

ANALÝZA NEEVIDOVANÉHO OBJEMU DŘÍVÍ V PŘÍDAVCÍCH K DÉLCE VÝŘEZŮ PŘI VÝROBĚ SMRKOVÉHO DŘÍVÍ HARVESTOROVOU TECHNOLOGIÍ

ANALYSIS OF UNRECORDED TIMBER VOLUME IN LENGTH ALLOWANCES OF LOGS IN SPRUCE TIMBER PRODUCTION BY HARVESTER'S TECHNOLOGY

RADIM LÖWE ✉ - MONIKA SEDMÍKOVÁ - PAVEL NATOV - JIŘÍ DVOŘÁK - MARTIN JANKOVSKÝ

Česká zemědělská univerzita, Fakulta lesnická a dřevařská, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 - Suchdol, Czech Republic

✉ email: lowe@fld.czu.cz

ABSTRACT

The CTL logging method, linked to the harvester technology, has an increasing share on the total annual felling in the Czech Republic. The aim of our study was to determine the relative share of unrecorded volume in length allowances on the total volume of merchantable timber, as produced by harvesters. We also analyzed the volume differences in length allowances in assortment groups. Data were gathered from *.STM files, 221 235 spruce logs were evaluated. The total volume of unrecorded timber in length allowances of merchantable assortments represented 2.19% of the total recorded timber volume. After dividing the logs into individual assortment groups, we found that in the groups *Roundwood* and *Aggregate*, the average relative volume in length allowances ranged from 2.41% to 2.43%, while in the group *Pulpwood* was only 1.22%. Significant differences between the relative timber volumes in length allowances were also found in individual groups of assortments after categorization of logs according to their nominal length and midspan diameter. In the groups *Roundwood* and *Pulpwood*, we found significantly lower relative timber volumes in length allowances for butt logs compared to other logs. The results can be used for estimation of unrecorded timber volume in length allowances to supplement forest management records.

For more information see Summary at the end of the article.

Klíčová slova: výroba dříví; sortiment; nadměrek; řezací okno; CTL metoda; StanForD

Key words: timber production; assortment; length margin; cutting window; CTL method; StanForD

ÚVOD

V České republice (ČR) se dlouhodobě zvyšuje podíl sortimentní těžební metody na celkové výši roční těžby dříví (NATOV et al. 2017). Sortimentní těžební metoda, nazývaná také CTL (cut-to-length) metoda (PULKKI 1997), je ve většině případů spjata s harvesterovou technologií. V roce 2017 dosáhla sortimentní těžební metoda více než třetinový podíl na celkové výši těžby dříví v ČR (Zpráva 2018). V některých evropských státech, jako je například Švédsko, Norsko a Finsko, je v současné době sortimentní metoda využívána téměř výhradně ke všem těžbám (GELLERSTEDT, DAHLIN 1999; LUNDBÄCK et al. 2018). Důvodem zvyšování využití harvesterové technologie je, že mechanizovaná výroba surového dříví zvyšuje produktivitu a v zemích s vysokými osobními náklady snižuje výrobní náklady oproti motomanuální těžbě (SPINELLI et al. 2014). Potenciál sortimentní metody není v ČR stále zcela využit. Podíl sortimentní metody na roční těžbě dříví může v budoucnu dle předpokladů dosáhnout až

50 % (DVOŘÁK et al. 2011) a výrobní podmínky jsou pro využití harvesterové technologie vhodné až na více než 70 % rozlohy lesních pozemků (DVOŘÁK, NATOV 2016).

V průběhu výroby dříví dochází ke ztrátám v jeho evidovaném objemu. Tyto ztráty mohou být faktické, způsobené skutečnými ztrátami, nebo fiktivní, vznikající v důsledku rozdílů mezi výsledky zjišťování objemu dříví různými metodami, rozdílným způsobem evidence dříví, zaokrouhlováním měřených parametrů, záměnou sortimentů surového dříví atd. (SIMANOV 2003). Při evidenci vyrobeného dříví harvesterem se můžeme setkat s oběma druhy těchto ztrát. Fiktivní ztráty v evidovaném objemu dříví jsou způsobeny například využitím různých algoritmů nastavitelných ve výrobně-evidenčním softwaru harvesteru (LÖWE et al. 2019). Oproti tomu faktické ztráty způsobuje příčný řez, nezpracování vrcholových částí stromů a neevidování objemu přídávků k délce výřezu (SIMANOV 2003; DVOŘÁK et al. 2018).

Sortimenty surového dříví jsou vyráběny harvestorem na základě parametrů nastavených ve výrobně-evidenčním softwaru harvestoru dle požadavků odběratele. Jedním z parametrů je i nastavení přídávku k délce sortimentu (NATOV, DVOŘÁK 2018). Přídavek k délce sortimentu může být v případě výroby dříví harvestorem složen ze dvou částí, (i) skutečného nadměrku ke jmenovité délce sortimentu a (ii) řezacího okna. Nadměrek ke jmenovité délce je u některých sortimentů vyžadován odběratelem ke kompenzaci technologických ztrát, vzniklých sesycháním dříví nebo příčnými řezy při pilářském zpracování atd. Je tedy zahrnut ke jmenovité délce výřezu a odběrateli je poskytnut zcela bezplatně (POLENO et al. 1994). Nadměrek je vyžadován u sortimentů určených k výrobě řeziva, naopak není vyžadován u sortimentů určených k chemickému zpracování nebo výrobě dezintegrovatelného materiálu, např. u vlákny (DVOŘÁK et al. 2018). V České republice je doporučován přídavek k délce ve výši 2 % jmenovité délky výřezu (WOJNAR et al. 2007). Řezací okno, s doporučeným rozpětím hodnot 0–4 cm, je typ přídávku k celkové délce výřezu specifický pro harvestory (NATOV, DVOŘÁK 2018). Určuje přesnost a rychlost měření délky tím, že představuje toleranci měřících senzorů v harvestorové hlavici během nastavení kmene na správnou polohu řezu. Výsledkem je zkrácení doby potřebné pro nastavení kmene na správnou polohu a zvýšení produktivity stroje. Řezací okno je nastaveno pro každý sortiment včetně vlákny (DVOŘÁK et al. 2018).

Ztráty způsobené nevidováním objemů přídávku k délce mohou způsobit rozdíly mezi odhady objemu celkové roční těžby surového dříví dle výsledků Národní inventarizace lesů ČR (NIL2) a odhady objemu těžby surového dříví dle záznamů Českého statistického úřadu. Odhady těžby dříví na základě opakovaného šetření NIL2 (2011–2014) na inventarizačních plochách založených v rámci NIL1 (2001–2004) jsou výrazně vyšší v porovnání s odhady uváděnými každoročně ve Zprávách o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky (ZZ). Údaje o těžbách pro ZZ jsou přebírány z výsledků dotazníkových šetření Českého statistického úřadu. Průměr odhadů celkových těžeb podle ZZ za období od roku 2001 (počátek NIL1) do roku 2014 (ukončení šetření NIL2 v inventarizační síti NIL1) přepočtený na desetiletou periodu činil 81 % odhadu NIL2. Odhady těžby podle NIL2 jsou navíc dle metodiky systematicky podhodnoceny a předpokládá se, že toto podhodnocení dosahuje do 10 % odhadu objemu těžby dříví. Výsledky NIL 2, které uvádí rozdíl v těžbě dříví oproti ZZ 19 %, s přihlédnutím k případnému podhodnocení mohou být proti ZZ rozdílné až o 29 % (ADOLT et al. 2016). Tento procentuální rozdíl je fakticky nižší například právě o procentuální podíl nevidovaného objemu dříví v přídávčích k délce.

Cílem této práce je (i) stanovení relativního podílu nevidovaného objemu dříví v přídávčích k délce výřezů při výrobě smrkového dříví kalibrovaným harvestorem, (ii) zjištění objemových rozdílů přídávku k délce mezi jednotlivými vyráběnými skupinami sortimentů, (iii) zjištění objemových rozdílů přídávku k délce mezi jednotlivými kategoriemi výřezů dle jmenovité délky a středové tloušťky výřezu a (iv) zjištění objemových rozdílů přídávku k délce mezi oddenkovými výřezy a ostatními výřezy.

