

VPLYV UHLA LEPENEJ PLOCHY NA PEVNOSŤ V ŤAHU BREZOVÝCH PREGLEJOK SPÁJANÝCH POKOSOVÝM SPOJOM

EFFECT OF ANGLE OF GLUED AREA ON TENSILE STRENGTH OF BIRCH PLYWOOD JOINTED WITH SCARF JOINT

Roman Réh – Vratislav Hruška

ABSTRACT

The role of geometry on the mechanical performance of scarf joints in birch plywood bonded with melamine-urea-formaldehyde (MUF) resin was investigated. Model joints consists of 5-layer plywood of 6.5 mm nominal thickness at 4.6°; 5°; 6°; 7° of varying scarf joints produced from birch (*Betula pendula* L.) wood.

There is little information available concerning the tensile strength for joining plywood, and in particular scarf joints. In this study, it was aimed to determine the tensile strength for jointed plywood. For this purpose, samples were tested according to TS EN 310 standard. It was observed that the highest tensile strength (74.3 MPa) was obtained in investigated group of samples jointed with scarf angle 4.6°. As a result of the effects scarf joints on tensile strength test, if the scarf angle decreases, the properties of plywood jointed with scarf joint increase.

Keywords: birch plywood, melamine-urea-formaldehyde resin, scarf joint, tensile strength, wood composites.

ÚVOD

Mnohokrát je nutné spájať preglejkové formáty do nadštandardných rozmerov použitím rôznych druhov spojov využívajúc ich špecifickú geometriu (BODIG a JAYNE 1982, FREAS 1956, KOLLMANN *a kol.* 1975). Výber spoja závisí najmä od účelu použitia lepeného materiálu (ADAMS a WAKE 1984, RÉH 2007, ZENG a SUN 1991).

Pokosový spoj sa vyrába zošikmením vrchnej a spodnej hrany dvoch preglejovaných dosák, pričom sa dbá na maximálnu presnosť (BOZHEVOLNAYA *a kol.* 2003, CLARKE 1996, GREGA 2007). Dĺžka pokosovej plochy je kolmá na priebeh vlákien povrchových dýh. Veľkosť uhla pokosovej plochy významne vplýva na pevnostné vlastnosti spoja (HART-SMITH 1987).

Lepiaca plocha s malým uhlom zošikmenia zabezpečuje vysokú hodnotu pevnosti spoja (RIVERS 1994). Predpokladá sa, že znižujúca sa hodnota uhla pokosového spoja sa prejaví v náraste pevnosti spoja v ťahu (ZENKERT 1997).

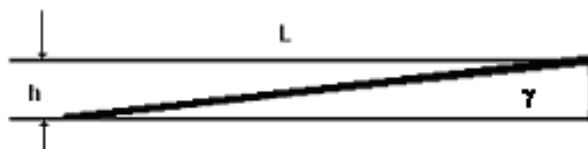
Cieľom práce bolo zistiť vplyv uhlov zošikmenia pokosového spoja na ťahovú pevnosť spájaných dosák pri uhloch 4,6°; 5°; 6°; 7° a stanoviť percentuálny podiel ťahovej pevnosti spájaných preglejok v porovnaní s preglejkami bez spojov. Výsledky by mali poskytnúť informácie pre nastavenie geometrie pokosového spoja z pohľadu uhlov zošikmenia pokosovej plochy.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Pre experimentálnu časť práce boli použité preglejky vyrobené z brezy (*Betula pendula* L.) poskytnuté z výrobného závodu úzko spolupracujúceho s Katedrou mechanickej technológie dreva DF TU vo Zvolene (Nefab Packaging Slovakia, s.r.o., Levice).

