

## VPLYV VYBRANÝCH FAKTOROV NA ZMENU HRÚBKY DREVA PRI JEHO ZHUSTŔOVANÍ VALCOVANÍM

### INFLUENCE OF SELECTED FACTORS ON WOOD THICKNESS CHANGE AFTER ITS COMPRESSING BY ROLLING

Slavomír Makovínyi – Ján Zemiar

#### ABSTRACT

Wood is compressed in one direction by rolling and thereby its mechanical properties are improved. The major advantage of wood rolling comparing to wood pressing is a continuity of compressing process. This article deals with the influence of temperature, moisture content of veneers/lamellae and rolling machine passes number on the thickness change of specified materials, with the aim of determination of optimal conditions and rolling parameters. The relative thickness changes were found depending on the rolling number passes at various specific pressures, tested moisture contents – 8, 16, and 30 % and temperatures – 25, 90 and 150 °C. The optimal values of rolling parameters were determined for veneers with thickness from 3 up to 4 mm and lamellae with thickness from 7.5 up to 8 mm.

**Key words:** rolling, specific pressure, veneer, lamella, relative thickness change.

#### ÚVOD

Zhustovanie dreva sa bežne vykonáva jeho lisovaním, zriedkavejšie valcovaním. Výhodou valcovania je kontinuálny priebeh zhustovania s malým nárokom na ručnú prácu a možnosť dosiahnutia vysokého tlaku technicky relatívne jednoduchým zariadením. Valce sú zároveň formami aj posuvným zariadením. Zhustovanie dreva valcovaním je výhodné pri dlhých prizmatických výrobkoch, vrátane dýh. Na výrobu vrstveného dreva je výhodné použiť zhustené dyhy alebo lamely.

Cieľom práce bolo pri zvolených podmienkach valcovania zistiť veľkosť zmeny hrúbky valcovaného materiálu a na jej základe určiť optimálne podmienky a parametre valcovania.

#### FYZIKÁLNE PREDPOKLADY

Zhustovaním dreva valcovaním sa mení jeho štruktúra a zároveň sa menia od hustoty závisiace fyzikálne a mechanické vlastnosti. Takmer všetky mechanické vlastnosti sa zhustovaním dreva zvyšujú. Zhustené drevo môže takto získať podstatne väčšiu pevnosť, pružnosť, húževnatosť, tvrdosť a odolnosť proti trvalému zaťaženiu ako rastlé

drevo. Zhustené drevo sa vyrába pod viacerými obchodnými názvami a porovnanie ich mechanických a fyzikálnych vlastností s rastlým drevom uvádza napr. GREEN *et al.* (1999).

Pre posudzovanie zhustenia dreva v podobe dýh a lamiel – pre kvantifikáciu stupňa stlačenia ( $^{\circ}S$ ) budeme používať pojem pomerná zmena hrúbky ( $\Delta h_p$ ) (GONG, NAKATANI 2007)

$$^{\circ}S \equiv \Delta h_p = \frac{h_p - h_k}{h_p} \cdot 100 (\%) \quad (1)$$

kde  $h_p$  je hrúbka pred zhustením,  
 $h_k$  – konečná hrúbka po zhustení a klimatizácii.

Na rozdiel od lisovania dreva v uzavretých lisovacích formách je napätostný stav pri valcovaní komplikovanejší. Sily na povrchu valcov pri valcovaní pôsobia len v malej oblasti zhusťovaného materiálu a nie rovnomerne po celej jeho ploche. Okrem toho medzi valcami a drevom pôsobia trecie sily v rôznych smeroch. Čas zaťaženia je pri valcovaní krátky a závisí od obvodovej rýchlosti a priemeru valcov, ako aj od hĺbky ich vtláčenia do zhusťovaného materiálu. Preto takéto zaťaženie môžeme nazvať krátkodobým, pri väčšom počte cyklov aj krátkodobé cyklicky sa opakujúce. Z toho vyplýva komplikované reologické správanie sa takto zhusteného dreva.

