

## VPLYV LISOVACÍCH PARAMETROV NA ZMENU TVRDOSTI LISOVANÝCH DÝH

### IMPACT OF PRESSING PARAMETERS ON THE HARDNESS CHANGE OF THE PRESSED VENEERS

Martin Palko – Ján Zemiar – Vladimír Vacek

#### ABSTRACT

The paper is focused on the pressing – compressing of veneers. The goal of the work was to find out experimentally and to evaluate the impact of the pressing factors on changes in static and dynamic hardness of beech veneers. In the introduction, there is presented theoretical knowledge of compressing the wood by pressing. In the experimental part, there are described the procedures for preparing the specimens and the procedures for experimental measurements of the selected properties of beech wood. In the results and discussion are listed the results of experimental measurements of the given properties. The evaluation and the mutual comparison are presented in the discussion. Static and dynamic hardness were evaluated based on changing conditions of pressing, and mutually compared. The findings results indicate that statistically significant effect on the static and dynamic hardness of pressed beech specimens is exerted by time, temperature, the rate of compression, and the moisture content. From the gained data it results that pressing induces a definite improvement of the beech wood properties. The gained results contribute to the knowledge of pressed veneer properties.

**Key words:** compression, wood hardness, temperature, pressing parameters.

#### ÚVOD

Drevo sa vyznačuje rozdielnymi vlastnosťami, v závislosti od druhu dreveniny z ktorej pochádza. Tieto vlastnosti možno účelovo modifikovať. Jedným zo spôsobov zámernej modifikácie vlastností je lisovanie dreva. Pri lisovaní pôsobí na drevo teplo, vlhkosť (prípadne iný plastifikačný prostriedok) a vonkajšie mechanické sily vo vzájomnej interakcii. Lisovaním dreva sa dosiahne jeho zhustenie na úkor pórovitosti (NAVI a HEGER 2004, NAVI a GIRARDET 2000, TABARSA a CHUI 1997). V zásade, do určitého stupňa je možné zhusťovať všetky druhy dreva (KAFKA *et al.* 1989). Zhustením dreva sa vylepšujú aj mechanické vlastnosti (CHUCHRJANSKIJ 1953, BLOMBERG *et al.* 2006). Tieto s rastúcou hustotou lineárne úmerne rastú, a to tak nelisovaného ako aj lisovaného dreva (KÚDELA 2010). Zvýšenie pevnosti zhusteného dreva je podmienené tým, že nenastane podstatnejšia deštrukcia dreva a zachová sa jeho rozmerová stabilita po lisovaní.

Lisovaním dreva sa dosiahne aj zvýšenie jeho tvrdosti. Ako vyplýva z práce ZAŤKO a ČIEFOVÁ (2000), tvrdosť lisovaného dreva môžeme zvýšiť dvoj až štvornásobne, čo závisí od druhu dreva a lisovacích parametrov.

Výsledná hustota lisovaného dreva a tým aj významne zvýšená jeho tvrdosť je dôležitá pre podlahoviny, pretože so zvyšujúcou sa tvrdosťou dreva dochádza k zvýšeniu odolnosti voči oderu. V tejto súvislosti sa vynára otázka, do akej miery sa dá vhodnou kombináciou lisovacích parametrov ovplyvniť jeho tvrdosť.

Cieľom príspevku bolo zistiť a vyhodnotiť vplyv lisovacích parametrov (teplota, vlhkosť, čas lisovania, stupeň zhustenia) na zmenu statickej a dynamickej tvrdosti zhustených bukových dýh.

## MATERIÁL A METODIKA

Pre experimentálnu časť práce boli zvolené telesá z bukového dreva (*Fagus sylvatica*, L.) rozmerov  $100 \times 100 \times 5$  mm, ktoré boli vymanipulované z bukového výrezu pilením. Pred zlisovaním sa telesá naklimatizovali na tri rovnovážne vlhkosti (8, 16 a 28 %).

Vlhkosť dreva 8 % sme dosiahli klimatizovaním telies v prostredí s relatívnou vlhkosťou vzduchu  $\varphi = 42$  %. Vlhkosť dreva 16 % sme dosiahli pri klimatizácii v prostredí s relatívnou vlhkosťou vzduchu  $\varphi = 80$  % a 28 % vlhkosť uložením telies nad vodnú hladinu v uzavretej nádobe. Klimatizácia na požadované vlhkosti bola pri teplote 20 °C.

Po naklimatizovaní telies na požadované hodnoty vlhkosti sa tieto lisovali za nasledovných podmienok:

- teplota lisovania (20, 100 a 150 °C),
- stupeň stlačenia (20, 35 a 50 %),
- čas lisovania (2, 8 a 15 minút).

Dostali sme tak 81 súborov. Pričom v každom súbore bolo 10 telies.

Maximálnu teplotu lisovania 150 °C sme zvolili preto, že pri teplotách nad 150°C dochádza k termickému narušeniu stavebných zložiek dreva (REINPRECHT 2007).

Na experimentálne skúšky bol použitý hydraulický lis, typ P30/ML, výrobca OMCN S.p.A. Taliansko. Podľa zvoleného stupňa stlačenia (20 %, 35 % a 50 %) sa po oboch stranách skúšobného telesa vkladali do lisu meracie oceľové plátky zo škáromerov, pomocou ktorých sa zabezpečil požadovaný stupeň stlačenia s presnosťou na  $\pm 0,05$  mm.

Po lisovaní telies a následnej stabilizácii bola na zlisovaných telesách zisťovaná statická a dynamická tvrdosť.

Tvrdosť je vlastnosť materiálu vyjadrená odporom proti deformácii povrchu vyvolanej pôsobením geometricky určeného, definovaného telesa (ROHANOVÁ a DUBOVSKÝ 2007). Dosiahnutá hodnota tvrdosti závisí od vlastností povrchu skúšaného materiálu a od skúšobných podmienok, pri ktorých sa zisťuje. Zistené hodnoty tvrdosti sa na základe teplotného parametra rozčlenili do troch variantov lisovania a štatisticky vyhodnotia 4 – faktorovou analýzou rozptylu (ANOVA):

- variant A (lisovanie pri teplote 20 °C),
- variant B (lisovanie pri teplote 100 °C),
- variant C (lisovanie pri teplote 150 °C).

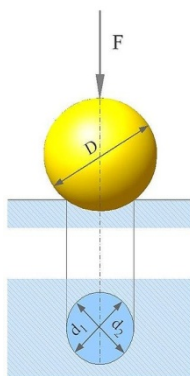
Pre porovnanie sa zisťovala tvrdosť nelisovaných telies pri vlhkostiach 8, 16 a 30 %.

Statickú tvrdosť sme zisťovali podľa Brinella (STN EN ISO 6506-1). Princíp skúšky je založený na vtlačaní oceľovej guľôčky (obr. 1) s priemerom 10 mm do skúšobného telesa predpísanou zaťažujúcou silou F. V prípade tvrdých druhov dreva sa používa sila  $F = 1000$  N. V prípade zlisovaných telies táto sila bola nepostačujúca, pretože zanechávala príliš málo zreteľný odtlačok, ktorého rozmery nebolo možné merať s požadovanou presnosťou. Preto sme zaťažujúcu silu zvýšili na 2000 N. Brinellovu tvrdosť HB sme počítali podľa rovnice

$$HB = \frac{2F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1)$$

kde: F je sila pôsobiaca na guľičku (N), D – priemer guľičky (mm), d – priemer otláčenej plochy v dreve (mm).

Meranie statickej tvrdosti prebiehalo v skúšobnom stroji Rauenstein ZD 10/90 pomocou prípravku na tvrdosť.



**Obr. 1 Zatláčanie guľičky do skúšobného materiálu.**  
**Fig. 1 Pressing steel ball into the specimen.**

Pri meraní a vyhodnocovaní dynamickej tvrdosti sa postupovalo podľa STN 490137. Princíp merania dynamickej tvrdosti je založený na pružnom odraze oceleovej guľičky s priemerom 25 milimetrov, ktorá je púšťaná voľným pádom z konštantnej výšky 0,5 m na povrch skúšaného telesa. Pri náraze telesa sa časť kinetickej energie spotrebuje na nevratnú plastickú deformáciu povrchu skúšaného telesa a zostávajúca energia sa prejaví odrazom telesa (STN 49 0137). Rozmery odtlačku na skúšobnom telese sme merali pomocou lupy s meracou riskou, typ PEAK (DREXX), pri 10-násobnom zväčšení s presnosťou na 0,1 mm v smere a naprieč vlákien.

