

## VLHKOSTNÉ PROFILY BUKOVÉHO DREVA PO PLASTIFIKÁCIH MIKROVLNOVÝM OHREVOM

### MOISTURE PROFILES IN BEECH WOOD AFTER PLASTICIZING BY MICROWAVE HEATING

Zemiar Ján – Gašparík Miroslav – Kuruc Lukáš

#### ABSTRACT

In this article we deal with the investigation of beech wood plasticized by microwave heating. The data searched were wood moisture and moisture profile. This moisture profile was monitored in two directions: parallel with virtual flowline of magnetrons and perpendicular to virtual flowline of magnetrons at radial and tangential placing of specimens in relation to given virtual flowline.

**Key words:** microwave heating, beech wood, moisture profile, plasticizing.

#### ÚVOD

Plastifikácia dreva je zložitý fyzikálno-chemický proces, pri ktorom za súčasného pôsobenia tepla a vody (prípadne chemických látok) dochádza k zmene jeho štruktúry, čo sa navonok prejavuje zmenou jeho vlastností. Účinkom plastifikácie sa zvyšuje plasticosť dreva, pričom sa znižujú jeho pevnostné vlastnosti pri zachovaní jeho celistvosti za súčasnej zmeny hlavných zložiek lignín – sacharidovej matrice dreva (POŽGAJ et al, 1993).

Sú známe rôzne metódy plastifikácie. Popri tradičných (hydrotermické metódy, vysokofrekvenčný ohrev) sa pre daný účel uplatnenia ukazuje zaujímavým využitie mikrovlnového ohrevu.

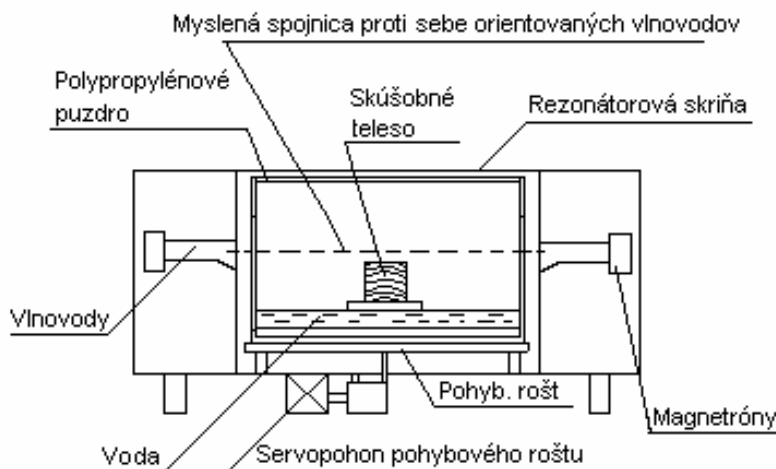
Mikrovlnový ohrev je zvláštnym druhom dielektrického ohrevu. V tomto prípade vzniká v dielektriku teplo v dôsledku polarizácie materiálu, avšak vyznačuje sa niektorými zvláštnosťami. V oblasti mikrovlnového pásma frekvencií 300 MHz až 300 GHz sa už ohrev nedá aplikovať pracovným kondenzátorom. Je to zároveň výhodou tohto ohrevu, lebo prebieha v uzavretých priestoroch – dutinových rezonátoroch alebo vo vlnovodoch. K intenzívnej absorpcii energie elektromagnetického poľa vodou dochádza práve v pásme mikrovlnových frekvencií, preto je mikrovlnový ohrev vlhkého dreva alebo lepenej škáry veľmi účinný (MAKOVINY, 1997).

Ohrevom dreva sa mení jeho teplota a vlhkosť. Príspevok je orientovaný na zistenie vlhkostného profilu ako dôležitého ukazovateľa ovplyvňujúceho ohýbateľnosť dreva.

## EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Experimentálne práce spočívali v sledovaní vybraných činiteľov (počiatočná vlhkosť dreva a spôsob uloženia telies v plastifikačnom zariadení) na vlhkosť a vlhkosťný profil skúšobných telies. Plastifikácia prebiehala v špeciálnom mikrovlnovom zariadení, v ktorom z dôvodu obmedzenia úniku vlhkosti dreva počas ohrevu bolo uložené polypropylénové puzdro z časti naplnené vodou (obr.1). Zisťovala sa priemerná vlhkosť skúšobných telies pred a po plastifikácii mikrovlnným ohrevom a rozloženie vlhkosti v skúšobných telesách po plastifikácii mikrovlnným ohrevom.

K experimentom boli použité bukové hranolčeky o rozmeroch  $25 \times 25 \times 100$  mm. Hranolčeky boli upravené na dve rôzne počiatočné vlhkosti, a to na vlhkosť zodpovedajúcu čerstvému stavu dreva (priemerná vlhkosť danej skupiny bola 75,7%) a vlhkosť okolo 30% (priemer 31,3%). Hranolčeky oboch vlhkosťných skupín sa plastifikovali v mikrovlnovom zariadení nad vodou v dvoch polohách, pri ktorých ich priečny prierez bol orientovaný radiálne alebo tangenciálne k smeru myšlenej spojnice proti sebe orientovaných vlnovodov magnetrónov (obr.1), čo v ďalšom budeme označovať ako radiálne uloženie ( $U_R$ ) a tangenciálne uloženie ( $U_T$ ). Po plastifikácii boli z hranolčekov vymanipulované skúšobné telesá o rozmeroch  $25 \times 25 \times 30$  mm, na ktorých sme zisťovali vlhkosťný profil v smere spojnice magnetrónov ( $S_{II}$ ) a v smere kolmom na spojnicu magnetrónov ( $S_{\perp}$ ).



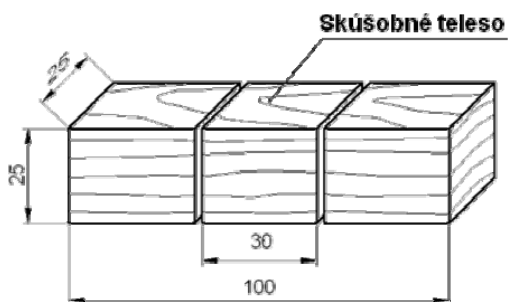
**Obr. 1** Schematické znázornenie mikrovlnového plastifikačného zariadenia (GAŠPARÍK, 2006).  
**Fig. 1** Schematic illustration of microwave plasticizer device (GAŠPARÍK, 2006).

Každá zo základných skupín obsahovala 20 skúšobných telies, kde na každý skúmaný variant pripadalo 10 telies.

Experiment pozostával z nasledujúcich krokov:

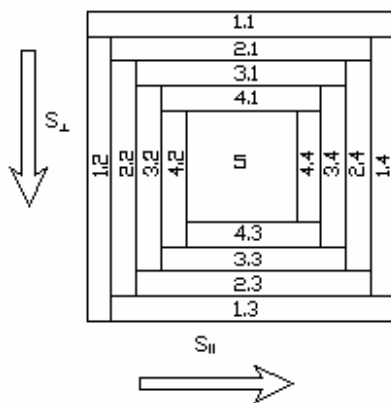
1. Zistenie hmotnosti hranolčekov, skúšobných telies, segmentov a zostávajúcich častí po delení hranolčekov v rôznych štádiách experimentu s presnosťou na 0,01g.

2. Plastifikácia bukových hranolčekov o rozmeroch  $25 \times 25 \times 100$  mm v mikrovlnovom zariadení o výkone  $6 \times 750$ W (návrh a realizácia Makovíny, I.) v čase 6 min (čas stanovený na základe skúmania maximálnych deformácií v tlaku pozdĺž vlákien).
3. Vymanipulovanie skúšobných telies rozmerov  $25 \times 25 \times 30$  mm zo strednej časti hranolčeka (obr.2).



