

VLIV MIKROVLNNÉ PLASTIFIKACE, PLOŠNÉHO SLISOVÁNÍ A VYSOKOTEPLTNÍ ÚPRAVY NA ROVNOVÁŽNOU VLHKOST A SESÝCHÁNÍ DŘEVA SMRKU ZTEPILÉHO (*Picea abies* (L.) KARST.)

L. Merenda, A. Nasswettrová

Došlo: 29. července 2009

Abstract

MERENDA, L., NASSWETTROVÁ, A.: *Influence of microwave plasticization, areal compression and high-temperature treatment on equilibrium moisture content and shrinkage of Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.)*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2010, LVIII, No. 1, pp. 107–114

The wood is heterogenous material compound from substance of cell walls and air. It is colloidal capillary-cellular material with ortogonal anisotropy (Babiak, 1976). The wood has possibility to bound liquids and gases into the structure. Due to this the wood is hygroskopik material leads to changes in dimensions and volume of wood generating at adsorption and desorption of water molecules into the wood. The dimentional changes evoked by changes in moisture content (bounded water) during shrinkage and sweeling have the biggest importance. Shrinkage is making the linear dimensions, area and volume shorter and smaller (Požgaj a kol., 1997). Hygroscopicity and dimensional instability is possible to affect by drying or modification (Horáček, 2004).

Wood modification is a process where it causes improvement in material properties. Aimed changes in chemical structure of wood leads to change in material properties. The aim of modification is to reduce negative properties and to improve positive properties. Wood with changed properties has different parameters which it is necessary to investigate.

Plasticization as temporary modification of material properties leads to softer wood due to release of intercellular bonds mainly in middle lamela. It makes subsequent processing as areal compression possible (Bouajila et al., 2006). To ther plasticization is necessary to heat up the wood on the certain temperature. The microwave heating is very useful for this heating. It has smaller expenses and time consumption.

Pressing or areal compression perpendicular to the gain in radial direction presses the wood and makes it's density bigger. Areal compression is responsible for changes in submicroscopic, microscopic and makroskopic levels of wood structure. Changes in wood structure leads to changes in linear directions during shrinking.

Plasticized and compressed wood has many of excellent properties, but it has some negative properties too that high temperature treatment reduces.

The aim of this article is to find and compare equilibrium mositure content, linear shrinkage in radial, tangential and longitudinal direction of the native spruce wood (*Picea abies* L. Karst.) with the same values of microwave plasticized, areal compressed in radial direction perpendicular to the gain and high temperature treated Spruce wood.

Picea abies (L.) Karst., microwave plasticization, pressing of wood, high temperature treatment, linear schrinkage, equilibrium moisture content

Dřevo představuje heterogenní materiál složený z hmoty buněčných stěn a vzduchu. Má charakter koloidního kapilárně-pórovitého materiálu s orto-

gonální anizotropií (Babiak, 1976). Z ontogeneze elementů dřeva plyne jeho schopnost poutat těmito stavebními látkami buněčné stěny kapaliny a plyny.

Z těchto důvodů je dřevo navlhavý, hygroskopický materiál, který má sklon k hygroexpenzi rozměrů, projevující se při adsorpci a desorpci vody dřevem. Největší význam mají tvarové a rozměrové změny vyvolané změnami vlhkosti v rozsahu vody vázané, tedy bobtnání a sesychání. U sesychání jde o proces definovaný zmenšováním lineárních rozměrů, plochy nebo objemu dřeva (Požgaj a kol., 1997). Hygroskopicitu a rozměrovou nestálost lze ovlivnit sušením nebo modifikací vlastností dřeva (Horáček, 2004).

Modifikace dřeva představuje procesy, které se používají na zlepšení materiálových vlastností. Cílená změna struktury dřeva, jeho chemického složení, vede ke změně materiálových vlastností. Cílem modifikace je potlačit nebo úplně redukovat negativní vlastnosti a zlepšit pozitivní vlastnosti. Materiál s takto změněnými vlastnostmi má zcela jiné parametry a ty je potřeba prozkoumat.

Plastifikace jako dočasná změna materiálových vlastností vede k tomu, že se dřevo stává plastičtější v důsledku uvolnění mezibuněčných vazeb, zejména v oblasti střední lamely a to pak usnadňuje změnu struktury následným mechanickým lisováním dřeva (Bouajila et al., 2006). K plastifikaci je třeba dřevo (lignin) ohřát na určitou teplotu. K tomuto účelu je velmi výhodné použít mikrovlnné záření. To snižuje jak energetické, tak časové nároky.

Rovnoměrné plošné lisování dřeva kolmo na průběh vláken v radiálním směru stlačuje dřevo a zvyšuje jeho hustotu. Stlačováním dřeva dochází ke změně struktury dřeva na submikroskopické, mikroskopické i makroskopické úrovni. Se změnou struktury souvisí i změna hodnot sesychání v jednotlivých lineárních směrech a s nimi spojených koeficientů sesychání.