MATERIÁL A METODIKA

Sběr dat

Data pro tuto případovou studii byla získána ze středně výkonového harvestoru John Deere 1270E vybaveného harvestorovou hlavici Waratah 480C a výrobně-evidenčním softwarem TimberMatic (1.19, Deere & Company: Moline, Illinois, USA). Středně výkonové harvestory jsou v České republice nejvíce využívány (NERUDA, VALENTA 2003), proto byl k této studii vybrán právě tento harvestor. Software harvestoru ukládal data v jednotném systému StanForD Classic. Harvestor byl vlastněn a provozován soukromou společností. Sběr dat se

uskutečnil v období března 2017 až června 2018. Těžební práce probíhaly převážně v plánovaných obnovních těžbách a nahodilých těžbách v kraji Středočeském, Jihočeském, Vysočina a Jihomoravském.

Harvestor z více než 86 % z celkového počtu zpracovávaných stromů těžil smrk ztepilý (*Picea abies* [L.] Karst.), který je zároveň v ČR nejvíce zastoupenou dřevinou (Zpráva 2018). Proto byla v této studii využita data z těžby smrku. Bylo zpracováno celkem 37 924 *.STM souborů, které obsahovaly data 221 235 vyrobených výřezů.

Software harvestoru byl přednastaven na automatické ukládání *.STM souborů, kdy každý *.STM soubor obsahoval data o jednom zpracovaném kmeni. V *.STM souborech byly zaznamenány hodnoty délek jednotlivých výřezů a hodnoty tloušťek výřezu po každých 10 cm jeho délky. Na základě těchto naměřených hodnot obsahoval *.STM soubor také hodnotu objemu výřezu vypočítaného dle algoritmu cenového typu M3s – kód 2 dle STANFORD (2012). STANFORD (2012) uvádí, že objem vypočítaný dle algoritmu cenového typu M3s je nejbližší skutečnému objemu výřezu. Při výpočtu objemu tímto způsobem je měřena tloušťka s kúrou na každém konci 10 cm dlouhé sekce výřezu. U každé sekce jsou následně zprůměrovány naměřené hodnoty tloušťky na začátku a konci a tento průměr je využit jako vstupní hodnota tloušťky pro výpočet objemu dané 10cm sekce dle Huberova vzorce (HUSCH et al. 2003). Podávacími válci harvestorové hlavice je kmen posouván a během výroby jsou měřícími senzory (měřícím kolečkem a potenciometry) měřeny jednotlivé parametry. Z nich je následně Huberovým vzorcem počítán objem jednotlivých sekcí, dokud nedosáhne hraničních hodnot délky a tloušťky pro výrobu sortimentu. Pro poslední sekci, která je kratší než 10 cm délky, se pro výpočet sekčního objemu využívá reálná délka konkrétní sekce. Celkový objem každého výřezu je finálně vyjádřen jako součet dílčích objemů jeho jednotlivých sekcí. Určení hodnoty celkového objemu výřezu tímto způsobem snižuje riziko odchylky objemu od skutečného objemu výřezu.

Pro zajištění přesnosti měření délek a tloušťek bylo na začátku každého pracovního dne harvestoru realizováno kontrolní měření. Při kontrolním měření bylo vždy pokáceno 3–5 stromů, ze kterých byly vyrobeny jednotlivé výřezy, u nichž harvestor zaznamenal jejich délky a tloušťky. Následně operátor harvestoru přenosovým protokolem Kermit importoval data z *.STM souborů kontrolních kmenů do digitální průměrky Haglöf Digitech Professional II. Digitální průměrka, vybavená digitálním pásmem Digitech Tape, byla nastavena na měření po sekcích s využitím softwaru Skalman 6.11 (Haglöf Sweden AB: Långsele, Sweden). Při tomto měření operátor měřil jednotlivé výřezy kontrolních kmenů. Na přesná místa měření jednotlivých sekcí upozorňovaly osobu provádějící měření zvukové signály. Po dokončení měření posledního výřezu byl v softwaru průměrky vytvořen *.KTR soubor, který obsahoval hodnoty odchylek mezi délkami a tloušťkami naměřenými strojově harvestorem a manuálně digitální průměrkou. Pokud se více než 20 % tloušťek lišilo o více než 4 mm, nebo více než 20 % délek o více než 2 cm, byla následně měřidla harvestoru kalibrována. Ke kalibraci byl využit výrobně-evidenční software TimberMatic umožňující ze souboru *.KTR podle StanForD Classic provést automatickou kalibraci měřidel délky a tloušťky v harvestorové hlavici. Kalibrace byla uskutečněna přenosem *.KTR souboru z digitální průměrky do výrobně-evidenčního softwaru harvestoru.

Zpracování a kategorizace dat

Údaje uložené v *.STM souborech byly převedeny do pracovního souboru *.XLSX pomocí aplikace STeMA, verze 1.0 (autor: NATOV, rok vzniku: 2016). Aplikace STeMa je přímo navržena pro analýzu *.STM souborů, které jsou ukládány v harvestorech a splňují podmínky otevřeného standardu StanForD Classic. Aplikace STeMa byla vytvořena ve skriptovacím programovacím jazyku PHP jako webová aplikace s autorizovaným přístupem. Nedisponuje grafickým uživatelským rozhraním a pracuje se s ní pomocí přímé editace zdrojového kódu. Byla

navržena a programována imperativním přístupem (procedurálně). Pro řešené téma byla z *.STM souborů přebírána interaktivně pro každý jednotlivý soubor data (proměnné). Jednalo se o tyto proměnné: *Dřevina*, *Sortiment*, *Středová tloušťka*, *Čepová tloušťka*, *Celková délka*, *Jmenovitá délka* a *Objem s kůrou dle cenového typu M3s*. Po ukončení dávkového zpracování *.STM souborů byla data zobrazena v prohlížeči a uložena ve formátu *.CSV, který umožňuje snadný převod do výsledného *.XLSX formátu pro následnou další analýzu dat. Data v *.XLSX formátu byla pročištěna od extrémních hodnot jednotlivých proměnných vzniklých chybou operátora harvestoru.

Proměnná *Dřevina* nesla informaci o druhu dřeviny (v případě této studie vždy smrk ztepilý). Proměnná *Sortiment* obsahovala informaci o zařazení výřezu do sortimentu dle požadovaných parametrů odběratele, proměnná *Středová tloušťka* vyjadřovala hodnotu tloušťky výřezu v kůře uprostřed jeho jmenovité délky. Proměnná *Celková délka* obsahovala hodnotu skutečné délky výřezu, proměnná *Jmenovitá délka* obsahovala hodnotu minimální požadované délky výřezu pro odběr daného sortimentu. Rozdíl mezi hodnotami proměnných *Celková délka* a *Jmenovitá délka* tvořil hodnotu dopočítané proměnné *Přídavek k délce*. Proměnná *Objem s kůrou dle cenového typu M3s* vyjadřovala hodnotu objemu jednotlivého výřezu v m³ s kůrou, která byla stanovena pro jmenovitou délku výřezu. Proměnná *Čepová tloušťka* vyjadřovala hodnotu tloušťky výřezu v kůře, měřené na konci jmenovité délky výřezu a sloužila jako podklad pro výpočet objemu přídavku k délce a zařazení výřezu do sortimentu. Celkový *Objem přídavku k délce* v m³ s kůrou byl následně vypočítán na základě proměnné *Přídavek k délce* a proměnné *Čepová tloušťka* dle následujícího vzorce (1):

$$V_n = \pi * \frac{(D_c * 0,001)^2}{4} * L_n * 0,01 \quad (1)$$

kde V_n [m³ s kůrou] je *Objem přídavku k délce*; π [-] je Ludolfovo číslo = 3,14; D_c [mm] je *Čepová tloušťka* s kůrou měřená na konci jmenovité délky výřezu; L_n [cm] je *Přídavek k délce*.