**Obr. 2** Vymanipulovanie skúšobných telies rozmerov  $25 \times 25 \times 30$  mm z hranolčeka  
**Fig. 2** Preparing of testing specimens with dimensions  $25 \times 25 \times 30$  mm from joist

4. Sekanie skúšobných telies v pozdĺžnom smere na segmenty a ich označovanie (obr.3).



**Obr. 3** Princíp sekania skúšobného telesa a označovanie segmentov (KURUC, 2007).  
**Fig. 3** Principle of specimen cutting and marking of segments (KURUC, 2007).

5. Vysušenie zostávajúcich častí a segmentov na vlhkosť v absolútne suchom stave pri teplote  $103 \pm 2$  °C.
6. Výpočet vlhkosti telies pred plastifikáciou a vlhkosti segmentov po plastifikácii s presnosťou na 0,1%.

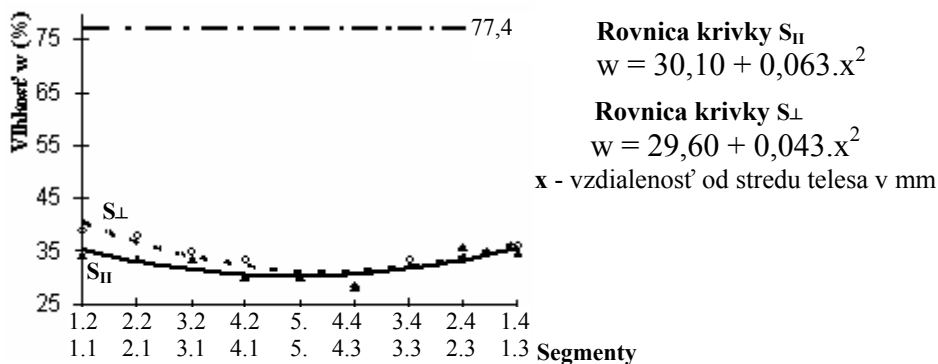
## VÝSLEDKY

Na základe zvolenej metodiky výsledky vyjadrujú počiatočnú vlhkosť dreva a vlhkosť segmentov po plastifikácii. Hodnotili sme vlhkosťový profil segmentov v smere spojnice magnetrónov ( $S_{\parallel}$ ) a v smere kolmom na spojnicu magnetrónov ( $S_{\perp}$ ) v rámci skúšobných telies s rôznou počiatočnou vlhkosťou telies.

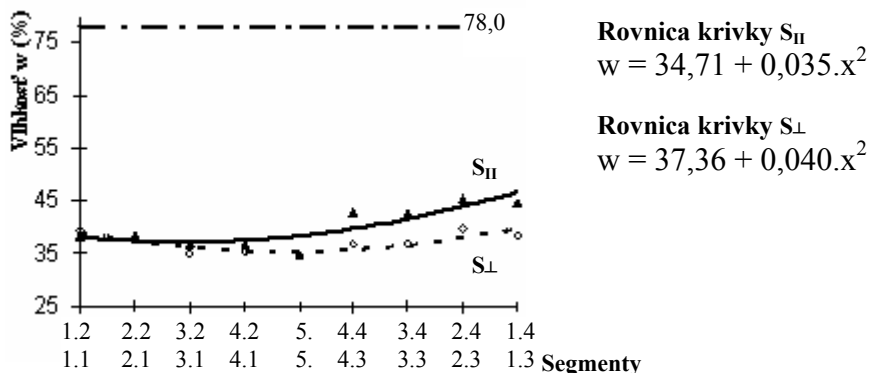
### Vlhkosť a vlhkosťové profily

Skúšobné telesá s počiatočnou vlhkosťou zodpovedajúcou čerstvému stavu (obr.4):

a)



b)



**Obr. 4** Graf vlhkosťového profilu skúšobných telies v smere spojnice magnetrónov (krivka  $S_{\parallel}$ ) a v smere kolmom na spojnicu magnetrónov (krivka  $S_{\perp}$ ), a – pri radiálnom uložení telies ( $U_R$ ), b – pri tangenciálnom uložení telies ( $U_T$ )

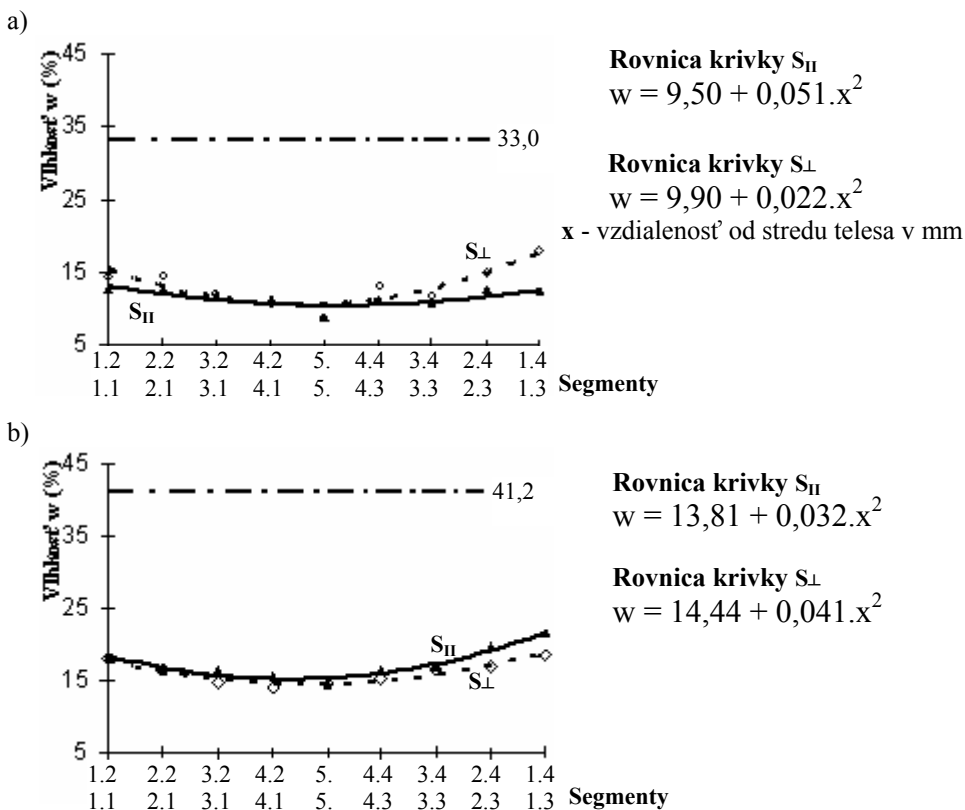
**Fig. 4** Graph of moisture profile in testing specimens in direction parallel with virtual flowline of magnetrons (curve  $S_{\parallel}$ ) and direction perpendicular to virtual flowline of magnetrons (curve  $S_{\perp}$ ), a – at radial placing of specimens ( $U_R$ ), b – at tangential placing of specimens ( $U_T$ )

- vlhkosťový profil v smere spojnice magnetrónov  $S_{\parallel}$   
(direction parallel with virtual flowline of magnetrons  $S_{\parallel}$ ),
- - - - - vlhkosťový profil v smere kolmom na spojnicu magnetrónov  $S_{\perp}$   
(direction perpendicular to virtual flowline of magnetrons  $S_{\perp}$ ),
- - - - - priemerná počiatočná vlhkosť telies  
(average initial moisture of specimens)

Z údajov uvedených na obr. 4 vyplýva:

- Priemerná vlhkosť telies pred plastifikáciou pri radiálnom uložení (obr. 4a) bola 77,4 % a po plastifikácii sa znížila na 32,0 % (vlhkosť segmentov v smere spojnice magnetrónov), resp. 33,4 % (vlhkosť segmentov v smere kolmom na spojnicu magnetrónov). Pri tangenciálnom uložení (obr.4b) sa vlhkosť znížila zo 78,0 % na 38,9 % (vlhkosť segmentov v smere spojnice magnetrónov), resp. 36,6 % (vlhkosť segmentov v smere kolmom na spojnicu magnetrónov).
- Krivka vlhkovstného profilu pri oboch uloženiach má parabolický charakter v oboch smeroch vo vzťahu k spojnicu magnetrónov, pričom výraznejšie rozdiely medzi uloženiach a smermi sa nepreukázali.

