

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra lesnických technologií a staveb



**Česká zemědělská  
univerzita v Praze**

**Analýza struktury sortimentů vyráběných harvestory při pni  
a rozklad přesnosti metodik pro výpočet jejich objemu**

Disertační práce

Autor: Ing. Radim Löwe

Školitel: doc. Ing. Jiří Dvořák, Ph.D.

2021

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ DISERTAČNÍ PRÁCE

Ing. Radim Löwe

Lesní inženýrství

Zpracování dřeva a technika v lesním hospodářství

Název práce

**Analýza struktury sortimentů vyráběných harvestory při pni a rozklad přesnosti metodik pro výpočet jejich objemu**

Název anglicky

**Analysis of the structure of assortments produced by harvesters and decomposition of the accuracy of methods estimating their volume**

### Cíle práce

- (i) Analýza typů cen určujících metodiku pro výpočet objemu výřezů ve standardu StanForD, zjištění rozdílů mezi těmito metodikami a doporučení vhodné metodiky pro využití v podmínkách lesního hospodářství České republiky.
- (ii) Porovnání objemů výřezů stanovených dle jednotlivých metodik při výrobě dříví harvestorovou technologií, včetně analýzy objemových rozdílů mezi jednotlivými vyráběnými skupinami sortimentů.
- (iii) Stanovení podílu nevidovaného objemu dříví v přídavcích k délce výřezů při výrobě smrkového dříví harvestorovou technologií, včetně analýzy objemových rozdílů přídavků k délce mezi jednotlivými vyráběnými skupinami sortimentů.

### Metodika

- (i) Analýza jednotlivých typů cen popsanych v dokumentaci standardu StanForD.
- (ii) Detailní popis jednotlivých metodik využívaných pro stanovení objemu výřezu a jejich následné využití pro porovnání objemů reálně vyrobených výřezů.
- (iii) Sběr dat minimálně z jednoho harvestoru vykonávajícího těžbu dříví v různých přírodních podmínkách České republiky. Využití \*.STM souborů z výrobně-evidenčního softwaru stroje, ukládajícím data o výrobě dříví dle jednotného standardu StanForD.
- (iv) Analýza sortimentů jejich rozdělením do jednotlivých skupin dle výroby.

(v) Statistická analýza dat v softwaru Statistica.

Pracovní harmonogram:

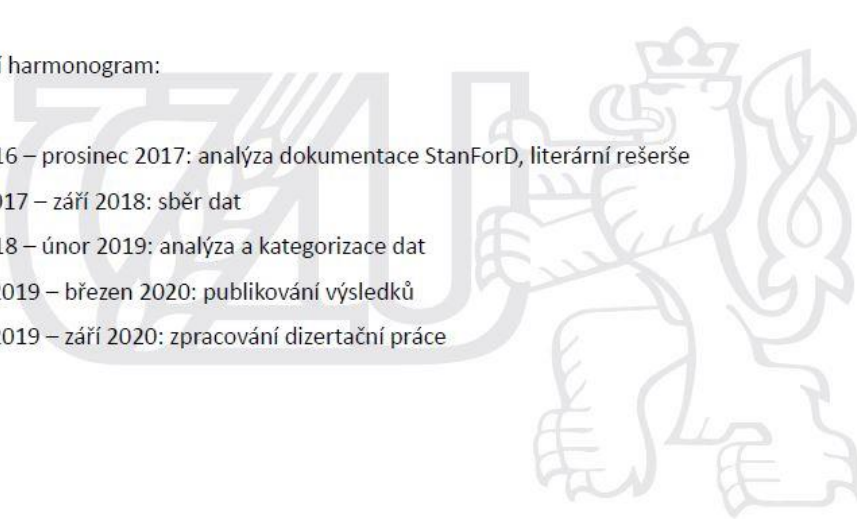
říjen 2016 – prosinec 2017: analýza dokumentace StanForD, literární rešerše

leden 2017 – září 2018: sběr dat

říjen 2018 – únor 2019: analýza a kategorizace dat

březen 2019 – březen 2020: publikování výsledků

červen 2019 – září 2020: zpracování dizertační práce



**Doporučený rozsah práce**

100 NS (vč. příloh)

**Klíčová slova**

StanForD, výrobně-evidenční software, soubor STM, typ ceny, přídavek k délce, nadměrek, řezací okno

---

**Doporučené zdroje informací**

- DVOŘÁK, J. – BYSTRICKÝ, R. *The use of harvester technology in production forests*. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2011. ISBN 978-80-7458-018-5.
- LEITNER T. – STAMPFER K. – VISSER R. Analysing log length measurement accuracy of harvester and processor heads. *Austrian Journal of Forest Science*, 2014, 131: 129–146.
- NATOV P. – DVOŘÁK J. – JANKOVSKÝ M. *Guidelines for Scaling Timber by Harvesters in the Czech Republic 2018*, Prague: ČZU v Praze, 2020, 96 p.
- NIEUWENHUIS M. – DOOLEY T. The effect of calibration on the accuracy of harvester measurements. *International Journal of Forest Engineering*, 2006, 17: 25–33.
- SPINELLI, R. – HARTSOUGH, B.R. – MAGAGNOTTI, N. Productivity Standards for Harvesters and Processors in Italy. *Forest Products Journal*, 2010, 60: 226-235.
- STANFORD. 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. Upsala, 2012, 32 p.
- WOJNAR T. et al. Doporučená pravidla pro měření a třídění dříví v ČR 2008. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce s.r.o., 2007, 147 p.
- 

**Předběžný termín**

2020/21 LS – FLD – SDZ

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Jiří Dvořák, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra lesnických technologií a staveb

**Konzultant**

Ing. et Bc. Pavel Natov, PhD.

Elektronicky schváleno dne 30. 10. 2020

**doc. Ing. Miroslav Hájek, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 4. 1. 2021

**doc. Ing. Milan Gaff, PhD.**

Předseda oborové rady

Elektronicky schváleno dne 5. 1. 2021

**prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.**

Děkan

V Praze dne 05. 01. 2021

"Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma *Analýza struktury sortimentů vyráběných harvestory při pni a rozklad přesnosti metodik pro výpočet jejich objemu* vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací a doporučení školitele. Souhlasím se zveřejněním disertační práce dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby."