Na základě vypočítané veličiny *Objem přídavku k délce* byl určen relativní podíl hodnoty *Objemu přídavku k délce* vzhledem k hodnotě proměnné *Objem s kůrou dle cenového typu M3s*. Tato hodnota byla následně vyjádřena v procentech a jednalo se o *Relativní objem přídavku k délce*.

Jednotlivé výřezy byly dle proměnné *Sortiment* rozřazeny do jednotlivých skupin sortimentů (tab. 1), které byly v průběhu těžby vyráběny podle metrických a kvalitativních požadavků odběratelů. Parametry

pro výrobu jednotlivých sortimentů byly nastaveny vždy před začátkem výroby dříví ve výrobně-evidenčním softwaru operátorem harvestoru. Parametry pro výrobu jednotlivých sortimentů specifikují také přídavky k délce, které je možné při výrobě dříví harvestorovou technologií rozlišit na (i) nadměrek ke jmenovité délce požadovaný odběratelem (2 % jmenovité délky výřezu) a (ii) řezací okno vyžadované konstrukčním řešením hlavice harvestoru, jejíž přesnost měření délek při správné kalibraci měřidel se pohybuje v pásmu ± 2 cm. V této studii bylo využito doporučené řezací okno 0–4 cm (NATOV, DVOŘÁK 2018). Přídavek k délce u jednotlivých vyráběných sortimentů byl složen z různých částí (tab. 1). Z druhotné analýzy dat byla vyřazena evidovaná data ve skupině sortimentů *Těžební zbytek*, která neobsahuje žádný přídavek k délce (tzn. jmenovitá délka a celková délka výřezu je shodná). Jedná se o dříví, které je sice harvestorem evidováno, ale již nesplňuje parametry pro výrobu obchodovatelného sortimentu. V této skupině sortimentů jsme zaznamenali 25 670 výřezů o celkovém objemu 313,35 m³ s kůrou (dle cenového typu M3s). Dříví evidované ve skupině sortimentů *Těžební zbytek* bylo po těžbě ponecháno v lesním porostu. Ostatní skupiny sortimentů označovaly obchodovatelné sortimenty vyráběné dle požadavku odběratelů. Sortiment skupiny *Kulatina* obsahoval výřezy kmene určené pro pilařské zpracování, výrobu krájené dýhy, výrobu loupané dýhy, rezonanční výřezy a jiné speciální výřezy. Slabé výřezy určené pro pilařské zpracování byly zařazeny do sortimentu skupiny *Agregát*. Poslední rozlišovanou skupinou sortimentů byla *Vláknina*, která zahrnovala výřezy určené pro výrobu buničiny, dřevoviny a dřevovláknitých desek (tab. 1).

Pro analýzu dat byla data rozdělena také do jednotlivých kategorií dle jmenovité délky výřezu a dle středové tloušťky výřezu (tab. 2). Pro analýzu objemu přídavků k délce výřezů s kořenovými náběhy byly vytvořeny kategorie výřezů *Oddenkový výřez* a *Ostatní výřez*. Kategorie *Oddenkový výřez* zahrnovala vždy první vyrobený výřez z každého pokáceného stromu, tzn. výřezy často tvarově ovlivněné kořenovými náběhy. Do kategorie *Ostatní výřez* byly zahrnuty zbývající vyrobené výřezy z každého pokáceného stromu.

Analýza dat

Statistické analýzy byly zpracovány v softwaru Statistica 13 (TIBCO Software Inc.: Palo Alto, CA, USA). Pro získání průměrných a sumarizujících hodnot jednotlivých proměnných byly využity popisné statistiky (SD – směrodatná odchylka, průměr, počet, součet). Rozdíl mezi relativními průměrnými objemy nevidovaného dříví

Tab. 1.

Jednotlivé skupiny sortimentů smrkového dříví vyráběné harvestorem dle požadavků odběratelů; u každé skupiny jsou uvedeny parametry pro zařazení výřezu do dané skupiny sortimentů a složení přídavku k délce sortimentu

Groups of assortments of Norway spruce timber produced by the harvester, according to customer requirements; for each group of assortments, the parameters of the minimum top end diameter, the parameters of the nominal lengths and the composition of the length allowance are stated

Skupina sortimentů/ Group of assortments	Minimální čepová tloušťka/ Minimum top end diameter (mm)	Jmenovitá délka/ Nominal length (cm)	Přídavek k délce/ Length allowance
Kulatina/Roundwood	200	250, 300, 400, 500, 570, 600	N + RO
Agregát/Aggregate	120	250, 300, 400, 500	N + RO
Vláknina/Pulpwood	70	200, 250, 400	RO
Těžební zbytek/Residues	X	X	BP

Vysvětlivky/Captions: X – nestanoveno/not specified; N – nadměrek ke jmenovité délce/length margin; RO – řezací okno/cutting window; BP – bez přídavku k délce/no length allowance

v přídavicích k délce, vzhledem k průměrnému objemu výřezu v jednotlivých skupinách sortimentů, byly testovány s využitím obecných lineárních modelů (General Linear Models; GLM), konkrétně jednosměrné analýzy rozptylu (One-way ANOVA). Signifikantní rozdíly byly následně testovány post-hoc Tukeyho HSD testem s vyznačením homogenních skupin. Pro testování relativních průměrných objemů nevidovaného dříví v přídavicích k délce mezi kategoriemi výřezů dle jejich jmenovité délky a středové tloušťky v jednotlivých skupinách sortimentů byly využity obecné lineární modely (GLM), konkrétně vícefaktorová analýza rozptylu (Factorial ANOVA). Vícefaktorová analýza rozptylu byla využita také pro testování rozdílů relativních průměrných objemů nevidovaného dříví v přídavicích k délce mezi oddenkovými výřezy a ostatními výřezy v jednotlivých skupinách sortimentů. Signifikantní rozdíly byly následně testovány post-hoc Tukeyho HSD testem s vyznačením homogenních skupin. Pro všechny statistické testy byla zvolena hladina významnosti $\alpha = 5\%$.

VÝSLEDKY

Celkem bylo do analýzy zahrnuto 195 565 kusů obchodovatelných smrkových výřezů. Celkový evidovaný objem těchto výřezů dle algoritmu cenového typu M3s činil 31 874,36 m³. Celkový nevidovaný objem dříví zjištěný v přídavicích k délce byl 697,76 m³, což představovalo přírůstek 2,19 % k celkovému objemu evidovaného obchodovatelného dříví harvestorem. Průměrné hodnoty proměnných určujících zařazení výřezu do skupiny sortimentů, počty výřezů a celkové evidované i nevidované objemy dříví v jednotlivých obchodovatelných sortimentech předkládá tab. 3.

Mezi jednotlivými skupinami sortimentů dříví byly zjištěny signifikantní rozdíly průměrného relativního objemu přídávku k délce (obr. 1). Nejvyšší průměrný relativní objem přídávku k délce vzhledem k celkovému objemu výřezu byl zjištěn ve skupině *Kulatina* (2,43 %; SD = směrodatná odchylka = 0,38 %), následován skupinou *Agregát* (2,41 %; SD = 0,30 %), přičemž nejnižší průměrný relativní objem přídávku k délce byl zaznamenán ve skupině *Vláknina* (1,22 %; SD = 0,32 %).

Tab. 2.