Výroba pokosových plôch bola uskutočnená v prevádzke tohto výrobného závodu. Na paralelnej úkosovačke typu (DFR 2) boli v súlade s požiadavkami práce vyrobené pokosové plochy podľa navrhovaných hodnôt uhlov pokosového spoja nasledovne:

I. kategória	$h/L = 1/8$	alebo	0,124	($\arcsin 0,124 = \text{uhol } \gamma = 7,0^\circ$)
II. kategória	$h/L = 1/10$	alebo	0,100	($\arcsin 0,100 = \text{uhol } \gamma = 6,0^\circ$)
III. kategória	$h/L = 1/11$	alebo	0,090	($\arcsin 0,100 = \text{uhol } \gamma = 5,0^\circ$)
IV. kategória	$h/L = 1/12$	alebo	0,080	($\arcsin 0,083 = \text{uhol } \gamma = 4,6^\circ$)



Obr. 1 Znázornenie základných parametrov pokosového spoja.

Fig. 1 Illustration of the basic parameters of the scarf joint.

kde: h = hrúbka preglejovanej dosky,
 L = dĺžka vyfrézovanej pokosovej plochy meraná v profile hrúbky preglejky,
 γ = uhol lepenej pokosovej plochy.

Z uvedených údajov vyplýva, že dĺžka pokosovej plochy pre I. kategóriu bude 8-násobok hrúbky preglejovaného formátu. Podobne to bude platiť aj pre ostatné kategórie. Hodnotu uhla vypočítame pomocou nasledovného vzorca:

$$\text{hodnota uhla } \Gamma = \arcsin (h/L).$$

Rozmery formátov preglejok pripravených pre operáciu úkosovania boli nasledovné:

- dĺžka – 1 525 mm
- šírka – 1 525 mm
- hrúbka – 6,5 mm

Na zlepenie pokosových plôch spájaných preglejovaných formátov bol použitý močovino-melamín-formaldehydový lepidlový systém od firmy Akzo Nobel s označením CASCOMIN 1242 + tvrdidlo 2542.

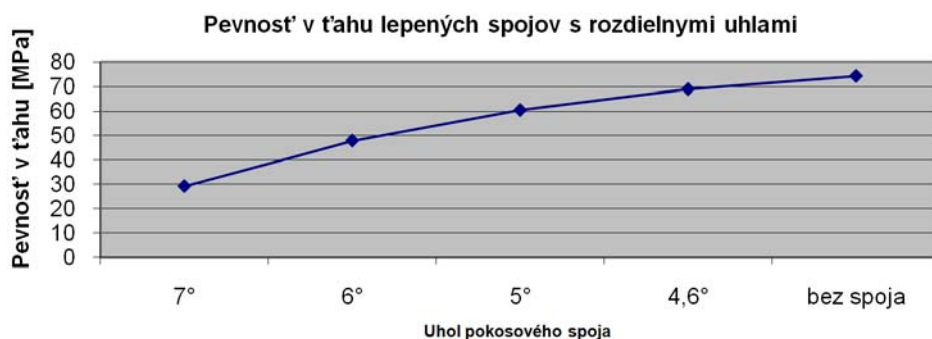
Postup lisovania bol nasledovný: zložené súbory sa vložili do lisu a lisovali pri mernom lisovacom tlaku 0,5 MPa a pri teplote lisovacích platní 170 °C počas 50 sekúnd. Takto nadpájané preglejkové formáty boli následne rozmietnuté na rozmer: šírka – 500 mm (v smere vlákien povrchových dýh), dĺžka – 1 525 mm (v smere naprieč vlákien povrchových dýh) pre lepšiu manipuláciu a s ohľadom na požiadavky prepravných možností. Pre ďalšie experimentálne štúdium boli preglejkové dosky dopravené do TU vo Zvolene.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

V tab. 1 sú uvedené základné štatistické charakteristiky nameraných hodnôt pevnosti v ťahu štyroch pozorovaných skupín s pokosovými spojmi s rozdielnym uhlom a kontrolnej skupiny reprezentujúcej preglejky bez spoja.

Tab. 1 Štatistické vyhodnotenie pevnosti v ťahu pokosového spoja s rôznymi uhlami.
Table 1 Statistical evaluation of tensile strength of the scarf joint with different angles.