Zo zaznamenaných údajov sa vypočítala tvrdosť podľa rovnice:

$$H_{wy} = \frac{4.m.g.h}{\pi.d_1.d_2} \quad (2)$$

kde  $m$  je hmotnosť guľičky (kg),  $g$  – gravitačné zrýchlenie ( $m \cdot s^{-2}$ ),  $h$  – výška pádu guľičky (m),  $d_1$  a  $d_2$  – priemery odtlačku v smere a naprieč vlákien (cm).

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

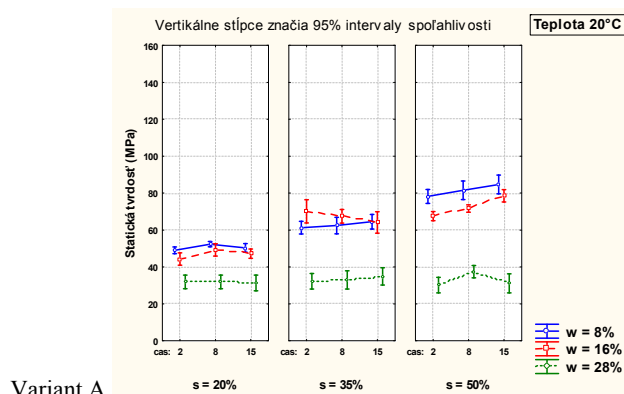
### Statická tvrdosť (Brinellova metóda)

Výsledky tvrdosti nelisovaného bukového dreva pri rôznych vlhkostiach sú uvedené v tab. 1. Ako vyplýva z tab. 1, s rastúcou vlhkosťou v rozsahu viazanej vody tvrdosť bukového dreva významne klesá. Naše výsledky tvrdosti bukového dreva spadajú do intervalu hodnôt tvrdosti uvádzaných v literatúre (WAGENFÜHR 1966, POŽGAJ *et al.* 1993, UGOLEV 2007). Ich porovnanie s literatúrou je dosť obtiažne, pretože ako vyplýva z práce KÚDELU (1998), každou metodikou sa dosiahnu iné hodnoty tvrdosti. Podľa citovaného autora v prípade Jankovej tvrdosti sú jej hodnoty navyše ovplyvnené hĺbkou zatlačenia guľičky a v prípade Brinellovej tvrdosti veľkosťou zvolenej sily, ktorou sa pôsobí na guľičku. Hodnoty tvrdosti podľa Brinella sú všeobecne nižšie ako podľa Janka (POŽGAJ *et al.* 1993, KOKOCIŇSKI 1994). Na základe výsledkov tvrdosti sa bukové drevo radí medzi tvrdé drevá.

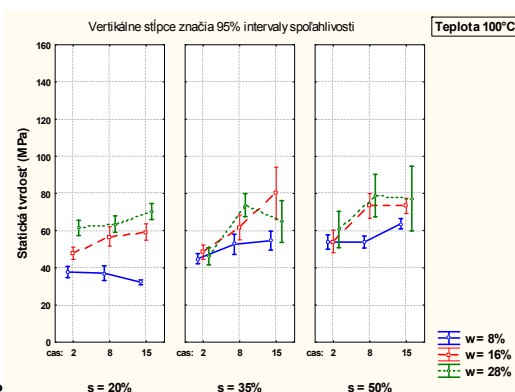
Výsledky tvrdosti lisovaného bukového dreva za podmienok popísaných v metodike sú uvedené na obr. 2. Výsledky štvorfaktorovej analýzy potvrdili, že všetky testované parametre lisovania sa významne prejavili na hodnotách tvrdosti. Potvrdil sa aj významný vplyv interakcií medzi parametrami.

Tab. 1 Hodnoty tvrdosti podľa Brinella bukového dreva.  
Tab. 1 Values of dynamical beech wood hardness.