Kategorizace výřezů dle jmenovité délky výřezu a středové tloušťky výřezu; hodnota středové tloušťky vyjadřuje hodnotu tloušťky výřezu ve středu jmenovité délky

Categorization of logs according to nominal length and midspan diameter; the midspan diameter represents the value of the diameter in the middle of the nominal length

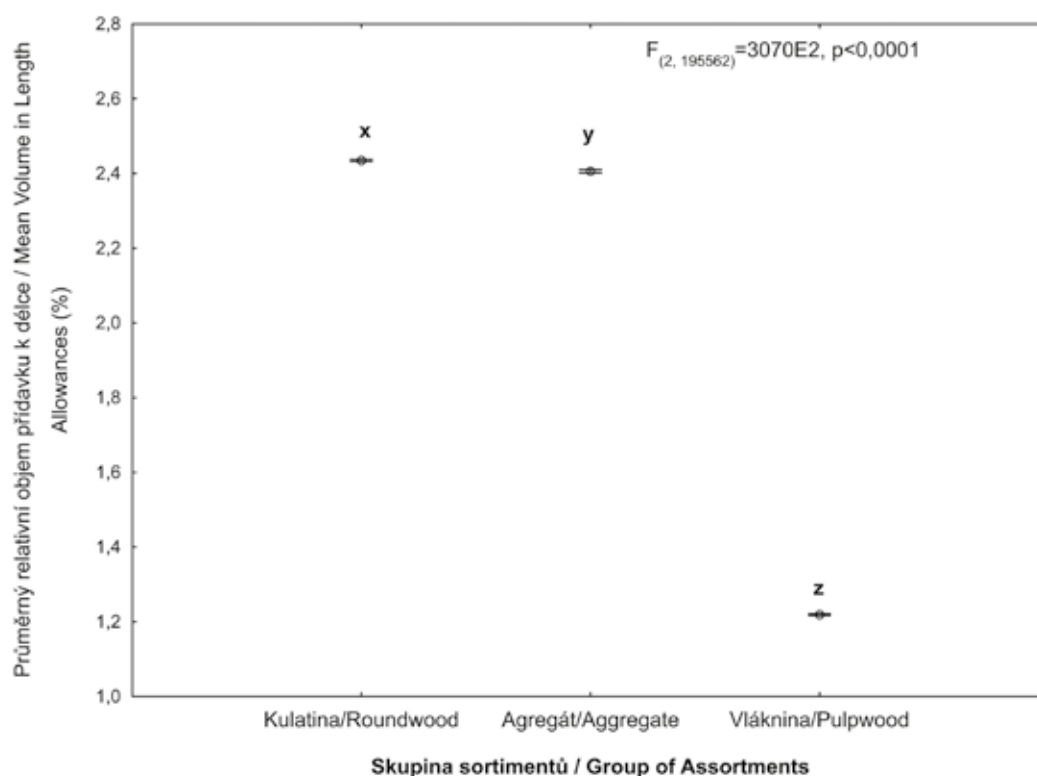
Délková kategorie/ Length category	Jmenovitá délka/ Nominal length (cm)	Tloušťková kategorie/ Diameter category	Středová tloušťka/Midspan diameter (mm s kůrou/mm over bark)
1	0–200	A	0–150
2	201–400	B	151–300
3	401–600	C	301–450
		D	451–800

Tab. 3.

Hodnoty proměnných určujících zařazení výřezu do skupiny sortimentů a celkové objemy evidovaného i nevidovaného dříví v jednotlivých obchodovatelných sortimentech

Mean values of variables determining the group of assortments, and total volumes of recorded and unrecorded timber in individual merchantable assortments

Proměnná výřezů/Variable of logs	Kulatina/ Roundwood	Agregát/ Aggregate	Vláknina/ Pulpwood	Celkem/ Total
Celkový počet (ks)/Total number (pcs)	66 320	21 370	107 875	195 565
Průměrná jmenovitá délka/Mean nominal length (cm)	435,5	405,9	207,9	306,7
Průměrná čepová tloušťka/Mean top end diameter (mm)	288,9	173,8	161,3	205,9
Průměrná délka přídávku (cm)/Mean length allowance (cm)	12,2	12,1	3,0	7,1
Průměrný evidovaný objem (m ³ s kůrou)/ Mean recorded volume (m ³ over bark)	0,34	0,12	0,06	0,16
Celkový evidovaný objem (m ³ s kůrou)/ Total recorded volume (m ³ over bark)	22688,76	2603,11	6582,49	31874,36
Celkový nevidovaný objem v přídavicích k délce (m ³ s kůrou)/ Total unrecorded volume in length allowances (m ³ over bark)	553,78	61,89	82,09	697,76
Celkový nevidovaný objem v přídavicích k délce/ Total unrecorded volume in length allowances (%)	2,44	2,38	1,25	2,19



Obr. 1.

Rozdíly průměrných relativních objemů přídávku k délce mezi jednotlivými skupinami sortimentů dříví; různá písmena (x, y, z) indikují signifikantní rozdíly mezi skupinami zjištěné post-hoc Tukey HSD testem ($\alpha = 5\%$), chybové úsečky znázorňují 95% interval spolehlivosti

Fig. 1.

Differences in mean relative timber volume in length allowances between groups of timber assortments; Letters (x, y, z) indicate significant differences found by post-hoc Tukey HSD test ($\alpha = 5\%$), the error bars indicate a 95% confidence interval

Tab. 4.

Počty výřezů a jejich objem po kategorizaci dle jejich jmenovité délky a středové tloušťky v jednotlivých vyráběných skupinách sortimentů dříví
Number of logs and their volume in groups of assortments after categorization according to their nominal length and midspan diameter

Jmenovitá délka/ Nominal length (cm)	0–200 (kat. 1)		201–400 (kat. 2)		401–600 (kat. 3)	
Středová tloušťka/ Midspan diameter (mm)	Počet výřezů (ks)/ Number of logs (pcs)	Objem výřezů/ Total volume (m ³)	Počet výřezů (ks)/ Number of logs (pcs)	Objem výřezů/ Total volume (m ³)	Počet výřezů (ks)/ Number of logs (pcs)	Objem výřezů/ Total volume (m ³)
Kulatina/Roundwood						
0–150 (kat. A)	X	X	X	X	X	X
151–300 (kat. B)	X	X	19248	3901,93	16605	4711,12
301–450 (kat. C)	X	X	16697	6563,04	11149	5437,96
451–800 (kat. D)	X	X	2226	1680,12	395	394,60
Agregát/Aggregate						
0–150 (kat. A)	X	X	232	16,52	X	X
151–300 (kat. B)	X	X	19188	2246,20	1948	339,93
301–450 (kat. C)	X	X	2*	0,46	X	X
451–800 (kat. D)	X	X	X	X	X	X
Vlákna/Pulpwood						
0–150 (kat. A)	47859	1071,49	6750	214,64	X	X
151–300 (kat. B)	37313	2321,80	5177	405,69	X	X
301–450 (kat. C)	8356	1706,11	907	226,48	X	X
451–800 (kat. D)	1403	581,64	110	54,64	X	X

Vysvětlivky/Captions: X – V této kategorii nebyl zaznamenán žádný výřez/No log recorded in this category; kat. –kategorie/category; * – Tato kategorie obsahovala pouze 2 ks výřezů, které byly navíc výrazně tvarově deformované/This category contained only 2 logs, which were significantly deformed in shape.

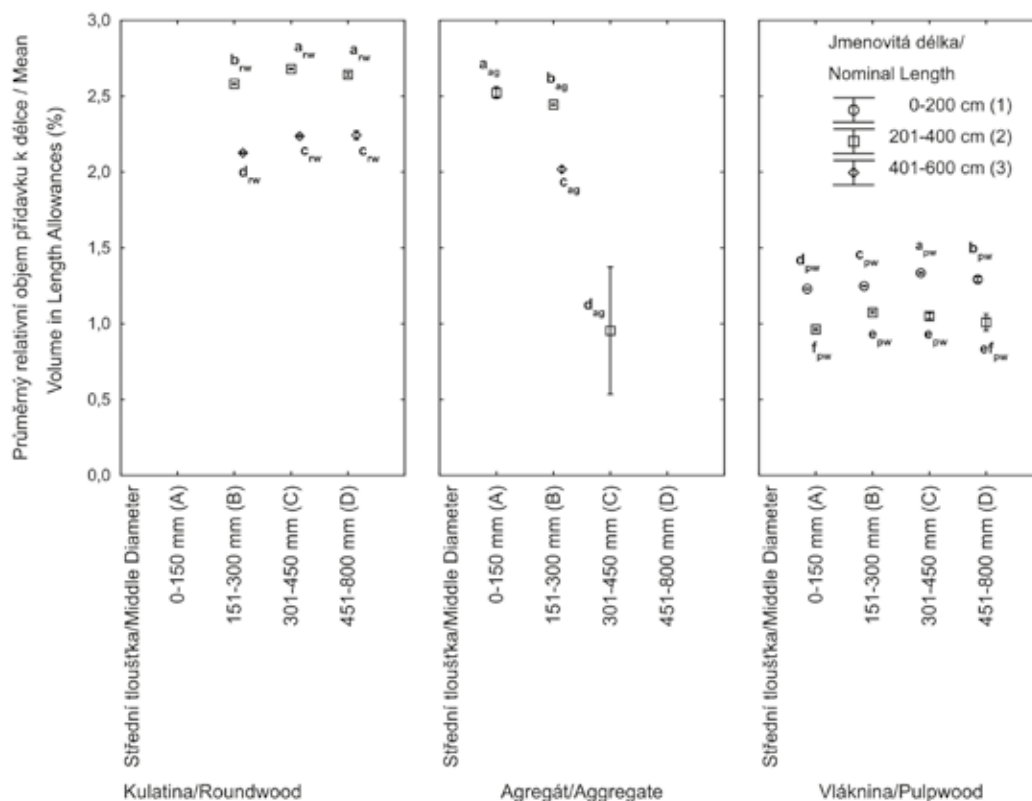
Výřezy v každé skupině sortimentů byly rozděleny do kategorií dle jejich jmenovité délky a středové tloušťky (tab. 4). Po této kategorizaci výřezů byly zjištěny signifikantní rozdíly průměrných relativních objemů přídatků k délce mezi jednotlivými kategoriemi dané skupiny sortimentů (obr. 2). Ve skupině sortimentů *Kulatina* byly zjištěny nejvyšší průměrné relativní objemy přídatků k délce vzhledem k celkovému objemu výřezu u výřezů v délkové kategorii 2. V této délkové kategorii byl nejvyšší průměrný relativní objem přídatků k délce zjištěn u výřezů tloušťkové kategorie C (2,68 %; SD = 0,35 %) a u výřezů tloušťkové kategorie D (2,64 %; SD = 0,42 %), poté u výřezů tloušťkové kategorie B (2,58 %; SD = 0,33 %). V délkové kategorii 3 byly zjištěny nejvyšší hodnoty u výřezů tloušťkové kategorie C (2,24 %; SD = 0,21 %) a tloušťkové kategorie D (2,24 %; SD = 0,20 %), poté následovaly výřezy z tloušťkové kategorie B (2,13 %; SD = 0,23 %).

Ve skupině sortimentů *Agregát* byl zjištěn nejvyšší průměrný relativní objem přídatků k délce u výřezů délkové kategorie 2 a tloušťkové kategorie A (2,52 %; SD = 0,22 %), poté u výřezů délkové kategorie 2 a tloušťkové kategorie B (2,44 %; SD = 0,28 %) a následně u výřezů délkové kategorie 3 a tloušťkové kategorie B (2,02 %; SD = 0,23 %).

Nejnižší průměrný relativní objem přídatků k délce byl zaznamenán u výřezů délkové kategorie 3 a tloušťkové kategorie C (0,95 %; SD = 0,07 %), tato kategorie však obsahovala pouze 2 ks výřezů.

Ve skupině sortimentů *Vláknina* byly zjištěny nejvyšší průměrné relativní objemy přídatků k délce u výřezů v délkové kategorii 1. V této délkové kategorii byl nejvyšší průměrný relativní objem přídatků k délce zjištěn u výřezů tloušťkové kategorie C (1,33 %; SD = 0,35 %), poté u výřezů tloušťkové kategorie D (1,29 %; SD = 0,37 %), u výřezů tloušťkové kategorie B (1,25 %; SD = 0,33 %) a nejnižší u výřezů tloušťkové kategorie A (1,23 %; SD = 0,29 %). V délkové kategorii 2 byly zjištěny následující hodnoty – výřezy tloušťkové kategorie B (1,07 %; SD=0,29 %), výřezy tloušťkové kategorie C (1,05 %; SD=0,27 %), výřezy tloušťkové kategorie D (1,01 %; SD=0,29 %) a výřezy tloušťkové kategorie A (0,96 %; SD=0,24 %).

Dle obr. 2 ve skupině sortimentů *Kulatina* nebyly zjištěny signifikantní rozdíly mezi výřezy délkové kategorie 2 a tloušťkové kategorie C a výřezy délkové kategorie 2 a tloušťkové kategorie D (a_{rw} - a_{rw}), stejně tak jako mezi výřezy délkové kategorie 3 a tloušťkové kategorie C a výřezy délkové kategorie 3 a tloušťkové kategorie D (c_{rw} - c_{rw}). Ve



Obr. 2.

Rozdíly průměrných relativních objemů přídatků k délce mezi kategoriemi výřezů rozřazených dle jejich jmenovité délky a středové tloušťky v jednotlivých skupinách sortimentů. Různá písmena (a,b,c,d,e,f) indikují signifikantní rozdíly mezi kategoriemi v dané skupině sortimentů zjištěné post-hoc Tukey HSD testy ($\alpha = 5\%$). Skupiny sortimentů jsou rozlišeny pomocí textových indexů (rw, ag, pw), chybové úsečky znázorňují 95% interval spolehlivosti. Statistický výsledek v kategorii d_{ag} je ovlivněn nízkým počtem výřezů a jejich tvarovou deformací.

Fig. 2.

Differences in mean relative timber volume in length allowances between the categories of logs sorted according to their nominal length and middle diameter in individual groups of assortments. Different letters (a,b,c,d,e,f) indicate significant differences between categories in the group of assortments revealed by post-hoc Tukey HSD test ($\alpha = 5\%$). Groups of assortments are distinguished by text indices (rw, ag, pw), the error bars indicate a 95% confidence interval. Statistical result in the d_{ag} category is influenced by the low number of logs and their shape deformation.

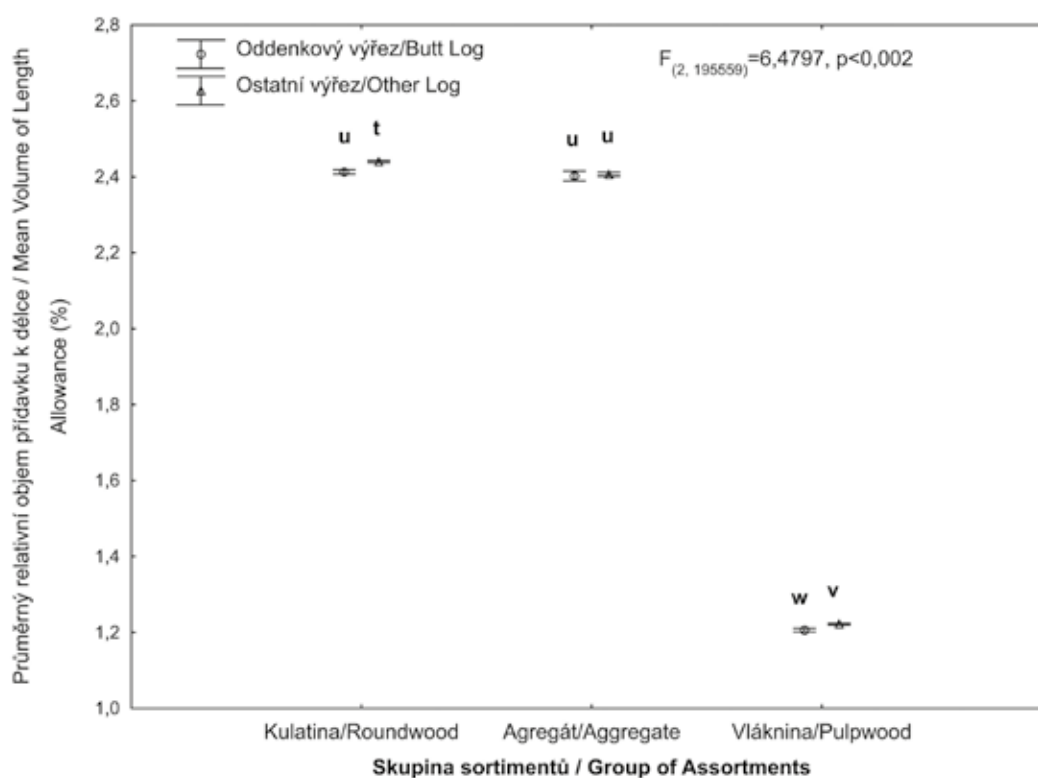
skupině sortimentů *Vláknina* nebyly zjištěny signifikantní rozdíly mezi výřezy v délkové kategorii 2, a to konkrétně mezi tloušťkovými kategoriemi B, C a D ($e_{pw} - e_{pw} - e_{pw}$) a mezi tloušťkovými kategoriemi A a D ($f_{pw} - f_{pw}$).

Z celkového počtu 195 565 výřezů bylo do kategorie oddenkový výřez zařazeno 37 725 výřezů. Skupina sortimentů *Kulatina* obsahovala 13 621 oddenkových výřezů (36,1 % z jejich celkového počtu). Skupina *Agregát* zahrnovala 2 682 oddenkových výřezů (7,1 %) a *Vláknina* 21 422 (56,8 %). Ve skupině *Kulatina* byl zjištěn signifikantní rozdíl mezi průměrným relativním objemem přídatku k délce u oddenkového výřezu (2,41 %; SD = 0,38 %) a ostatních výřezů (2,44 %; SD = 0,38 %). Ve skupině *Agregát* činil průměrný relativní objem přídatku k délce u oddenkových výřezů 2,40 % (SD = 0,27 %) a u ostatních výřezů 2,41 % (SD = 0,31 %), statisticky však rozdíl nebyl významný. Ve skupině *Vláknina* byl zaznamenán průměrný relativní objem přídatku k délce u oddenkových výřezů 1,21 % (SD = 0,32 %) a u ostatních výřezů 1,22 % (SD = 0,32 %), tento rozdíl byl signifikantní (obr. 3).

DISKUSE

V důsledku neevidování přídatků k délce došlo ke ztrátě 2,19 % z objemu smrkového dříví obchodovatelných sortimentů vyráběných harvesterem. Tento podíl dříví nebyl zahrnut do prvotní evidence dříví vyráběného harvesterovou technologií. Obdobný výsledek (2,31 %) byl zjištěn ve studii, která zahrnovala data 294 kmenů smrku z obnovní těžby jednoho porostu (DVOŘÁK et al. 2018). Tento výsledek byl však vztažen k celkovému objemu smrkového dříví bez kůry, stanoveného cenovým typem M3toDE dle STANFORD (2012). Relativní podíl neevidovaného dříví, zjištěný v přídatcích k délce ve studii DVOŘÁK et al. (2018), může být vyšší kvůli použití rozdílných cenových typů. Objem smrkového dříví stanovený podle cenového typu M3s je totiž průměrně o 5,67 % vyšší než objem stanovený podle cenového typu M3toDE (LÖWE et al. 2019).

Protože přídatek k délce u jednotlivých sortimentů může být složen z jedné nebo ze dvou různých částí, tj. nadměrek a řezací okno (NATOV, DVOŘÁK 2018), byly zjištěny významné rozdíly také mezi skupinami sortimentů. Zatímco přídatek k délce u skupiny sortimentů



Obr. 3.

Rozdíly průměrných relativních objemů přídatků k délce mezi oddenkovými výřezy a ostatními výřezy v jednotlivých skupinách sortimentů dříví. Různá písmena (t,u,v,w) indikují signifikantní rozdíly mezi výřezy a mezi skupinami sortimentů zjištěné post-hoc Tukey HSD testem ($\alpha = 5\%$), chybové úsečky znázorňují 95% interval spolehlivosti. Mezi oddenkovými výřezy ve skupině *Agregát*, ostatními výřezy ve skupině *Agregát* a oddenkovými výřezy ve skupině *Kulatina* nebyly zjištěny signifikantní rozdíly (u-u-u).

Fig. 3.

Differences in mean relative timber volume in length allowances between butt logs and other logs in different groups of assortments. Different letters (t,u,v,w) indicate significant differences revealed by post-hoc Tukey HSD test ($\alpha = 5\%$), the error bars indicate a 95% confidence interval. There were no significant differences between butt logs in the group *Aggregate*, other logs in the group *Aggregate* and butt logs in the group *Roundwood* (u-u-u).

Vláknina byl tvořen pouze nastaveným řezacím oknem, které způsobilo, že se neevidovalo 1,22 % objemu dříví, u skupin *Agregát* a *Kulatina* v důsledku použití řezacího okna i nadměrku došlo k navýšení neevidovaného objemu dříví na dvojnásobek (2,41–2,43 %).

Ve skupině sortimentů *Kulatina* byly zjištěny výrazně vyšší hodnoty relativního průměrného objemu přídatku u výřezů se jmenovitou délkou 201–400 cm (délková kategorie 2) oproti výřezům se jmenovitou délkou 401–600 cm (délková kategorie 3). Stejný trend zvyšujícího se průměrného relativního objemu přídatku výřezu se snižující se jmenovitou délkou výřezu byl zjištěn i u výřezů ve skupinách sortimentů *Agregát* a *Vláknina*. Ve skupině *Agregát* byl tento výsledek zjištěn mezi výřezy s kratší jmenovitou délkou 201–400 cm (délková kategorie 2) a s delší jmenovitou délkou 401–600 cm (délková kategorie 3), ve skupině *Vláknina* zase mezi výřezy s kratší jmenovitou délkou 0–200 cm (délková kategorie 1) a delší jmenovitou délkou 201–400 cm (délková kategorie 2). Tento výsledek pravděpodobně souvisí s řezacím oknem, které je nastaveno u všech sortimentů v absolutním rozmezí 0–4 cm. Relativní objem v přídatcích k délce, zjištěný na základě absolutního rozmezí délky řezacího okna, tak bude mít vyšší hodnotu u kratších výřezů. V souvislosti s těmito výsledky je nutné upozornit na statistický výsledek výřezů ve skupině *Agregát*, konkrétně na kategorii výřezů o střední tloušťce 301–450 mm (tloušťková kategorie C) a jmenovité délce 201–400 cm (délková kategorie 2). Tuto kategorii tvořily pouze dva výřezy, které byly navíc extrémní z hlediska tvarové deformace. Z tohoto důvodu nelze považovat výsledky z této kategorie výřezů ve skupině sortimentů *Agregát* za relevantní.

Analýza průměrných relativních objemů přídatků k délce mezi oddenkovými výřezy a ostatními výřezy v jednotlivých skupinách sortimentů prokázala významné rozdíly. Ve skupinách sortimentů *Kulatina* a *Vláknina* byly průměrné relativní objemy přídatků u oddenkových výřezů vyšší než u ostatních výřezů. Oddenkové výřezy jsou výřezy charakteristické kořenovými náběhy, které zesilují čelní část výřezu (CARPENTER et al. 1989). Kořenové náběhy tedy způsobí, že oddenkový výřez má větší objem než výřez neobsahující kořenové náběhy. Z tohoto důvodu je průměrný relativní objem přídatků vycházející z čepové tloušťky výřezu u oddenkového kusu nižší než u ostatních kusů, neboť se vztahuje k rozdílnému základu objemu výřezu. Statisticky tento rozdíl nebyl prokázán u výřezů ve skupině sortimentů *Agregát*, což může souviset s tím, že tato skupina obsahuje výřezy nižších dimenzí, kde kořenové náběhy oddenkových kusů ještě často nejsou patrné.

Hodnoty objemů dříví v této studii představují objemy vyjadřované s kůrou. To zaručuje, že se při vyjádření hodnoty objemu vyvarujeme nepřesností způsobených odhadem srážky objemu na kůru. Způsoby odhadu tloušťky kůry se tato studie nezabývala; věnují se jim například LAASASENAHO et al. (2005), MARSHALL et al. (2006) a STÄNGLE et al. (2016).

Pro zajištění spolehlivých výstupů prvotní evidence harvestoru je nezbytné provádět pravidelnou kontrolu měřicích systémů harvestoru a pokud je to nutné, provést jejich kalibraci. Pravidelná kontrola a kalibrace zvyšuje přesnost měřicích systémů harvestoru (NIEUWENHUIS, DOOLEY 2006) a zvyšuje důvěryhodnost jeho výstupů. Přípustná odchylka v objemu dříví je zpravidla mezi 2–5 % podle subjektů provádějících výrobu dříví (NATOV, DVOŘÁK 2018; LČR 2019). Pro kontrolní měření a následnou kalibraci stroje je vhodné využít digitální průměrku s digitálním pásmem, protože se jedná o rychlejší, přesnější a efektivnější metodu než je metoda využívající tradiční analogové přístroje (LÖWE et al. 2019). Doporučená frekvence kontrolního měření, stejně jako postup kontrolního měření a následné kalibrace, jsou detailně popsány v Doporučených pravidlech pro elektronický příjem dříví harvestory v ČR 2018 (NATOV, DVOŘÁK 2018).

I přes pravidelné kontrolní měření a kalibrace měřicích systémů harvestoru je však nutné počítat s určitou chybou měření. Měření délky výřezu s přesností na centimetry, které je zajišťováno otáčením měřicího kolečka po kmeni (LEITNER et al. 2014), může být negativně ovlivněno posunem po stržené kůře, boulovitostí kmene, poškozením kmene nebo příliš vysokou vlhkostí kmene (MAKKONEN 2001). Přesnost měření mohou také negativně ovlivnit silné a časté větve (ANDERSSON, DYSON 2001), které se hojně vyskytují zejména při zpracování listnatých dřevin (BEMBENEK et al. 2015).

ZÁVĚR

Neevidovaný objem dříví v přídatcích k délce výřezu je nezanedbatelný. Ukázalo se, že sortimenty, jejichž přídatek k délce je tvořen nadměrkem ke jmenovité délce i řezacím oknem, mají přibližně dvakrát vyšší neevidovaný objem v přídatcích k délce než sortimenty, jejichž přídatek k délce je tvořen pouze řezacím oknem. Po rozdělení výřezů dle jmenovité délky a středové tloušťky bylo v jednotlivých skupinách sortimentů zjištěno, že výřezy s kratší jmenovitou délkou mají zpravidla vyšší relativní objem přídatku k délce než výřezy s delší jmenovitou délkou. To je způsobeno řezacím oknem, které je dané absolutním délkovým rozmezím, a významněji tak zvyšuje relativní podíl neevidovaného dříví v přídatcích k délce u výřezů s kratší jmenovitou délkou. Ve skupinách sortimentů *Kulatina* a *Vláknina* bylo také zjištěno, že relativní objem přídatku k délce je významně nižší u oddenkových výřezů oproti ostatním výřezům, což je způsobeno zesílením čelní části oddenkových výřezů kořenovými náběhy.

Tyto výsledky mohou být využity jako podklad dodavatelům dříví pro odhady množství neevidovaného dříví v přídatcích k délce, které je předáváno odběratelům dříví. Zároveň mohou být využity pro doplnění záznamů lesní hospodářské evidence o odhad neevidovaného objemu dříví v přídatcích k délce. Výsledky také mohou posloužit jako podklad pro diskusi ohledně srovnávání výsledků objemu celkové roční těžby Národní inventarizace lesů České republiky (NIL2) s údaji uveřejněnými ve Zprávách o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky, které publikoval ADOLT et al. (2016). Jako doporučení další studie navrhuje aplikovat výše popsanou metodiku na datech získaných od několika kalibrovaných harvestorů provádějících těžbu v různých přírodních podmínkách na území celé České republiky.

Poděkování:

Příspěvek vznikl díky podpoře České zemědělské univerzity v Praze, Fakulty lesnické a dřevařské, Interní grantové agentury (IGA A/04/18 a IGA A/08/18).

LITERATURA

- ADOLT R., KUČERA M., KOHN I., KRATĚNA L., FEJFAR J., ZÁVODSKÝ J., PIŠKYTLOVÁ K., ČECH Z. 2016. Výstupy Národní inventarizace lesů uskutečněné v letech 2011–2015, 3. Těžba dříví. Lesnická práce, 95 (2): 8 s. [příloha]
- ANDERSSON B., DYSON P. 2001. Log measuring accuracy of harvesters and processors. In: Council on Forest Engineering (COFE) Conference Proceedings: Appalachian Hardwoods: Managing Change. Snowshoe, July 15-18, 2001. Vancouver, British Columbia, Forest Engineering Research Institute of Canada: 5 s. Dostupné na/Available on: https://cofe.frec.vt.edu/documents/2001/COFE_2001_Anderson_Dyson.pdf
- BEMBENEK M., MEDERSKI P. S., KARASZEWSKI Z., ŁACKA A., GRZYWINSKI W., WEGIEL A., GIEFING D.F., ERLER J. 2015. Length accuracy of logs from birch and aspen harvested in thinning operations. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 39: 845–850. DOI: 10.3906/tar-1406-39
- CARPENTER R.D., SONDERMAN D.L., RAST E. D., JONES M.J. 1989. Defects in hardwood timber. Washington DC, U. S. Department of Agriculture: 88 s. Agriculture Handbook No. 678.
- DVOŘÁK J., BYSTRICKÝ R., HOŠKOVÁ P., HRIB M., JARKOVSKÁ M., KOVÁČ J., KRILEK J., NATOV P., NATOVÁ L. 2011. The use of harvester technology in production forests. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce: 156 s. Folia Forestalia Bohemica, 21.
- DVOŘÁK J., NATOV P. 2016. Plošný výrobní potenciál pro harvesterovou technologii v ČR k 31. 12. 2015. (Specializované mapy s odborným obsahem). Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze: 32 s.
- DVOŘÁK J., NATOV P., JANKOVSKÝ M. 2018. Analysis of unregistered timber volume in allowance in cut-to-length logging. In: Formec 2018. 51st edition of the International Symposium of Forestry Mechanization. Proceedings. 24–28 September 2018. Madrid, Spain. [Madrid], Fundación Conde del Valle de Salazar: 97–111. Dostupné na/Available on: <https://www.formec.org/images/proceedings/2018/Proceedings2018.PDF>
- GELLERSTEDT S., DAHLIN B. 1999. Cut-to-length: the next decade. International Journal of Forest Engineering, 10: 17–25.
- HUSCH B., BEERS T.W., KERSHAW J.A. 2003. Forest mensuration. New York, Wiley: 443 s.
- LAASASENAHO J., MELKAS T., ALDÉN S. 2005. Modelling bark thickness of *Picea abies* with taper curves. Forest Ecology and Management, 206: 35–47. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.10.058
- LČR. 2019. Výroba a prodej dříví na LS a LZ – procesní směrnice 8/2019. Hradec Králové: Lesy České republiky: 42 s.
- LEITNER T., STAMPFER K., VISSER R. 2014. Analysing log length measurement accuracy of harvester and processor heads. Austrian Journal of Forest Science, 131: 129–146.
- LUNDBÄCK M., HÄGGSTRÖM C., NORDFJELL T. 2018. Worldwide trends in the methods and systems for harvesting, extraction and transportation of roundwood. In: Proceedings of the 6th International Forest Engineering Conference “Quenching our thirst for new Knowledge”. 16–19. April 2018. Rotorua. New Zealand: [3 s.] Dostupné na/Available on: <http://www.foresteng.canterbury.ac.nz/FEC2018.shtml>
- LÖWE R., SEDMÍKOVÁ M., NATOV P., JANKOVSKÝ M., HEJCMANOVÁ P., DVOŘÁK J. 2019. Differences in timber volume estimates using various algorithms available in the control and information systems of harvesters. Forests, 10 (5): 388. DOI: 10.3390/f10050388
- MAKKONEN I. 2001. Factors affecting measurement accuracy in processing heads. Advantage – Forest Engineering Research Institute Canada, 2 (24): 1–9.
- MARSHALL H.D., MURPHY G.E., LACHENBRUCH B. 2006. Effects of bark thickness estimates on optimal log merchandising. Forest Products Journal, 56: 87–92.
- NATOV P., DVOŘÁK J., SEDMÍKOVÁ M., LÖWE R., FERENČÍK M. 2017. Srovnání vyrobeného objemu dříví harvesterem se zásobou porostu stanovenou objemovými tabulkami. Zprávy lesnického výzkumu, 62: 1–6.
- NATOV P., DVOŘÁK J. 2018. Doporučená pravidla pro elektronický příjem dříví harvestory v ČR 2018. Praha, Produkce BPP: 136 s.
- NERUDA J., VALENTA J. 2003. Factors of the efficiency of harvesters and forwarders in logging. In: Proceedings of the Austro2003 Symposium. High tech forest operations for mountainous terrain. Schlögl, Austria, 5–9 October 2003. Wien, BOKU: 1–11 [CD-ROM]
- NIJEUWENHUIS M., DOOLEY T. 2006. The effect of calibration on the accuracy of harvester measurements. International Journal of Forest Engineering, 17: 25–33.
- POLENO Z., VLKOVÁ V., RYBNÍČEK P. 1994. Lesnický naučný slovník, díl I. Praha, Agrospoj: 743 s.
- PULKKI R. 1997. Cut-to-length, tree-length or full tree harvesting? Central Woodlands, 1: 22–27.
- SIMANOV V. 2003. Rozdíly v evidovaném objemu dříví. Lesnická práce, 82 (2): 32–34.
- SPINELLI R., LOMBARDINI C., MAGAGNOTTI N. 2014. The effect of mechanization level and harvesting system on the thinning cost of Mediterranean softwood plantations. Silva Fennica, 48: 1–15. DOI: 10.14214/sf.1003
- STANFORD. 2012. Standard for Forest Data and Communications. Appendix: Definitions of variables – General and country specific. Version (last update 2012-04-18) [online]. The Forest Research Institute of Sweden. Uppsala: 32 s. [cit. 2019-07-05]. Dostupné na/Available on: https://www.skogforsk.se/cd_48e53b/contentassets/b063db55a664ff8b515ce121f4a42d1/appendix1_eng_120418.pdf
- STÄNGLE S., SAUTER U., BRÜCHERT F., KÄNDLER G. 2016. A review of bark deduction values for Norway spruce logs in Baden-Württemberg. Forstarchiv, 87: 162–169. DOI: 10.4432/0300-4112-87-162
- WOJNAR T. et al. 2007. Doporučená pravidla pro měření a třídění dříví v ČR 2008. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce: 147 s.
- Zpráva. 2018. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2017 [online]. Praha, Ministerstvo zemědělství ČR: 116 s. [cit. 2019-07-07]. Dostupné na/Available on: <http://eagri.cz/public/web/mze/lesy/lesnictvi/zprava-o-stavu-lesa-a-lesního/zprava-o-stavu-lesa-a-lesního-3.html>