Pevnosť v ťahu lepeného spoja [MPa]					
Štatistika	Pozorované kategórie s pokosovými uhlami				Kontrolná skupina
	7°	6°	5°	4,6°	
N	15	15	15	15	15
\bar{x}	29,30	48,00	60,50	69,00	74,30
s	5,58	4,73	12,19	8,13	9,06
V_i	19,04	9,85	20,15	11,78	12,19



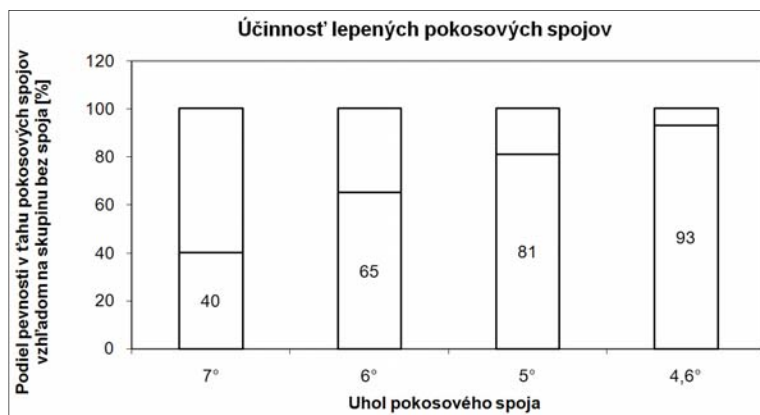
Obr. 2 Vplyv uhla pokosovej plochy na ťahovú pevnosť lepeného pokosového spoja.
Fig. 2 Influence of the angle of scarf area to tensile strength of the glued scarf joint.

Z obr. 2 a tab. 1 je možné vyčítať, že najvyššia pevnosť v ťahu sa dosiahla u pokosového spoja s najnižším uhlom zošíkmenia pokosovej plochy. Z obr. 2, ktorý reprezentuje priemerné namerané hodnoty ťahovej pevnosti pozorovaných skupín vyplýva, že krivka hodnôt pevnosti v ťahu má tendenciu rásť so znižujúcim sa uhlom zošíkmenia pokosovej plochy. Vo všeobecnosti platí, že čím je lepená plocha väčšia, tým sa dosiahne podstatne lepšia pevnosť lepeného spoja, čo sa potvrdilo aj v našom experimente. SELLERS (1998) uvádza že pri pomere hrúbky preglejovanej dosky a šírky pokosovej plochy menšom ako 1/11 sa neprejavuje takmer žiadny vplyv na zvýšenie ťahovej pevnosti spoja. V našom prípade možno z obr. 2 vyčítať, že došlo k nárastu ťahovej pevnosti pri skupine s uhlom 4,6° v porovnaní so skupinou s uhlom 5°, ale nemožno jednoznačne hovoriť o vplyve uhla pokosovej plochy spoja na pevnosť v ťahu.

Obr. 2 znázorňuje dosiahnuté priemerné hodnoty ťahovej pevnosti pozorovaných skupín preglejok spájaných pokosovými spojmi s rozdielnymi uhlami zošíkmenia pokosovej plochy vzhľadom na ťahovú pevnosť kontrolnej skupiny bez spoja. Pozorované skupiny s uhlami 7° a 6° nedosahujú ani minimálne hodnoty ťahovej pevnosti uvádzané normou predstavujúce minimálnu hodnotu 60 MPa. Vysoká účinnosť pokosového spoja sa prejavila u skupiny s uhlom pokosu 4,6° kde sa dosahuje až 93 % pevnosti v ťahu preglejky bez spoja, čo je znázornené na obr. 3.

Obr. 3 znázorňuje účinnosť pozorovaných spojov ako aj percentuálny podiel ťahovej pevnosti v porovnaní s hodnotou ťahovej pevnosti preglejok bez použitia pokosového spoja.