Plastifikované a slisované dřevo má řadu vynikajících vlastností, ale také vykazuje negativní vlastnosti, které do značné míry eliminuje vysokoteplotní modifikace. Působením vysoké teploty dochází ke snížení počtu volných hydroxylových skupin celulózy, což způsobuje pokles rovnovážné vlhkosti dřeva v závislosti na parametrech prostředí, ve kterém je dřevo dlouhodobě uloženo (Chovanec, 1992). Poklesem rovnovážné vlhkosti dřeva se snižují parametry lineárního sesychání v jednotlivých směrech.

Předmětem předkládané práce je zjistit a porovnat hodnoty rovnovážné vlhkosti dřeva, hodnoty objemového sesychání a hodnot částečného lineárního sesychání ve směru podélném, radiálním a tangenciálním spolu s odpovídajícími hodnotami koeficientů lineárního sesychání u dřeva smrku ztepilého (*Picea abies* L. Karst.) mikrovlnně plastifikovaného a slisovaného kolmo na průběh vláken v radiálním směru a vysokoteplotně modifikovaného dřeva a porovnat tyto hodnoty s nativním neupraveným smrkovým dřevem.

MATERIÁL A METODIKA

Pro experimentální analýzu byly vybrány zkušební vzorky ze dřeva smrku ztepilého (*Picea abies*

L. Karst.). Vzorky byly vyrobeny z radiálního řeziva zaručující speciální ortotropní charakter o rozměrech 20 × 20 × 250 mm, bez odklonu vláken. Tělesa neobsahovala vady, které by výrazným způsobem ovlivňovaly sesychání dřeva. Hustota dřeva byla 433,7 kg.m⁻³ (při vlhkosti dřeva 0%).

Zkušební vzorky se klimatizovaly na vlhkost o 2–4% vyšší, než je mez nasycení buněčných stěn. Meze nasycení buněčných stěn (32% u smrku ztepilého) bylo dosaženo umístěním zkušebních těles nad hladinu destilované vody do vzduchotěsného exsíkátoru, ve kterém byla relativní vzdušná vlhkost blízká nasycení ($\phi = 99,5\%$). Požadované vlhkosti v rozmezí 34–36% bylo dosaženo máčením vzorků v destilované vodě; a následně byly uloženy v hermeticky uzavíratelné nádobě po dobu 14 dní, aby došlo k vyrovnání vlhkosti v celém průřezu. Konečná vlhkost byla kontrolována gravimetricky.

Takto připravená zkušební tělesa byla vystavena elektromagnetickému záření mikrovlnného pásma s využitím mikrovlnné trouby Sencor SMW 7223. V prostoru mikrovlnné trouby se zkušební vzorky ohřály na teplotu 70–80 °C. Magnetron neboli generátor vysokofrekvenční elektromagnetické energie pracoval s kmitočtem 2 450 MHz. Při výkonu magnetronu 900 W byla doba ohřevu 45 s.

Po dobu ohřevu došlo ke ztrátě vlhkosti zkušebních těles o 2–5%. Teplota nad 70 °C a vlhkost okolo meze nasycení buněčných stěn způsobily plastifikaci ligninu a tím umožnily plošné slisování zkušebních těles, aniž by došlo ke zjevnému mechanickému poškození dřeva.

Takto plastifikovaná zkušební tělesa byla umístěna do lisovacích přípravků, ve kterých byla pomocí hydraulického lisu rovnoměrně plošně slisována ve směru radiálním kolmo na průběh dřevních vláken. Stupeň komprimace byl 50%. Před slisováním byl poměr jarního a letního dřeva 64%/ 36%, po slisování byl tento poměr 42%/ 58%. Průměrná hustota slisovaného dřeva při jeho vlhkosti 0% byla 878,8 kg.m⁻³. Slisovaná tělesa byla rozměrově zafixována a společně s lisovacím přípravkem vyjmuta z lisu. V lisovacích přípravcích byla konvenčně vysušena při teplotě 60 °C na vlhkost 8%. Po vyjmutí zkušebních těles z lisovacích přípravků byly vzorky rozděleny na dvě skupiny. Jedna skupina byla vysušena na vlhkost 0% při 103 ± 2 °C. Druhá skupina se dále neupravovala. Vzorky zbavené veškeré vody vázané byly umístěny do multifunkčního experimentálního autoklávu MEXA – 1. Tato hermeticky uzavíratelná komora umožňuje konvenční ohřev až do 250 °C a změnu tlaku pracovního prostředí. Při podtlaku 0,03 až 0,05 MPa a teplotě 200 °C byly vzorky vysokoteplotně upravovány po dobu čtyř hodin. Po ochlazení byly obě skupiny vzorků klimatizovány na rovnovážnou vlhkost odpovídající relativní vlhkosti vzduchu 50% a teplotě 21 °C. Vysokoteplotně upravené vzorky dřeva měly hustotu 896,1 kg.m⁻³ (při vlhkosti dřeva 0%).

Poté byly z modifikovaných těles vytvořeny zkušební vzorky o rozměrech 10 × 20 × 30 mm. Následně byla u těchto vzorků zjištěna hmotnost dřeva.