ANALYSIS OF UNRECORDED TIMBER VOLUME IN LENGTH ALLOWANCES OF LOGS IN SPRUCE TIMBER PRODUCTION BY HARVESTER'S TECHNOLOGY

SUMMARY

The cut-to-length (CTL) logging method, closely linked to the harvester technology, has an increasing share on the total annual felling in the Czech Republic (NATOV et al. 2017). Thus, more and more merchantable timber is recorded by harvesters. During felling, there are losses in the recorded timber volume. These losses can be factual or fictitious (SIMANOV 2003). In the harvester felling, the fictitious losses can occur e.g. by using various volume estimation algorithms that can be set in the control and information system of harvesters (LÖWE et al. 2019). The factual losses include losses caused by cross-cutting, not processing of the tree tops, unrecording timber volumes in length allowances etc. (SIMANOV 2003; DVOŘÁK et al. 2018). The length allowances to an assortment can be differentiated into (i) the length margin to the nominal log length, required for some assortments by the customer, and (ii) the cutting window, required by the harvester machine design. The length margin to the nominal length is used for compensation of losses caused by shrinkage of wood or cross-cutting during sawmill processing. The length margin is provided free of charge to the customer (POLENO et al. 1994). The cutting window is a specific type of length allowance determining the tolerance to the measuring devices in the harvester head (NATOV, DVOŘÁK 2018). Adjusting the cutting window shortens the time needed to set the log for the correct position of the cut and increases machine productivity (DVOŘÁK et al. 2018).

The aim of our pilot study was to estimate the share of unrecorded timber volume in length allowances on the total over bark volume of merchantable assortments as recorded by a harvester and to find out the volume differences in length allowances for particular groups of assortments. The partial aim was to find out whether the average relative volume in length allowances differs between butt logs and other logs in the groups of assortments.

The study was carried out on a John Deere 1270E harvester with a TimberMatic control and information system that mainly worked in final and salvage fellings. Data were gathered from *.STM files from March 2017 to June 2018. Each *.STM file contained data from one processed stem. We evaluated 37,924 *.STM files that represented the total number of 221,235 Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) logs. To ensure the accuracy of the measured lengths and diameters, the harvester measuring devices were regularly checked and, if necessary, calibrated. The recorded total log volume was calculated according to the M3s algorithm (STANFORD 2012) and expressed in m³ over bark. The relative log volume in length allowance was related to the total recorded log volume over bark. All logs were divided into groups of assortments according to metric parameters, quality parameters and composition of the length allowance (Tab. 1). Statistical analyses were performed in the Statistica 13 package (TIBCO Software Inc.: Palo Alto, CA, USA).

The total unrecorded timber volume in length allowances of merchantable assortments represented 2.19% of the total registered timber volume (Tab. 3). This portion of timber was therefore not included in the primary records of timber produced by the harvester.

After dividing the logs into individual groups of assortments, it was found that the average relative volume in length allowances was 2.41–2.43% in the *Roundwood* and *Aggregate* groups, while in the *Pulpwood* group it was 1.22% (Fig. 1). This result was due to the fact that the length allowance for *Roundwood* and *Aggregate* was created by the length margin and cutting window, while the length allowance in the group *Pulpwood* is created only by cutting window.

Significant differences between relative timber volumes in length allowances were also found in individual groups of assortments after categorization of logs according to their nominal length and midspan diameter (Fig. 2). For *Roundwood* and *Aggregate*, significantly higher average relative volumes in length allowances were found for shorter logs with the nominal length 201–400 cm (category 2) than for longer logs with the nominal length 401–600 cm (category 3). A similar result was found in the *Pulpwood* group, where significantly higher average relative volumes in length allowances were found for shorter logs with the nominal length 0–200 cm (category 1) compared to longer logs with the nominal length 201–400 cm (category 2). This result is most likely associated with the cutting window. The relative volume in length allowances, estimated based on the absolute length range of the cutting window, will be higher for shorter logs. In connection with these results, it is necessary to point out the statistical result of one category of logs in the *Aggregate* group, namely the category of logs with the mean diameter 301–450 mm (category C) and the nominal length 201–400 cm (category 2) (Fig. 2). This category of logs contained only two logs (Tab. 4), which were also extreme in the terms of shape deformation. For this reason, results from this category of logs in the *Aggregate* group cannot be considered relevant. For *Roundwood* and *Pulpwood* we found significantly lower relative timber volumes in length allowances for butt logs compared to other logs (Fig. 3). This is due to the fact that the butt logs often have root swelling that extend their diameters at the large end (CARPENTER et al. 1989), and thereby increase the total volume of the butt logs.

Results can be used for estimation of unrecorded timber volume in length allowances to supplement forest management records. These results may also serve as a basis for discussion on the comparison of the results of the total annual harvested timber volume, as reported by National Forest Inventory of the Czech Republic (NIL2) with the data published in the Information on Forests and Forestry in the Czech Republic. This comparison was published by ADOLT et al. (2016). As a recommendation of another study we propose to apply the methodology described above to data obtained from several calibrated harvesters carrying out the fellings in different natural conditions throughout the Czech Republic.

Zasláno/Received: 05. 08. 2019

Přijato do tisku/Accepted: 25. 08. 2019