

## OPTIMALIZÁCIA PARAMETROV LISOVANIA VRSTVENÝCH DREVNÝCH DEBNIACICH KOMPOZITOV

### OPTIMIZATION OF PRESSING PARAMETERS OF CROSSWISE BONDED TIMBER FORMWORK SHEETS

Rastislav Igaz – Ivan Ružiak – Ľuboš Krišták – Roman Réh – Ján Iždinský –  
Petra Šiagiová

#### ABSTRACT

The article deals with the optimization of technologic pressing operation parameter (time) of crosswise bonded timber formwork sheets in respect to the pressing temperature of 110 °C. The research was carried out for three types of experimental formwork sheets with different types of surface layers. Massive spruce wood, birch plywood and oriented strand boards were used as the alternative materials. The experimental research proved that it is possible to increase production efficiency with the optimization of pressing time – energy savings. Based on experimental results, the pressing time can be reduced within 3–6.5 %.

**Key words:** pressing parameters optimization, wood composites, pressing time, pressing temperature, formwork.

#### ÚVOD

Drevné kompozity vznikli ako alternatíva k masívnemu drevu. Ich špecifické vlastnosti umožnili využívanie drevných materiálov aj v oblastiach, kde je použitie masívneho dreva neefektívne alebo nemožné. Okrem toho výroba drevných kompozitov umožňuje zhodnocovanie drevného odpadu (RIVELA *et al.* 2007).

Štruktúra drevných kompozitov je vo všeobecnosti tvorená kombináciou dezintegrovannej drevnej hmoty a spojiva, ktoré je zvyčajne tvorené lepidlom (IRLE *et al.* 2012, BARBU *et al.* 2013).

Špeciálnu skupinu drevných kompozitov používaných v stavebníctve tvoria debniace drevné kompozitné materiály. Debnenie tvorí dočasnú konštrukciu, ktorej účelom je vytvorenie opory pre čerstvý betón (HANNA 1999, PETERS 1991). Debnenie zvyčajne netvorí súčasť výsledného betónového monolitu, po vytvrdnutí sa demontuje a je možné ho opakovane použiť (LYONS 2010). Cena debniacej konštrukcie má významný vplyv na výslednú cenu betónovej konštrukcie a tvorí 25–30 % z celkových nákladov (BAŠKOVÁ, KRAJNIAK 2013). Na debniace materiály sú kladené rôzne požiadavky, ako dostatočná pevnosť, tvarová stabilita, nízka hmotnosť, odolnosť voči poveternostným podmienkam, možnosť jednoduchej demontáže a možnosť opakovaného použitia, t.j. obrátkovosť (GEORGOPOULOS 2014). Pri výbere debniacich materiálov zohrávajú najvýznamnejšiu úlohu relatívna cena debnenia, špecifikácia použitej betónovej zmesi a opakovateľnosť použitia (PROVERBS *et al.* 1999).

V súčasnosti patria medzi najčastejšie používané debniace materiály preglejované dosky, trojvrstvové masívne dosky, latovky a OSB dosky (IRLE *et al.* 2012).

Znižovanie výrobných nákladov debniacich materiálov je okrem iného možné dosiahnuť optimalizáciou procesu ich výroby. Po cene materiálových vstupov zohráva najvýznamnejšiu úlohu technologický proces lisovania. Optimalizácia času lisovania umožňuje redukciu výrobných nákladov v dôsledku zvýšenia efektívnosti výroby. Zvyčajným negatívom skrátenia času lisovania je zvyšovanie teploty lisovania. Vysokoteplotné lisovanie však spôsobuje nevratné zmeny v chemickej štruktúre dreva a navyšuje výrobnú cenu. Podľa výskumov k zmenám dochádza už pri teplotách vyšších ako 150 °C, pričom sa menia fyzikálne, mechanické aj chemické vlastnosti (WINANDY, KRZYSIK 2007).