K vysušení vzorků byla použita laboratorní teplovzdušná sušárna. Po vysušení vzorků při teplotě $103 \pm 2^\circ\text{C}$ opět došlo ke změření rozměrů a zvažení vzorků. Z těchto hodnot byla zjištěna rovnovážná vlhkost dřeva dle normy ČSN 49 0103 Vlhkost.

Stanovení hodnot částečného lineárního sesychání v jednotlivých směrech u skupin vzorků vysokoteplotně upravených a neupravených se provádělo dle normy ČSN 49 0105 Lineární zoschýnavost. Výpočet objemového sesychání vycházel z rozměrů v podélném, radiálním a tangenciálním směru, a to v souladu s normou ČSN 49 0129 Dřevo – Metóda zjišťovania objemového zosychania. U obou skupin vzorků se provedlo měření lineárních rozměrů s přesností na 0,01 mm. Po změření rozměrů sekušební vzorky zvažily s přesností na 0,01 g dle platných norem.

Koeficienty lineárního sesychání ve směru podélném, radiálním a tangenciálním a koeficient objemového sesychání byl vypočten jako podíl jednotlivých hodnot sesychání a vlhkosti, která odpovídala rovnovážné vlhkosti dřeva dle norem ČSN 49 0105 a ČSN 49 0129.

Hodnoty rovnovážné vlhkosti dřeva, hodnot lineárního sesychání v jednotlivých směrech, hodnot objemových sesychání a koeficientů lineárního a objemových sesychání byly následně porovnány se stejnými hodnotami pro dřevo smrku ztepilého, které nebylo nijak upraveno.

VÝSLEDKY

Dlouhodobým uložením vzorků v prostředí o dané vzdušné relativní vlhkosti a teplotě vzduchu dojde k ustálení vlhkosti dřeva na určité hodnotě. Vlhkost, která odpovídá stavu vlhkostní rovnováhy, se označuje jako rovnovážná vlhkost dřeva. U dřeva

smrku ztepilého, nativního, nijak neupraveného, je hodnota mediánu rovnovážné vlhkosti dřeva 7,51 %. Rovnovážná vlhkost smrkového dřeva rovnoměrně plošně slisovaného je 7,61 %. Rozdíl mezi neupraveným a slisovaným smrkovým dřevem je malý, a to pouze 0,1 %. Naproti tomu rovnovážná vlhkost dřeva rovnoměrně plošně slisovaného, a navíc vysokoteplotně upraveného, je 5,84 %, tedy o 1,67 % méně než u dřeva pouze slisovaného. Podrobný popis statistického zhodnocení rovnovážné vlhkosti dřeva uvádí Tab. I.

S poklesem rovnovážné vlhkosti dřeva klesají i rozměrové změny vlivem sesychání. Hodnoty částečného lineárního sesychání a koeficientů lineárního sesychání v jednotlivých směrech pro skupiny vzorků vysokoteplotně upravených a neupravených byly statisticky vyhodnoceny. Popisná statistika uvedená v Tab. II poskytuje základní informace o hodnotách lineárního sesychání v jednotlivých směrech a objemového sesychání vysokoteplotně neupraveného, tedy pouze mikrovlnně plastifikovaného a rovnoměrně plošně slisovaného na 50 % své původní tloušťky. Medián lineárního sesychání v podélném směru smrkového dřeva, které nebylo vysokoteplotně upraveno, je 0,06 % (Tab. II). Hodnota lineárního sesychání v radiálním směru je 3,95 % a v tangenciálním směru je tato hodnota 2,73 %. Hodnota objemového sesychání je pak 6,9 %.

Z daných hodnot lineárního sesychání a zjištěné rovnovážné vlhkosti dřeva byly vypočítány koeficienty lineárního sesychání a tyto hodnoty byly statisticky zpracovány, jak uvádí Tab. III. Hodnota mediánu koeficientu sesychání ve směru podélném je 0,01 %/1 %, v radiálním směru je tato hodnota 0,52 %/1 % a v tangenciálním se rovná 0,36 %/1 %. Hodnota objemového sesychání u dřeva, které bylo

I: Popisná statistika hodnot rovnovážné vlhkosti dřeva neupraveného, pouze slisovaného a slisovaného, následně vysokoteplotně upraveného
I: Descriptive statistics of equilibrium moisture content of native wood, areal compressed wood and next high temperature treated wood

SM	Počet vzorků	Střední hodnota [%]	Medián [%]	Min. [%]	Max. [%]	25 % Kvantil [%]	75 % Kvantil [%]	Směr. Odchylka [%]	Variační koeficient [%]
smrk ztepilý neupravený	40	7,49	7,51	6,9	8,09	7,37	7,64	0,27	3,56
smrk rovnoměrně plošně slisován	174	7,59	7,61	6,02	8,12	7,44	7,76	0,24	3,22
smrk rovnoměrně plošně slisován a vysokoteplotně upraven	149	5,83	5,84	5,31	6,6	5,74	5,91	0,17	2,95

II: Popisná statistika lineárního sesychání v jednotlivých směrech a objemového sesychání smrkového dřeva vysokoteplotně neupraveného
II: Descriptive statistics of linear shrinkage in single directions and volume shrinkage of native wood, areal compressed wood and next high temperature treated wood