Skúšobné telesá s počiatočnou vlhkosťou okolo 30% (obr.5):



Obr. 5 Graf vlhkovstného profilu skúšobných telies v smere spojnice magnetrónov (krivka  $S_{II}$ ) a v smere kolmom na spojnicu magnetrónov (krivka  $S_L$ )  
a – pri radiálnom uložení telies ( $U_R$ ),  
b – pri tangenciálnom uložení telies ( $U_T$ )

Fig. 5 Graph of moisture profile in testing specimens in direction parallel with virtual flowline of magnetrons (curve  $S_{II}$ ) and direction perpendicular to virtual flowline of magnetrons (curve  $S_L$ )  
a - at radial placing of specimens ( $U_R$ ),  
b - at tangential placing of specimens ( $U_T$ )

Zo zistených výsledkov a výsledkov uvedených na obr. 5 vyplýva:

- Priemerná vlhkosť telies pred plastifikáciou pri radiálnom uložení (obr. 5a) bola 33,0% a po plastifikácii sa znížila na 10,4% (vlhkosť segmentov v smere spojnice magnetrónov), resp. 11,5% (vlhkosť segmentov v smere kolmom na spojnicu magnetrónov). Pri tangenciálnom uložení (obr. 5b) bola vlhkosť 41,2% a po plastifikácii sa znížila na 16,2%, resp. 15,4%.
- Krivka vlhkového profilu pri radiálnom a tangenciálnom uložení má parabolický charakter v oboch smeroch vo vzťahu k spojnici magnetrónov.

## DISKUSIA

K vykonaným experimentom orientovaných na skúmanie mikrovlnového ohrevu na zmenu vlhkosti dreva a k dosiahnutým výsledkom uvedených v predchádzajúcom texte môžeme uviesť nasledovné zovšeobecnenie a špecifiká.

Za najvhodnejšiu vlhkosť pre ohýbanie dreva sa považuje vlhkosť v rozmedzí 25 – 30 %, pretože pevnostné vlastnosti dreva, jeho plastickosť a malý alebo žiadny obsah voľnej vody pri tejto vlhkosti sú optimálne pre ohýbanie. Z dosiahnutých výsledkov vyplýva, že vo všetkých prípadoch bola priemerná vlhkosť a vlhkosť segmentov po plastifikácii nižšia ako priemerná vlhkosť pred plastifikáciou; tento rozdiel bol oveľa väčší pri telesách s počiatočnou vlhkosťou zodpovedajúcou čerstvému stavu ako v prípade telies s počiatočnou vlhkosťou okolo 30 %. V dôsledku toho, že v priebehu plastifikácie dochádza k výraznému poklesu vlhkosti dreva, je pre plastifikáciu mikrovlnovým ohrevom vhodnejšia vyššia počiatočná vlhkosť dreva ako je žiaduca počas jeho ohýbania.

Zo zvolených vlhkovstných hladín pre plastifikáciu menej vhodným variantom je počiatočná vlhkosť telies okolo 30 %, a to pri oboch spôsoboch uloženia, kde pri daných podmienkach dochádzalo k značnému vysušeniu dreva a konečná vlhkosť bola len 16 %. Drevo s touto počiatočnou vlhkosťou, aj napriek jeho plastifikácii nad vodnou hladinou, sa presuší natoľko, že nemusí byť vhodné na ohýbanie. Z tohto dôvodu sme vylúčili hlbšie skúmanie plastifikácie dreva bez prítomnosti vody v polypropylénovom puzdre. Výsledky po predbežných overovacích skúškach plastifikácie bez vody nám ukázali, že proces má skôr charakter intenzívneho sušenia ako plastifikácie. Pri zvolenom čase ohrevu dochádzalo k značnému vysušeniu až degradácii štruktúry dreva.

Skúmanie vlhkovstného profilu ukázalo, že krivky vlhkovstných profilov pri oboch sledovaných smeroch ( $S_{II}$  a  $S_{\perp}$ ) boli vo všetkých prípadoch veľmi podobné a majú parabolický charakter. Segmenty najbližšie k stredu mali najnižšiu priemernú vlhkosť, zatiaľ čo okrajové mali priemernú vlhkosť po plastifikácii najvyššiu.

I keď za nedostatok mikrovlnového ohrevu sa považuje určitá nerovnomernosť ohrevu (Makovíny, 1999), v danom prípade sa prejavila iba medzi jednotlivými skúmanými zónami v skúšobnom telese. Neprejavila sa medzi polohami uloženia telesa vo vzťahu k spojnici magnetrónov, a ani medzi anatomickými smermi dreva na zvolenej dĺžke telesa. Príčiny danej skutočnosti môžu byť rôzne – vytvorenie relatívne rovnomerného elektromagnetického poľa v mieste telesa, ktoré bolo vymanipulované z hranolčeka, malý objem skúmaného dreva a relatívne dlhý čas ohrevu, čo viedlo k určitému vyrovnaniu teploty v dreve vedením tepla, a tým aj vlhkosti, časový odstup medzi ukončením ohrevu a zistením vlhkosti (hmotnosti), prípadne ďalšie.

Vlhkovstné profily pri mikrovlnovom a teplovzdušnom ohreve sú rozdielne. Na základe literárnych poznatkov (Trebula, 1997), pri teplovzdušnom ohreve má vlhkovstný profil v priečnom priereze dreva opačný gradient, t.j. najnižšia vlhkosť je v okrajových zónach dreva a najvyššia v stredových, zatiaľ čo pri mikrovlnovom ohreve pri skúmaných

podmienkach sa najvyššia vlhkosť dosiahla v okrajových zónach a najnižšia v stredových zónach.

Vyššie popísané vlhkosťné profily telies sú charakteristické pre telesá zvolených rozmerov 25 × 25 × 30 mm. V praxi sú rozmery prírezov na ohýbanie rôzne. Od menších, v porovnaní s nami zvolenými rozmermi, až k maximálnym, spravidla nepresahujúcim priečny rozmer 50 × 50 mm. Predpokladáme, že zväčšovaním priečného prierezu telies by sa zväčšili rozdiely medzi stredovou a vonkajšími zónami..

Vlhkosťné profily závisia aj od času plastifikácie, resp. ohrevu. Nami zvolený čas ohrevu 6 min. bol stanovený na základe predchádzajúcich experimentov orientovaných na zisťovanie deformácii dreva v tlaku pozdĺž vlákien ako dôležitého ukazovateľa pre posúdenie účinku plastifikácie pre ohýbanie na princípe pásnice (oceľovej podložky) a čelného tlaku. Tento čas sa ukázal ako maximálny pre plastifikáciu telies nad vodou, a to z dôvodu, že po jeho prekročení začína dochádzať k výraznému tepelnému namáhaniu až k degradácii dreva.

Iným ukazovateľom, ktorý zvyrazňuje rozdiely medzi teplovzdušným a mikrovlnovým ohrevom, sú napätia v dreve počas ohrevu a ich dôsledky. Pri klasickom teplovzdušnom ohreve, v dôsledku napätí, sa najčastejšie prejavujú trhliny v povrchových vrstvách dreva. Príčiny týchto trhlín sú v intenzívnejšom vysúšaní povrchových zón na rozdiel od stredových zón. Opačným prípadom je mikrovlnový ohrev, kde je najväčší pokles vlhkosti v stredových zónach. Presušenie v tomto prípade sa prejavilo taktiež trhlínami, ktoré boli orientované okolo stredu telesa. Pri vizuálnom posúdení trhlín môžeme konštatovať, že ich rozmery neboli veľké, ale ich počet pri nízkej vlhkosti v stredovej zóne telesa bol značný.