Jedným prechodom párom valcov sa drevo bez porušenia môže zhustiť len o určitý stupeň, preto sa pri zhusťovaní používa viacej prechodov valcami (VORREITER 1949; CHUCHRJANSKIJ 1953; GUNARDS *a kol.* 1972; KOLLMANN 1955). Podľa KOLLMANNA (1955) firma Jaeger pri valcovaní dýh hrúbky 1 až 2 mm používala dyhy vlhkosti 10–12 % a pri zvlhčených dýhach vlhkosti 20 až 30 %. Na dosiahnutie hustoty dýh 900 až 1200 kg·m<sup>-3</sup> sa volil počet prechodov 6 až 20. Podľa Vorreitera si valcovanie vyžaduje postupné zvyšovanie valcovacieho tlaku vo viacerých prechodoch.

Vlhkosť pod 5 % spôsobuje poškodzovanie dreva vznikom trhlín, odlúpením a pod. (VORREITER 1949).

Podľa GÜNZERODTA (1988) pri valcovaní je nutné riadiť proces deformácie s ohľadom na modifikáciu mikroštruktúry dreva a fyzikálnych vlastností. Deformácia je funkciou hustoty, homogenity, vlhkosti a orientácie vlákien ako aj parametrov valcovania. Pri valcovaní hrubého materiálu (20 mm) boli pozorované koncentrácie napätia blízko povrchu, ktoré sa prejavovali zvlhčením povrchu. Jav autor interpretoval rozdielmi v pružnosti jarného a letného dreva.

Pri trvalom namáhaní dreva (aj ak sú vonkajšie sily menšie ako sila na medzi úmernosti) vznikajú okrem pružných deformácií aj plastické a deformácie pružné v čase.

Pri krátkodobom zaťažení dreva je vzťah medzi napätím a deformáciou vo všetkých prípadoch namáhania lineárny po medzu úmernosti. Nad medzou úmernosti po medzu pevnosti je priebeh nelineárny a okrem pružných deformácií vznikajú deformácie pružné v čase (oneskorené) a trvalé (plastické).

Prejav deformácie dreva obecné najlepšie popisuje Burgesov model (GUNARDS *a kol.* 1972; KOLLMANN, COTE 1968). Celková deformácia Burgesovho telesa je

$$\varepsilon_c = \varepsilon_{pr} + \varepsilon_{p\check{c}} + \varepsilon_{pl}, \quad (2)$$

kde  $\varepsilon_{pr}$  je pomerná pružná deformácia,  
 $\varepsilon_{p\check{c}}$  - pomerná pružná deformácia v čase,  
 $\varepsilon_{pl}$  - pomerná plastická deformácia.