SM	Počet vzorků	Střední hodnota [%]	Medián [%]	Min. [%]	Max. [%]	25 % Kvantil [%]	75 % Kvantil [%]	Směr. Odchylka [%]	Variační koeficient [%]
β_L	174	0,06	0,06	0,03	0,10	0,03	0,07	0,02	36,25
β_R	174	3,99	3,95	1,70	5,83	3,61	4,33	0,59	14,81
β_T	174	2,71	2,73	1,67	4,33	2,49	2,94	0,37	13,56
β_V	174	6,87	6,90	3,95	8,49	6,45	7,29	0,68	9,84

III: Popisná statistika koeficientů lineárního sesychání v jednotlivých směrech a objemového sesychání smrkového dřeva vysokoteplotně neupraveného

III: Descriptive statistics of linear shrinkage coefficients in single directions and volume shrinkage of spruce wood untreated by high temperature

SM	Počet vzorků	Střední hodnota [%/1%]	Medián [%/1%]	Min. [%/1%]	Max. [%/1%]	25 % Kvantil [%/1%]	75 % Kvantil [%/1%]	Směr. Odchylka [%/1%]	Variační koeficient [%]
$K_{\beta L}$	174	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	36,47
$K_{\beta R}$	174	0,53	0,52	0,21	0,8	0,48	0,58	0,08	15,17
$K_{\beta T}$	174	0,36	0,36	0,23	0,56	0,33	0,38	0,05	12,87
$K_{\beta V}$	174	0,90	0,90	0,49	1,1	0,85	0,96	0,09	9,75

IV: Popisná statistika sesychání v jednotlivých směrech a objemového sesychání smrkového dřeva vysokoteplotně upraveného

IV: Descriptive statistics of shrinkage in single directions and volume shrinkage of spruce wood treated by high temperature.

SM	Počet vzorků	Střední hodnota [%]	Medián [%]	Min. [%]	Max. [%]	25 % Kvantil [%]	75 % Kvantil [%]	Směr. Odchylka [%]	Variační koeficient [%]
β_L	149	0,05	0,06	0,03	0,10	0,03	0,06	0,02	37,15
β_R	149	3,32	3,31	2,18	4,38	3,07	3,62	0,41	12,22
β_T	149	1,64	1,65	1,06	2,64	1,54	1,74	0,19	11,41
β_V	149	5,08	5,05	3,93	6,13	4,78	5,40	0,45	8,89

V: Popisná statistika koeficientů lineárního sesychání a objemového sesychání v jednotlivých směrech smrkového dřeva vysokoteplotně upraveného

V: Descriptive statistics of linear shrinkage coefficients in single directions and volume shrinkage of spruce wood treated by high temperature.

SM	Počet vzorků	Střední hodnota [%/1%]	Medián [%/1%]	Min. [%/1%]	Max. [%/1%]	25 % Kvantil [%/1%]	75 % Kvantil [%/1%]	Směr. Odchylka [%/1%]	Variační koeficient [%]
$K_{\beta L}$	149	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	36,93
$K_{\beta R}$	149	0,57	0,57	0,36	0,75	0,53	0,62	0,07	12,15
$K_{\beta T}$	149	0,28	0,28	0,19	0,45	0,26	0,3	0,03	11,73
$K_{\beta V}$	149	0,87	0,87	0,68	1,06	0,83	0,92	0,08	8,96

pouze mikrovlnně plastifikováno a slisováno bez vysokoteplotní úpravy, má hodnotu 0,9%/1%.

V Tab. IV je uvedena popisná statistika stejné fyzikální veličiny jako v Tab. II, avšak pro smrkové dřevo, které bylo po slisování upraveno vysokou teplotou (200 °C). Hodnota mediánu lineárního sesychání v podélném směru je stejná jako pro vysokoteplotně neupravené dřevo, tedy 0,06 %. V radiálním směru došlo vlivem úpravy vysokou teplotou k poklesu hodnoty lineárního sesychání oproti dřevu pouze slisovanému, a to o 0,64 % na hodnotu 3,31 %. Stejně je tomu ve směru tangenciálním, kdy hodnota lineárního sesychání klesla o 1,08 % na hodnotu 1,65 %. Objemové sesychání vycházející z hodnot sesychání v jednotlivých lineárních směrech bude mít rovněž nižší hodnotu než před vysokoteplotní úpravou. Konkrétně je tato hodnota 5,05 %, což je pokles o 1,85 %.

Tab. V uvádí hodnoty koeficientů lineárního sesychání a objemového sesychání pro stejný (vysokoteplotně modifikovaný) materiál. V podélném směru je hodnota mediánu koeficienty sesychání 0,01 %/1%, v radiálním směru je tato hodnota 0,57 %/1% a ve směru tangenciálním se tato

hodnota rovná 0,28 %/1%. Koeficient objemového sesychání pak má hodnotu 0,87 %/1%.