Výrobe a vývoju špecifických kompozitných materiálov na báze dreva sa vo svete venuje dlhodobo značná pozornosť. Cieľom tohto vývoja je optimalizácia vlastností výsledného kompozitu podľa požiadaviek konečnej aplikácie a optimalizácia výrobných nákladov, teda konečnej ceny produktu. Vo všetkých prípadoch je značná pozornosť venovaná práve procesu lisovania (napr. WANG, DAI 2003, PLACKETT *et al.* 1999), ktorý má významný vplyv na výsledné vlastnosti kompozitu a finančnú efektívnosť výroby. Pozornosť je venovaná najmä identifikácii kľúčových faktorov procesu lisovania a materiálových vlastností, a ich vplyvu na procesy prenosu tepla, vlhkosti, formovanie výsledného kompozitu, príp. ich vplyvu na mechanické vlastnosti finálneho produktu (LI *et al.* 2007, KAVAZOVIC *et al.* 2010, LIU *et al.* 2013).

Cieľom práce bola optimalizácia výroby špecifických drevných kompozitov využívaných pre výrobu debniacich dielov, konkrétne optimalizácia času technologickej operácie lisovania trojvrstvej štruktúry debniacich kompozitov pri teplote lisovania 110 °C, zo zohľadnením materiálových vlastností povrchovej vrstvy a požiadaviek na vytvrdzovanie lepidla.

## METODIKA EXPERIMENTOV

Pre potreby experimentu boli navrhnuté a vytvorené tri skladby trojvrstvových veľkoplošných debniacich kompozitov. Ako stredová vrstva boli vo všetkých skladbách použité smrekové lamely s hrúbkou 9 mm. Povrchové vrstvy tvorili tri alternatívy: masívne smrekové lamely (SM masív), trojvrstvové brezové preglejky (PG) a OSB dosky (OSB). Hrúbka použitých povrchových vrstiev bola vo všetkých prípadoch  $h = 6 \pm 0,2$  mm. Vlhkosť všetkých použitých materiálov dosahovala v čase experimentu  $w = 10 \pm 1\%$ .

Experimentálne kompozitné štruktúry boli vytvorené lisovaním pri povrchovej teplote lisovacích platní  $t_{LP} = 110 \pm 5$  °C. Referenčný lisovací čas bol u všetkých vzoriek  $\tau = 540$  s pri špecifickom tlaku  $p = 0,8$  MPa. Parametre lisovacieho procesu (čas a tlak) boli stanovené na základe podmienok používaných pri výrobe obdobných materiálov v praxi. Teplota lisovania bola voči praxi znížená o 10 °C z dôvodu požiadavky zníženia výrobných nákladov. Štandardne sa obdobné materiály lisujú pri teplote cca 120 °C. Všetky experimentálne vzorky boli vyrobené s rozmermi 500 × 470 mm. Obmedzenie rozmerov vyplýva z veľkosti lisovacích platní použitého laboratórneho lisu.

Ako spojivo bolo použité práškové melamín-močovinoformaldehydové lepidlo pripravené do tekutého stavu. Nános lepidla bol stanovený na 220 g·m<sup>-2</sup>. Na základe odporúčaní výrobcov vrstvených debniacich kompozitov je pre dosiahnutie dostatočných vlastností lepeného spoja potrebné v priestore lepenej škáry dosiahnuť teplotu 90 °C minimálne počas 90 s.

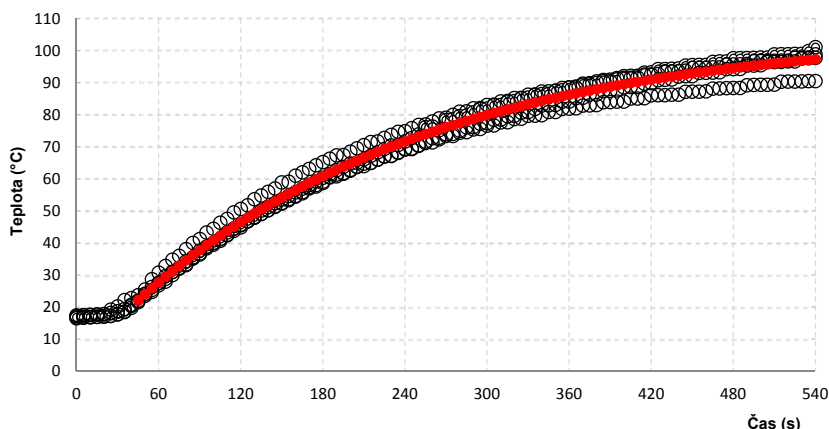
Meranie teploty v lepenej škáre sa uskutočňovalo 6 termočlánkami. Termočlánky