## MATERIÁL A METODIKA

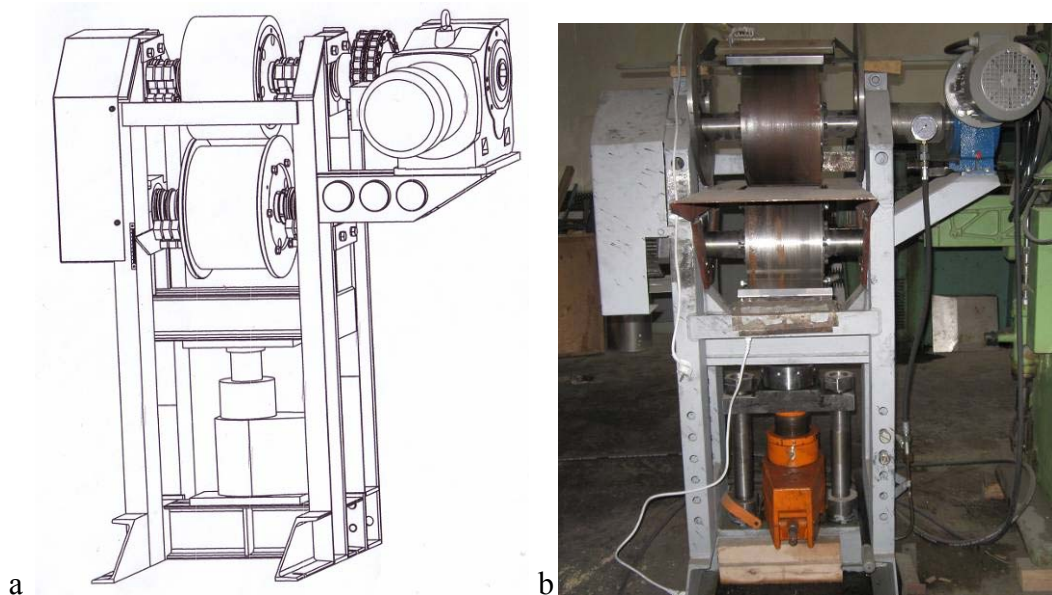
### Príprava skúšobných vzoriek

Na experimenty sa použilo drevo z buka lesného (*Fagus sylvatica, L.*), ktoré je vhodné pre technologické metódy tvárnenia. Skúšobné telesá mali plošné rozmery  $100 \times 600$  mm a hrúbku 3 až 4 mm – dyhy, resp. 8 až 8,6 mm – lamely.

Vzorky boli klimatizované na vlhkosť 8, 16 a 30 %. Valcovanie sa vykonalo pri teplotách vzoriek 25, 90 a 150 °C. Ohrev na teplotu 90 a 150 °C sa uskutočnil IČ žiarením.

### Experimentálne zariadenie

Valcovacie zariadenie je riešené ako jednoduchá valcovacia stolica s dvomi hnanými valcami. Navrhnuté a realizované valcovacie zariadenie (obr. 1) je určené pre kontinuálny proces valcovania, dýh, lamiel a prírezov.



Obr. 1 Valcovacie zariadenie, a – schéma, b – fotografia.  
Fig. 1 Rolling device, a - scheme, b – photography.

Základné parametre valcovacieho zariadenia:

lisovací tlak (regulovateľný) 0–15 MPa,  
šírka lisovacích valcov 200 mm,  
priemer lisovacích valcov 300 mm,  
výkon pohonu valcov 1,1 kW,  
otáčky  $16 \text{ min}^{-1}$ .

Valcovacia sila sa vypočítala zo vzťahu:

$$F = p_{man} \cdot S_{piestu} \quad (3)$$

kde  $p_{man}$  je manometrický tlak v hydraulického valci,  $S_{piestu}$  je plocha piestu.

Prepočet manometrického tlaku hydraulického generátora na špecifický tlak valcov pôsobiaci na valcovaný materiál sme vykonali podľa vzťahu

$$p_{\text{šp}} = \frac{F}{S_{\text{záberu}}} \quad (4)$$

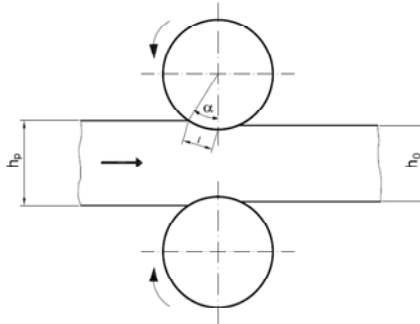
kde  $F$  je valcovacia sila,

$S_{\text{záberu}}$  – plocha záberu valca s materiálom, t.j plocha na ktorú valce pôsobia tlakom.

Plocha záberu závisí od dĺžky kontaktu valca s materiálom na jeho vstupnej strane a od jeho šírky (obr. 2).

$$S_{\text{záberu}} = l \cdot \text{š} \quad (5)$$

kde  $l$  je dĺžka kontaktu valca s materiálom,  $\text{š}$  – šírka valcovaného materiálu.



**Obr. 2** Zmena hrúbky materiálu a jeho kontakt s valcami počas valcovania.  $h_p$  – hrúbka pred valcovaním,  $h_0$  – hrúbka po valcovaní.

**Fig. 2** Material thickness change and its contact with roller during rolling process.  $h_p$  – thickness before rolling,  $h_0$  – thickness after rolling.

Zvolené hodnoty valcovacích síl pôsobiacich na valcovaný materiál – dyhy a lamely 40, 55 a 80 kN sa dosiahli pri manometrických tlakoch 5 , 7 a 10 MPa, čomu zodpovedali špecifické tlaky valcov približne 30, 40 a 50 MPa.