Pokiaľ ide o pevnosti pokosových spojov, podľa viacerých autorov (DANIEL and ABOT 2000, DANIEL *a kol.* 2002, KIM a SWANSON 2001, SKVORTSOV a THOMSEN 2003) môžu vykazovať pokosové spoje pre preglejky z rôznych drevín vyhovujúce pevnosti pri pomere hrúbky preglejky k dĺžke pokosového spoja od 1 : 12; iní autori (GAY *a kol.* 2003, MIERS *a kol.* 2001, SMITH 1990, VINSON 1999) odporúčajú používať pomer 1 : 10 pre preglejky s hrúbkou do 12 mm a pomer 1 : 8 pre preglejky hrubšie ako 12 mm. Dĺžku pokosového spoja počítajú ako násobok hrúbky preglejky, ktorá má byť nadpájaná podľa istého pomeru. Napríklad, pri pomere 1 : 12 by mala mať preglejka 6 mm hrubá dĺžku pokosového spoja minimálne 76 mm.



Obr. 3 Percentuálny pokles účinnosti lepených pokosových spojov pri spájaných preglejkoch v porovnaní s preglejkami bez použitia spojovacieho prvku.

Fig. 3 Percentage decrease of the efficiency of glued scarf joints of jointing plywood compared with plywood without the use of the connective element.

Experimenty v zahraničí (KUMAR 2006, SHENOI a WELLCOME 1993) ukázali na vhodný spôsob spájania preglejek s hrúbkou 9 mm na pokos, kedy dva preglejkové panely, ktoré boli spojené na pokos, museli byť najskôr zarovnané na okraji plochého stola alebo rovnej plochy preglejky. Horný panel bol odsadený dozadu na spodnom paneli na vzdialenosť pokosového spoja. Ak sú vyrovnané okraje oboch preglejek, ktoré majú byť spojené na pokos, ako aj pracovný stôl alebo pracovná plocha a použijeme pomocný upínací blok na vytvorenie pokosovej plochy, tak vytvoríme presné pokosové plochy, ktoré sú úplne rovnobežné.

Zahraničná literatúra rozoberá aj použitie rezorcínových alebo epoxidových lepidiel ako možností ich využitia pre výrobu pokosových spojov. Pre všetky druhy lepidiel použitých na výrobu pokosových spojov platí, že spoje musia vytvrdzovať pri ustálenej teplote až do konečného vytvrdnutia.

Z celkového pohľadu na základe nameraných priemerných hodnôt pevnosti v ťahu pokosových spojov s rozdielnymi uhlami a ich grafického vyhodnotenia vyplýva, že pevnosť v ťahu lepených pokosových spojov v experimentálnej práci klesala so zvyšujúcou sa hodnotou uhla pokosovej plochy. Najnižšia hodnota pevnosti v ťahu pokosového spoja bola zistená u pozorovanej skupiny s uhlom 7° a dosiahla len 29,3 MPa čo predstavuje iba 40 % účinnosť spoja. Skupina s uhlom pokosovej plochy 4,6° dosiahla účinnosť až 93 % s priemernou hodnotou pevnosti v ťahu 74,3 MPa.

ZÁVER

Zistené výsledky ukázali, že najvyššia účinnosť pokosového spoja sa prejavila pri uhle pokosu 4,6° a dosiahla až 93 % pevnosti v ťahu kontrolnej skupiny reprezentujúcej preglejku bez spojovacieho prvku. Pozorovaná skupina s uhlom pokosu 7° nedosiahla ani normou stanovenú minimálnu hodnotu pevnosti v ťahu 60 MPa a jej účinnosť bola na úrovni len 40 %.

LITERATÚRA

- ADAMS, R. D., WAKE, W. C. 1984. Structural adhesive joints in engineering. Elsevier Applied Science Publishers LTD.
- BODIG, J., JAYNE, B.A. 1982: Mechanics of wood and wood composites. New York: Van Nostrand Reinhold Company.