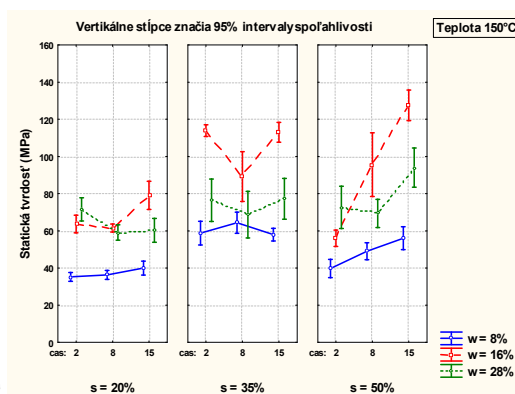
Základné štatistické charakteristiky tvrdosti	Vlhkosť w [%]		
	8	16	28
$\bar{x}$ [MPa]	43,00	38,99	29,50
s [MPa]	1,51	1,45	1,14
n	10	10	10



Variant A



Variant B



Variant C

Obr. 2 Vplyv počiatkovej vlhkosti, stupňa stlačenia, lisovacieho času a teploty na statickú tvrdosť zlisovaných bukových telies.

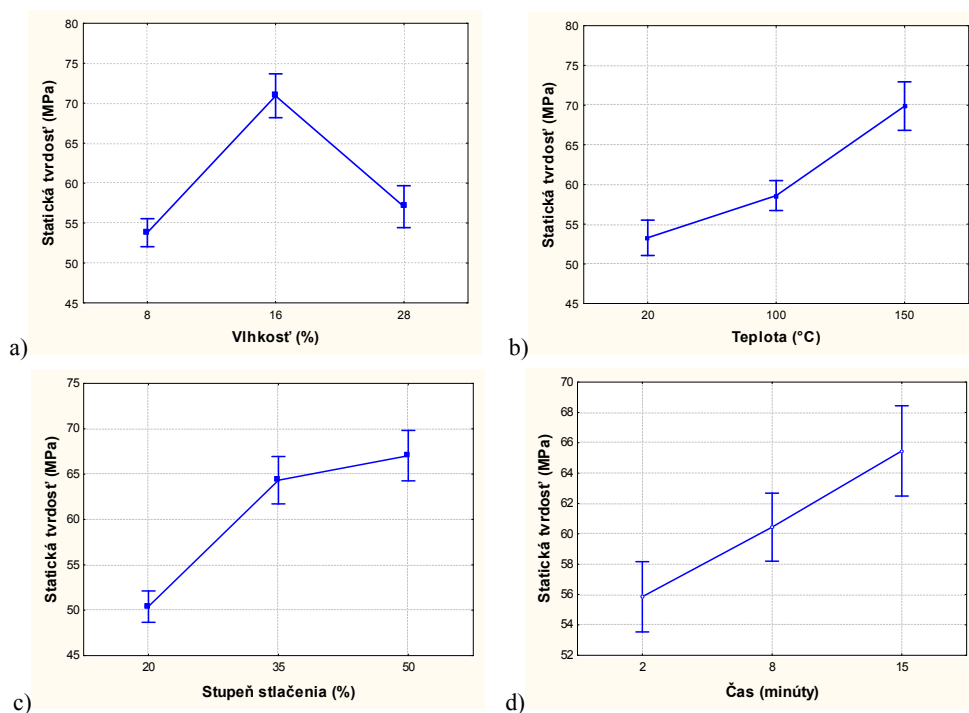
Fig. 2 Influence of initial moisture content, compression degree, compression time and temperature on static hardness of compressed beech specimens.

Telesá o vlhkosti  $w \cong$  BNV, ktoré boli lisované pri teplote 20 °C mali najnižšiu tvrdosť a stupeň stlačenia ako aj čas lisovania nemal významný vplyv na jej hodnoty. Je to spôsobené tým, že pri lisovaní bez pôsobenia tepla sa nemenila vlhkosť telies a po odťažení sa obnovili vodíkové väzby, v dôsledku čoho došlo k spätnému odpruženiu. Pri nižších vlhkostiach už telesá ostali po lisovaní viac stlačené, čo sa prejavilo aj na výrazne vyšších hodnotách tvrdosti. Táto narastala so stupňom stlačenia a s predlžujúcim sa časom lisovania.