### Metodika experimentov

Zhust'ovanie valcováním sa spravidla uskutočňuje pri jednom prechode materiálu sústavou viacerých dvojíc valcov, alebo jednou dvojicou valcov, pri viacerých prechodoch materiálu. Z dôvodov jednoduchšej konštrukcie zariadenia sme v našich experimentoch zvolili druhý spôsob.

Počet prechodov valcami vyplýva z vlastností valcovaného materiálu, parametrov valcovania a vyžadovanej rozmerovej zmeny. V našom prípade sme počet prechodov stanovili na 2, 4, 16 a pri zvolených parametroch valcovania sledovali zmeny hrúbky dých a lamiel. Tlak lisovania zodpovedal zvolenému manometrickému tlaku 5,7 a 10 MPa. Vzorky boli zaťažované pri dvoch prechodoch tlakom odpovedajúcim manometrickému tlaku 5 MPa, pri 4 prechodoch rozdielnym tlakom (2 prechody manometrický tlak 5 MPa, 2 prechody 7 MPa) a pri 16 prechodoch pri prvých štyroch tlakom zhodným s predchádzajúcim prípadom a pri zostávajúcich dvanástich prechodoch tlakom odpovedajúcim manometrickému tlaku 10 MPa.

Experimenty pri každom zvolenom počte prechodov sa uskutočnili na 16 vzorkách. Hrúbka každej vzorky sa merala v dvoch miestach pred valcovaním a tiež po skončení valcovania a klimatizácie valcovaného materiálu. Pomernú zmenu hrúbky sme vypočítali podľa rovnice (1).

Klimatizácia sa uskutočnila pri teplote 25 °C a pri relatívnej vlhkosti 40 % čomu zodpovedá rovnovážna vlhkosť dreva 8 %.

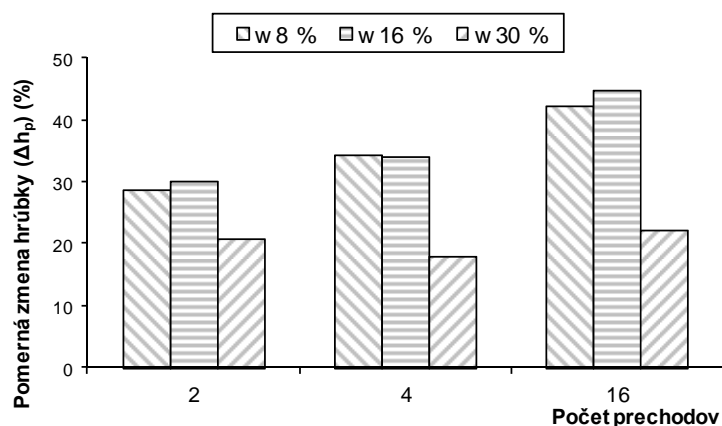
## VÝSLEDKY

Výsledky meraní sú uvedené v tab. 1. Závislosti pomernej zmeny hrúbky valcovaných dých a lamiel od počtu prechodov pri daných hodnotách merného špecifického tlaku, pre rôzne teploty valcovania, vlhkosti a hrúbky valcovaného materiálu sú uvedené na obr. 2 až 5.

Tab. 1 Parametre valcovania a valcovaného materiálu.

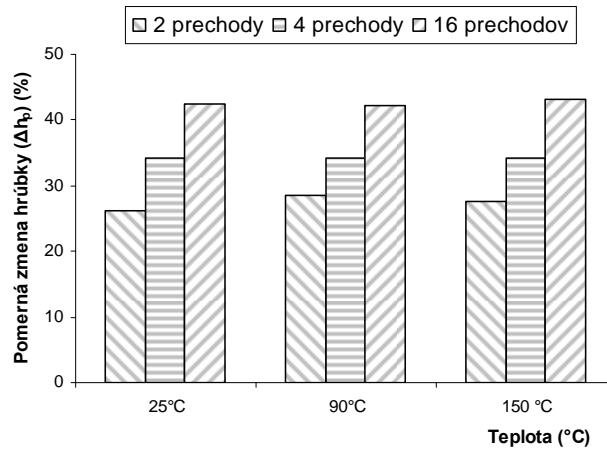
Tab. 1 Rolling and rolled material parameters.