- BOZHEVOLNAYA, E., THOMSEN, O. T., KILDEGAARD, A., SKVORTSOV, V. 2003: Local effects across core junctions in sandwich panels. *Compos. Part B: Eng.* 34: 509–517.
- CLARKE, J. L. (editor) 1996. *Structural design of polymer composites. EUROCOMP design code and handbook*, E & FN Spon, London.
- DANIEL, I. M., ABOT, J. L. 2000. Fabrication, testing and analysis of composite sandwich beams. *Compos. Sci. Technol.*, 60: 2455–2463.
- DANIEL, I. M., GDOUTOS, E. E., WANG, K.-A., ABOT, J. L. 2002. Failure modes of composite sandwich beams. *Int. J. Damage Mech.*, 11: 309–334.
- FREAS, A. 1956. Factors affecting strength and design principles of glued laminated construction, Forest Products Laboratory, U.S. Department of Agriculture.
- GAY, D., HOA, S. V., TSAI, S. N. 2003. *Composite materials: design and application*. CRC Press, New York.
- GREGA, R. 2007: Výsledky experimentálneho overovania statickej optimalizácie v torzne kmitajúcej mechanickej sústave. *Acta Mechanica Slovaca*. 11(4-a): 21–26. ISSN 1335-2393.
- HART-SMITH, L. J. 1987. „Joints,” *Engineered Materials Handbook- Volume 1 “Composites”*, Reinhart, ASM International, OH, s. 479–495.
- KIM, J., SWANSON, S. R. 2001. Design of sandwich structures for concentrated loading. *Compos. Struct.* 52: 365–373.
- KOLLMANN, F. F. P., KUENZI, E. W., STAMM, A. J. 1975. *Principles of Wood Science and Technology. Part II. Wood Based Materials*. Berlin: Springer Verlag, s. 159–163, 223–278, ISBN 3-540-06467-2.
- KUMAR, S. B., SIVASHANKER, S., BAG, A., SRIDHAR, I. 2006. Tensile failure of adhesively bonded composite scarf joints. *Materials Science and Engineering B* 132: 113–120.
- MIERS, S. A., LIGON, J. B., MISKIOGLU, I. 2001. Design of edge inserts for composite sandwich beams. *Exp. Tech.*, 25(4): 39–42.
- RÉH, R. 2007. Súčasný trendy vo výrobe preglejovaných materiálov. *Stolársky magazín*. 8(5): 6–7. ISSN 1335-7018.
- RIVER, B. H. 1994. Fracture of adhesive-bonded wood joints, Edition: *Handbook of adhesive technology*. New York Marcel Dekker, Inc. s. 151–177.
- SELLERS, T. Jr. 1985. *Plywood and Adhesive Technology*. New York, NY: Marcel Dekker, 661 s.
- SHENOI, R. A., WELLICOME, J. F. (editors) 1993. *Composite materials in maritime structures*. Cambridge: University Press.
- SKVORTSOV, V., THOMSEN, O. T. 2003. Analytical estimates for the stresses in face sheets of sandwich panels at the junctions between different core materials. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Sandwich Structures (ICSS-6)*, Ft. Lauderdale, Florida, March 31–April 2, s. 501–509. New York, CRC Press.
- SMITH, C.S. 1990. *Design of marine structures in composite materials*. London: Elsevier.
- VINSON, J. R. 1999. *The behavior of sandwich structures of isotropic and composite materials*. Lancaster: Technomic Publishing.
- ZENG, Q. G., SUN, C. T. 1991. Novel Design of a Bonded Lap Joint, American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- ZENKERT, D. (editor) 1997: *The handbook of sandwich construction*. London: EMAS Publishing.

Adresa autorov

doc. Ing. Roman Réh, CSc.
 Ing. Vratislav Hruška
 Technická univerzita vo Zvolene
 Drevárska fakulta
 Katedra mechanickej technológie dreva
 T. G. Masaryka 24
 960 53 Zvolen
 reh@vsld.tuzvo.sk
 hruska.vratislav@zoznam.sk

