

VARIABILITA KONVENČNÍ HUSTOTY JEHLIČNATÉHO VLÁKNINOVÉHO DŘÍVÍ

J. Holan, V. Gryc

Došlo: 9. února 2004

Abstract

HOLAN, J., GRYC, V.: *The variability of pulp-wood basic specific gravity of softwood*. Mendel. Brun., 2004, LII, No. 4, pp. 73-82

In the present study, basic density of pulpwood of Norway spruce (*Picea abies* /L./ Karst.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) was investigated. The variability of basic density and factors applied are out of concern. Factors are characterised by localization along the log, growing conditions defined by geographic area of Czech Republic, diameter of log, and the storing of logs within transport loading. Basic density was determined on cores taken by modified Pressler borer in the radial direction from bark to pith. The average basic density of Norway spruce is comparable to Scots pine, as well as the variation coefficient. Basic density of Norway spruce was found 443 kg.m^{-3} ($V_x = 13,9\%$) where as the Scots pine base density was 450 kg.m^{-3} ($V_x = 15,5\%$). Basic density was significantly influenced by all factors assessed except the localization of cores along logs. The investigation demonstrated that basic density can be affected by locality of supply in comparison to within logs variability that have much lower importance.

basic density, round-wood poles, Norway spruce, Scots pine

Hustota dřeva jako integrální charakteristika dřeva poskytuje nástroj k pochopení vlivu faktorů prostředí (klimatických faktorů) na jeho stavbu. Neslouží pouze ke sledování odezvy stromů na měnící se podmínky prostředí nebo ke snadnému vyjádření anatomické stavby, ale sama je i měřítkem užitných vlastností dřeva – zejména mechanických vlastností dřeva jako je pevnost a pružnost. Variabilita hustoty dřeva v našich podmínkách je již poměrně dobře zmapována. Problematika variability v našich podmínkách byla zkoumána se zaměřením na popsání variability hustoty dřeva u smrku ze všech pěstebních oblastí České republiky (Matovič, Šlezingerová, 1986). Variabilita se projevuje mezi jednotlivými stromy i v rámci jednoho stromu. Projevuje se také ve směru horizontálním (od dřeně k borce), i ve směru vertikálním (od báze k vrcholu). Největší variabilitu hustota dřeva obvykle vykazuje po poloměru v radiálním směru (Panshin, de Zeeuw, 1980). Zajímavou skuteč-

ností je ovšem fakt, že se zmíněný trend nejvýrazněji projevuje ve spodních partiích kmene, zatímco ve sbíhající se zavětvené části kmene má hustota okamžitě pozvolně klesající trend od dřeně k borce (Spurr and Hsiung, 1954).

Malá pozornost je věnována hustotě dřeva jednotlivých sortimentů, např. pilařské kulatině nebo vlákninovému dříví. Zvláště vlákninové dříví má menší průměr, a tudíž by se dalo předpokládat, že jeho hustota bude odlišná od hustoty běžně zjišťované u celých kmenů (hustota ve výšce 1,3 m). Tento problém zatím nebyl v České republice řešen. Vzhledem k novým způsobům přejímky se tento problém stává stále aktuálnější. Úkolem tedy zůstává stanovení konvenční hustoty jehličnatého vlákninového dříví (kg.m^{-3}) v různých oblastech naší republiky, porovnání těchto oblastí mezi sebou a variabilita v různých místech dopravního prostředku (především z důvodu volby místa k odběru vzorků).

Dosavadní výzkumy v Evropě se zabývaly konvenční hustotou stojících stromů. Průměrná konvenční hustota je udávána v evropských zemích pro smrk v rozmezí 374–399 (kg.m⁻³). Variační koeficient se pohybuje kolem 11 %, tedy směrodatná odchylka činí cca 40–50 kg.m⁻³ (Tsoumis, 1991, Hakkila, 1966). U borovice je pak konvenční hustota udávána v rozmezí 420–445 kg.m⁻³.

Rozdíly mezi hustotou zjišťovanou na bázi kmene (např. 1,3 m) a průměrnou hustotou celého kmene mohou být staticky významné, přesto chyba většinou nepřesahuje 2–3 %.

Cílem práce je srovnat konvenční hustotu vlákninového dříví. Dále stanovit významnost vybraných faktorů, které mohou mít vliv na konvenční hustotu vlákninového dříví v České republice.

MATERIÁL A METODIKA

Pro naše potřeby byla vybrána hustota konvenční. Z této veličiny lze přepočtem získat jak hustotu absolutně suchého dřeva, tak i hustotu dřeva při různých vlhkostech.

