

## VYBRANÉ MECHANICKÉ VLASTNOSTI MODIFIKOVANÉHO BUKOVÉHO DŘEVA

J. Holan, L. Merenda

**Došlo: 14. srpna 2007**

### Abstract

HOLAN, J., MERENDA, L.: *Selected mechanical properties of modified beech wood*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2008, LVI, No. 1, pp. 245–250

This thesis deals with an examination of mechanical properties of ammonia treated beech wood with a trademark Lignamon. For determination mechanical properties were used procedures especially based on ČSN. From the results is noticeable increased density of wood by 22% in comparison with untreated beech wood, which makes considerable increase of the most mechanical wood properties. Considering failure strength was raised by 32% and modulus of elasticity was raised at average about 46%.

*Fagus sylvatica* L., ammonia, wood modification, density, mechanical properties, plasticizing, Lignamon

Dřevo je nejstarší biologický materiál, který lidstvo dosud používá. Využíváním a stále rostoucími požadavky na jeho kvalitu rovněž rostly zkušenosti se způsobem a možnostmi jeho využití. V současnosti se k nárokům na využití a rozsahu poznání dřeva přidává i možnost změny jednotlivých mechanicko-fyzikálních vlastností dřeva (Tsoumis, 1991). Modifikace vlastností dřeva pomocí různých chemikálií za účelem jejich zlepšení byla zprvu zjišťována empiricky, pomalu a většinou nahodile. Jednou z takových zkušeností bylo poznání účinku chemikálií obsažených ve chlěvské mrvě, kdy dřevo v něm uložené se stává plastičtější, lépe se ohýbá, po vysušení nabývá dřevo větší pevnosti a lépe se třískově obrábí než dřevo původní (Strojčev, 1979). Postupem času se upustilo od chlěvské mrvy a nahodile zjišťovaných změn vlastností dřeva a začal se využívat průmyslově vyráběný kapalný, popř. plyný čpavek a cílený výzkum.

Plastifikace dřeva chemikáliemi na čpavkové bázi eliminuje nedostatky, jimiž dřevo oplývá. Výběr vhodného materiálu a specifické postupy modifikace materiálových vlastností zapříčiní vznik materiálu s nově modifikovanými mechanickými vlastnostmi dřeva.

Nejlepších výsledků konkrétní chemické modifikace a následného zpracování vykazuje dřevo bukové. Plastifikací dřevní hmoty čpavkem, která je následně stlačena kolmo na vlákna v tangenciálním

směru, vzniká materiál – dřevo s obchodní názvem Lignamon.

### MATERIÁL A METODIKA

Zkušební vzorky byly zhotoveny z bukového dřeva (*Fagus sylvatica* L.) o rozměrech 50×80×500 mm. Speciálně ortotropní zkušební hranolky pravoúhlého průřezu byly plastifikovány čpavkem a následně stlačeny o 30 % kolmo na průběh vláken v tangenciálním směru. Po plastifikaci nebyly na vzorcích pozorovány žádné vnější defektní změny (trhliny nerovnoměrné zhuštění, barevné defekty apod.). Avšak po rozřezání se vyskytly u 10 % všech zkušebních vzorků vnitřní trhliny. Pro další hodnocení (zkoušení) mechanických vlastností byly vzorky vykazující vady (trhliny, změna pravoúhlosti průřezu po kompresi) vyloučeny.

Dále byly vyrobeny referenční vzorky ze stejného druhu (bukového) dřeva jako vzorky určené pro plastifikaci a kompresi. Referenční vzorky nebyly před zkoušením nijak modifikovány. Úhel odklonu vláken od podélné osy tělísek byl volen do 10° dle požadavků příslušné normy na zjišťování konkrétních vlastností.

Vzorky pro jednotlivé zkušební metody byly vybírány dvoustupňovým náhodným výběrem. Každá dílčí zkouška byla prováděna vždy na 30 kusech zkušebních vzorků.

