zvýšenej teplote sa v počiatočnej fáze znižuje viskozita lepidla, lepidlo rýchlejšie preniká do prerezaných vlákien dreva oboch lepených plôch, a tak sa vytvorí pevne zakotvená súvislá vrstva lepidla.

Naše výsledky korešpondujú s výskumom OBUCINA a kol. (2015). Títo autori popisujú najvyššie pevnostné vlastnosti spojov lepených PVAC disperziou D3 pre tie skúšobné telesá, ktoré boli lisované pri teplote 70 °C. Pri skúške za sucha, telesá lisované pri 70 °C dosahovali dvojnásobne vyššiu pevnosť, ako telesá lisované pri 20 °C. Po predbežnej príprave pre lepenie D3 (máčanie vo vode 20 ± 5 °C), telesá lisované pri 70 °C dosahovali pevnosť 0,8 MPa, zatiaľ čo telesá lepené pri 20 °C po ponorení do vody sa rozpadli.

## ZÁVER

Po napnení lepidla RAKOLL® 4330 vzduchom o 30 % jeho objemu, viskozita lepidla klesla. Napnenie lepidla bolo primerane rýchle, po napnení bolo nanášanie lepidla valčekom ľahšie a lepidlo sa nanášalo rovnomernejšie aj pri zníženom nánose.

Lepené spoje v skúmaných preglejkách, po predbežnej príprave pre triedu lepenia 1, dosiahli normou požadované priemerné hodnoty pevnosti v šmyku pre triedu 1 podľa STN EN 314-2. Priemerné hodnoty šmykovej pevnosti boli v rozsahu 0,7–0,9 MPa. Priemerný podiel porušených drevných vlákien pri skúške pre triedu lepenia 1 mal hodnotu viac ako 40 %.

Medzi zníženými nánosmi napeneného lepidla sa nepreukázal štatistický významný rozdiel. To znamená, že napenením lepidla je možné znížiť nános až na 120 g·m<sup>-2</sup> pri nezmenených šmykových pevnostiach.

Lisovacia teplota 70 °C a čas lisovania 15 minút vytvárajú podmienky pre dostatočne rýchly nárast pevnosti a vznik odolných lepených spojov. Kratší lisovací čas je

z ekonomických dôvodov významný, ponúka možnosť zvýšiť produktivitu a zisk. Napením lepidla je možné znížiť nános, teda znížiť spotrebu lepidla a tým znížiť náklady na výrobu.

## LITERATÚRA

- CLAUSS, S., JOSCAK, T., W., NIEMZ P. 2011. Thermal stability of glued wood joints measured by shear tests. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2011, 69: 101–111.
- EN 314-1: 2005 Preglejované dosky. Kvalita lepenia. Časť 1: Skúšobné metódy.
- EN 314-2: 1998 Preglejované dosky. Kvalita lepenia. Časť 2: Požiadavky.
- MINELGA, D., UKVALBERGIENÉ, K., BALTRUSAITIS, A., BALCIŪNAS, G. 2013. Adhesion Properties between Polyvinyl Acetate Dispersion and Ammonia Modified Oak Wood. *Materials Science*, 2013, 19(2): 164–168.
- OBUCINA, M., GONDZIC, E., MANSO, E. 2015. The Influence of Adhesion Temperature to the Shear Strength of Width Glued Wooden Elements. In *25th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation: DAAAM 2014: Procedia Engineering*, 2015, 100, s. 321–327.
- SHUKLA, S.R., PASCAL KAMDEM, D. 2008. Properties of laminated veneer lumber (LVL) made with low density hardwood species: effect of the pressure duration. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 2008, 66: 119–127.
- STOECKEL, F., KONNERTH, J., GINDL-ALTMUTTER, W. 2013. Mechanical properties of adhesives for bonding wood: A review. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2013, 45: 32–41.
- TECNIMADERA, 2013. H.B. Fuller lanza una nueva generación de adhesivos espumables. In *Tecnimadera.com Información económica sectorial* [online]. 2013, [cit.2015.04.1.] Dostupné na internete <<http://www.tecnimadera.com/?p=341519>>
- WIMMER, R., KLÄUSLER, O., NIEMZ, P. 2013. Water sorption mechanisms of commercial wood adhesive films. *Wood Science and Technology*, 2013, 47: 763–775.

## PodĎakovanie

Táto práca bola podporená agentúrou APVV, projektom APVV-14-0506 “ENPROMO”.

## Adresy autorov

Ing. Mária Šmidriaková, PhD.  
prof. Ing. Ján Sedliačik, PhD.  
Bc. Balázs Végh  
Technical University in Zvolen  
Department of Furniture and Wood Products  
T. G. Masaryka 24  
960 53 Zvolen  
Slovakia  
smidriakova@tuzvo.sk

Prof. Ing. Pavlo Bekhta, DrSc.  
National University of Forestry and Wood Technology of Ukraine  
Department of Wood-Based Composites  
Gen. Chuprynyky, 103  
79057 Lviv  
Ukraine  
bekhta@ukr.net