Teplota valcovania $t$ (°C)	Vlhkosť $w$ (%)	Počet prechodov	Hrúbka vzoriek 3–4 mm			Hrúbka vzoriek 8–8,6 mm		
			Tlak $p$ (MPa)	Počiatočná hrúbka $h_p$ (mm)	Konečná hrúbka $h_k$ (mm)	Tlak $p$ (MPa)	Počiatočná hrúbka $h_p$ (mm)	Konečná hrúbka $h_k$ (mm)
25	8	2	33,1	3,6	2,6	34,2	8,1	7,23
		4	40,6	3,6	2,4	34,4	8,1	6,41
		16	53,5	3,4	2,0	37,2	8,1	5,18
	16	2	36,8	3,6	2,9	27,9	8,7	7,41
		4	44,1	3,5	2,5	34,4	8,4	6,73
		16	53	3,6	2,2	39,6	8,4	5,78
	30	2	48,9	3,6	3,1	35,1	8,5	7,72
		4	52,9	3,7	3,0	43	8,5	7,45
		16	60,1	3,7	2,6	50,8	8,6	6,93
90	8	2	32,5	3,5	2,5	28,5	8,2	6,93
		4	40,4	3,6	2,4	32,8	8,0	6,11
		16	52,8	3,5	2,0	38,6	8,1	5,36
	16	2	31,1	3,6	2,5			
		4	40,2	3,7	2,5			
		16	49,8	3,7	2,1			
	30	2	37,1	3,6	2,9			
		4	55,6	3,8	3,1			
		16	71,1	3,8	3,0			
150	8	2	32,9	3,5	2,5			
		4	41	3,6	2,4			
		16	51,3	3,6	2,1			



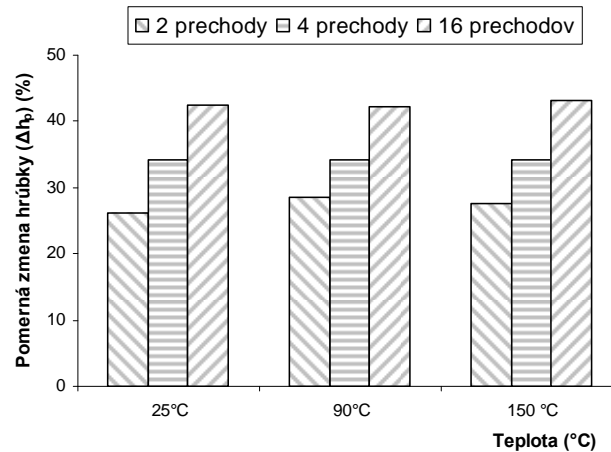
Obr. 3 Pomerná zmena hrúbky valcovaných dých v závislosti od počtu prechodov pri teplote valcovania 25 °C a vlhkostiach dých (w) 8, 16 a 30 %.

Fig. 3 Relative thickness changes of compressed wood by rolling depend on the number of rolling machine passes at temperature 25°C and moisture contents tested at 8, 16, and 30 (%).



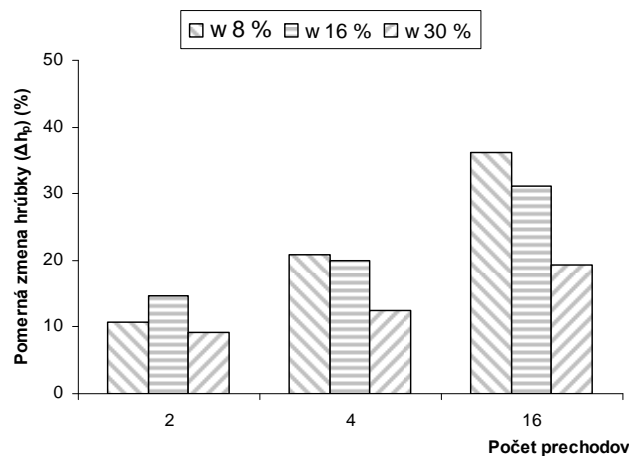
Obr. 4 Pomerná zmena hrúbky valcovaných dých v závislosti od počtu prechodov pri teplote valcovania 90 °C, a vlhkostiach dých (w) 8, 16 a 30 %.