Pro přehlednost jsou v Tab. VI uvedeny hodnoty mediánů lineárního sesychání ve směrech podélném, radiálním, tangenciálním a hodnoty mediánů objemového sesychání pro smrkové dřevo, které bylo pouze mikrovlnně plastifikováno a rovnoměrně plošně slisováno, a pro dřevo, které bylo následně vysokoteplotně upraveno včetně rozdílu mezi těmito hodnotami.

VI: Přehled hodnot sesychání (mediánů) včetně jejich rozdílu pro vysokoteplotně upravené a neupravené smrkové dřevo (hodnoty v %)

VI: Summary of linear shrinkage values (medians) including their differences for high-temperature treated and untreated spruce wood (in %)

SM	Vysokoteplotně neupraveno	Vysokoteplotně upraveno	Rozdíl
β_L	0,06	0,06	0,00
β_R	3,95	3,31	0,64
β_T	2,73	1,65	1,08
β_V	6,90	5,05	1,85

Tab. VII. uvádí přehled hodnot mediánů koeficientů lineárního sesychání u vzorků vysokoteplotně upravených i neupravených. Z tabulky je znatelné, že hodnota (medián) koeficientu lineárního sesychání v podélném směru u smrkového dřeva vysokoteplotně upraveného je shodná s hodnotou smrkového dřeva vysokoteplotně neupraveného. V radiálním směru je hodnota koeficientu lineárního sesychání o 0,05%/1% vyšší u vysokoteplotně upraveného dřeva, naopak v tangenciálním směru je hodnota vyšší u vysokoteplotně neupraveného dřeva, a to o 0,08%/1%. Hodnota koeficientu objemového sesychání je pro oba soubory vzorků téměř shodná. Vyšší je u vysokoteplotně neupraveného dřeva, a to pouze o 0,03%/1%.

VII: Přehled hodnot koeficientů sesychání (mediánů) včetně jejich rozdílu vysokoteplotně upraveného a neupraveného smrkového dřeva (hodnoty v %/1%)

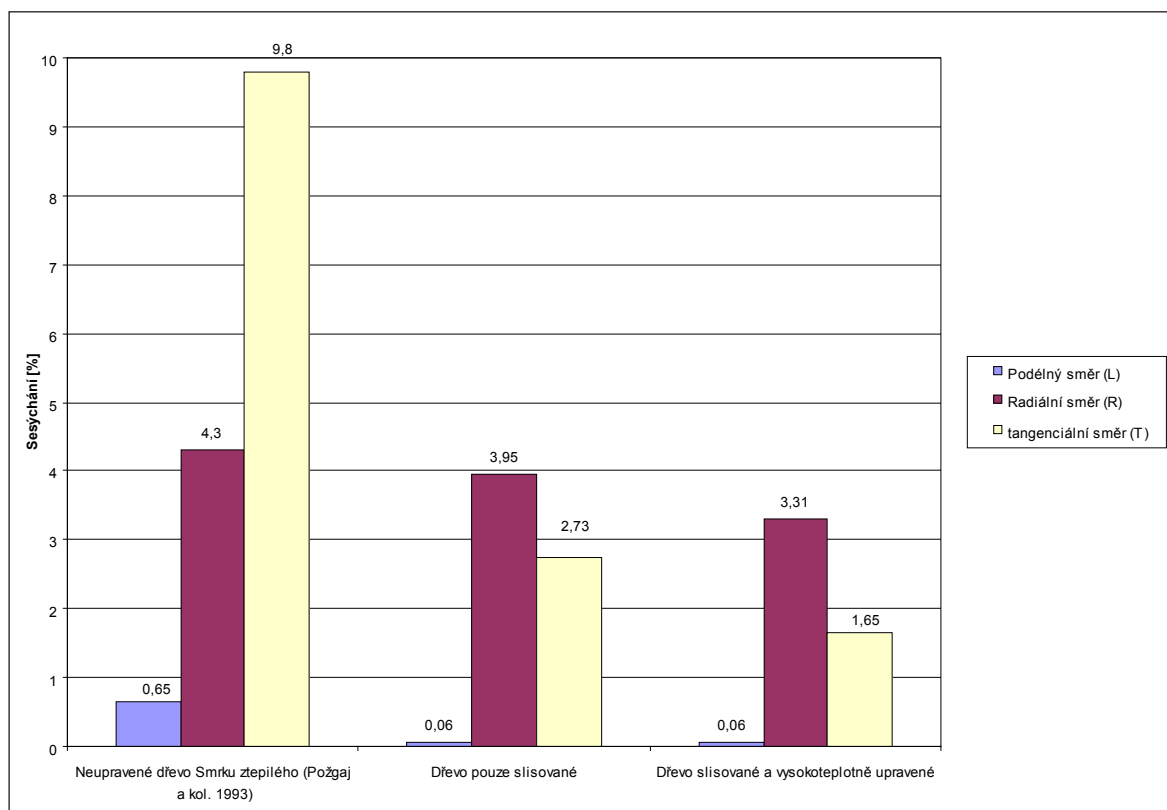
VII: Summary of linear shrinkage coefficients (medians) including their differences for high-temperature treated and untreated spruce wood (in %/1%)