boli inštalované do lepenej škáry po nánose lepidla, pred zložením lisovacieho súboru. Tri kusy termočlánkov boli umiestnené v spodnej lepenej škáre a tri v hornej lepenej škáre. Pre vyhodnotenie bola použitá priemerná hodnota teploty zo všetkých použitých termočlánkov.

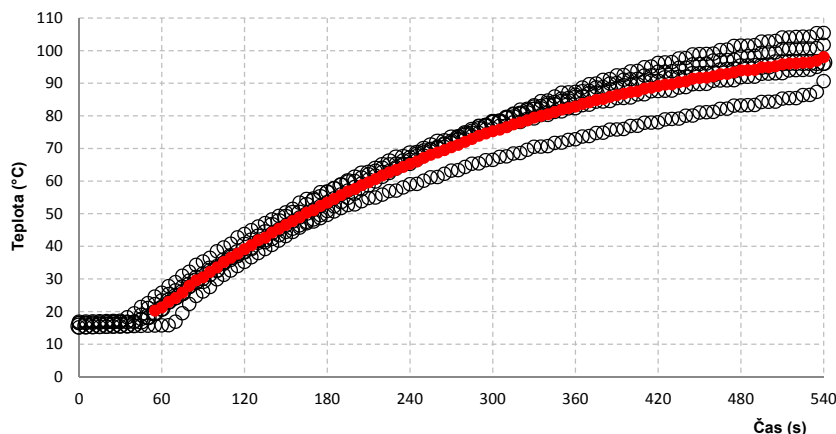
Po ukončení procesu lisovania boli všetky vzorky klimatizované po dobu 24 hod. pri teplote prostredia (cca. 20 °C). Následne boli zo vzoriek vymanipulované skúšobné telesá, ktoré slúžili na stanovenie mechanických vlastností výsledného kompozitu (pevnosť v ohybe, modul pružnosti v ohybe). Mechanické vlastnosti boli stanovené statickým ohybom na trhacom stroji v zmysle STN EN 310.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

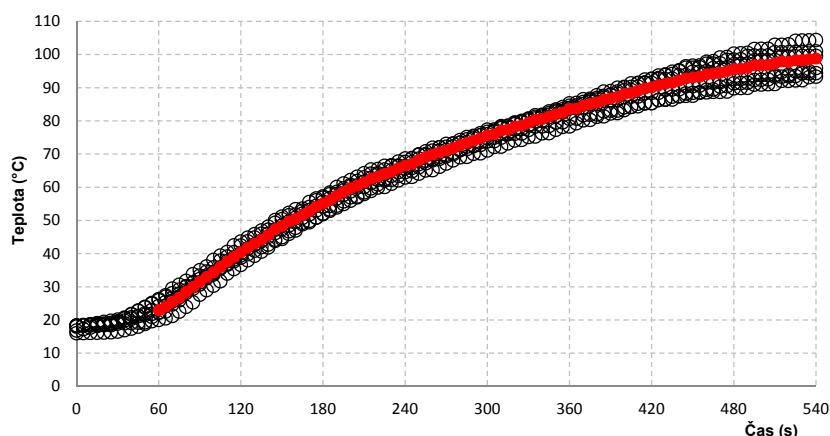
Experimentálny výskum sa uskutočnil na troch druhoch trojvrstvových skladiel používaných pri výrobe veľkoplošných debniacich kompozitov. Sledovanou veličinou bol čas dosiahnutia požadovanej teploty 90 °C v lepenej škáre. Získané experimentálne dáta závislosti teploty v lepenej škáre od času lisovania sú znázornené na obrázkoch 2, 3 a 4. Na obrázkoch sú znázornené aj regresné krivky exponenciálnych funkcií popisujúcich nárast teploty v lepenej škáre v závislosti od času (červená krivka).