### Zkušební postupy

Veškeré zkoušky byly provedeny dle platných ČSN a vzorky měly odpovídající rozměry:

Odběr vzorků – ČSN 49 0123 Štatistická metóda odberu vzoriek

Hustota dřeva – ČSN 49 0108 Zisťovanie hustoty; 20x20x30 mm

Vlhkost dřeva – ČSN 49 0103 Zisťovanie vlhkosti pri fyzikálnych a mechanických skúškach; 20x20x30 mm

Tlak – ČSN 49 0110 Medza pevnosti v tlaku v smere vláken

– ČSN 49 0111 Metóda zisťovania modulu pružnosti v tlaku pozdĺž vláken

– ČSN 49 0112 Tlak naprieč vláken

Tvrđost – ČSN 49 0136 Metóda zisťovania tvrđosti podľa Janky

Tah – ČSN 49 0113 Metóda zisťovania pevnosti v tahu pozdĺž vláken

– ČSN 49 0114 Metóda zisťovania pevnosti v tahu naprieč vláken

Smyk – ČSN 49 0118 Medza pevnosti v šmyku v smere vláken

Ohyb – ČSN 49 0115 Zisťovanie medze pevnosti v statickom ohybe.

Měření bylo provedeno při vlhkosti vzorků 12 %.

### Zkušební zařízení

Pro veškeré testy bylo použito následující zkušební zařízení:

- Digitální laboratorní váhy s dovolenou odchylkou vážení 0,001 g.

- Digitální posuvné měřidlo s přesností 0,01 mm.

- Laboratorní sušárna SANYO s efektivním rozsahem teplot 20–150 °C s přesností udržení nastavené teploty  $\pm 1$  °C.

- Univerzální testovací stroj ZWICK/Z050/TH 3A, max. síla F = 50 kN.

### VÝSLEDKY

#### I: Popisná statistika pro mechanické vlastnosti Lignamonu

Lignamon	Počet vzorků	Průměrná hodnota	Medián	Minimální hodnota	Maximální hodnota	25 % Kvantil	75 % Kvantil	Směrodatná odchylka	Variační koeficient
	n	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	%
<i>Ohyb</i>									
Mez pevnosti (R)	25	205,0	209,4	151,2	262,8	189,4	226,7	26,5	13,0
Mez pevnosti (L)	25	185,4	182,1	143,6	258,0	173,3	194,8	23,9	12,9
Modul pružnosti (R)	25	42056	41999	31080	53013	38957	45504	5850	13,9
Modul pružnosti (L)	25	39422	39637	29480	50040	37892	40842	3778	9,6
<i>Smyk</i>									
Mez pevnosti (L)	32	19,5	19,1	11,9	34,5	17,0	21,1	4,8	24,0
Mez pevnosti (R)	32	10,8	11,1	6,4	15,5	9,7	11,9	2,0	19,0
Mez pevnosti (T)	33	19,5	19,6	11,9	34,5	16,7	21,0	4,8	5,8
<i>Statická Tvrđost</i>									
Čelní plocha	30	107,7	105,5	86,0	125,9	99,9	115,4	11,8	11,0
Radiální plocha	30	74,7	76,3	55,8	90,7	67,4	85,0	10,9	14,6
Tangenciální plocha	30	83,0	85,6	56,1	113,0	78,7	89,4	12,9	15,6
<i>Tlak ve směru vláken</i>									
Mez pevnosti	21	100,5	102,3	79,2	118,6	96,9	104,8	7,5	7,5
Modul pružnosti	21	22264	22499	13322	29933	20322	24673	4467	20,1
<i>Tlak kolmo na vlákna</i>									
Mez pevnosti (R)	30	44,5	40,7	30,7	71,6	37,0	50,4	10,6	9,4
Mez pevnosti (T)	32	57,6	60,4	37,5	71,6	52,9	61,3	7,5	7,6
Modul pružnosti (R)	30	891	894	662	1026	855	944	74	8,8
Modul pružnosti (T)	30	482	473	350	629	417	543	76	12,5
<i>Tah ve směru vláken</i>									
Mez pevnosti	45	147,1	148,7	94,3	208,0	132,7	164,3	25,2	17,1
Modul pružnosti	45	19282	19429	9647	27267	17212	21635	4039	20,9