## ZÁVER

Z výsledkov vyplýva, že pri plastifikácii dreva mikrovlnovým ohrevom má počiatočná vlhkosť dreva podstatný vplyv na pokles vlhkosti dreva. Aj napriek plastifikácii dreva nad vodou nastal vo všetkých prípadoch výrazný pokles vlhkosti. Na základe tohto môžeme konštatovať, že pre plastifikáciu dreva mikrovlnovým ohrevom sa javí vhodnejšia vyššia počiatočnú vlhkosť ako 30 %.

Pri všetkých variantoch sme dosiahli rovnaký priebeh vlhkosťného profilu, ktorého tvar možno charakterizovať ako parabolický s najnižšou vlhkosťou v stredových zónach a najvyššou v okrajových zónach dreva. Neprejavili sa výraznejšie rozdiely v rozložení vlhkosti v smere spojnice magnetrónov a v smere kolmom, ani medzi radiálnym a tangenciálnym anatomickým smerom dreva.

## LITERATÚRA

- GAŠPARÍK, M.(2006): Plastifikácia dreva mikrovlnovým ohrevom pre účely jeho ohýbania. [Písomná práca k dizertačnej skúške] Zvolen, TU. 56 s.
- KURUC, L.(2007): Plastifikácia dreva mikrovlnovým ohrevom pre účely jeho ohýbania. [Diplomová práca] Zvolen, TU.. 105 s.
- MAKOVÍNÝ, I.(1997): Elektrické teplo v drevárskej praxi. Elektrické teplo v drevárskej praxi : Plastifikácia, ohýbanie a lamelovanie dreva. Zborník prednášok, Zvolen, TU. 110 s.
- MAKOVÍNÝ, I.(1999): Smer a perspektívy aplikácie elektrického tepla v drevárskej praxi. Drevo, roč. 54, s. 59-63.
- POŽGAJ et al.(1993): Štruktúra a vlastnosti dreva. Bratislava, Príroda. 468 s
- TREBULA, P.(1997): Sušenie a hydrotermická úprava dreva, 2.vydanie, Zvolen, TU. 255s. ISBN 80-228-0574-2

## SUMMARY

Test results have shown that the initial moisture of wood has an important influence on change of wood moisture during plasticizing by microwave heating. Plasticizing, even though placed was above water level, is characterized by significant decrease of moisture in all cases. So we can recommend that wood should have higher initial moisture than 30% at plasticizing by microwave heating.

All variants reached the same behavior of moisture profile, whose shape was parabolic i.e. the lowest values of moisture were in central zone and the highest ones were in zones near surface. The differences were significant neither between direction parallel with virtual flowline of magnetrons and direction perpendicular to virtual flowline of magnetrons nor between radial and tangential directions of wood.

### Podakovanie

Autori ďakujú agentúre VEGA za finančnú podporu pri riešení projektu „Termomechanická úprava dreva a drevných materiálov – zmeny povrchu a štruktúry a ich vzťah k procesu tvárnenia, lepenia a povrchovej úpravy náterovými látkami“ (1/3510/06), v rámci ktorého vznikol prezentovaný príspevok.

### Adresa autorov:

prof. Ing. Ján Zemiar, PhD.  
Ing. Miroslav Gašparík  
Ing. Lukáš Kuruc  
Katedra nábytku a drevárskych výrobkov  
Drevárska fakulta Technickej univerzity vo Zvolene  
T. G. Masaryka 24  
960 53 Zvolen  
Slovensko  
[zemiar@vsld.tuzvo.sk](mailto:zemiar@vsld.tuzvo.sk)  
[gathis@inmail.sk](mailto:gathis@inmail.sk)