Standardní metody získávání vzorků, ať se jedná o průřezové kotouče nebo jejich sekce, popřípadě zkušební tělíska dle ČSN 49 0108, byly zamítnuty vzhledem k jejich výraznější pracnosti a nemožnosti odebrání požadovaného počtu vzorků v provozních podmínkách. Jako vhodná zkušební tělesa byly zvoleny vývrtky. Tímto způsobem se odstraní i možnost chyby způsobované různou hustotou po poloměru. K odběru vzorků byl zvolen modifikovaný Presslerův nebozez. Jednalo se o dutý vrták (vnitřní průměr vrtáku 6 mm) upnutý do akumulátorové vrtačky o výkonu 24 W s pomocnou rukojetí. Odběr vzorků byl zvolen v radiálním směru. Jednotlivé vzorky byly odebrány ze smrkového (SM) a borového (BO) vlákninového dříví (délka cca 2–2,3m) uloženého na vagonech. Vagony byly z různých nákladkových stanic v České republice. Za předpokladu, že dřevo těžené v lesích se sváží do nejbližších dopravních uzlů, lze konstatovat, že čísla nákladkových stanic (celkem 40 nákladních míst) reprezentují různé geografické oblasti v České republice. Z každého výřezu bylo odebráno po čtyřech vzorcích (vývrtech), jak je uvedeno na Obr. 1.



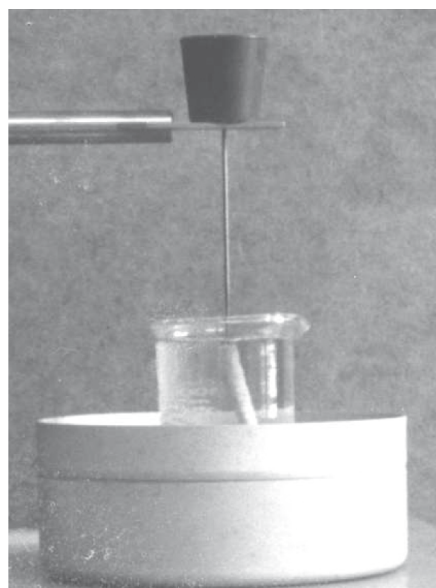
1: Rozložení po délce výřezu u vlákninového dříví; místa 1 a 4 jsou vzdálena od okrajů výřezu cca 25 cm, současně jednotlivé pozice (1, 2, 3, 4) jsou od sebe vzájemně vzdáleny 50 cm

Z vývrtů se následně stanovovala konvenční hustota dřeva, která je definována podle vztahu

$$\rho_K = \frac{m_0}{V_{\max}} \quad (\text{kg.m}^{-3}),$$

kde: m_0 – hmotnost suchého dřeva; $V_{\max}$ – maximální objem dřeva (vlhkost > 30 %).

Hmotnost vývrtu se stanovuje dle ČSN 49 0103 sušením do ustálené hmotnosti při 103±2 °C. Objem dřeva u vývrtů se zjišťuje metodou určení konvenční hustoty sekci vývrtů, jak ji popsal Ericsson (1959), přičemž objem sekci vývrtů (Obr. 2) je měřen metodou vytlačení vody podle Olsena (1971). Vývrt je ponořen do kádinky s destilovanou vodou a jeho objem je určován přírůstkem hmotnosti. Při teplotě 4 °C odpovídá 1 g vody objemu 1 cm³, pro jiné teploty se zavádí korekce. V případě plného nasáknutí vývrtu vodou před měřením je chyba metody menší než 0,1 %.

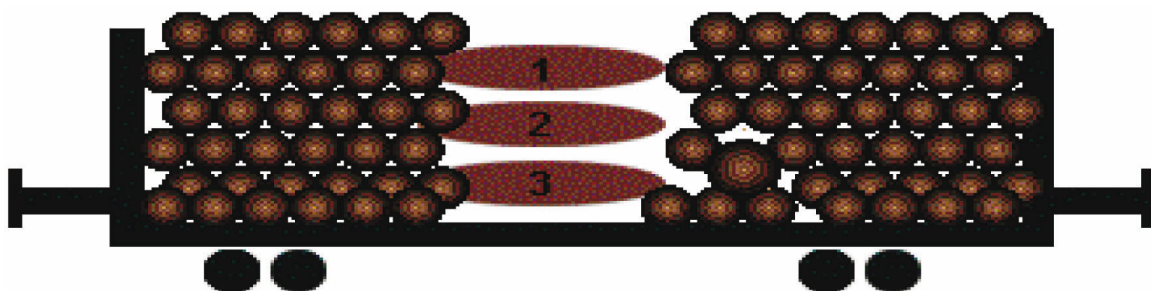


2: Objem dřeva stanovený metodou vytlačení kapaliny (Rabiňák, 1975)

Stanovení konvenční hustoty dřeva metodou vytlačení vody není závislé na geometrii použitých těles. Podmínkou je, aby vývrtky byly vyráběny z odkorněného dříví.

Zkoumal se rovněž vliv vybraných faktorů na konvenční hustotu vlákninového dříví. Zvolenými faktory pro analýzu variance byly číslo stanice, rozložení po délce výřezu – vzorek, průměr výřezu a lokalizace po výšce dopravního prostředku, která byla zkoumána z důvodu správné volby odběrových míst vzorkového materiálu (Obr. 3).

Průměr byl měřen uprostřed jednotlivých kusů vlákninového dříví pomocí průměrky z důvodu zkoumání vlivu průměru kmene na jeho vlastnosti. Vzhledem ke skutečnosti, že se dříví dopravuje po železnici ve vagonech, do kterých není možné např. při přejímce dříví nahlédnout, byl zkoumán rovněž vliv ložení materiálu v dopravním prostředku. Pro usnadnění a proveditelnost byly ve vagonu zvoleny tři zóny definované jako vrch, střed a dno (Obr. 3). Z těchto míst se následně odebíralo dříví sloužící k odběru vzorků (vývrtů).



3: Lokalizace jednotlivých vrstev v dopravním prostředku (vagon); 1 – vrchní vrstva (vrch), 2 – střední vrstva (střed), 3 – spodní vrstva (dno)

Minimální počet vzorků odebíraných pro popsání zvoleného faktoru byl stanoven na základě statistického výpočtu spolehlivosti střední (průměrné) hodnoty na hladině významnosti $1-\alpha$ (platí pouze za předpokladu normálního rozdělení hodnot):

$$n_{\min} = \frac{t_{1-\alpha/2}^2 V^2}{\Delta x^2},$$

kde: $t_{1-\alpha/2}$ je kvantil Studentova rozdělení s $(n-1)$ stupni volnosti (1,96), V je variační koeficient výběrového souboru dle Požgaje (1997) – 12,3%, a Δx je relativní chyba střední hodnoty (5 %).

Nezbytný počet vzorků pro zvolenou pravděpodobnost a spolehlivost výběru činí 24.

VÝSLEDKY

V Tab. I a II je shrnuta popisná statistika poskytující základní představu o výběrových souborech dat. Měřené vlákninové dříví bylo rozděleno do dvou skupin podle druhu dřeva – SM, BO. Průměrná konvenční hustota u SM vlákniny se pohybovala okolo 443 kg.m^{-3} s variačním koeficientem 13,9 %. U BO se průměrná hodnota pohybovala okolo 450 kg.m^{-3} s variačním koeficientem 15,5 %. Zjištěn byl značný rozptyl hodnot (SM 287–653 kg.m^{-3} ; BO 300–800 kg.m^{-3}), a to mezi jednotlivými výřezy z různých dopravních prostředků.

I: Popisná statistika výběrového souboru konvenční hustoty vlákninového dříví – SM

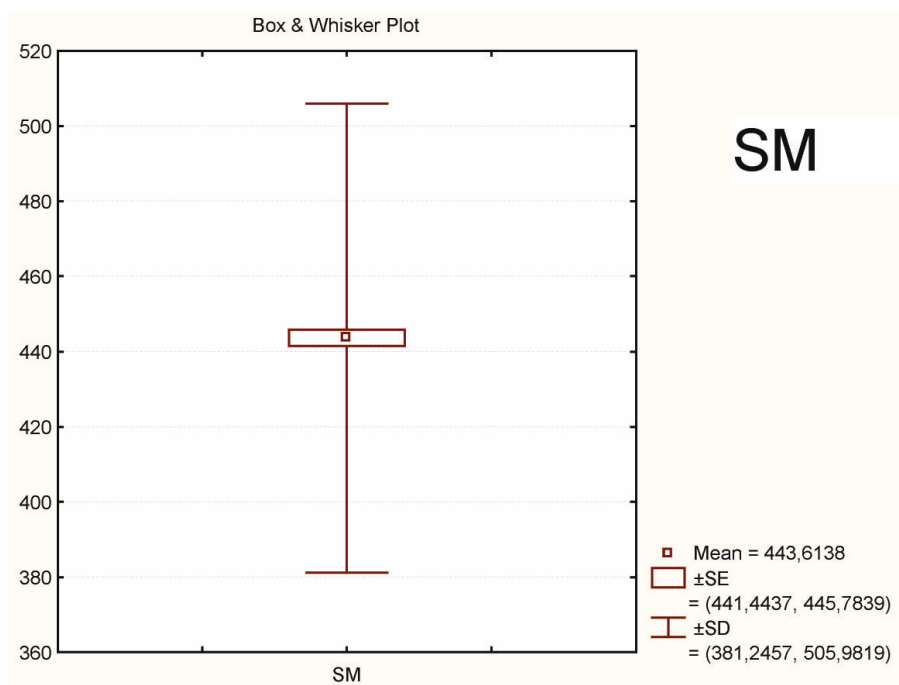
SM	počet vzorků	průměr	min.	max.	25% kvantit	75% kvantil	směr. odchylka
konvenční hustota	4288	443.6	287.5	653.7	399.7	479.4	62.3

II: Popisná statistika výběrového souboru konvenční hustoty vlákninového dříví – BO

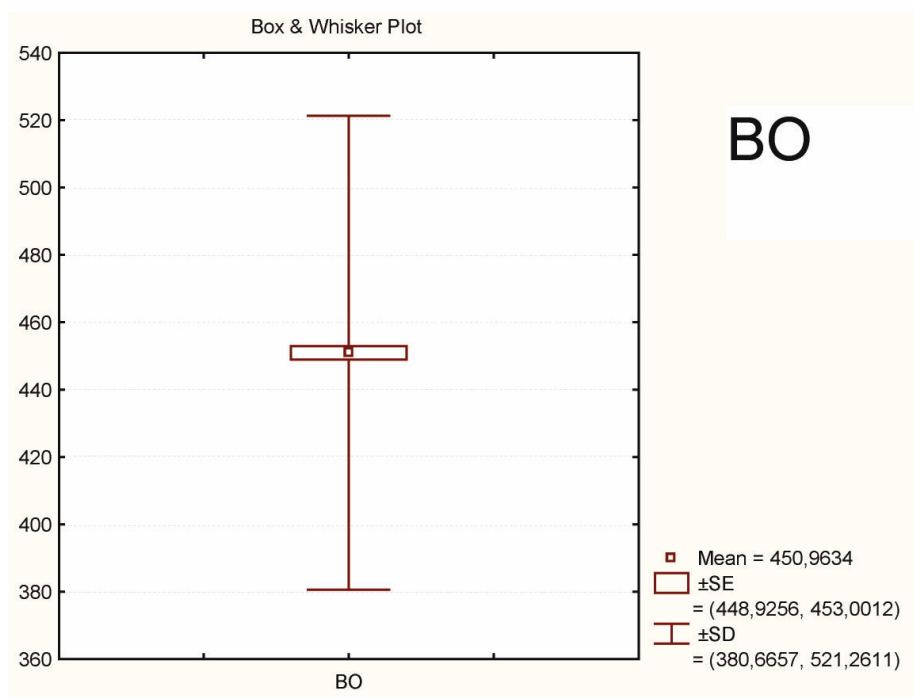
BO	počet vzorků	průměr	min.	max.	25% kvantit	75% kvantil	směr. odchylka
konvenční hustota	2154	450.9	298.6	793.0	402.7	482.7	70.2

Na Obr. 4 a 5 jsou znázorněny střední chyby aritmetického průměru sušiny u SM a BO pro hladinu spolehlivosti 95 % a interval, ve kterém se vyskytuje

66 % všech hodnot. Rozdíly mezi oběma výběrovými soubory nejsou statisticky významné ($p < 0,01$).

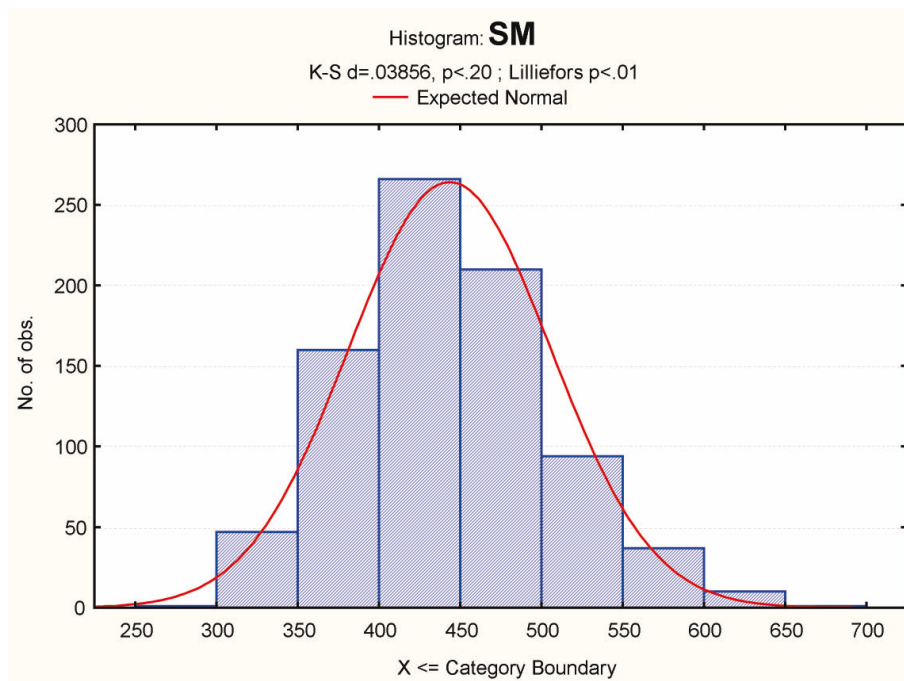


4: Krabicové grafy chyby odhadu střední hodnoty a interval výskytu 66 % dat – SM

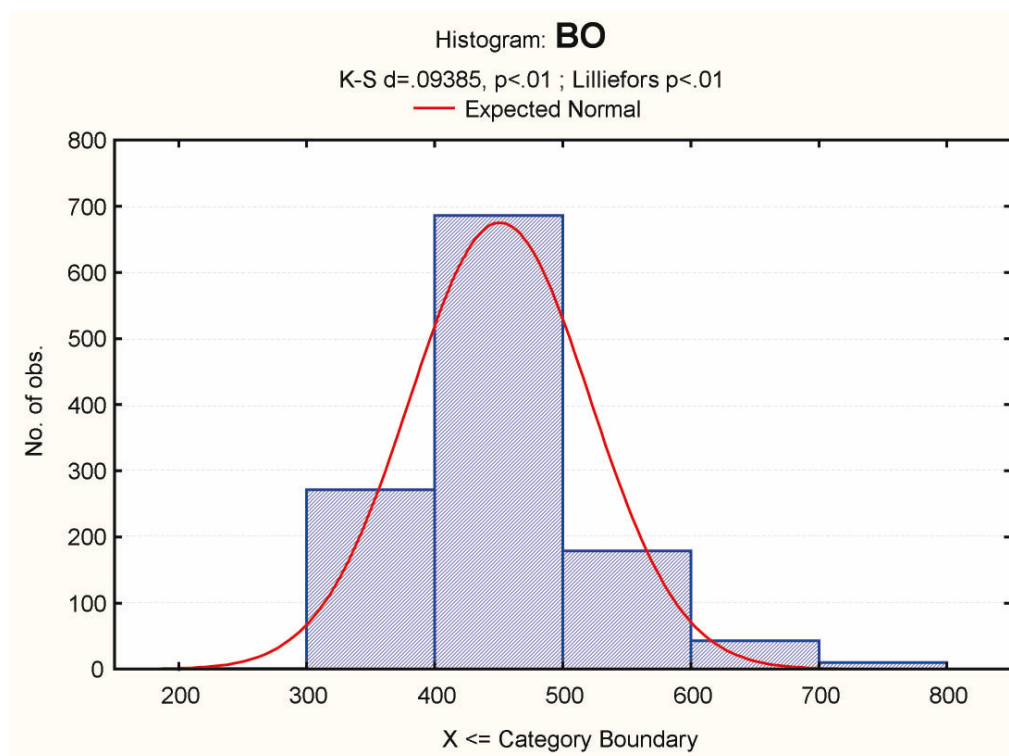


5: Krabicové grafy chyby odhadu střední hodnoty a interval výskytu 66 % dat – BO

Distribuční funkce konvenční hustoty dřeva nevykazovala normální rozdělení, ale levostranné, s převahou hodnot v intervalu hustoty 400–450 kg.m⁻³. Průběh rozdělení je znázorněn na následujícím Obr. 6 a 7.



6: Četnost rozložení dat v jednotlivých třídách a srovnání s normálním rozdělením – SM



7: Četnost rozložení dat v jednotlivých třídách a srovnání s normálním rozdělením – BO

Vliv vybraných faktorů na konvenční hustotu vlákninového dříví

Vzhledem k nenormálnímu rozložení konvenční hustoty u obou skupin dřev (SM, BO) byl testován vliv vybraných faktorů, které ovlivňují reprezentativnost analyzovaného výběru celého souboru konvenční hustoty za danou dřevinu. Předpokládáme, že tato nereprezentativnost je způsobena vlivem některého ze sledovaných faktorů. Stanovují se hlavní

vlivy, jejich chování a dekompozice obecného regresního modelu. Na jeho základě po filtraci náhodných vlivů se provádí vzájemné srovnání v rámci jednotlivých faktorů.

Faktory vyhodnocené jako statisticky velmi významné jsou uvedeny v následujících tabulkách III a IV červeně.

Kromě vlivu faktoru vzorek jsou všechny posuzované faktory statisticky významné.

III: Výsledky testu významnosti jednotlivých faktorů u výběrového souboru SM

	SM			
	Test	Effect df	F	p
číslo stanice	Wilks	15	8,945662	0,000000
vzorek	Wilks	3	0,502567	0,680611
průměr	Wilks	31	2,235900	0,000157
lokalizace	Wilks	2	7,146241	0,000842

IV: Výsledky testu významnosti jednotlivých faktorů u výběrového souboru BO

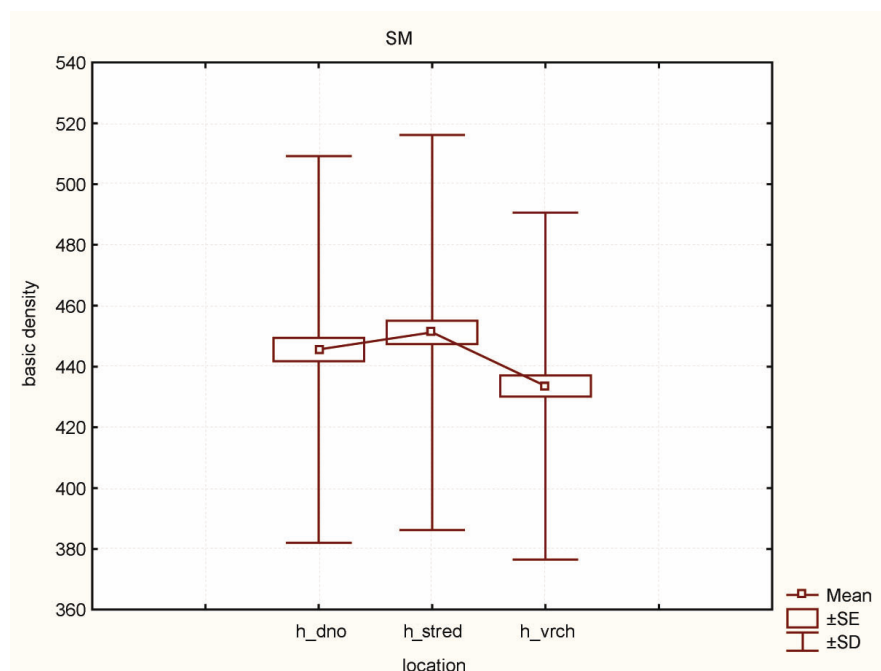
	BO			
	Test	Effect df	F	p
číslo stanice	Wilks	36	15,00957	0,000000
vzorek	Wilks	6	0,45981	0,838355
průměr	Wilks	52	3,12054	0,000000
lokalizace	Wilks	4	7,66007	0,000004

Příklad ovlivnění konvenční hustoty dřeva vybraným faktorem – lokalizace v rámci dopravního prostředku

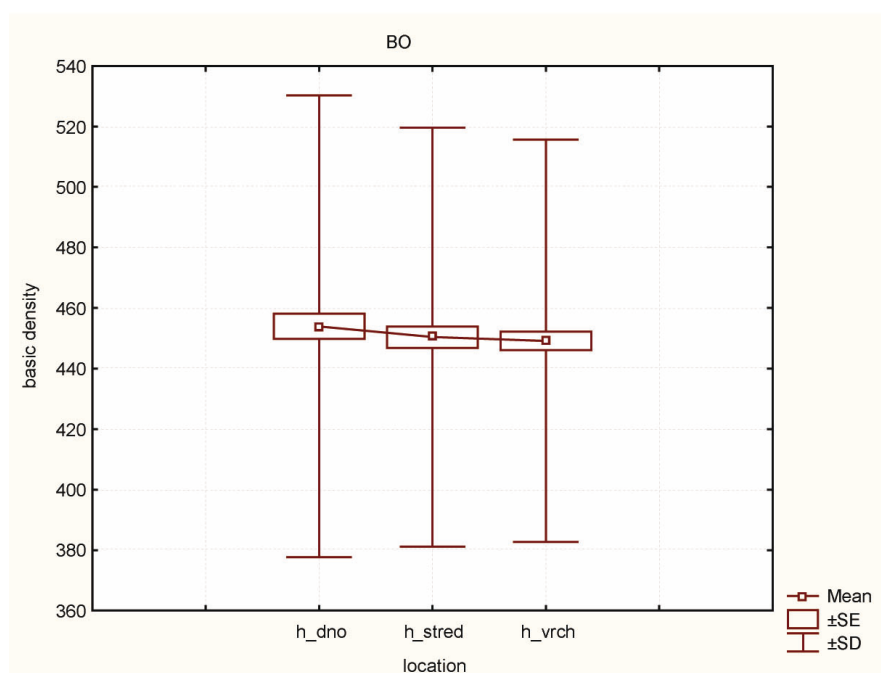
Na Obr. 8 a 9 jsou znázorněny střední hodnoty, chyby jejich odhadu a interval nejčastějších hodnot mezi jednotlivými vrstvami v rámci dopravního prostředku.

Posouzení srovnatelnosti parametrů distribuční křivky (střední hodnoty, rozptyl) mezi jednotlivými vrstvami (lokalizace po výšce dopravního prostředku) bylo provedeno t-testem.

Tabulka V uvádí významnost t-testu za jednotlivé vrstvy nákladu v dopravním prostředku označené „dno“, „střed“ a „vrch“.



8: Krabicové grafy chyby odhadu střední hodnoty, interval výskytu 66 % hodnot, a trend konvenční hustoty (kg.m⁻³) SM dřeva v jednotlivých vrstvách po výšce dopravních prostředků



9: Krabicové grafy chyby odhadu střední hodnoty, interval výskytu 66 % hodnot, a trend konvenční hustoty (kg.m⁻³) BO dřeva v jednotlivých vrstvách po výšce dopravních prostředků

V: Srovnatelnost středních hodnot konvenční hustoty dřeva mezi jednotlivými vrstvami u BO a SM

	SM		
	1 dno	2 střed	3 vrch
dno	1,00	0,11	0,00
střed	0,11	1,00	0,00
vrch	0,00	0,00	1,00

	BO		
	1 dno	2 střed	3 vrch
dno	1,00	0,04	0,43
střed	0,04	1,00	0,10
vrch	0,43	0,10	1,00

Tab. V ukazuje sice na převažující srovnatelnost střední hodnoty konvenční hustoty vlákninového dříví mezi jednotlivými vrstvami, přesto byly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi dílčími vrstvami, a to u SM mezi horní vrstvou a dvěma zbývajícimi a u BO mezi dnem a středem. Z výsledků lze usuzovat na minimální ovlivnění konvenční hustoty vlákninového dříví lokalizací v rámci dopravního prostředku.

Z předcházejících analýz vyplývá, že konvenční hustota zjištěná z dílčí vrstvy je reprezentativním výběrem celého dopravního prostředku. Stanovení vlivu rozložení konvenční hustoty v rámci dopravního prostředku po jeho výšce bylo provedeno Scheffeho testem v dekomponovaném regresním modelu (transformace na normální rozdělení). Po odfiltrování dalších náhodných vlivů (nakládková stanice, průměr kmene) je vzájemné srovnání konvenční hustoty z různých vrstev dopravního prostředku uvedeno v následujících Tab VI.

VI: Výstup testu srovnatelnosti konvenční hustoty mezi jednotlivými vrstvami dopravního prostředku u výběrových souborů SM a BO

lokalizace	SM		
	vrch	střed	dno
vrch		0,000519	0,028537
střed	0,000519		0,472718
dno	0,028537	0,472718	

lokalizace	BO		
	vrch	střed	dno
vrch		0,952505	0,513386
střed	0,952505		0,713609
dno	0,513386	0,713609	

Vrstvy, u kterých je konvenční hustota vzájemně nesrovnatelná, jsou zvýrazněny červeně. Jednotlivé vrstvy mají převážně srovnatelné parametry (střední hodnotu) výběrového souboru. Po výšce dopravního prostředku neexistuje trend, který by byl statisticky významný.

DISKUSE

Hustota dřeva podléhá vlivu řady biologických faktorů. Z mechanického hlediska je kmen stojícího stromu považován za jednostranně vetknutý nosník (Wangaard, 1950). Vlivem fyzikálních faktorů jako je hmotnost biomasy koruny, zatížení sněhem nebo námrazou a působení větru vzniká větší napětí na bázi kmene v případě tlakového namáhání nebo v obvodovém plášti v případě působení ohybového momentu. Tyto mechanické vlivy modifikují xylogenezi dřeva a způsobují lokální zvyšování hustoty dřeva. Zmiňované vlivy se v případě vlákninového dříví jeví jako málo významné vzhledem ke zjištěné malé variabilitě srovnatelné s literárními údaji. Rozdíl oproti literárním údajům byl zjištěn u střední hodnoty konvenční hustoty SM vlákninového dříví. U smrku je střední hodnota zjištěná v této práci (443 kg.m^{-3}) nad horní hranici uváděnou v literatuře (Tab. VII). U borovice je střední hodnota 450 kg.m^{-3} , což odpovídá horní hranici hodnot uváděných v literatuře.

Důvody vysvětlující zvýšenou konvenční hustotu SM vlákninového dříví oproti literárním údajům o cca 10–20 % se nepodařilo uspokojivě vysvětlit. Lze se domnívat, že jako vlákninové dříví se zpravidla dodává a zpracovává dřevo z probírek a kalamitních těžeb včetně korunové části kmene. Vzhledem k charakteristickému průběhu hustoty dřeva po výšce kmene u jehličnatých dřevin (Tsoumis, 1991) odpovídá vyšším partiím kmene nízká hustota dřeva. Vysoká hustota dřeva je zpravidla lokalizována na patě kmene. Tyto obecné trendy naše data nepotvrdila.

Dosažené výsledky nepotvrdily předpokládané atypické vlastnosti dřeva z oblasti koruny, které se projevuje u smrku, tak jak popisují Knigge (1960) a Brunden (1964). Ti konstatovali, že dřevo kmene z oblasti koruny je velmi podobné svými vlastnostmi a stavbou dřevu juvenilnímu a zavedli pojem crown-formed wood.

Jak prokázaly testy významnosti jednotlivých faktorů (Tab. III a IV), je zřejmé, že faktory kromě místa odběru vzorků z kmene jsou statisticky významné. Nevýznamnost vzorku je dána především malou délkou posuzovaného vlákninového dříví (cca 2 m), kdy v rozmezí dvou metrů se nepředpokládá a není potvrzena velká variabilita hodnot konvenční hustoty. U ostatních faktorů se nacházejí statisticky významné rozdíly, které vypovídají o kvalitě posuzované suroviny. V případě závislosti konvenční hustoty na průměru dříví a čísle

VII: Srovnání konvenční hustoty; 1– hodnoty jsou přepočítány z hustoty uváděné při vlhkosti 0 %

		Požgaj (1997)	Sachsse ¹ (1984)	Bosshard ¹ (1974)	Grosser ¹ (1985)	Kollmann ¹ (1951)
konv. hustota SM	443	370	384	380	384	400
konv. hustota BO	450	440	431	430	431	423

stanice, které reprezentují jednotlivé lokality v České republice, se potvrdily obecně známé předpoklady. Mezi konvenční hustotou a průměrem existuje a byla potvrzena přímá úměra. Taktéž různé oblasti charakterizované číslem zakládkové stanice vykazují odlišné hodnoty konvenční hustoty dřeva. Tímto problémem se budeme zabývat v dalším příspěvku.

U faktoru lokalizace, která je ve výsledkové části

rozpracována podrobněji, tyto závislosti nebyly v České republice zkoumány. Na základě výše provedených testů lze předpokládat, že relativní poloha odebíraného vzorku v rámci dopravního prostředku může být rovněž staticky významným faktorem. Nicméně při větším množství dodávek (vagonů) lze předpokládat, že se jednotlivé rozdíly mezi vrstvami budou v průměru dodávek snižovat.

SOUHRN

Závěrem lze konstatovat, že konvenční hustota smrkového a borového vláknnového dříví nevykazuje vzájemně vyšší odchylky v průměrných hodnotách. Konvenční hustota smrkového vláknnového dříví je vyšší než udávají literární zdroje. U borovice nebyly nalezeny významnější odchylky od literatury. Současně se nepotvrdila statistická významnost faktoru vzorek, z čehož vyplývá, že u vláknnového dříví dodávaného v délkách okolo 2 m není důležité, odkud se odebere vzorek pro určení konvenční hustoty. Opakem jsou však ostatní posuzované faktory (číslo stanice, průměr kmene a lokalizace v rámci dopravního prostředku), u kterých se statistická významnost potvrdila.

konvenční hustota, vláknnové dříví, borovice lesní, smrk ztepilý

Práce vznikla za podpory MSM 434100004 a Frantschach Pulp & Paper Czech, a.s.

LITERATURA

- BOSSHARD, H. H.: Holzkunde. Birkhauser Verlag Basel, 1974. 312
- BRUNDEN, M.N. (1964): Specific gravity and fiber length in crown-formed and stem-formed wood. For. Prod.J. 14: 13-17
- ERICSSON, B.: A mercury immersion method for determining the wood density of increment core sections. For. Res. Res. Ind. of Sweden, 1959. 1: 1-31.
- GROSSER, R.: Pflanzliche und tierische Bau und Werkholz-Schadlinge. DRW Verlag Weinbrenner, Leinfelden-Echterdingen. 1985.
- HAKKILA, P.: Investigation on the basic density of finish pine, spruce and birch wood. Comm.Inst.For.Fenniae 61 (5)., Helsinki, Finland, 1966.
- KNIGGE, W.: The natural variability of wood as it affects selection of test material and structural applications of wood. Proc. Fifth World For. Congr. 3: 1362-1367, 1960
- KOLLMANN, F.: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Springer Verlag, Berlin 1951
- MATOVIČ, A., ŠLEZINGEROVÁ, J.: Konvenční hustota dřeva smrku (*Picea abies* /L./ Karst.) ze stanišť České socialistické republiky. Folia Universitatis Agriculturae ES VŠZ v Brně, 1986. 86
- OLSEN, P. O.: The water displacement method. RVA Univ. Copenhagen, 1971.
- PANSHIN, A. J., DE ZEEUW, C.: Textbook of wood technology. McGraw-Hill, Inc. New York, 1980
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M.: Štruktúra a vlastnosti dreva. Bratislava, 1997. 488
- RABIŇÁK, A.: Variabilita konvenční hustoty dřeva smrku (*Picea excelsa* L.) v rámci stromu a jedné lokality. Diplomová práce. VŠZ v Brně, 1975. 93 s.
- SACHSSE, H.: Einheimische Nutzhölzer und ihre Bestimmung nach makroskopischen Merkmalen. Berlin, 1984. 160 s.
- SPURR, S. H., HSIUNG, W.-Y.: Growth rate and specific gravity in conifers. 1954, J.For. 52 (3): 191-200
- TSOUMIS, G.: Science and Technology of Wood.

- Structure, Properties, Utilization. Chapman & Hall, New York, 1991.
- WANGAARD, F. F.: The Mechanical Properties of Wood. J. Wiley & Sons, New York, 1950.
- ČSN 49 0108 Drevo. Zisťovanie hustoty pri fyzikálnych a mechanických skúškach. 1976.
- ČSN 49 0103 Drevo. Zisťovanie vlhkosti pri fyzikálnych a mechanických skúškach. 1976.

Adresa

Ing. Jiří Holan, Ing. Vladimír Gryc, Ústav nauky o dřevě, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně,
Zemědělská 3, 613 00 Brno, Česká republika