Fig. 4 Relative thickness changes of compressed wood by rolling depend on the number of rolling machine passes at temperature 90 °C and moisture contents tested at 8, 16, and 30 (%).



Obr. 5 Pomerná zmena hrúbky valcovaných dých v závislosti od teploty valcovania pri vlhkosti dých (w) 8 % a pri 2, 4 a 16 prechodoch.

Fig. 5 Relative thickness changes of compressed wood by rolling depend on temperature at the moisture contents 8 % and number of rolling machine passes 2, 4 and 16.



Obr. 6 Pomerná zmena hrúbky valcovaných lamiel v závislosti od počtu prechodov pri teplote valcovania 25 °C a vlhkosti lamiel (w) 8, 16 a 30 %.

Fig. 6 Relative thickness changes of compressed wood by rolling depend on number of rolling machine passes at the temperature 25 °C and moisture contents 8, 16 and 30 %.

## DISKUSIA

Z nameraných hodnôt. uvedených v tab.1, a z údajov znázornených na obr. 2 až 5 vyplýva, že priemerné hodnoty pomernej zmeny hrúbky dýh a lamiel s rastúcim počtom prechodov valcami sa vo všetkých prípadoch výrazne zvýšili. Účinok počtu prechodov valcami narastal pri nižšej vlhkosti vzoriek, s výnimkou prípadu, keď sa valcoval materiál pri teplote 90 °C a vlhkosti 16 %. Pri valcovaní dýh pri teplote 25 °C a vlhkosti 8 % sa dosiahli najlepšie výsledky. Po 2, 4 a 16 prechodoch pomerné zmeny hrúbky boli 24, 36 a 42 %. S rastúcim počtom prechodov sa zvyšoval aj špecifický tlak z hodnoty 30 MPa pri dvoch prechodoch na hodnoty 40 MPa (pri 4 prechodoch) a 50 MPa (pri 16 prechodoch). K výnimke došlo pri teplote valcovania 90 °C a vlhkosti dyhy 30 %.

Obecná tendencia vplyvu rastúceho počtu prechodov valcami na zvyšovanie pomernej zmeny hrúbky platila aj pre 8 mm lamely. Dosiahnuté hodnoty pomernej zmeny hrúbky lamiel boli nižšie ako pri dyhách, avšak prevládali aj nižšie špecifické tlaky valcovania. Pri valcovaní lamiel sa technicky nedosiahli podobné parametre špecifického tlaku ako pri valcovaní dýh, preto sa vzájomne nedajú výsledky presne porovnávať.

Zvýšenie teploty dýh z 25 °C na 150 °C prakticky veľkosť pomernej zmeny hrúbky dýh neovplyvnilo. Avšak zvýšenie teploty lamiel z 25 °C na 90 °C, pri ich vlhkosti 8 % a počte prechodov dva a štyri spôsobilo aj zvýšenie zmeny pomernej hrúbky lamiel.

Pomerná zmena hrúbky dýh a lamiel pri teplote 25 °C s rastúcou vlhkosťou klesala. Platilo, že pri hodnotách  $w$ : 8 – 16 – 30 %, boli hodnoty  $\Delta h_p$ : 42 – 40 – 31 %, pričom však zvýšenie vlhkosti dýh z 8 % na 16 % spôsobilo len malý pokles pomernej zmeny hrúbky.

Z experimentov vyplynulo, že skúmané materiály – dyhy a lamely o hrúbke 3 až 4 (mm), resp. 7,5 až 8 (mm) sa správajú tak, že ich pomerná zmena hrúbky vplyvom rastúcej vlhkosti klesá.

Vplyvom rastúcej teploty sa pomerná zmena hrúbky dýh o vlhkosti 8 % nemenila.