Telesá, ktoré boli lisované pri lisovacej teplote 100 °C sa už správali odlišne. Najnižšiu tvrdosť vykazovali zlisované telesá s počiatočnou vlhkosťou 8 %. Rozdiely v tvrdosti telies s počiatočnou vlhkosťou 16 a 28 % vo väčšine prípadov boli štatisticky nevýznamné. Rastúci trend tvrdosti so stupňom stlačenia a s predlžujúcim sa časom lisovania bol pozorovaný aj v tomto prípade.

Pri zvýšení lisovacej teploty na 150 °C trend zmeny tvrdosti bukových telies bol podobný ako v predchádzajúcom prípade, ale vplyv ostatných parametrov bol výraznejší. Najvýhodnejšia vlhkosť telies sa ukázala vlhkosť 16 %, stupeň stlačenia 35–50 % a lisovací čas 15 min. Pri týchto parametroch dosahovali bukové telesá tvrdosť nad 100 MPa. Zlisované bukové telesá za týchto podmienok sa tvrdosťou vyrovnajú takým druhom dreva ako je eben alebo quajak (REGINÁČ *et al.* 1990).

Vplyv jednotlivých lisovacích parametrov je znázornený na obr. 3. Ako vidieť z obr. 3a najvýhodnejšia počiatočná vlhkosť telies bola 16 %. Pri tejto vlhkosti prebieha komprimácia bukového dreva bez výrazného narušenia bunkových stien vlákien a drevo si po zlisovaní zachováva dobrú rozmerovú stabilitu (KÚDELA a REŠETKA 2011). Z obr. 3b-d vyplýva, že tvrdosť so zvyšujúcou teplotou lisovania, stupňom stlačenia a predlžujúcim časom lisovania významne rastie.



Obr. 3 Vplyv jednotlivých parametrov na statickú tvrdosť zlisovaných bukových telies. a) počiatočná vlhkosť, b) lisovacia teplota, c), stupeň stlačenia d) čas lisovania.

Fig. 3 Influence of individual parameters on static hardness of compressed beech specimens. a) initial moisture content, b) pressing temperature, c) compression degree, d) compression time.

### Dynamická tvrdosť

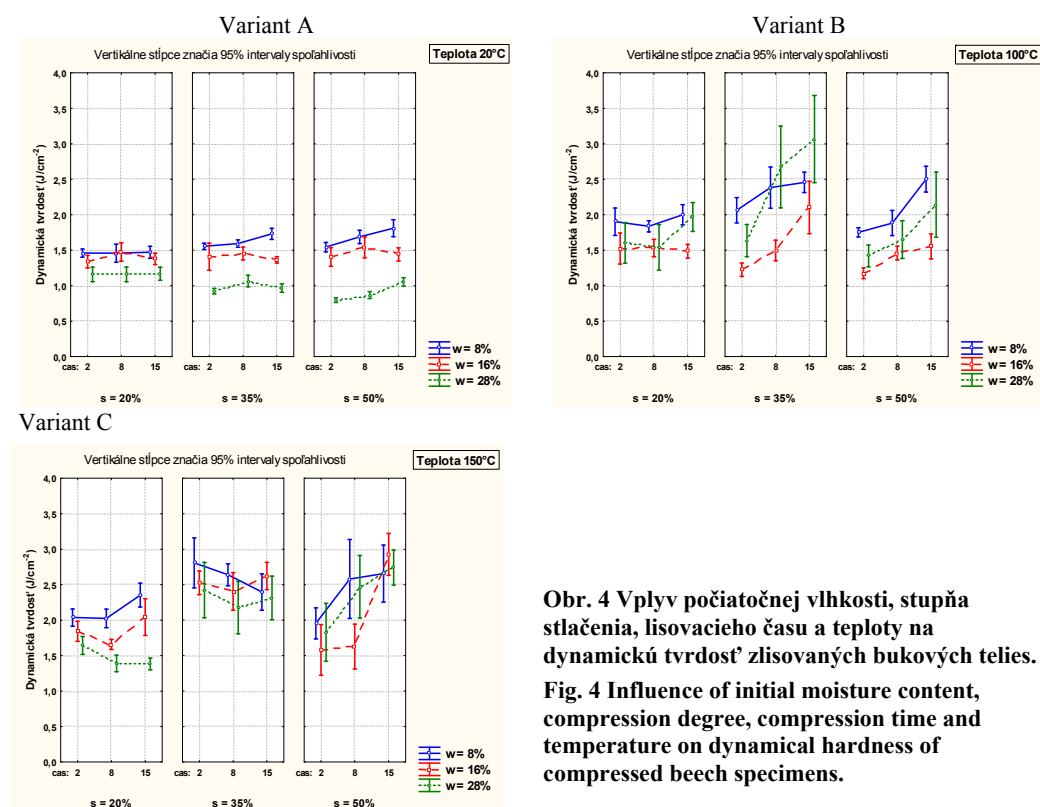
Výsledky dynamickej tvrdosti nelisovaného bukového dreva zisťované pri rôznych vlhkostiach sú uvedené v tab. 2. Ako vidieť z tab. 2, aj dynamická tvrdosť bukového dreva s rastúcou vlhkosťou v rozsahu viazanej vody klesá. Naše výsledky tvrdosti sú v dobrej zhode s výsledkami UGOLEVA (2007).