SM	Vysokoteplotně neupraveno	Vysokoteplotně upraveno	Rozdíl
$K_{\beta L}$	0,01	0,01	0,00
$K_{\beta R}$	0,52	0,57	0,05
$K_{\beta T}$	0,36	0,28	0,08
$K_{\beta V}$	0,90	0,87	0,03

VIII: Srovnání hodnot lineárního sesychání vysokoteplotně upraveného a neupraveného dřeva s již publikovanými hodnotami sesychání nativního smrkového dřeva (hodnoty v %)

VIII: Comparison of linear shrinkage for high-temperature treated and untreated wood with up this time published linear shrinkage values for native spruce wood (in %)

SM	Nativní smrk (Požgaj a kol. 1993)	Vysokoteplotně neupraveno	Vysokoteplotně upraveno
β_L	0,65	0,06	0,06
β_R	4,3	3,95	3,31
β_T	9,8	2,73	1,65
Hustota při vlhkosti 0 %	0,392	0,884	0,913



1: Srovnání mediánů lineárního sesychání vysokoteplotně upraveného a neupraveného dřeva s již publikovanými hodnotami sesychání nativního smrkového dřeva dle Tab. VIII

1: Comparison of linear shrinkage medians for high-temperature treated and untreated wood with up this time published linear shrinkage values for native spruce wood (according to Tab. VIII)

Na závěr je uvedena Tab. VIII, která porovnává hodnoty lineárního sesýchání v jednotlivých směrech pro dřevo smrku ztepilého, které bylo mikrovlnně plastifikováno a rovnoměrně plošně slisováno v radiálním směru o 50% původního rozměru, a pro dřevo, které bylo dále vysokoteplotně upraveno s hodnotami nativního, nijak neupraveného smrkového dřeva, jež uvádí Požgaj a kol. (1993). Tyto hodnoty graficky znázorňuje Obr. 1.

DISKUSE

Použití vysokofrekvenční elektromagnetické energie mikrovlnného pásma (frekvence 2450 MHz) na dřevo, jehož obsah vlhkosti v buněčných stěnách je okolo 30%, způsobí polarizaci molekul vody ve struktuře dřeva obsažené. Tímto specifickým efektem dojde k ohřevu vody, sekundárně k ohřevu dřeva a následně ke zvýšení plastičnosti dřeva. Rychlá plastifikace dřeva doplněná rovnoměrným plošným slisováním má za následek změnu struktury dřeva a eliminaci anizotropního charakteru dřeva v rámci rozměrových změn. Zhušťováním dřeva dochází nejprve k pružnému a následně i k plastickému přetvoření jarního dřeva. V okamžiku dosažení určitého stavu slisování jarního dřeva dochází ke zhušťování jarního a letního dřeva současně. Při lisování plastifikovaného dřeva dochází nejen k deformaci buněčných elementů dřeva, ale především k jejich vzájemnému posunu. Tento posun se uskutečňuje na rozhraní buněčných stěn elementů dřeva, zejména ve střední lamelle. Dále pak dochází k přeskupení fibrilární struktury v rámci ligninosacharidové matrice. Fibrily celulózy jsou ve dřevě orientovány podle určitého systému, který má za následek anizotropii vlastností dřeva. Lisováním plastifikovaného dřeva dochází k odklonu vláken celulózy. Úhel mezi vlákny celulózy a podélnou osou dřeva se lisováním snižuje. To vysvětluje pokles hodnoty lineárního sesýchání v podélném směru. Oproti nativnímu dřevu smrku ztepilého je hodnota sesýchání v podélném směru pro dřevo, které bylo mikrovlnně plastifikováno a rovnoměrně plošně slisováno o 50% původního rozměru ve směru radiálním, téměř jedenáctkrát menší jak uvádí Tab. VIII.

Na velké hodnotě sesýchání v tangenciálním směru se podílejí zejména dřeňové paprsky, které jsou orientovány v radiálním směru. Sesýcháním stěn parenchymatických buněk dřeňových paprsků dochází ke změně rozměrů ve směru tangenciálním. Výzkumy, které provedli Torgovnikov a Vinden (2006), uvádějí, že intenzivní mikrovlnný ohřev ve spojení s téměř maximálním množstvím vody vázané ve struktuře dřeva způsobuje obrovský nárůst tlaku páry uvnitř dřeva a ten pak způsobuje popraskání tenkostěnných buněčných elementů dřeva, jakými jsou stěny dřeňových paprsků. Proto mikrovlnný ohřev vlhkého dřeva způsobil snížení hodnoty lineárního sesýchání ve směru tangenciálním.

K poklesu přispívá i změna struktury vlivem slisování dřeva. Po mikrovlnné plastifikaci a rovnoměrném plošnému slisování má dřevo hodnotu lineárního sesýchání v tangenciálním směru 3,6krát menší než dřevo nativní nijak neupravené. Hodnota lineárního sesýchání v radiálním směru poklesla jen minimálně oproti podélnému a tangenciálnímu směru, jak uvádí Tab. VIII. Tuto skutečnost je však třeba ještě ověřit dalšími výzkumy.

Vysokoteplotní úprava má vliv na změnu chemické struktury dřeva. 200 °C působících po dobu čtyř hodin způsobily redukci počtu -OH skupin, na které se pomocí vodíkových můstků vážou molekuly vody. Poklesem potenciálních míst, kam se může voda navazovat, má za následek pokles vlhkosti dřeva, v našem případě rovnovážné vlhkosti dřeva, jak uvádí popisná statistika v Tab. I. Vysokoteplotní úpravou došlo k poklesu rovnovážné vlhkosti dřeva o 1,77%. To má za následek i pokles hodnot lineárního sesýchání v jednotlivých směrech a objemového sesýchání, jak uvádí Tab. II a IV.

Koeficient objemového sesýchání vychází z daných hodnot rovnovážné vlhkosti dřeva a hodnot lineárního sesýchání v jednotlivých směrech. Popisná statistika v Tab. III a V uvádí přehled jednotlivých koeficientů sesýchání pro dřevo, které bylo pouze mikrovlnně plastifikováno a rovnoměrně plošně slisováno a pro dřevo, které bylo následně vysokoteplotně upraveno.

Velikost eliminace hodnot sesýchání je dána velikostí teploty a dobou působení této teploty. Dá se předpokládat, že s rostoucí teplotou a prodlužováním času jejího působení dojde k výraznějšímu poklesu hodnot sesýchání v jednotlivých směrech včetně poklesu koeficientů sesýchání. Rozdíly mezi hodnotami lineárního sesýchání u smrkového dřeva před a po vysokoteplotní úpravě uvádí Tab. VI. Přehled rozdílů mezi jednotlivými koeficienty sesýchání je uveden v Tab. VII.

Variabilita souborů vyjádřena směrodatnou odchylkou a rozptyl hodnot výběrových souborů (Tab. I.-V.) vykazují nízké hodnoty, které mají dostatečnou vypovídající hodnotu o daných způsobech modifikace dřeva na rovnovážnou vlhkost dřeva a hodnoty částečného sesýchání. Výjimkou jsou vysoké hodnoty variačních koeficientů sesýchání a koeficientů sesýchání v podélném směru. Vzhledem k tomu, že sesýchání v podélném směru vykazuje velice nízkých hodnot a rozdíl maximálních a minimálních hodnot výběrových souborů je minimální, můžeme naměřené hodnoty považovat za dostatečně konzistentní.

Lze tedy konstatovat, že mikrovlnným ohřevem a rovnoměrným plošným slisováním dojde k eliminaci anizotropního charakteru v oblasti sesýchání dřeva, které se nejvíc projevuje ve směru tangenciálním a vysokoteplotní úprava dřeva má za následek pokles hodnot sesýchání.

SOUHRN

Je možné konstatovat, že díky ohřevu pomocí elektromagnetického záření mikrovlnného pásma, následnému rovnoměrnému plošnému slisování kolmo na vlákna v radiálním směru a vysokoteplotní úpravě je možné dosáhnout snížení rozměrových změn vlivem sesychání.

Mikrovlnný ohřev způsobuje velmi rychlý nárůst teploty uvnitř dřeva, rychlý nárůst teploty má za následek zvýšení tlaku páry. Tlakem dojde k popraskání stěn parenchymatických buněk dřevných paprsků, které se podílejí na sesychání v tangenciálním směru. Během procesu lisování mikrovlnně plastifikovaného dřeva dochází k dislokaci buněčných elementů zejména v místě střední lamely a k deformaci buněk. Také dochází ke snížení odklonu fibril celulózy od podélné osy buněk. Díky těmto změnám ve struktuře dřeva jsou mikrovlnný ohřev i lisování příčinou eliminace anizotropního charakteru dřeva. Vysokoteplotní úprava má za následek změnu chemického složení dřeva. Redukuje počet hydroxylových skupin, na které se vážou molekuly vody, klesá rovnovážná vlhkost dřeva, a tím klesají hodnoty sesychání.

Ve srovnání s nativním neupraveným smrkovým dřevem má mikrovlnně plastifikované a plošně slisované dřevo menší hodnoty částečného lineárního sesychání, a to ve směru tangenciálním 3,6krát, ve směru radiálním 1,08krát a ve směru podélném téměř 11krát. Působením teploty 200 °C po dobu čtyř hodin tyto hodnoty ještě sníží. Oproti nativnímu, neupravenému dřevu smrku ztepilého je hodnota sesychání v tangenciálním směru 5,9krát a ve směru radiálním 1,3krát nižší. Vysokoteplotní modifikace snížila rovnovážnou vlhkost dřeva ze 7,61 na hodnotu 5,84, tedy o 1,77 %. Statistické zhodnocení rovnovážné vlhkosti dřeva uvedené v Tab. I. udává velice vysokou homogenitu naměřených dat. Variační koeficient nepřekračuje hodnotu 3,56 % (neupravené dřevo). Variabilita souborů vyjádřena směrodatnou odchylkou a rozptyl hodnot výběrových souborů (Tab. II, III, IV a V) vykazují nízké hodnoty, které mají dostatečnou vypovídající hodnotu o daných způsobech modifikace dřeva na rovnovážnou vlhkost dřeva a hodnoty sesychání s výjimkou hodnot sesychání a koeficientů sesychání v podélném směru. Rozptyl hodnot sesychání a koeficientů sesychání v tomto směru je mnohem vyšší, než rozptyl hodnot v radiálním resp. tangenciálním směru. Jedná se však o velice nízké hodnoty s minimálním rozptylem nemající další významnější využití.