## II: Popisná statistika pro mechanické vlastnosti bukového nemodifikovaného dřeva

buk	Počet vzorků	Průměrná hodnota	Medián	Minimální hodnota	Maximální hodnota	25 % Kvantil	75 % Kvantil	Směrodatná odchylka	Variační koeficient
	n	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	%
<i>Ohyb</i>									
Mez pevnosti (R)	35	149,0	150,5	112,5	168,5	145,8	155,3	10,0	6,7
Mez pevnosti (T)	35	135,0	136,5	98,6	155,3	124,9	147,0	14,2	10,6
Modul pružnosti (R)	35	19138	19138	15140	27030	16975	20274	2855	14,9
Modul pružnosti (T)	35	22358	22358	17425	35302	18813	25181	4171	18,7
<i>Smyk</i>									
Mez pevnosti (R)	50	14,0	14,9	8,3	18,6	11,7	16,2	2,9	20,4
Mez pevnosti (T)	50	20,0	20,6	15,1	22,6	19,7	21,5	1,4	6,7
<i>Statická tvrdost</i>									
Čelní plocha	48	74,0	72,54	65,69	87,66	70,73	76,76	4,33	5,9
Radiální plocha	48	44,0	42,86	36,79	63,94	39,46	46,29	5,25	12,0
Tangenciální plocha	48	41,0	41,50	10,10	47,23	40,00	43,46	8,65	20,9
<i>Tlak ve směru vláken</i>									
Mez pevnosti	41	74,0	73,0	66,4	89,5	71,4	75,8	4,3	5,9
Modul pružnosti	32	7535	14380	1722	39008	8303	17161	9414	12,5
<i>Tlak kolmo na vlákna</i>									
Mez pevnosti R	42	52,4	52,6	50,2	54,9	51,8	53,2	1,0	6,5
Mez pevnosti T	42	52,3	52,1	50,3	55,6	51,8	53,0	1,0	6,2
Modul pružnosti R	41	622	621	271	831	581	650	98	12,7
Modul pružnosti T	42	839	847	627	1108	768	898	99	13,9
<i>Tah ve směru vláken</i>									
Mez pevnosti	65	121,0	127,2	11,9	197,4	93,6	163,0	49,6	26,5
Modul pružnosti	58	15563	16063	2974	29948	13674	17686	3900	14,3

V Tab. I je uvedena popisná statistika vybraných mechanických vlastností modifikovaného bukového dřeva (Lignamonu). Variační koeficient má průměrnou hodnotu 15 %. V Tab. II jsou uvedeny statistické hodnoty stejných vybraných mechanických parametrů, avšak neupraveného bukového dřeva. V Tab. III je uveden přehled průměrných hodnot vybraných mechanických parametrů Lignamonu, neupraveného bukového dřeva, v porovnání s hodnotami uvedenými v odborné literatuře. Graficky jsou hodnoty mezi pevností neupraveného bukového dřeva a Lignamonu znázorněny v Grafu 1.

Neupravené bukové dřevo bylo mechanicky testováno, z identického dřeva byl vyroben materiál Lignamon a rovněž mechanicky testován. Hodnoty uvedené v literatuře (Tab. III) se liší od námi naměřených hodnot z důvodu velké variability hustoty a procentického zastoupení jarního a letního dřeva ve zkušebních vzorcích.

Mez pevnosti v tlaku podél vláken je u Lignamonu o 26 MPa vyšší než u neupraveného bukového dřeva. Mez pevnosti v tlaku napříč vlákny v radiálním směru je o 7,9 MPa nižší a v tangenciálním

směru o 5,3 vyšší u Lignamonu než u nemodifikovaného bukového dřeva. Mez pevnosti v ohybu v radiální rovině je u Lignamonu o 56 MPa a v tangenciální rovině o 50,4 MPa vyšší, stejně jako mez pevnosti v tahu ve směru vláken je pro materiál Lignamon vyšší o 26,1 MPa než u neupraveného bukového dřeva. Mez pevnosti ve smyku je v radiální rovině o 3,2 MPa a v tangenciální rovině o 0,5 MPa nižší. Statická tvrdost podle Janky je na čelní ploše o 33,7 MPa vyšší, na tangenciální ploše o 42 MPa a na radiální ploše o 30,7 MPa vyšší pro materiál Lignamon než pro nemodifikované bukové dřevo. Moduly pružnosti vykazují stejný trend průměrných hodnot (Tab. III).