**Tab. 2 Hodnoty dynamickej tvrdosti bukového dreva.**  
**Tab. 2 Values of dynamical beech wood hardness.**

Základné štatistické charakteristiky tvrdosti	Vlhkosť w [%]		
	8	16	28
$\bar{x}$ [ $\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$ ]	1,15	1,06	0,92
s [ $\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$ ]	0,02	0,06	0,26
n	10	10	10

Vplyv lisovacích parametrov na hodnoty dynamickej tvrdosti sú znázornené na obr. 4. Výsledky štvorfaktorovej analýzy opäť potvrdili, že všetky testované parametre lisovania, ako aj ich interakcie sa významne prejavili na hodnotách dynamickej tvrdosti. Lisovaním dreva takmer vo všetkých prípadoch dynamická tvrdosť sa zvýšila v porovnaní s nelisovaným drevom. Telesá lisované pri teplote 20 °C vykazovali najnižšiu tvrdosť opäť pri vlhkosti  $w \cong \text{BNV}$ . Čím bola počiatočná vlhkosť telies nižšia tým, bola tvrdosť zlisovaných telies vyššia. Tvrdosť narastala so stupňom stlačenia a s predlžujúcim sa časom lisovania.

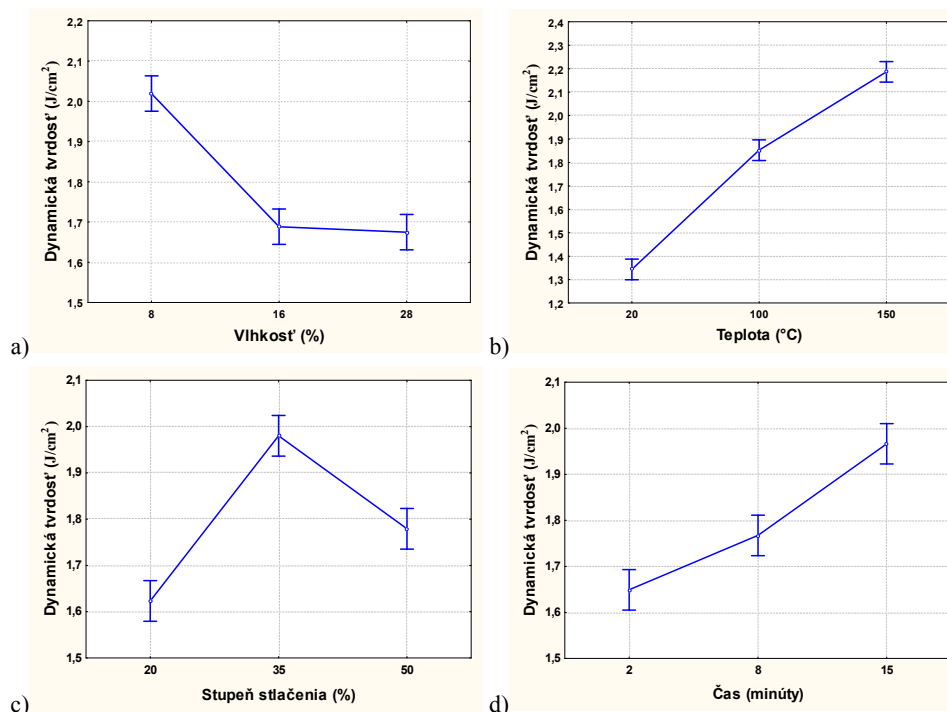
Pri lisovacej teplote 100 °C už vplyv počiatočnej vlhkosti ako aj stupňa stlačenia nebol taký jednoznačný. S predlžujúcim sa časom lisovania tvrdosť úmerne narastala.