V Praze dne 29.1.2021

Ing. Radim Löwe

**Poděkování:**

Rád bych poděkoval mému školiteli doc. Ing. Jiřímu Dvořákovi, Ph.D. a konzultantovi Ing. Bc. Pavlu Natovovi, Ph.D. za odborné vedení disertační práce a jejich cenné rady a připomínky. Velké poděkování patří také spoluautorům publikovaných vědeckých článků obsažených v této disertační práci a všem ostatním pracovníkům, kteří mi vždy ochotně věnovali svůj čas při vlastním sběru dat v terénu. Děkuji také za finanční podporu výzkumu, články obsažené v této disertační práci předložené jako soubor publikovaných článků byly podpořeny granty IGA FLD A/04/18, IGA FLD A/08/18 a NAZV QJ1520005. V neposlední řadě děkuji celé své rodině za podporu při doktorském studiu.

**Abstrakt:** V mnoha evropských zemích každoročně roste objem dříví vyráběného harvesterovou technologií. Dříví je nejdůležitějším zdrojem příjmů v lesnictví, a proto je nutné co nej přesněji odhadnout jeho objem a kvalitu. Vhodné nastavení a kontrola softwarového vybavení harvesterů nám umožní dosáhnout co nej přesnějších odhadů objemů vyrobeného dříví. Tento výzkum byl zaměřen na analýzu objemových rozdílů výřezů stanovených dle jednotlivých algoritmů standardu StanForD a analýzu délkové struktury vyráběných sortimentů se stanovením nevidovaného objemu dříví v přídavech k délce výřezů při výrobě smrkového dříví harvesterovou technologií. Data ve formě STM souborů byla získána z výrobně-evidenčních softwarů harvesterů pracujících v různých výrobních podmínkách na území České republiky v letech 2016 až 2018. Výzkum odhalil významné rozdíly mezi objemy výřezů stanovenými sedmi různými algoritmy nastavitelnými ve výrobně-evidenčních softwarech harvesterů. Algoritmus A2 byl využit jako etalon, neboť objem stanovený podle tohoto algoritmu by se měl co nejvíce přibližovat skutečnému objemu výřezu. Ve skupině sortimentů „Kulatina“ byl při využití algoritmu A5 zjištěn o více než 6 % nižší objem než při využití algoritmu A2. To je zajímavý výsledek, zejména pro některé země střední Evropy včetně České republiky, kde je doporučováno využití algoritmu A5. Výsledky také ukázaly, že v důsledku nevidování objemů přídavek k délce výřezů došlo ke ztrátě 1,99 % z objemu dříví vyráběného harvesterem. Z důvodu rozdílného složení přídavek k délce byly významné rozdíly mezi průměrnými podíly nevidovaného objemu přídavek k délce zjištěny také mezi vyráběnými skupinami sortimentů. Výsledky výzkumu mohou být využity k odhadu objemového rozdílu mezi výstupy prvotní evidence harvesterů stanovenými na základě různých ceníkových typů a pro doplnění záznamů lesní hospodářské evidence o odhad nevidovaného objemu dříví v přídavech k délce. Jsou také důležité pro lesnickou praxi, protože zvyšují informovanost o fungování výrobně-evidenčního softwaru harvesterů. Mohou tak přispět k zajištění správného nastavení konkrétních parametrů výroby a tím i využitelnosti a validitě výstupů prvotní evidence dříví vyráběného harvesterem.

**Klíčová slova:** StanForD, výrobně-evidenční software, soubor STM, typ ceny, přídavek k délce, nadměrek, řezací okno

**Abstract:** The total volume of timber produced by harvesters is annually growing in many European countries. Timber is the most important source of revenue in forestry and therefore, it is necessary to scale and grade it precisely. Appropriate setting and control of software in harvesters will allow achieving the most accurate volume estimates of the timber produced. This research was focused on analyzing the volume differences of logs estimated by particular algorithms used in the StanForD and analyzing the length structure of produced assortments including the estimation of volume of Norway spruce timber in length allowance of logs produced by harvester technology that is currently not recorded. Data, in the form of STM files, were gathered from forest machine systems of harvesters working in various production conditions in Czechia between 2016 and 2018. The research revealed significant differences between the log volumes estimated by the seven various algorithms that can be set in the harvester's forest machine systems. Algorithm A2 was used as reference, because its estimates were presumably closest to the true log volumes. In the Roundwood assortment group, a difference of more than 6 % was found between the log volumes estimated by Algorithm A5 and Algorithm A2. This is interesting, because Algorithm A5 is widely used in several Central European countries, including Czechia. The results also showed that 1.99 % of the volume of produced timber were excluded from the primary forestry records. Due to the differing composition of the length allowance, significant differences between the mean relative unrecorded volumes of length allowances were found between the assortment groups produced. The results of the research can be used to estimate the volume difference between harvester outputs using the different price categories and to supplement forest management records with an estimate of unrecorded timber volume in length allowances. These results are also important in forest operations, as they increase awareness about the functioning of harvester forest machine systems. They can contribute to ensuring the correct setting of specific production parameters and thus the usability and validity of the primary record outputs of produced timber by harvesters further in wood processing.

**Key words:** StanForD, forest machine systems, STM file, price category, length allowance, cross-cut allowance, cutting window



## Obsah

1	Úvod .....	10
2	Cíle práce .....	13
3	Rozbor problematiky (literární rešerše) .....	15
3.1	Harvestorová technologie a její vývoj .....	15
3.1.1	Rozdělení harvesterů .....	17
3.1.2	Nasazení harvesterové technologie v České republice .....	18
3.1.3	Těžební metody .....	20
3.2	Sortimenty a jejich základní charakteristiky .....	22
3.2.1	Třídění sortimentů dle dřeviny .....	24
3.2.2	Třídění sortimentů dle rozměrů .....	24
3.2.3	Třídění sortimentů dle kvality .....	26
3.3	Měření dříví .....	27
3.3.1	Měření dříví harvestory .....	28
3.3.2	Přesnost měření dříví harvestory .....	32
3.3.3	Kontrolní měření a kalibrace harvestoru .....	34
3.4	Softwarové vybavení harvesterů a standard StanForD .....	36
4	Metodika .....	44
4.1	Sběr dat .....	44
4.2	Zpracování a kategorizace dat .....	44
4.3	Ceníkové typy a jejich algoritmy pro stanovení objemu .....	45
4.4	Přidávky k délce výřezů .....	46
4.5	Statistická analýza dat .....	46
5	Syntéza výsledků .....	47
5.1	Článek 1: Rozdíly mezi odhady objemu dříví za využití různých algoritmů dostupných ve výrobně-evidenčních systémech harvesterů .....	47
5.2	Článek 2: Analýza nevidovaného objemu dříví v přidavcích k délce výřezů při výrobě smrkového dříví harvesterovou technologií .....	62
5.3	Článek 3: Nevidovaný objem smrkového dříví při výrobě dříví sortimentní těžební metodou .....	73
6	Diskuze .....	86
7	Závěry a doporučení pro praxi .....	93
8	Seznam literatury a použitých literárních zdrojů .....	95
9	Seznam tabulek, obrázků a použitých zkratk .....	107

## 1 Úvod

Sortimentní těžební metoda, v anglickém jazyce nazývaná CTL (cut-to-length) method (Pulkki, 1997), je v našich podmínkách téměř výhradně spjata s využitím harvesterové technologie. Podíl Sortimentní těžební metody na celkové výši roční těžby dříví v České republice mezi lety 2005 a 2015 vzrostl z 11 % na 38 % (Natov et al. 2017; Dvořák et al. 2019). V letech 2017 a 2018 podíl Sortimentní těžební metody mírně poklesl z 38 % na 34 %, respektive 32 % (MZe, 2018; MZe, 2019). To bylo způsobeno zejména nárůstem podílu nahodilých těžeb spojených s biotickým poškozením lesa (hlavně *Ips typographus*). Nicméně roční objem vytěženého dříví Sortimentní těžební metodou se však v absolutních číslech stále zvyšoval a v roce 2018 dosáhl 8,3 mil. m<sup>3</sup>, což bylo o 2,2 mil. m<sup>3</sup> více než v roce 2015 (MZe, 2016; MZe, 2019). Sortimentní těžební metoda dosáhla prozatím svého maxima v roce 2019, kdy její podíl na roční těžbě činil 44 %, což představovalo 14,5 mil. m<sup>3</sup> vytěženého dříví (MZe, 2020). Harvesterová technologie tak zaujímá stále významnější roli ve výrobě surového dříví v lesním hospodářství České republiky.

Hlavní výhody harvesterové technologie spočívají v tom, že mechanizovaná výroba surového dříví zvyšuje produktivitu a snižuje jednotkové výrobní náklady ve srovnání s motomanuální těžbou dříví v zemích s vysokými mzdovými náklady (Zinkevičius et al. 2012; Spinelli et al. 2014; Mederski et al. 2016). Harvesterová technologie nám nabízí velký potenciál v podobě elektronického měření dříví při jeho výrobě za využití mezinárodního standardu StanForD sloužícího k ukládání a přenosu dat pro evidenci a prvotní příjem dříví (Natov, Dvořák, 2018). Elektronické měření dříví ve srovnání s manuálním měřením vyžaduje vyšší investice a je náročnější na lidské zdroje. Výrazně však eliminuje hlavní nevýhody manuálního měření – pracnost, časovou náročnost a náchylnost k chybám. Využitím elektronického měření dříví harvestory můžeme také dosáhnout vyšší přesnosti stanovení výsledného objemu dříví, neboť měřicí čidla v hlavici správně kalibrovaného harvestoru jsou schopny měřit tloušťky s přesností na milimetry a délky s přesností na centimetry.

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; Šafařík, Hlaváčová, 2015). Při evidenci vyrobeného

dříví harvestorem se můžeme setkat s oběma druhy těchto ztrát. Fiktivní ztráty v evidovaném objemu dříví jsou způsobeny například využitím různých algoritmů pro stanovení objemu nastavitelných ve výrobně-evidenčním softwaru harvestoru, způsobem zaokrouhlování naměřených tloušťek a využitím různých metod srážek na kůru. Oproti tomu faktické ztráty způsobuje příčný řez, nezpracování vrcholových částí stromů a neevidování objemu přídavek k délce výřezu (Simanov, 2003; Dvořák et al., 2018).

Společným zájmem vlastníků lesů, správců lesů i podnikatelů v lesnickém a dřevařském sektoru je pracovat s relevantními výstupy z měření a třídění dříví, které následně mohou být využity nejen k realizaci prodeje dříví, ale také jako vhodný podklad pro stanovení platu pracovníků, doplnění lesní hospodářské evidence atd. Proto jsem se rozhodl ve svém výzkumu věnovat podrobné analýze vlivu různých metodik využívaných pro výpočet objemu výřezů při výrobě dříví harvestorovou technologií, díky čemuž mohou vznikat fiktivní ztráty v evidovaném objemu dříví, a stanovení podílu neevidovaného objemu dříví v přídavecích k délce výřezů způsobujících faktické ztráty v evidovaném objemu dříví. Pochopení nastavení a fungování výrobně-evidenčních systémů harvestorů poskytne uživatelům velmi užitečné informace při využívání získaných dat v aplikovaném lesním hospodářství. Výstupy této práce mohou posloužit i jako podklad pro diskuzi 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.

Disertační práce je předložena jako soubor tří publikovaných článků, které jsou součástí kapitoly Syntéza výsledků. Dále disertační práce obsahuje představení cílů výzkumu, úvodní rozbor problematiky, stručný popis metodického zpracování výzkumu detailně rozebraného v publikovaných člancích, diskuzi a závěry výzkumu včetně doporučení pro využití poznatků v praxi.

Publikované články obsažené v této disertační práci jsou následující:

- 1) **Löwe, R.;** Sedmíková, M.; Natov, P.; Jankovský, M.; Hejmanová, P.; Dvořák, J. Differences in Timber Volume Estimates Using Various Algorithms Available in the Control and Information Systems of Harvesters, *Forests*, 2019, 10, 388.
- 2) **Löwe, R.;** Sedmíková, M.; Natov, P.; Dvořák, J.; Jankovský M. Analýza neevidovaného objemu dříví v přídavecích k délce výřezů při výrobě smrkového dříví harvestorovou technologií. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2019, 64: 207–216

- 3) Dvořák, J.; **Löwe, R.**; Natov, P.; Jankovský, M.; Sedmíková, M. Unrecorded volume of Norway spruce timber in cut-to-length harvesting, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2020, 35(7): 383–393

## 2 Cíle práce

Cíle této disertační práce, předložené v souboru publikovaných článků, byly vymezeny na základě potřeby dodat lesnické praxi informace o možnostech využívání a nastavení konkrétních parametrů ve výrobně-evidenčních softwarech harvesterů, programovaných dle jednotného standardu StanForD (Skogforsk, 2020), pro získání relevantních výstupů výroby dříví harvesterovou technologií v podmínkách České republiky. Dodání těchto informací lesnické praxi je důležité i vzhledem ke stále se zvyšujícímu objemu zpracovávaného dříví sortimentní těžební metodou v lesním hospodářství České republiky (MZe, 2020).

Základní záměr disertační práce se skládá ze dvou hlavních cílů, které byly následně ještě rozděleny na dílčí cíle:

- Analýza metodik využívaných pro výpočet objemu výřezů ve standardu StanForD a porovnání objemových rozdílů výřezů stanovených dle jednotlivých metodik při výrobě dříví harvesterovou technologií.
  - Analýza typů cen určujících metodiku pro výpočet objemu výřezů ve standardu StanForD, zjištění rozdílů mezi těmito metodikami a doporučení vhodné metodiky pro využití v podmínkách lesního hospodářství České republiky.
  - Porovnání objemů výřezů stanovených dle jednotlivých metodik při výrobě dříví harvesterovou technologií.
  - Analýza objemových rozdílů výřezů mezi vyráběnými skupinami sortimentů při využití jednotlivých metodik pro výpočet objemu.
- Analýza délkové struktury vyráběných sortimentů a stanovení nevidovaného objemu dříví v přídavicích k délce výřezů při výrobě smrkového dříví harvesterovou technologií.
  - Stanovení relativního podílu nevidovaného objemu dříví v přídavicích k délce výřezů.
  - Analýza objemových rozdílů přídavek k délce mezi jednotlivými vyráběnými skupinami sortimentů.
  - Analýza objemových rozdílů přídavek k délce mezi jednotlivými kategoriemi výřezů dle jmenovité délky a středové tloušťky výřezu.
  - Analýza objemových rozdílů přídavek k délce mezi oddenkovými výřezy a ostatními výřezy.

S ohledem na výše uvedené cíle disertační práce byly formulovány následující vědecké hypotézy:

H1: Využitím různých algoritmů typů cen standardu StanForD dochází ke statisticky významným rozdílům mezi stanovenými objemy výřezu.

H2: Využitím různých algoritmů typů cen standardu StanForD dochází ke statisticky významným rozdílům mezi stanovenými objemy výřezu v jednotlivých skupinách sortimentů.

H3: Průměrné relativní nevidované objemy dříví v přídavicích k délce výřezů se mezi jednotlivými skupinami sortimentů významně liší.

H4: Průměrné relativní nevidované objemy dříví v přídavicích k délce výřezů se významně liší v jednotlivých skupinách sortimentů mezi různými délkovými a tloušťkovými kategoriemi výřezů.

H5: Průměrné relativní nevidované objemy dříví v přídavicích k délce výřezů se významně liší mezi oddenkovými a ostatními výřezy.

### **3 Rozbor problematiky (literární rešerše)**

Tato část práce se zabývá představením problematiky vývoje harvestorové technologie na našem území, definicí těžebních metod, popisem charakteristik sortimentů dříví, měřením dříví vyráběného harvestory, způsobem provádění kontrolního měření a následné kalibrace, rozdělením softwarového vybavení těžebně-dopravních strojů a využitím jednotného standardu StanForD pro ukládání a přenos dat v harvestorech.

#### **3.1 Harvestorová technologie a její vývoj**

První těžebně-dopravní stroje se na našem území začaly nasazovat v polovině 70. let minulého století. Využití našly zejména v západních Čechách, severních Čechách a na severní Moravě (Lasák, Němec, 1996). Zprvu se jednalo o stroje I. generace, k prvním z nich patřily procesory Logma (Dvořák et al., 2012). V roce 1977 se u nás objevily první kácecí stroje a následně harvestory, jednalo se o harvestory typu Volvo BM a ÖSA (Lasák, Němec, 1996). O deset let později se ve světě již objevily jednoúchopové harvestory II. generace. Nová generace harvestorů se vyznačuje tím, že těžební hlavice je namontována na konci hydraulického jeřábu. Harvestory II. generace se na současném území ČR objevily v roce 1987 (Dvořák et al., 2012). V současné době je na našem území pojmem harvestor označován jednoúchopový víceoperační stroj, který je určen pro těžbu dříví v lese. Harvestor v jednom pracovním cyklu kácí, krátí, odvětvuje, kubíruje a registruje dříví (Neruda et al., 2015). Vedlejší pracovní operací harvestoru je vyklizování dříví, tzn. že vyrobené sortimenty ukládá na hromady na vývozním místě (VM) u vyvážecí linky. Všechny pracovní operace jsou vykonávány v jednom cyklu, některé operace navíc mohou probíhat souběžně. Celá výrobní fáze může být automatizovaná nebo je plně mechanizovaná a řízená operátorem harvestoru v reálném čase (Lukáč, 2005). Harvestor je dnes také vybaven palubním počítačem se softwarem, který řídí funkce stroje a současně navrhuje optimální krácení pokácených stromů a tím jejich zpeněžení (MZe, 2013). Harvestory jsou podle svých konstrukčních parametrů určeny do širokého spektra těžebních podmínek. Lze je využít ve všech druzích těžeb, včetně nahodilých. Harvestory jsou nasazovány v proudovém systému výroby. Spolu s vyvážecími traktory nebo vyvážecími soupravami tvoří tzv. harvestorové uzly (Neruda et al., 2015).

Výrazný nárůst počtu harvestorů je v České republice patrný od roku 2002. Dvořák (2002) uvedl, že harvestorovou technologii lze považovat za jednu z progresivních a do budoucna perspektivních metod. To se potvrdilo. Zatímco v roce

2005 bylo registrováno 137 harvestorů (MZe, 2006), v roce 2019 to bylo již 840 harvestorů. Z evidovaného počtu 840 harvestorů bylo 803 kolových a 37 pásových harvestorů (MZe, 2020). U těchto počtů strojů je pouze nutné upozornit na skutečnost, že se jedná o počty harvestorů pořízených českými společnostmi registrovanými v ČR. Některé společnosti nevyužívají harvestory v plném rozsahu nebo poskytují služby v zahraničí. Hlavními důvody, proč se harvestory postupně dokázaly s úspěchem prosadit, jsou především vysoká produktivita práce a vyšší šetrnost práce při probírkách ve srovnání s konvenčními technologiemi (Schlaghamerský, 2001a; Kabeš, 2015). Produktivita práce harvestoru však částečně závisí na průměrném objemu těžených stromů (Jiroušek et al., 2007). Vysokou produktivitu práce v probírkách, tzn. zpracování jednoho stromu za cca jednu minutu práce, je nemožné nahradit jinou technologií (Schlaghamerský, 2001a). Schlaghamerský (2002) uvádí, že výkonnost středního harvestoru je přibližně 10 až 15 tis. m<sup>3</sup> za rok. Mezi další velké výhody harvestorové technologie patří úspora mzdových nákladů a pracovních sil, rychlá reakce na požadavky odběratele, zachování čistoty surového dříví a využití operačních systémů a druhování pomocí stroje (Dvořák et al., 2012). Někteří autoři také zmiňují nižší úrazovost než u ostatních strojů (Schlaghamerský, 2001a). Nevýhodou zde však mohou být vysoké pořizovací náklady stroje, náklady spojené s údržbou stroje a jeho opravy, náročná organizace práce a náročná odborná vybavenost operátorů harvestorů (Dvořák et al., 2012).

Podle Zprávy o stavu lesa a lesního hospodářství v ČR v roce 2019 (MZe, 2020) se můžeme na našem území setkat s harvestory různých značek. Jednoznačně nejvyšší zastoupení mají harvestory od výrobce John Deere, které tvoří více než 46 % všech kolových harvestorů v České republice. Druhým nejvýznamnějším výrobcem harvestorů, které se pohybují v našich lesích, je firma Rottne. Přehled počtu registrovaných harvestorů v České republice v roce 2019 je uveden v Tabulce 1. V této tabulce jsou také harvestory rozděleny podle roku výroby a úřezu harvestorové hlavice.



Tabulka 1: Přehled počtu registrovaných harvestorů od různých výrobců v České republice v roce 2019 (MZe, 2020).

Výrobce	Celkem	%	z toho dle úřezu harvestorové hlavice				z toho dle roku výroby			
			do 55 cm	do 62 cm	do 72 cm	do 75 cm	až 1995	1996–1999	2000–2009	2010–2019
John Deere	372	44,3	65	101	148	58	20	38	188	126
Rottne	175	20,8	85	53	4	33	0	3	109	63
Komatsu	49	5,8	17	9	21	2	0	8	36	5
Ponsse	111	13,2	7	0	15	89	3	4	55	49
Logset	22	2,6	1	2	5	14	0	0	11	11
HSM	5	0,6	2	0	2	1	0	0	0	5
Sampo	34	4,0	32	2	0	0	0	0	15	19
Gremo	3	0,4	2	1	0	0	0	1	2	0
SP-Maskiner	1	0,1	1	0	0	0	1	0	0	0
Caterp./EcoLog	1	0,1	1	0	0	0	1	0	0	0
Profipro	2	0,2	1	1	0	0	0	0	0	2
Vimek 404	18	2,1	18	0	0	0	0	0	6	12
UTC 10-67	1	0,1	1	0	0	0	0	1	0	0
Entracon	9	1,1	9	0	0	0	0	0	2	7
<b>Kolové celkem</b>	<b>803</b>	<b>95,6</b>	<b>242</b>	<b>169</b>	<b>195</b>	<b>197</b>	<b>25</b>	<b>55</b>	<b>424</b>	<b>299</b>
Kaiser	1	0,1	0	0	0	1	0	0	0	1
Menzi Muck	3	0,4	3	0	0	0	0	0	3	0
MHT Linz	32	3,8	31	1	0	0	0	4	21	7
Königs Tiger	1	0,1	1	0	0	0	0	0	1	0
<b>Pásové celkem</b>	<b>37</b>	<b>4,4</b>	<b>35</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>25</b>	<b>8</b>
<b>Celkem</b>	<b>840</b>	<b>100,0</b>	<b>277</b>	<b>170</b>	<b>195</b>	<b>198</b>	<b>25</b>	<b>59</b>	<b>449</b>	<b>307</b>
Procesor Hypro	3		3	0	0	0	0	0	3	0

### 3.1.1 Rozdělení harvestorů

Základní dělení harvestorů je dle typu podvozku. Rozdělit je můžeme na harvestory kolové, pásové, kráčející nebo s kombinovaným podvozkem (Neruda et al., 2015). V současné době se v podmínkách České republiky setkáme nejvíce s kolovými harvestory, méně pak s pásovými harvestory. Harvestory s kombinovaným podvozkem jsou používány v řádu jednotek (např. Menzi Muck). Kráčející harvestor na našem území není využíván (MZe, 2020). Další dělení harvestorů je podle základních technických charakteristik, a to na malé harvestory, střední harvestory a velké harvestory v závislosti na výkonu motoru (Neruda et al., 2015). Rozdělení kolových harvestorů dle velikosti a výkonu je znázorněno v Tabulce 2. Základní technická charakteristika pro přiřazení harvestoru do jedné z kategorií je výkon motoru, od kterého se odvíjí další parametry

strojů, tj. objem zpracovávaných kmenů, průměrná hodinová výkonnost, šířka harvestoru, dosah hydraulického jeřábu, maximální průměr úřezu těžební hlavice a hmotnost harvestoru. Uvedené rozdělení kolových harvestorů však není jediné, které v České republice existuje. Autoři jednotlivých rozdělení se různí v minimálních a maximálních hodnotách různých parametrů.

Tabulka 2: Rozdělení kolových harvestorů dle velikosti a výkonu motoru (Neruda et al., 2015).

<b>Orientační technická data kolových harvestorů</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Malý harvestor</b>	<b>Střední harvestor</b>	<b>Velký harvestor</b>
Výkon motoru	kW	40-110	110-170	170-250
Objem zpracovávaných kmenů	m <sup>3</sup>	0,10-0,50	0,40-0,80	0,70-2,00
Průměrná hodinová výkonnost	m <sup>3</sup> /h	4	10	16
Šířka	cm	180-230	230-280	280-320
Dosah hydraulického jeřábu	m	4,5-8	8-12	8-12
Maximální průměr úřezu	mm	300-450	450-600	600-750
Hmotnost	t	4-10	10-18	18-26

### 3.1.2 Nasazení harvestorové technologie v České republice

Dvořák et al. (2012) uvádí, že při nasazení harvestorových technologií, stejně tak jako u dalších těžebních a dopravních technologií, musíme vycházet z požadavků zákona č. 289/1995 Sb., Zákona o lesích, jehož účelem je stanovení předpokladů pro zachování lesa, péči o les a obnovu lesa jako národního bohatství, tvořící nenahraditelnou složku životního prostředí, pro plnění všech jeho funkcí a pro podporu trvale udržitelného hospodaření v něm. Při použití různých výrobních procesů, ať už v těžbě dříví nebo navazující dopravě dříví, musíme respektovat základní povinnosti dle § 11, tzn. že každý si musí počínat tak, aby nedocházelo k poškození nebo ohrožení lesů, jakož i objektů a zařízení sloužících hospodaření v lese (zejména při kácení stromů). Zákon o lesích dále udává, že přibližování, uskladnění a odvoz dříví musí být prováděny tak, aby nedocházelo k nepřiměřenému poškozování lesa a ostatních pozemků.

Jednou z šetrných metod těžby a soustředování dříví je právě metoda sortimentní (Kabeš, 2015). Jedná se o jednu ze tří těžebních metod, které jsou dnes využívány v procesu výroby surového dříví. Sortimentní metoda je v současnosti téměř výlučně spjata s harvestorovou technologií. Aby harvestorová technologie mohla být šetrně využívána v našich lesích, musí být nasazena pouze ve vhodných terénních a přírodních podmínkách. Pouze tak můžeme zajistit udržitelné hospodaření v našich lesích spojené s minimalizací škod na lesní půdě a stromech zůstávajících v lesních porostech po těžebních zásazích. Z tohoto důvodu byly vytvořeny terénní klasifikace a terénní typizace doporučující vhodné těžebně-dopravní technologie do konkrétních výrobních podmínek. Mezi základní terénní faktory, které ovlivňují možnost nasazení těžké těžební a dopravní techniky, řadíme sklonitost terénu, únosnost a překážky v terénu (Dvořák et al., 2012). Kolové harvestory mohou zvládnout terény po spádnicí (podélný sklon) do sklonu 35 % podle stavu povrchu, nad 35 % přichází v úvahu využití pásové, kombinované nebo kráčející varianty podvozku. Při poježdění napříč svahem (příčný sklon) je stabilita harvestoru malá a dovoluje max. 10% sklon (Schlaghamerský, 2001a). Ulrich et al. (2005) uvádí, že harvestory mohou být ekonomicky a smysluplně využity jen v oblastech s určitým stupněm lesnatosti a na lesních majetcích dostatečné velikosti. Dalšími faktory omezujícími využití harvestorové technologie jsou klimatické podmínky a zastoupení jehličnatých a listnatých dřevin (Skoupý, 2011). Nejvhodnější nasazení harvestorů je ve smrkových porostech. U borovice může být problém s křivostí kmenů a odvětvováním silnějších větví. Ačkoli se harvestory používají především k těžbě jehličnatých dřevin, stále častěji se používají i k těžbě smíšených a listnatých porostů, o čemž svědčí řada studií zaměřených na využití harvestorové technologie při zpracování listnatých stromů (Mederski et al., 2008; Bembenek et al., 2015; Labelle et al., 2016; Spinelli et al., 2017; Mederski et al., 2018). V listnatých porostech se harvestorová technologie uplatní zejména v březových porostech nebo bukových porostech nižší věkové třídy s minimálním zastoupením rozvětvených a křivých stromů (Ulrich et al., 2002).

Podíl sortimentní metody tzn. zejména harvestorové technologie v lesních porostech České republiky stále stoupá, možnosti jejího využití však dosud nebyly ještě vyčerpány (Bartoš, 2009; Dvořák, Natov, 2016). Sortimentní těžební metoda dosáhla v České republice prozatím svého maxima v roce 2019, kdy její podíl na roční těžbě činil 44 %, což představovalo 14,5 mil. m<sup>3</sup> vytěženého dříví (MZe 2020). Dvořák et al. (2012)

ve své studii uvádí, že lze z hlediska dostupnosti a únosnosti terénu harvestory využít až na 78 % výměry lesů České republiky, tj. zhruba na 2,02 mil. ha lesních porostů, na kterých je k dispozici 572 mil. m<sup>3</sup> zásob dříví. Podstatná část této plochy i zásoby je k dispozici pro využití nejefektivnější kombinace harvester plus forwarder (tzv. harvesterový uzel). V tomto případě se jedná o přibližně 72 % celkové výměry lesních porostů a zásoby téměř 530 mil. m<sup>3</sup> dříví. Dvořák et al. (2012) také uvádí, že jednoznačným těžištěm využití potenciálu harvesterové technologie jsou jehličnaté porosty s více než 80% zastoupením smrku a borovice. Výsledky této studie nejsou výrazně odlišné od výsledků studie Ministerstva zemědělství, která byla provedena v roce 2010 a nesla název „Zjištění rozlohy a porostní zásoby v lesích v České republice, v nichž je možno využít pro lesnické hospodaření harvesterové technologie“. Studie vyhodnotila potenciál využití harvesterové technologie podle přírodních podmínek na 85 % celkové výměry lesních porostů (Bystrický et al., 2010). Otázkou však je, jakým způsobem se tato čísla změní po proběhnutí kůrovcové kalamity a s tím související změny zastoupení jednotlivých druhů dřevin v rámci obnovy lesních porostů v ČR.

### **3.1.3 Těžební metody**

Proces výroby surového dříví je tvořen výrobními fázemi: těžba dříví, soustředování dříví, odvoz dříví a manipulace dříví. Výrobní fáze těžba dříví zahrnuje pokácení stromu, odvětvení a krácení stromu. Těžební metody dělíme dle formy výroby, která je provedena při pni, tj. na lokalitě pařez (P). Podle toho rozeznáváme tři základní těžební metody – stromovou, kmenovou a sortimentní (Neruda, Simanov, 2006). Ve světě se však můžeme setkat i s jiným dělením, Pulkki (1997) rozlišuje pět různých těžebních metod. Při metodě stromové je při pni strom pouze pokácen, tato metoda dnes u nás není téměř využívána. Při využití kmenové metody je strom při pni pokácen, odvětven a zbaven vrcholové části nehroubí. Sortimentní metoda je metodou používanou jak klasickou motomanuální technologií, tzn. motorová pila v kombinaci s univerzálním kolovým traktorem, tak hlavně harvesterovou technologií (Neruda, Simanov, 2006). Dnešní využití sortimentní metody je však téměř výhradně spjato s harvesterovou technologií. Sortimentní metodu lze popsat jako sérii těžebních a manipulačních operací, při nichž se stojící stromy druhují na sortimenty přímo na lokalitě P (Malinen et al., 2006). Při této metodě je hlavním znakem opracování stromu (odvětvení, krácení) hned u pařezu nebo v jeho těsné blízkosti (u vyvážecí linky). Na odvozní místo jsou potom dopravovány již sortimenty. Při sortimentní metodě jde o promyšlené krácení surových kmenů příčným

řezem na jednotlivé sortimenty. Tato činnost je nazývána jako manipulace a její hlavní operací je druhování. Výroba sortimentů rozhoduje o výši zhodnocení desítky let trvajících růstu lesa, jedná se tedy o velmi kvalifikovanou činnost (Gross, 1995). Výroba sortimentů již na začátku produkčního řetězce je z důvodu snahy o zvýšení jejich čistého výnosu (Faaland, Briggs, 1984; Marshall, 2005).

Sortimentní metoda je nejstarší metodou používanou v těžbách obnovních i výchovných. Hlavním důvodem jejího užívání byla v období manuálního a animálního soustředování dříví nízká disponibilní tažná síla. Z tohoto důvodu bylo nezbytné vytěžené dříví řezem rozdělit na kratší, fyzicky zvládnutelné výřezy nebo sortimenty, a bylo vhodné je i odkornit pro snížení vlečeného tření a ponechat proschnout pro snížení hmotnosti. V podmínkách České republiky však Sortimentní metoda ztratila na významu v době nástupu traktorového soustředování dříví, kdy byly obnovní těžby zajištěny traktory a kapacita koní se přesunula do výchovných těžeb, kde jejich tažná síla byla na soustředování surových kmenů dostatečná. Díky rozmachu soustředování dříví traktory byla v období řízené ekonomiky metoda kmenová s manipulací na manipulačních skladech prohlášena za hlavní těžební metodu (Neruda et al., 2015).

S nástupem harvesterové technologie se však podíl Sortimentní metody začal opět rychle zvyšovat. Hlavní výhody harvesterové technologie byly již popsány v úvodu této disertační práce. V předmyšlných těžbách je vzestupný trend využití harvesterové technologie způsoben zejména snížením rizika poškození stojících stromů krátkými sortimenty (Neruda, Simanov, 2006). 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). Sortimentní metoda je hojně využívána také v dalších evropských státech, jako je Estonsko (tvoří 80 % celkové roční těžby), Litva (70 %), Německo (65 %), Španělsko (60 %) a Itálie (60 %) (Lundbäck et al., 2018). Dlouhodobě vzrůstající podíl Sortimentní metody na celkové roční těžbě je také uváděn v Polsku (Bembenek et al., 2015). Na druhou stranu harvesterová technologie v některých zemích jihovýchodní Evropy stále nenašla široké využití, a to zejména kvůli vysokým investičním nákladům (Moskalik et al., 2017; Dvořák et al., 2019) a dalším problémům spojeným s dostupností terénu a vyšším podílem listnatých druhů dřevin (Ferrari et al., 2012). Nárůst podílu těžby harvesterovou technologií v České republice je patrný v Tabulce 3. V roce 2005 bylo z celkového množství roční těžby dříví vytěženo 1 712 tis. m<sup>3</sup> Sortimentní metodou, zatímco v roce

2019 to bylo již 14 540 tis. m<sup>3</sup>. Nárůst absolutních hodnot celkové roční těžby byl v posledních letech významně ovlivněn kůrovcovou kalamitou.

Tabulka 3: Objem výroby dříví v rámci těžebních technologií v České republice od roku 2005 do roku 2019 v tis. m<sup>3</sup> (MZe, 2006 – 2020).

Rok	2005	2006	2008	2010	2011	2013	2015	2017	2018	2019
<b>Kmenová metoda</b>	13797	13612	11125	12446	9987	10614	10069	12603	17389	18043
<b>Sortimentní metoda</b>	1712	4066	4821	4290	5367	4717	6094	6557	8300	14540

### 3.2 Sortimenty a jejich základní charakteristiky

Na možnosti výroby konkrétního výřezu má rozhodující vliv dřevina, rozměry a kvalita. Při druhování se postupně ověřuje možnost vyrábět sortimenty v sestupném pořadí od nejcennějších a nejžádanějších k nejméně kvalitním a nejméně žádaným. Výsledkem druhování jsou vyrobené sortimenty (Neruda et al., 2015). Podle Doporučených pravidel pro měření a třídění dříví v České republice 2008 je sortiment dříví specifického určení, vyhovující dřevinou, rozměry a jakostí požadavkům technické normy. Skupiny sortimentů pak tvoří třídy jakosti (Wojnar, 2007). Pro sortimentaci dříví existuje několik kritérií, podle kterých byly pro vnitrostátní potřebu vyhotoveny české státní normy (ČSN) a oborové normy (ON) zabývající se lesnictvím. Dnes se obchod se dřívím řídí mezinárodními normami, předpisy a obchodními zvyklostmi. ČSN a ON pozbyly závaznost. Závaznými se stávají s jejich implementací do interních směrnic společností nebo jsou-li součástí individuálních smluvních ujednání. V současnosti také zcela pozbyl význam normativního stanovení minimálních rozměrů dříví, protože to se mění v závislosti na jeho technologickém zpracování dřevozpracujícím průmyslem a nabídce a poptávce na trhu. Zásadním kritériem však nadále zůstává technologická jakost dříví, tzn. využitelnost pro určitou skupinu dřevěných výrobků. Slovní označení sortimentů je v praxi založené na technologické jakosti dříví, proto je v podstatě nezávislé na konkrétní použité druhovací uzanci (Neruda et al., 2015). V současnosti kodifikují sortimenty dříví v České republice převážně Doporučená pravidla pro měření a třídění dříví v České republice 2008 (Wojnar, 2007). Tato pravidla jsou zatím aktuálním a nejvíce respektovaným podkladem v rámci republiky, vymezujícím konkrétní parametry sortimentů dříví podle národních i evropských norem, charakterizujícím

jednotlivé vady dříví, uvádějícím postupy měření dříví i zásady evidence dříví v souvislosti s jeho prodejem, uvádějícím zásady kontroly přejímky dříví a měřidel a další skutečnosti (Neruda et al., 2015). Podstatnou částí těchto pravidel je soubor tabulek s jakostním tříděním dříví, kdy je dříví rozděleno do šesti jakostních tříd.