Údaje o technologických parametroch valcovania dreva sa v literatúre vyskytujú v malom rozsahu a pre dyhy o väčšej hrúbke ako 2 mm chýbajú úplne. Vyššie uvedené výsledky týkajúce sa vplyvu vlhkosti sú v zhode s poznatkami lisovania dreva. Napríklad CHUCHRJANSKIJ (1949) konštatuje, že zvýšením vlhkosti sa pružná deformácia zvyšuje a deformácia trvalá sa znižuje. Potvrdili to aj experimenty v práci KOSZEGI *a kol.* (2000), avšak to, že sa zvýšenie teploty neprejavilo zvýšením pomernej zmeny hrúbky, čo pri zanedbaní zosychania zodpovedá pomernej plastickej deformácii dýh, nie je v súlade s poznatkami známymi z lisovania dreva, že s rastúcou teplotou rastie aj plastickej deformácia. Odôvodniť to možno tým, že pri valcovaní je ohrev krátkodobý, čo znižuje účinok tepla na zmenu plastickej deformácie dreva.

S pomernou zmenou hrúbky materiálu súvisí pomerná plastickej deformácia, pričom sa tieto veličiny v našich podmienkach valcovania a merania, pri vlhkosti dýh a lamiel 8 % a teplote 25 °C rovnali. Optimalizácia valcovacieho procesu spočíva v maximalizácii trvalej, plastickej deformácii dreva pri ekonomicky únosnom počte prechodov.

## ZÁVER

Pre priemyselnú prax valcovania dýh o hrúbke 3 až 4 (mm) a lamiel 8 až 8,6 (mm) možno odporučiť vlhkosť 8 %, teplotu 25 °C, špecifický tlak valcov 30 až 40 MPa a 4 prechody valcami. Tento počet je na základe vykonaných experimentálnych prác optimálny. Ďalšie zvýšenie počtu prechodov nevyvoláva podstatnú zmenu hrúbky. Navrhnuté parametre sú optimálne aj z hľadiska stability rozmerov valcovaného materiálu.

## LITERATÚRA

- GONG M. – NAKATANI M. – YANG Y. – AFZAL M. 2006. Maximum ratios of softwoods produced in eastern Canada. Proceedings of the 9<sup>th</sup> World Conference on Timber Engineering. 2006, Portland, USA. On Proceedings CD.
- GREEN, D.W. *et al.*, 1999. Wood handbook – wood as an engineering material, Chapter 4 and 19. Wood as an engineering material; Forest Products laboratory, Forest service USDA, MADISON; 463 s.
- GUNARDS, V. *a kol.* 1972. Über das Walzen von mit Ammoniak behandelten, Holztechnologie. 4: 209–216.
- GUNZERODT, H. *a kol.*, 1988. Compression rokliny of Sitka spruce and Douglas fir. Forest Prod. Journal, 38(2): 16–18.
- CHUCHRJANSKIJ, P. N. 1953. Zušľacht'ovanie dreva. Časť 1 Lisovanie dreva. 5. zväzok Technologie dreva. Bratislava : Práca, 156 s.
- KOLLMANN, F. 1955. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. 2.zv., Berlin : Springer Verlag. 1183 s.
- KOLLMANN, F., COTE, W. 1968. Principles of Wood Science and Technology. Berlin, Heidelberg, New York : Springer-Verlag. 552 s.
- KOSZEGI, L., ZEMJAR, J., ŠTEVEK, P. 2000. Rozmerová stabilita dreva tvárneného lisovaním a plastifikovaného mikrovlnovým ohrevom. Acta facultatis xylogologiae Zvolen, 2000, 42: 99–107.
- VORREITER, L. 1949. Holztechnologisches Handbuch. Band 1. Allgemeines, Holzkunde, Holzschutz und Holzverwertung. Wien : Verlag Georg Frame. 537 s.

## Pod'akovanie

Autori vyjadrujú pod'akovanie agentúre VEGA SR za finančnú podporu pri riešení projektu V1/0329/09, v rámci ktorého vznikol tento príspevok.

## Adresa autorov

Ing. Slavomír Makovíny  
Prof. Ing. Ján Zemiar, PhD.  
Technická univerzita vo Zvolene  
Drevárska fakulta  
Katedra nábytku a drevárskych výrobkov  
T. G. Masaryka 24  
960 53 Zvolen  
Slovensko  
imakoviny@gmail.com  
zemiar@vsld.tuzvo.sk