## DISKUSE

Plastifikace dřeva čpavkem a následné stlačení kolmo na vlákna v tangenciálním směru má za následek změnu mechanických vlastností bukového dřeva (Lignamonu) oproti neupravenému materiálu. Chemickým navázáním dusíku na hydroxylové skupiny zejména v amorfní části celulózy dojde ke zvýšení plastičnosti dřeva a následné stlačení v tangenciálním směru o 5,3 vyšší u Lignamonu než u nemodifikovaného bukového dřeva.

III: Průměrné hodnoty mechanických vlastností upraveného a neupraveného bukového (BK) dřeva v porovnání s hodnotami uvedenými v literatuře

buk	Lignamon	Neupravené BK dřevo (naměřené hodnoty)	Neupravené BK dřevo (literatura)*
	MPa	MPa	MPa
<i>Ohyb</i>			
Mez pevnosti (R)	205,0	149,0	124,0
Mez pevnosti (T)	185,4	135,0	124,0
Modul pružnosti (R)	42056	19138	12966
Modul pružnosti (T)	39422	22358	12966
<i>Smyk</i>			
Mez pevnosti (R)	10,8	14,0	14,2
Mez pevnosti (T)	19,5	20,0	10,2
<i>Statická Tvrdost</i>			
Čelní plocha	107,7	74,0	-
Radiální plocha	74,7	44,0	-
Tangenciální plocha	83,0	41,0	-
<i>Tlak ve směru vláken</i>			
Mez pevnosti	100,5	74,0	56,7
Modul pružnosti	22264	7535	16837
<i>Tlak kolmo na vlákna</i>			
Mez pevnosti R	44,5	52,4	12,9
Mez pevnosti T	57,6	52,3	8,5
Modul pružnosti R	891	622	-
Modul pružnosti T	482	839	-
<i>Tah ve směru vláken</i>			
Mez pevnosti	147,1	121,0	133,5
Modul pružnosti	19282	15563	16750

\* Průměrné hodnoty převzaté z literatury (Požgaj, 1993)

ciálním směru způsobí zvýšení hustoty dřeva. Toto jednoosé zatížení působí stejným tlakem současně na jarní i letní část letokruhu. Navázání dusíku a následné lisování způsobí nevratnou změnu struktury dřeva. Zhuštění jednotlivých elementů bukového dřeva a nárůst hustoty predikuje změnu mechanických vlastností.

Nárůst hustoty z hodnoty  $744,5 \text{ kg.m}^{-3}$  (hustota neupraveného bukového dřeva) na hodnotu  $903,9 \text{ kg.m}^{-3}$  (o 22 %, hustota Lignamonu) má za následek zvýšení jednotlivých mechanických vlastností zejména u tlaku, tahu podél vláken a u ohybu (Tab. I a II, Graf 1).