**Obr. 2** Závislosť teploty od času lisovania pre SM masívne lamely.  
**Fig. 2** Dependence of temperature on the pressing time for solid spruce timber.



**Obr. 3** Závislosť teploty od času lisovania pre preglejky.  
**Fig. 3** Dependence of temperature on the pressing time for plywood.



Obr. 4 Závislosť teploty od času lisovania pre OSB dosky.

Fig. 4 Dependence of temperature on the pressing time for OSB board.

V tab. 1 sú zhrnuté sledované charakteristiky získané experimentálnym výskumom. Výsledný optimalizovaný čas lisovania ( $\tau_{OPT}$ ) je súčtom času, kedy teplota v lepenej škáre dosiahla 90 °C, a času 90 s potrebného na vytvrdenie lepidla. Experimentálne určený čas prehrievania ( $\tau_{PR}$ ) pre dané druhy a hrúbky použitých povrchových vrstiev je stanovený v čase nárastu teploty v lepenej škáre o 5% voči teplote okolia ( $\sim 1$  °C). Uvedené mechanické vlastnosti (pevnosť v ohybe, modul pružnosti v ohybe) boli stanovené statických ohybom v zmysle STN EN 310. Ako významný doplnkový parameter je uvedená obrátkovosť daného materiálu. Dáta o obrátkovosti pochádzajú od výrobcov debniacich materiálov. Obrátkovosť debniacich kompozitov vplyva na ekonomickú efektívnosť použitia debniacich materiálov. Jeho vplyv je významný najmä z pohľadu životnosti debnenia a environmentálnych dopadov na životné prostredie (KRIŠŤÁK *et al.* 2014).

Tab. 1 Súhrn priemerných hodnôt sledovaných charakteristík debniacich kompozitov.

Tab. 1 Summary of average values of monitored formwork sheets.

Materiál	$\tau_{90E}$ (s)	$\tau_{PR}$ (s)	$\tau_{OPT}$ (s)	$\sigma_{OH}$ (MPa)	$E_{OH}$ (MPa)	Obrátkovosť
SM masív	415,0 ± 58,5	32,0 ± 4,5	505	43,0 ± 3,4	5669 ± 233	20–30
PG	433,0 ± 67,3	48,0 ± 13,0	523	45,1 ± 1,9	6812 ± 296	70–80
OSB	430,8 ± 36,3	37,5 ± 4,2	520	19,7 ± 1,9	3410 ± 70	40–50

Poznámka:  $\tau_{90E}$  označuje experimentálne získaný čas dosiahnutia požadovanej teploty,  $\tau_{PR}$  označuje čas potrebný naprehnutie povrchových vrstiev,  $\tau_{OPT}$  označuje celkový optimalizovaný čas technologickej operácie lisovania ( $\tau_{90E} + 90$ ).

Analýzou experimentálnych dát bola potvrdená exponenciálna závislosť zmeny teploty v lepenej škáre od času. Drevo a drevné kompozity patria do skupiny materiálov s viskoelastickým charakterom správania, pre ktoré je typický exponenciálny model zmeny teploty v čase (KOŠTIAL *et al.* 2010). Problematike prenosu tepla v drevných kompozitoch v procese lisovania sa venovali aj iní autori (LI *et al.* 2007, KAVAZOVIC *et al.* 2010, LIU *et al.* 2013), ktorí rovnako dospeli k exponenciálnej závislosti nárastu teploty v procese lisovania.

Na základe analýzy experimentálne získanej závislosti teploty v lepenej škáre od času lisovania a mechanických vlastností vytvorených debniacich kompozitov je možné sformulovať nasledujúce zistenia:

- lisovací čas pri použití SM masívnych povrchových vrstiev je možné skrátiť na cca. 505 s, čo predstavuje časovú úsporu asi 6,5% voči referenčnému času lisovania (540 s);

- lisovací čas pri použití brezových preglejovaných a OSB povrchových vrstiev je možné skrátiť na cca. 520 s, čo predstavuje časovú úsporu asi 3% voči referenčnému času;
- optimalizáciou času lisovania pre daný druh povrchových vrstiev je možné zvýšiť kapacitu výroby debniacich kompozitov, na výsledné zvýšenie kapacity má vplyv obslužný čas (čas potrebný na manipuláciu s materiálom, čas na vyprázdnenie a opätovné naplnenie lisu, ...);
- z ekonomického hľadiska optimalizácia času technologickej operácie lisovania umožňuje zníženie výrobných nákladov a následne aj predajnej ceny, čo zvyšuje konkurencieschopnosť výrobcu,
- z pohľadu sledovaných mechanických vlastností dosahujú najväčšiu hodnotu pevnosti v ohybe aj modulu pružnosti v ohybe kompozity s preglejovanou povrchovou vrstvou;
- pevnosť kompozitu z SM masívnymi povrchovými vrstvami je nižšia asi o 4% a modul pružnosti je nižší asi o 17% voči kompozitu s preglejovanou povrchovou vrstvou;
- najhoršie mechanické vlastnosti dosahuje kompozit z OSB povrchovými vrstvami, pevnosť je nižšia asi o 56% a modul pružnosti je nižší asi o 50% voči kompozitu s preglejovanou povrchovou vrstvou;
- z hľadiska obrátkovosti kompozity s preglejovanou povrchovou vrstvou dosahujú takmer štvornásobne vyššiu životnosť ako kompozity s masívnou povrchovou vrstvou, a takmer dvojnásobne vyššiu životnosť ako kompozity s OSB povrchovou vrstvou.

## ZÁVER

Experimentálnym výskumom bolo dokázané, že v procese lisovania trojvrstvových debniacich kompozitov pri teplote 110 °C je možné optimalizáciou času lisovania dosiahnuť časové a energetické úspory. Na základe výsledkov je dosiahnuteľná časová úspora pri lisovaní v závislosti od použitého materiálu povrchovej vrstvy na úrovni 3–6,5%. Zo získaných výsledkov je zrejmé, že v procese výroby je z pohľadu efektívnosti a cenovej náročnosti lisovacieho procesu potrebné zohľadniť vplyv vlastností použitých materiálov.

Práca bola zameraná na experimentálne stanovenie optimálneho času lisovania trojvrstvových drevných debniacich kompozitov pri teplote lisovania 110 °C na základe požiadaviek na formovanie lepeného spoja. Výsledky výskumu potvrdili možnosť skrátenia času lisovania a tým zvýšenie efektívnosti výroby a zníženie energetickej náročnosti výroby.

## LITERATÚRA

- BARBU M. C., RÉH R., IRLE M. 2013. Wood-Based Composites. In Research Developments in Wood Engineering and Technology, edited by Alfredo Aguilera and J. Paulo Davim. Wood-Based Composites, Chapter 1. Hershey PA : IGI Global, 2013, pp. 1–45. ISBN 978-1-4666-4554-7.
- BAŠKOVÁ, R., KRAJŇÁK, M. 2013. An analytical approach to optimization of the costs for construction formwork. In Proceedings of 13th International Multidisciplinary Scientific Geoconference and EXPO, SGEM 2013; Albena; Bulgaria; 2013, Vol. 2, pp. 35–40, ISSN 1314-2704.
- GEORGOPOULOS, C., MINSON, A. 2014. Sustainable Concrete Solutions. UK : Wiley-Blackwell Publishing, 2014, p. 224, ISBN 978-1-119-96864-1.
- HANNA, AWAD S. 1998. Concrete Formwork Systems. University of Wisconsin-Madison, Wisconsin, CRC Press, 1998, p. 272, ISBN 0-8247-0072-4.

- IRLE M. A., BARBU M. C., RÉH R., BERGLAND L., ROWELL R. M. 2012. Wood Composites. In Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, Second Edition by Roger M. Rowell. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, pp. 321–412.
- KAVAZOVIC, Z., DETEIX, J., CLOUTIER, A., FORTIN, A. 2010. Sensitivity study of a numerical model of heat and mass transfer involved during the medium-density fiberboard hot pressing process. *Wood and Fiber Science*, 42(2): 130–149, ISSN 0735-6161.
- KOŠTIAL, P., RUŽIAK, I., JONŠTA, Z., KOPAL, I., HREHUŠ, R., KRŠKOVÁ, J. 2010. Experimental method for complex thermo-mechanical material analysis. *International Journal of Thermophysics*, 31(3): 630–636, ISSN 0195-928X.
- KRIŠŤÁK, L., IGAZ, R., BROZMAN, D., RÉH, R., ŠIAGIOVÁ, P., STEBILA, J., OČKAJOVÁ, A. 2014. Life Cycle Assessment of Timber Formwork: Case study. *Advanced Materials Research*. 1001: 155–161. ISSN 1022-6680.
- LI, P., WANG, F., TAO, Y. 2007. Heat transfer model of wood veneer mat for hot pressing, *Journal of Computational Information Systems*, 3(6): 2389–2393, ISSN 1553-9105.
- LIU, X., WANG, S., LI, W., CHEN, L. 2013. Effect of moisture content on thermal physical properties and heat transfer of plywood during hot-pressing, *Advanced materials research*, (652–654): 1283–1289, ISSN 1022-6680.
- LYONS, A. 2010. *Materials for Architects and Builders*. Routledge, 2010, p. 440, ISBN 978-1856175197.
- PETERS, J. B. 1991. *Practical timber formwork*. London : Chapman and Hall, 1991, p. 212, ISBN 0-419-17010-3.
- PLACKETT, DV., ANDERSEN, TL., TORGILSSON R. 1999. Wood fiber-reinforced composites manufactured using a rapid-press-consolidation technique, *American chemical society*, 218(1): 237–238, 1999, ISSN 0065-7727.
- PROVERBS, DG., HOLT, DG., OLOMOLAIYE, PO. 1999. Factors in formwork selection: a comparative investigation, *Building Research and Information*. 27(2): 109–119, 1999, ISSN 0961-3218.
- RIVELA, B., MORREIRA, T., FEIJOO, G. 2007. Life cycle inventory of medium density fibreboard. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 12(3): 143–150.
- WANG, SQ., DAI, CP. 2003. Press control for optimized wood composite processing and properties – Part 2: Properties and press control strategies, *Fundamentals of composite processing: Proceeding of a workshop*, pp. 65–89, 2003.
- WINANDY, J.E., KRZYSIK, A.M. 2007. Thermal degradation of wood fibers during hot-pressing of MDF composites: Part I. Relative effects and benefits of thermal exposure. *Wood and Fiber Science*, 39(3): 450–461. ISSN 0735-6161,
- STN EN ISO 310 Dosky na báze dreva. Zisťovanie modulu pružnosti v ohybe a pevnosti v ohybe.

## Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore grantovej agentúry VEGA v rámci projektu č. 1/0538/14 a č. 1/0345/12.

## Adresa autorov

Rastislav Igaz, Ivan Ružiak, Ľuboš Krišťák, Roman Réh, Ján Iždinský, Petra Šiagiová  
Technická univerzita vo Zvolene

Drevárska fakulta  
T. G. Masaryka 24  
960 53 Zvolen, SR

igaz@tuzvo.sk, ruziak@tuzvo.sk, kristak@tuzvo.sk, reh@tuzvo.sk, izdinsky@tuzvo.sk,  
petra.siagiova@gmail.com