**Obr. 4 Vplyv počiatočnej vlhkosti, stupňa stlačenia, lisovacieho času a teploty na dynamickú tvrdosť zlisovaných bukových telies.**

**Fig. 4 Influence of initial moisture content, compression degree, compression time and temperature on dynamical hardness of compressed beech specimens.**

Pri zvýšení lisovacej teploty na 150 °C boli rozdiely v tvrdosti medzi telesami s rozdielnou počiatčnou vlhkosťou ešte menej výrazné. Vplyv ostatných lisovacích parametrov sa prejavil menej výrazne ako pri statickej tvrdosti. Vplyv jednotlivých lisovacích parametrov je znázornený na obr. 5. Ako vidieť z obr. 5a najvhodnejšia počiatčná vlhkosť telies bola 8 % a stupeň stlačenia 35 %. S narastajúcou teplotou lisovania ako aj s predlžujúcim časom lisovania dynamická tvrdosť zlisovaného bukového dreva narastala.



**Obr. 5** Vplyv jednotlivých parametrov na dynamickú tvrdosť zlisovaných bukových telies. a) počiatčná vlhkosť, b) lisovacia teplota, c), stupeň stlačenia d) čas lisovania.  
**Fig. 5** Influence of individual parameters on dynamical hardness of compressed beech specimens. a) initial moisture content, b) pressing temperature, c) compression degree, d) compression time.

Pri zohľadnení výsledkov statickej aj dynamickej tvrdosti sa ukazuje, že z testovaných parametrov sa ako optimálna počiatčná vlhkosť telies ukazuje vlhkosť okolo 16 % a lisovacia teplota 150 °C. Vyššie lisovacie teploty (180–220 °C) pri nižšej vlhkosti dreva odporúčajú tiež ITO *et al.*(1998) a INOUE *et al.* (1998). Významný vplyv má tiež lisovací čas. Čím dlhší čas sa teleso pri danej teplote lisuje, tým sa dosiahne lepšia rozmerová stabilita telies po zlisovaní, čo sa odrazí na vyšších hodnotách hustoty a tvrdosti. Lisovací čas je potrebné voliť tak, aby sa zlisované teleso prehrialo na danú teplotu v celom objeme. V našom prípade sa najlepšie výsledky dosiahli pri najdlhšom zvolenom lisovacom čase (15 min.).

## ZÁVER

Experimentálne výsledky potvrdili významný vplyv testovaných parametrov lisovania na statickú aj dynamickú tvrdosť zlisovaného bukového dreva.

Z výsledkov vyplýva, že z testovaných parametrov sa ako najvhodnejšia ukázala vlhkosť telies 16 %, lisovacia teplota 150 °C a stupeň zlisovania 35–50 %. Najlepšie výsledky sa dosahovali pri lisovacom čase 15 min, kedy už bol materiál prehriaty na danú teplotu v celom

objeme. Za daných parametrov lisovania sa zvýšila tvrdosť bukových telies približne 4krát. Dosiahla sa tak tvrdosť, ktorá je zrovnateľná s najtvrdšími druhmi dreva, ako sú eben a quajak.

### Pod'akovanie

Táto práca bola podporovaná agentúrou VEGA vedecko-technickým projektom č. 1/0329/09 „Modifikovanie fyzikálnych a mechanických vlastností dreva termomechanickou úpravou pre účely tvorby vrstvitých materiálov špecifických vlastností“.