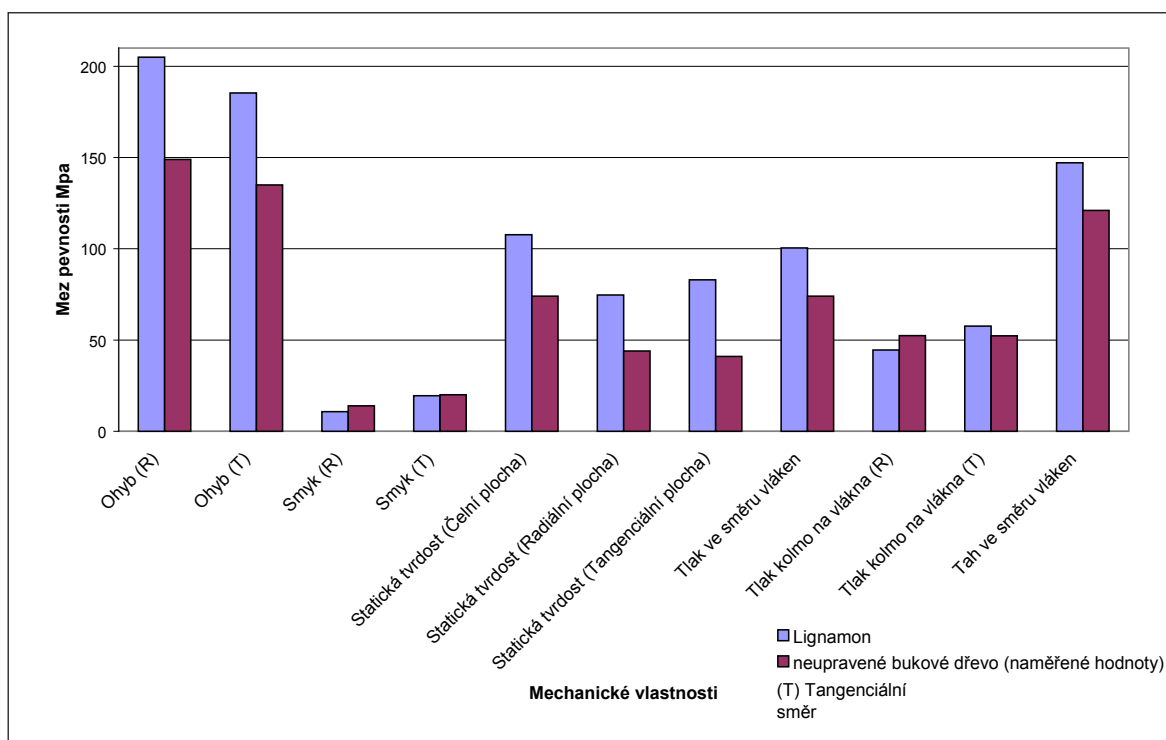
Rozdíly mezi zjištěnými výsledky neupraveného bukového dřeva a Lignamonu vykazují zlepšení mechanických vlastností (mezí pevnosti) Lignamonu v průměru o 32 % a modulů pružnosti průměrně o 46 %.

Snížení smykové pevnosti v rovině podél vláken v radiálním směru a pevnosti v tlaku kolmo na vlákna v radiální rovině je vysvětlováno vznikem vnitřních trhlin v okolí dřeňových paprsků. Směr slisování a orientace dřeňových paprsků, jakož i jejich chemické vazby na okolní stavební elementy bukového dřeva jsou příčinou zmenšení a oslabení styčných ploch.

Závislost změny mechanických vlastností je dána obsahem vlhkosti před samotným lisováním. Čím větší vlhkost má dřevo před kompresí, tím více dojde k jeho zhuštění při stejné hodnotě tlaku.

Výskyt trhlin u zkušebních vzorků je přisuzován velikosti zhuštění dřevní hmoty. Čím větší je výsledné zhuštění, tím vzniká větší náchylnost k tvoření vlasových trhlin uvnitř dřeva.

Hodnoty mezí pevností a modulů pružností kolísají v relativně širokém rozsahu z důvodů variability vlastností dřevní hmoty a jeho heterogenní stavbě.



1: Grafické znázornění hodnot mezí pevností neupraveného bukového dřeva a Lignamonu, graf vychází z hodnot uvedených v Tab. III

## SOUHRN

Stanovení základních mechanických vlastností čpavkem modifikovaného jednostranně stlačeného bukového dřeva nám dává možnost nahlédnout na vlastnosti dřeva, jež je vhodnými technologickými postupy upraveno k širšímu použití. I když je historie Lignamonu známá několik desetiletí, je třeba mít na paměti, že se s dobou vyvíjí (mění) technická i technologická vyspělost a poznatky o vlastnostech dřeva jsou stále rozsáhlejší. Od máčení bukového dřeva v chlévské mrvě se přešlo k plastifikaci průmyslově vyráběným čpavkem a lisovací zařízení rovněž prošlo dlouholetým vývojem, tudíž je velmi potřebné neustálé zkoumání materiálových vlastností při použití moderních technologických postupů.

Naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány a porovnány s hodnotami zjištěnými pro nemodifikované bukové dřevo. Bylo potvrzeno, že plastifikaci bukového dřeva čpavkem a jeho následnou kompresi ve směru kolmo na vlákna v tangenciálním směru došlo k navýšení hustoty v průměru o 22 % (Holan, 2002). Závislost mechanických vlastností na hustotě vykazuje přímoúměrný trend. Zhuštění dřevných paprsků v tangenciálním směru způsobuje vznik trhlinek, které následně snižují pevnost ve smyku ve směru vláken v radiální rovině, a to tím více, čím je větší zhuštění dřevní hmoty.

Lignamon vzhledem ke svým mechanicko-fyzikálním vlastnostem lze doporučit pro použití na výrobu součástí se zvýšeným mechanickým namáháním a opotřebením (náhrada za lehké kovy) a lze jej použít na mechanicky více namáhané části interiérů (podlahy sportovních hal a veřejných prostor). Vhodnost použití závisí na velikosti zhuštění bukového dřeva.

Závěrem je třeba připomenout nutnost použití odlišných technologických postupů a strojního zařízení k obrábění Lignamonu pro jeho odlišné mechanicko-fyzikální vlastnosti oproti nemodifikovanému bukovému dřevu.

amoniak, modifikace dřeva, hustota, mechanické vlastnosti, plastifikace, Lignamon

## SUMMARY

Measured data of mechanical properties of ammonia treated beech wood which is compressed in tangential direction has been statistically processed and compared with the same data of unmodified beech wood. It has established that plasticizing process of beech wood with ammonia and subsequent compression in transversal direction leads to increase of wood density by 22%. The dependence of

mechanical properties of the wood on the density has a direct proportion trend. Compression of pith rays in tangential direction makes cracks. These cracks cause a decrease of shear strength in longitudinal direction. The bigger compression of wood the more decrease of shear strength.

Lignamon has certain physico-mechanical properties which are enabling production of components with higher mechanical straining and mechanical abrasion (as a compensation for light metal). But it is necessary to use distinct technological processes and wood machinery to cutting operations.

Práce byla podporována ze zdrojů výzkumného záměru MSM 6215648902.

#### LITERATURA

- HOLAN, J., 2002: Vybrané fyzikální vlastnosti modifikovaného bukového dřeva. Mendel-Net, Brno
- KNIGGE, W., 1960: The natural variability of wood as it affects selection of test material and structural applications of wood, Proc. Fifth World For. Congr. 3, s. 1362–1367
- KOLLMAN, F., 1951: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Springer Verlag, Berlin.
- MATOVICH, A., 1993: Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva. VŠZ Brno, s. 105–151
- PANSHIN, A. J., DE ZEEUW, C., 1980: Textbook of wood technology. McGraw-Hill, Inc. New York.
- POŽGAJ, A. a kol., 1993: Štruktúra a vlastnosti dreva. Príroda a. s., Bratislava, 486 s.
- TSOUMIS, G., 1991: Science and Technology of Wood. Structure, properties, utilization. Chapman & Hall, New York.
- STROJČEV, A., 1979: Lignamon – zušlechtěné dřevo. SNTL Praha, s. 48–62
- ČSN 49 0123 Drevo. Štatistická metóda odberu vzoriek
- ČSN 49 0109 Drevo. Objemová hustota
- ČSN 49 0103 Drevo. Vlhkosť
- ČSN 49 0110 Drevo. Pevnosti v tlaku v smere vláken
- ČSN 49 0111 Metóda zisťovania modulu pružnosti v tlaku pozdĺž vláken.
- ČSN 49 0112 Drevo. Tlak naprieč vláken
- ČSN 49 0136 Drevo. Metóda zisťovania tvrdosti podľa Janky
- ČSN 49 0113 Drevo. Pevnosť v ťahu ve smere vláken
- ČSN 49 0114 Skúšky vlastností rastlého dreva. Metóda zisťovania pevnosti v ťahu naprieč vláken
- ČSN 49 0118 Drevo. Drevo. Medza pevnosti v šmyku v smere vláken
- ČSN 49 0115 Drevo. Zisťovanie medze pevnosti v statickom ohybe

#### Adresa

Ing. Jiří Holan, Ph.D., Ing. Lukáš Merenda, Ústav nauky o dřevě, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika