



VLIV VYBRANÝCH FAKTORŮ NA PLASTICKÉ DEFORMACE DŘEVA

Tomáš Svoboda

Abstract

*This paper is aimed to investigate the influence of the used wood species (European beech - *Fagus Silvatica*, quaking aspen - *Populus Tremula L*), used sample thicknesses (4, 6, 10 and 18 mm), wooden mass compaction degree (10% and 20%) and cyclic loading (0 or 10,000 cycles) on the evaluation of the characteristics of the work of plastic deformation. The outcome of the paper makes evident the influence of the following factors on the plastic deformation: Beech wood has higher values of plastic deformation than aspen wood. The thickness of the material increases values of plastic deformation. The densification of wood leads to increase in values the work of plastic deformation. Cyclic loading increases the value of the plastic deformation. In beech wood is a noticeable difference between 18 mm and thicknesses of the other, which does not apply to Aspen.*

Keywords: *cyclic loading, densification, European beech, quaking aspen, plastic deformation*

ÚVOD

Dřevo je organický materiál, který se vyznačuje vysokou přirozenou odolností, dobrými mechanickými a fyzikálními vlastnostmi. Využití dřeva se v poslední době zvýšilo. Nicméně, získání dostatečného množství vhodné suroviny je čím dál častější problém dřevozpracujícího průmyslu. Při zvýšení ceny dřeva, je třeba hledat možnosti, jak nahradit dřeviny s vysokou přidanou hodnotou ze dřeviny levnější (Bekhta et al., 2016). Všeobecnou úlohou výrobního systému je přetvoření materiálů a polotovarů na výrobky s požadovanými funkčními parametry. Ve výrobním systému probíhá tedy přesně stanovená transformace vstupních hmotných veličin na hmotné veličiny výstupní. Transformační proces probíhá na základě vstupní energie a řídí jeho vstupní a zpětnovazební veličiny – řídicí informace (Gaff 2011, 2014).

Cílenou úpravou materiálu je možné do určité míry ovlivňovat jednotlivé nežádoucí vlastnosti dřeva a díky tomu rozšířit možnosti jeho uplatnění v různých odvětvích hospodářství. Modifikací vlastností dřeva mechanickou, termickou, chemickou úpravou nebo jejími kombinacemi můžeme získat materiály cílených vlastností pro jejich následné použití pro další technologické a průmyslné využití (Kurjatko et al. 2010; Gaff et al. 2010, Gaff and Gáborík 2014).

Jednou z možností jak cíleně upravit vlastnosti dřeva je jeho zhušťování. Provádět ho je možné např. pomocí válcování, čímž se změní objem a hustota dřevní hmoty (Kamke

2006). Zhušťování je používáno jak ve stavebním průmyslu, tak i v nábytkářském. (Gaff and Gašparík, 2015; Kurjatko et al. 2010; Blomberg a Persson 2007; Laine et al 2013).

Cyklické namáhání je možné simulovat v laboratorním prostředí pomocí působení cyklovače na vzorky dřeva. Při výzkumu je možné sledovat a vyhodnocovat účinky impulsů vlivu na mechanické vlastnosti dřeva (Kärenlampi et al., 2003; Gong & Smith, 2004; Salmén et al., 1985; Becker et al., 1977).

Základními faktory při sledování byly vybrané dřeviny, tloušťka, počet cyklů a stupeň zhuštění. Sledovanou veličinou při vyhodnocování laboratorních zkoušek byly pružné deformace dřeva.

MATERIÁL

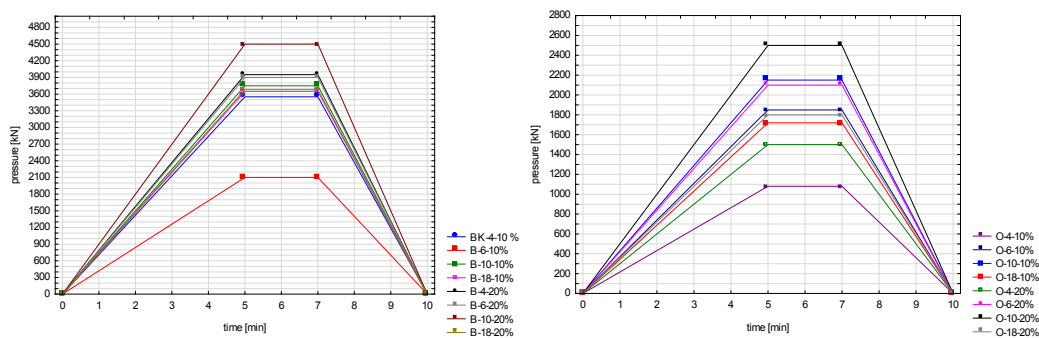
Pro přípravu zkušebních těles bylo použito dřevo buku lesního (*Fagus Silvatica L.*) a topolu osikového (*Populus tremula L.*) z regionu Polana na Slovensku.

Z vybraných dřevin byly vyrobeny lamely o rozměrech 4, 6, 10, 18 mm tloušťka, 35 mm šířka a 600 mm délka. Vzorky byly sušeny na obsah vlhkosti 8% v klimatické komoře při relativní vlhkosti 40% a teplotě 20 °C. Na takto připravených zkušebních tělesech jsme zjistili práci v rámci plastické oblasti, spotřebovanou při ohýbání komponentů lamelového dřeva před cyklickým namáháním (počet cyklů = 0) a po cyklickém namáhání (počet cyklů namáhání = 10 000). Získané výsledky jsme porovnali s výsledky naměřenými na zkušebních tělesech, které byly podrobeny 10% a 20% zhuštění. Pro každý soubor zkušebních těles bylo použito 10 zkušebních vzorků.

METODIKA

Zhušťování zkušebních těles

Zkušební tělesa, která byla určena pro zhušťování, byla lisována v hydraulickém lisu (RK Prüfsysteme MFL 1000, Německo). Proces zhuštění jednotlivých souborů zkušebních těles je znázorněn na obr. 1.



Obr. 1 Princip zhuštění jednotlivých souborů zkušebních těles

Stanovení pevnosti v ohybu a modulu pružnosti

Po cyklování vzorků se podpory nastaví dle vzorce $L_1 = 20 \times h$ (poloha podpory byla upravována v souvislosti s tloušťkami kombinací materiálů). Vzorky byly ohnuty uprostřed své délky pomocí univerzálního zkušebního stroje LPZ 100 (Tira, Německo) v souladu s

normou EN 310 (1993). Rychlost ohybu byla nastavena na 3 mm / min, aby zkouška netrvala déle než 2 min. Maximální hodnoty síly byly měřeny pomocí dataloggeru ALMEMO 2690-8 (Ahlborn GmbH, Německo).

ZPŮSOB VYHODNOCENÍ

Určení vlivu jednotlivých faktorů na ohybové vlastnosti proběho pomocí analýzy rozptylu (ANOVA) a Fischerova F-testu, které byly provedeny za použití programu Statistica 12 (Statsoft Inc., USA). Modul pružnosti byla určen v souladu s EN 310 (1993). Konverze modulu pružnosti na obsah vlhkosti 12% byla provedena v souladu s ISO 13061-4 (2014). Pevnost v ohybu byla vypočtena v souladu s EN 310 (1993). Ohýbací hodnoty pevnosti byly převedeny na obsah vlhkosti 12%, v souladu s normou ISO 13061-3 (2014). Práci plastické deformace jsme vypočítali podle rovnice (1),

$$W_{PL} = \frac{\sigma_p * (\varepsilon_p - \varepsilon_v)}{2} * V_0 \quad (1)$$

Hustota dřeva se stanoví před a po testování podle ISO 13061-2 (2014). Vlhkost vzorků byla určena a ověřena před a po testování. Tyto výpočty byly provedeny v souladu s ISO 13061-1 (2014). Sušení bylo provedeno podle ISO 13061-1 (2014).

Cyklování se provádí na cyklovacím stroji, kdy jsou zkušební tělesa namáhány cyklickým ohybem za použití zatížení v jedné ose. Pro testy byly určeny tyto počty cyklů: 0 a 10000. V průběhu předběžných experimentálních zkoušek byly zkušební vzorky namáhány statickým ohybem pro stanovení meze pevnosti a meze úměrnosti. Zkušební vzorky měly být namáhány na 90% limitu proporcionality.

VÝSLEDKY A DISKUSE

V tabulce číslo 1 jsou uvedeny průměrné hodnoty práce plastické deformace jakož i příslušný variační koeficient a pro každý sledovaný soubor vzorků hodnoty hustoty.

Tab. 1 Průměrné hodnoty sledovaných charakteristik a příslušný variační koeficient

WS	MT (mm)	DD (%)	NC	W _{PL} (J)	C _v (%)	Density (Kg/m ³)	C _v (%)	WS	MT (mm)	DD (%)	NC	W _{PL} (J)	C _v (%)	Density (Kg/m ³)	C _v (%)
BK	4	0	0	7340	17	693	5	OS	4	0	0	4016	23	400	4
BK	4	0	10000	6567	21	680	10	OS	4	0	10000	2920	22	416	8
BK	4	10	0	16867	17	665	3	OS	4	10	0	9585	32	533	9
BK	4	10	10000	13752	21	692	4	OS	4	10	10000	11594	12	539	4
BK	4	20	0	46416	24	694	5	OS	4	20	0	21055	43	528	4
BK	4	20	10000	36038	27	690	6	OS	4	20	10000	23464	50	536	8
BK	6	0	0	126665	30	735	8	OS	6	0	0	54636	61	529	2
BK	6	0	10000	120259	13	698	8	OS	6	0	10000	89180	43	519	13
BK	6	10	0	7380	24	725	9	OS	6	10	0	4104	37	421	9

BK	6	10	10000	6585	15	739	7	OS	6	10	10000	2625	63	404	4
BK	6	20	0	16350	20	703	5	OS	6	20	0	11796	19	557	7
BK	6	20	10000	18175	23	749	5	OS	6	20	10000	14204	23	584	8
BK	10	0	0	46537	36	733	4	OS	10	0	0	25707	16	564	1
BK	10	0	10000	46640	15	719	6	OS	10	0	10000	27922	43	560	6
BK	10	10	0	118248	39	744	4	OS	10	10	0	77222	50	568	5
BK	10	10	10000	144520	34	749	5	OS	10	10	10000	90062	28	581	4
BK	10	20	0	7394	21	784	4	OS	10	20	0	5214	27	488	6
BK	10	20	10000	6076	41	766	5	OS	10	20	10000	2474	60	476	14
BK	18	0	0	15030	29	751	6	OS	18	0	0	15187	20	620	10
BK	18	0	10000	16824	19	750	5	OS	18	0	10000	13507	20	580	6
BK	18	10	0	43270	27	788	3	OS	18	10	0	30215	24	604	2
BK	18	10	10000	40187	11	726	3	OS	18	10	10000	37223	27	628	14
BK	18	20	0	126804	30	747	7	OS	18	20	0	92183	21	589	7
BK	18	20	10000	207803	21	757	9	OS	18	20	10000	76103	37	594	6

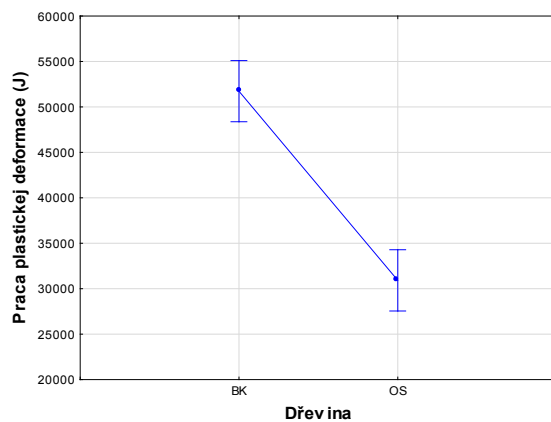
Legend: WS –Wood Samples, Material Thickness, Degree of density, Number of cycles, W_P - Práce plastickej deformacie,

Tab. 2 Základní tabulka statistických charakteristik hodnotící vliv jednotlivých faktorů jakož i jejich dvoj, troj a čtyř výrobních činitelů interakci na hodnoty meze úměrnosti

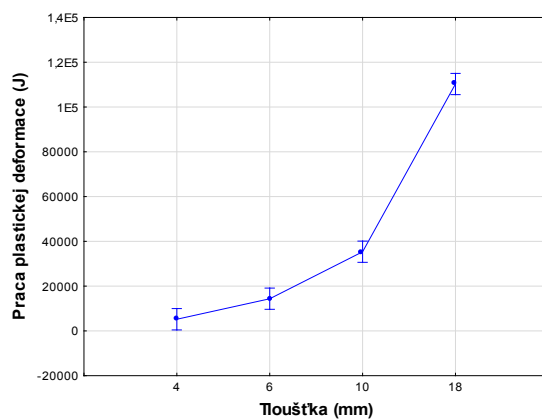
Monitored factor	Sum of squares	Degree of freedom	Variance	Fisher's F - Test	Significance level P
Intercept	4.099951E+11	1	4.099951E+11	1173.739	0.000001
1) Wood species	2.599239E+10	1	2.599239E+10	74.411	0.000001
2) Material thickness	4.092974E+11	3	1.364325E+11	390.581	0.000001
3) Degree of densification	3.296381E+09	2	1.648191E+09	4.718	0.009990
4) Number of cycles	1.640241E+09	1	1.640241E+09	4.696	0.031470
1*2*3*4	8.668733E+09	6	1.444789E+09	4.136	0.000624
Error	6.706692E+10	192	3.493069E+08		

Tab. 2 zobrazuje statistickou významnost jednotlivých faktorů. Jako statisticky významné faktory na hodnoty plastické práce se projeví všechny (druh dřeviny, tloušťka materiálu, stupeň zhuštění, počet cyklů) i jejich vzájemná interakce.

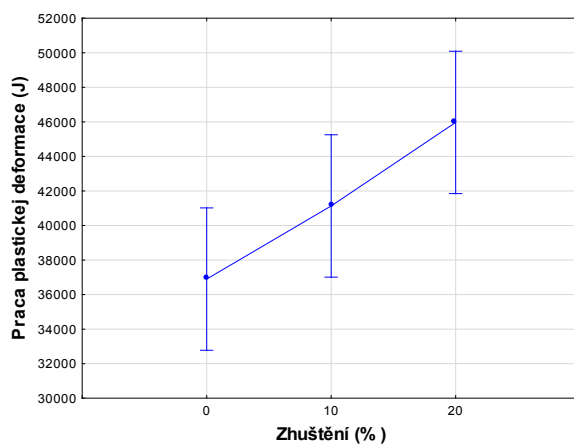
Faktor dřevina se na hodnotách práce plastické deformace projevuje tak, že je pozorován rozdíl mezi bukovým a osikovým dřevem (Fig. 2), když u bukového dřeva byly naměřeny průměrné hodnoty vyšší. Z Fig.3 je patrné, že se vzrůstající tloušťkou hodnoty práce plastické deformace stoupají.



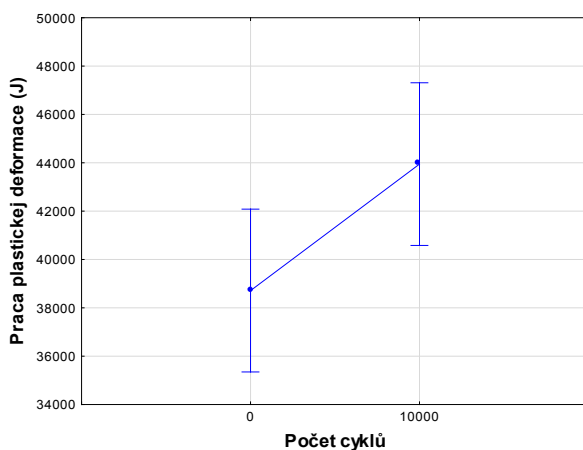
Obr. 2 Účinek druhu dřeviny na práci plastickej deformace



Obr. 3 Účinek tloušťky materiálu na práci plastickej deformace

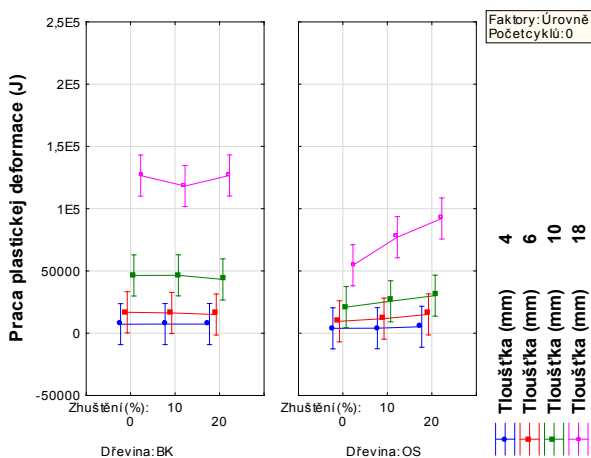


Obr. 4 Účinek stupně zhuštění na práci plastickej deformace



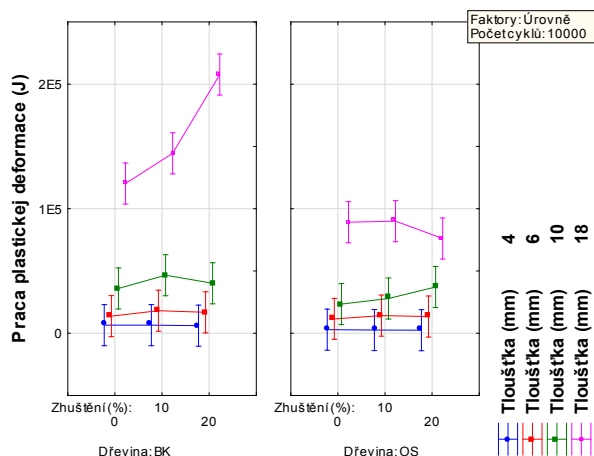
Obr. 5 Účinek počtu cyklů na práci plastickej deformace

Se zhuštěním zkušebních těles došlo ke zvýšení hodnot práce plastickej deformace. K nárůstu dochází takřka po lineární přímce. Fig. 5 zobrazuje počet cyklů a je z něho patrné, že s počtem cyklů práce pružné deformace stoupá.



Obr. 6 Účinek druhu dřeviny, stupně zhuštění a počtu cyklů na práci plastickej deformace

Fig. 6 ukazuje hodnoty necyklovaných těles. U bukových vzorků je u 6 a 10 mm nepatrný pokles hodnot se zhuštěním, zatímco u 4 mm nedochází ke změnám, u 18 mm je vidět pokles u 10 % zhuštění. U osikového dřeva se vzrůstající tloušťkou materiálu dochází ke zvětšení rozdílů mezi jednotlivými stupni zhuštění. Fig. 7 zobrazuje cyklované vzorky. Pro bukové dřevo u 4 mm vzorků se zhuštěním dochází k mírnému poklesu, u 6 a 10 mm k nárůstu mezi nezhuštěným a 10 % zhuštěním a pak k nepatrnému poklesu. 18 mm vzorky mají stoupající tendenci. U osikového dřeva platí pro 4 a 6 mm to samé jako u bukového, zatímco 10 mm se zhuštěním stoupají hodnoty práce plastickej deformace, ale u 18 mm je patrný pokles u 20 % zhuštění.



Obr. 7 Účinek druhu dřeviny, stupně zhuštění a počtu cyklů na práci plastickej deformace

ZÁVĚR

Výsledky práce poukazují na vliv vybraných faktorů (Druh dřeviny, počet cyklů namáhání, tloušťka materiálů a stupeň zhuštění) na hodnoty plastickej práce. Výsledky tvoří neocenitelný základ poznatků nezbytně potřebných při dalším vývoji materiálů na bázi dřeva. Z výsledků práce vyplývá, že buk má vyšší hodnoty plastickej deformace než osika. Čím má materiál větší tloušťku, tím jsou i vyšší hodnoty plastickej práce. Se zhuštěním dochází k nárůstu hodnot práce plastickej deformace. S cyklováním dochází ke zvýšení hodnot práce plastickej deformace. U bukoveho dřeva je patrný rozdíl mezi 18 mm a ostatními tloušťkami, což neplatí pro osiku.

LITERATURA

- Bekhta, P., Mamoňová M., Sedliačik J., a Novák I.; Anatomical study of short-term thermo-mechanically densified alder wood veneer with low moisture content. *European Journal of Wood and Wood Products*, ISSN 0018-3768. 2016
- Becker, H., Höglund H., and Tistad G. (1977). "Frequency and temperature in chip refining", *PaperijaPuu*, 3, pp. 123-130,.
- Blomberg, J., and Persson, B. (2007). "Swelling pressure of semi iso statically densified wood under different mechanical strains", *Wood Science and Technology* 41(5), 401-415. DOI: 10.1007/s00226-006-0118-1
- "4 bending strength to laminated beechwood", *BioResources* 10(1), 1506-1518. DOI: 10.15376/biores.10.1.1506-1518
- Gaff, M. (2014). „ Three-dimensional pneumatic molding of veneer,“ *Bioresources* 9(3), 5676-5687. DOI: 10.15376/biores.9.3.5676-5687
- Gaff, M.: *Projektovanie výroby nábytku*; Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2011. – 128 s.; ISBN 978-80-228-2295-4

- Gaff, M., Macek, Š., and Zemiari, J. (2010). „Model analysis of laminar materials stressed by bending“. In: *Annals of Warsaw University of Life Sciences– SGGW. Forestry and Wood Technology* No 71. Warsaw University of Life Sciences Press, Warsaw Poland, 187-193. ISSN 1898-5912.
- Gaff, M., and Gáborik, J. (2014). “Effect of cyclic loading on the elasticity of beech solid and laminated wood,” *BioResources* 9(3), 4288-4296. DOI: 10.15376/biores.9.3.4288-4296
- Gong, M. and Smith, I.(2004): “Effect of load type on failure mechanisms of spruce in compression parallel to grain”, *Wood Science and Technology* 37, pp. 435-445
- Kamke, F.A. (2006). „Densified radiate pine for structural composites“, *Maderas. Ciencia y Tecnología* 8(2), 83-92. DOI: 10.4067/S0718-221X2006000200002
- Kurjatko, S., et al.: *Parametre kvality dreva určujúce jeho finálne použitie / Stanislav Kurjatko et al.; rec. Ivan Makovíny, Štefan Šteller. - Zvolen :Technická univerzita vo Zvolene, 2010. - 352 s. :obr., tab. - APVV-0282-06. - ISBN 978-80-228-2095-0*
- Kärenlampi, P., Tynjälä, P., and Pasi-Ström (2003): “Molecular fatigue in steamed wood”, *International Journal of Fatigue* 25, pp. 489-497
- Laine, K., Rautkari, L., Hughes, M., and Kutnar, A. (2013). “Reducing the set-recovery of surface densified solid Scots pine wood by hydrothermal post-treatment”, *European Journal of Wood and Wood Products* 71(1), 17-29. DOI: 10.1007/s00107-012-0647-2
- Salmén, L., Tigerström, A. and Fellers, C. (1985): “Fatigue of Wood – Characterization of Mechanical Defibrillation”, *Journal of Pulp and Paper Science*, 11(3), pp. 68-73

PODĚKOVÁNÍ

The authors are grateful for the support of the University-wide Internal Grant Agency (CIGA) of the Faculty of Forestry and Wood Science at Czech University of Life Sciences Prague, project 2016 - 4308.