### LITERATÚRA

- CHUCHRJANSKI, P. N. 1953. Zušľacht'ovanie dreva I. Bratislava: práca, 156 s.
- ITO, Y., TANAHASHI, M., SHIGEMATSU, M., SHINODA, Y. 1998. Compressive-moulding of wood high-pressure steam-treatment. Part 2. Mechanism of permanent fixation. *Holzforschung*, 52(2): 217–221.
- IOUE, M., KODAMA, J., YAMAMOTO, Y., NORIMOTO, M. 1998. Dimensional stabilization of compressed wood using high-frequency heating. *J. Jap. Wood Res. Soc.*, 44(6): 410–416.
- Kafka, E. et al. 1989: Dřevařská příručka. I. část, Praha: SNTL, 483 s.
- KOKOCIŃSKI, W. 1994: Badania nad wykorzystaniem nowej metody pomiaru twardości drewna do orientacyjnej oceny jego wytrzymałości. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu*, CCLXII: 25–40.
- KÚDELA, J. 1998: Analysis of wood hardness. In *Wood structure and properties '98*. (Eds. S. Kurjatko and J. Kúdela), Zvolen: Arbora Publishers, pp. 199–204.
- KÚDELA, J. 2010: Mechanické vlastnosti dreva. In: *Parametre kvality dreva určujúce jeho finálne použitie*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, s. 101–127. ISBN 978-80-228-2095-0.
- KÚDELA, J., REŠETKA, M. 2011: Influence of high pressing temperature on dimensional stability of beech wood. *Ann. WULS – SGGW, For. and Wood Technol.*, 75:19–25.
- NAVI, P., HEGER, F. 2004, Combined Densification and Thermo-Hydro-Mechanical Processing of Wood, *MRS BULLETIN*, 132 s., [http://www.mrs.org/s\\_mrs/bin.asp?CID=3006&DID=95006&DOC=FILE.PDF](http://www.mrs.org/s_mrs/bin.asp?CID=3006&DID=95006&DOC=FILE.PDF)
- NAVI, P., GIRARDET, F. 2000. Effect of thermo-hydro-mechanical treatment on the structure and properties of wood. *Holzforschung*. 54(3): 287–293.
- POŽGAJ, A., KURJATKO, S., CHOVANEC, D., BABIAK, M. 1993: Štruktúra a vlastnosti dreva. Bratislava: Príroda, 483 pp.
- REGINÁČ et al. 1990: Náuka o dreve II. Zvolen: VŠLD, 424 s. ISBN 80-228-0062-7.
- REINPRECHT, L. 2008. Ochrana dreva. Zvolen: TU vo Zvolene, 453 s. ISBN 978-80-228-1863-6.
- ROHANOVÁ, A., DUBOVSKÝ, J. 2007. Tvrdosť kruhovitopórovitého dreva vybraných drevín. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, XLIX(1): 5–17.
- STN EN ISO 6506-1. 2006. Brinellova skúška tvrdosti, časť 1: skúšobná metóda.
- STN 49 0137, 1983. Drevo. Metóda zisťovania dynamickej tvrdosti, Úrad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- TABARSA, T., CHUI, Y.H. 1997. Effects of hot-pressing on properties of white spruce. *Forest Prod. J.* 47(5): 71–76.
- UGOLEV, B. N. 2007. Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie. Moskva: Izdatel'stvo Moskovskogo Gosudarstvennogo universiteta lesa, 3. vyd., 351 s. ISBN 5-8135-0400-1.
- WAGENFÜHR, R. 1966: Anatomie des Holzes. Leipzig: VEB Fachbuch Verlag, 377 pp.
- ZAŤKO, Š., ČIEFOVÁ, A. 2000. Zmena tvrdosti topoľového dreva jeho zhusťovaním. In *Aglomerovanie dreva: III. sympóziu z príležitosti narodenín Prof. Ing. Milana Sedliačika, PhD., Honorific Profesor*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, s. 134–137.

### Adresa autorov

Ing. Martin Palko  
prof. Ing. Ján Zemiar, PhD.  
Technická univerzita vo Zvolene  
Drevárska fakulta  
Katedra nábytku a drevárskych výrobkov  
T. G. Masaryka 24  
960 53 Zvolen  
xpalko@is.tuzvo.sk, zemiar@vsld.tuzvo.sk

RNDr. Vladimír Vacek  
Technická univerzita vo Zvolene  
Drevárska fakulta  
Katedra matematiky a deskriptívnej geometrie  
T. G. Masaryka 24  
960 53 Zvolen  
vacek@vsld.tuzvo.sk