Snížení rovnovážné vlhkosti vede nejen ke snížení rozměrových změn vlivem sesychání, ale také k nárůstu většiny mechanických vlastností dřeva, které jsou závislé na obsahu vody vázané ve dřevě. Lze předpokládat výraznější pokles hodnot sesychání a rovnovážnou vlhkost dřeva při úpravě teplotou vyšší než 200 °C a prodlužováním doby expozice.

Kombinace mikrovlnného ohřevu, rovnoměrného plošného slisování a vysokoteplotní modifikace vytváří materiál odolný náročným podmínkám. V průmyslu může být využit například v oblasti stavebně truhlářských výrobků a to zejména jako náslapná vrstva dřevěných podlah.

Picea abies (L.) Karst., mikrovlnná plastifikace, lisování dřeva, vysokoteplotní modifikace, lineární sesychání, rovnovážná vlhkost dřeva

SUMMARY

It is possible to say that an electromagnetic radiation in microwave range, subsequent areal compression perpendicular to the grain in radial direction and high-temperature treatment have impact to the decrease of dimensional changes owing to shrinkage.

Microwave heating causes very fast increase in temperature inside the wood. Fast increase in temperature results in increase of steam pressure. This pressure causes a penetration of parenchymatous cell walls of pith rays. These rays participate on shrinkage in tangential direction. There are changes in dislocation of cells mainly in intercellular layers during the pressing of microwave plasticized wood. Dislocations and deformation of cell walls cause the decrease of the angle among cellulose's fibrils and longitudinal axis of cells too. Due to these changes in wood structure the microwave heating and pressing of wood are responsible for reduction of anisotropic character of wood. The high temperature treatment leads to changes in chemical structure of wood. It reduces a number of hydroxides where the water molecules are bounded. Due to this reduction the equilibrium moisture content is decreased and with this the shrinkage is lower.

In comparison with native Spruce wood, the microwave plasticized and areal compressed wood has lower values of linear shrinkage. In tangential direction has 3,6 times lower, in radial direction 1,08times lower and in longitudinal direction almost 11times lower values. After high temperature treatment (200 °C, 4 hours) these values are even lower. Compared with native Spruce wood shrinkage in tangential direction is 5,9times lower and in radial direction 1,3times lower. High-temperature treatment have decreased equilibrium moisture content from 7.61 % about 1.77 % on 5.84 %.

Lower equilibrium moisture content decreases changes of wood size during shrinking and causes rising most of mechanical properties of wood that are dependent on moisture content in wood structure.

Greater decrease of shrinking values and equilibrium moisture content can be expected by treatment in temperature above 200 °C and longer time of exposition.

Combination of microwave heating, areal compressing of wood and high temperature heating creates material with high resistance against extreme conditions. It may be utilized for example in wood engineering products especially as a wooden floor finish.

LITERATURA

BABIAK, M., 1976: *Niektoré teplené vlastnosti smrekového dreva a z neho vyrobených materiálov*. Kandidátska dizertačná práca. Zvolen, 114 s.

BOUJILA, J., DOLE, P., JOLY, C., LIMARE, A., 2006: Some laws in lignin plasticization. *Journal of applied polymer science* 1445–1451 p. ISSN 0021-8995

HORÁČEK, P., 2004: *Model vázaného šíření vlhkostního a teplotního pole při sušení dřeva*. MZLU Brno, 126 s. ISBN 80-86386-59-7

CHOVANEK, D., OSVALD, A., 1992: *Thermal degradation of wood*. Zvolen: Technical University, 59 s. ISBN 80-228-0175-5

POŽGAJ, A., CHOVANEK, D., KURJATKO, S., BABIAK, M., 1993: *Štruktúra a vlastnosti dreva*. Bratislava: Príroda a. s., 488 s. ISBN 80-0700600-1

TORGOVNIKOV, G., VINDEN, P., 2006: *Microwave Method for Increasing the Permeability of Wood and its Application*. Advances in Microwave and Radio Frequency Processing. Berlin: Springer, 303–311 p., ISBN 978-3-540-43252-4

ČSN 49 0103 Drevo. Zjišťovanie vlhkosti

ČSN 49 0129 Drevo. Metóda zjišťovania objemového zosychania.

ČSN 49 0105 Zjišťovanie fyzikálnych a mechanických vlastností prírodného dreva. Zosychanie a napúčanie.

Adresa

Ing. Lukáš Merenda, Ing. Andrea Nasswetrová, Ústav nauky o dřevě, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: lmerenda@centrum.cz; xnasswet@node.mendelu.cz