- První třída jakosti zahrnuje rezonanční výřezy a výřezy pro výrobu krájené dýhy. Jedná se o výřezy určené pro výrobu hudebních nástrojů, krájených nábytkářských dých a speciálních technických potřeb. Sortimenty první třídy jakosti jsou vyráběny ze všech druhů dřevin s výjimkou akátu a dubu ceru. Dodávány jsou vždy neodkorněné. Rezonanční výřezy musí mít na 1 cm nejméně 4 stejně široké letokruhy a mohou být dodávány jen ze zimní těžby.
- Druhá třída jakosti obsahuje výřezy pro výrobu loupané dýhy a další speciální výřezy. Jedná se o výřezy pro výrobu překližkových dých loupáním, výřezy pro výrobu zápalek, sportovních potřeb, zdravotnických potřeb a sudů (Neruda et al., 2015).
- Třetí třída jakosti zahrnuje výřezy určené pro pilařské zpracování (jehličnaté a listnaté) a výřezy pro výrobu sloupů (tzv. sloupovina). Výřezy třetí jakosti dělí na několik kvalit A až D. U vyšší kvality nejsou přípustné žádné příznaky povrchových a vnitřních hnilob, dále je velmi omezena sukatost. Protože výtěžnost a kvalita výsledného řeziva závisí do značné míry na tloušťce výřezů, jejich ceny bývají rozděleny podle tloušťkových tříd. Čtvrtá kvalita třetí jakostní třídy (s označením D) je nazývána kulatinou k průmyslovému zpracování tzv. KPZ nebo také jako výměťová kulatina.
- Čtvrtá třída jakosti sdružuje některé nesourodé sortimenty (dřevovina, dolovina, důlní výřezy, tyčovina). Jedná se tedy o důlní výřezy, tyčovinu (tyče a tyčky) a výřezy určené na výrobu dřevoviny (vlákninové dříví pro zpracování na celulózu mechanickým způsobem).
- Pátá třída jakosti obsahuje dříví pro výrobu buničiny a desek na bázi dřeva. Sdružuje tedy sortimenty určené na výrobu celulózy chemickým způsobem (vlákninové dříví), dřevotřískových a dřevovláknitých desek a menších dřevěných předmětů např. hraček.
- Šestá třída jakosti zahrnuje palivové dříví. Jedná se o dříví nejnižší technologické jakosti, které je využitelné pouze jako palivo (Wojnar, 2007; Neruda et al., 2015).

Pro určení konkrétního sortimentu dříví je tedy několik zásadních kritérií. Jedním z nich je určení dřeviny, dalšími potom určení minimálních rozměrů a kvalitativních znaků. Při výrobě dříví harvestorovou technologií operátor harvestoru určuje dřevinu a kvalitativní znaky sortimentu. Výrobně-evidenční software harvestoru operátorovi navrhne sortiment, který má být vyroben na základě předem zadaných kvantitativních parametrů.

### **3.2.1 Třídění sortimentů dle dřeviny**

Prvotní dělení sortimentů provádíme podle dřeviny, ze které je daný sortiment vyroben. Základní rozdělení dřevin je na jehličnaté a listnaté. Listnaté dřeviny se dále dělí na listnaté měkké a listnaté tvrdé. Označení jednotlivých druhů dřevin je pomocí velkých tiskacích písmen latinské abecedy (Wojnar, 2007).

### **3.2.2 Třídění sortimentů dle rozměrů**

Rozměry výřezů jsou rozhodujícím kritériem pro zařazení do některého ze sortimentů (Slanina, 2015). Podle Wojnara (2007) můžeme výřezy třídit podle rozměrů a podle kvality.

Prvním měřeným rozměrem je délka výřezu. Jedná se o co nejkratší vzdálenost mezi oběma čely kusu. Celková délka výřezu je potom skutečná délka výřezu. Udává se s přesností na centimetry. Jmenovitá délka je celková délka výřezu snižená o hodnotu dohodnutého nadměrku a zaokrouhlená směrem dolů na nejbližší nižší stupeň jmenovité délky. Závazné stupně jmenovité délky se stanovují dohodou mezi dodavatelem a odběratelem dříví. Nadměrek pro výřezy jehličnatého a listnatého dříví je obvykle 2 % jmenovité délky. Použití odlišných nadměrků, než je stanoveno, musí být smluvně odsouhlaseno mezi dodavatelem a odběratelem (Wojnar, 2007). V jiných zemích je nadměrek stanoven nejen jako relativní podíl jmenovité délky, ale také jako absolutní hodnota nebo kombinace relativního podílu jmenovité délky a stanovení jeho maximální velikosti (CITES, 2006; Opferkuch et al., 2014). Nadměrek je u některých sortimentů vyžadován odběratelem z důvodu kompenzace technologických ztrát vzniklých sesycháním dříví, příčnými řezy při pilařském zpracování atd. Nadměrek je tedy zahrnut ke jmenovité délce výřezu a odběrateli je poskytnut zcela bezplatně (Poleno et al., 1994). Nadměrek není vyžadován u sortimentů určených k chemickému nebo mechanickému zpracování nebo výrobě dezintegrovaného materiálu, např. u vlákniny (Dvořák et al., 2018). Z hlediska druhování má rozhodující význam délka jmenovitá. Hlavním limitujícím faktorem je minimální přípustná jmenovitá délka, protože má největší vliv na



následné zpracování a možnost vyrobit zamýšlený výrobek. Z toho tedy jasně vyplývá, že délku je zapotřebí měřit přesně, aby nedocházelo ke ztrátám způsobeným přeřazením sortimentu do méně finančně ohodnocené skupiny sortimentů (Slanina, 2015).

Druhým měřeným rozměrem výřezu je tloušťka (průměr). Tloušťka kmene je jednou z rozhodujících dimenzí pro kubírování (krychlení) vyrobeného dříví a pro zařazení dříví do tříd jakosti (Neruda et al., 2015). Tloušťka výřezů se udává ve středu jmenovité délky, na čepu, a pokud je třeba i na čele výřezu. Při měření bez kůry získáme hodnotu tloušťky bez kůry, při měření v kůře je získána tloušťka s kůrou. Při ručním měření výřezů s tloušťkou do 20 cm se tloušťka měří jedenkrát ve vodorovném směru (rovina měření je vodorovná s povrchem země). Jestliže má takový výřez oválný průřez, měří se středová tloušťka ve dvou na sebe kolmých směrech. U výřezů s tloušťkou nad 20 cm se tloušťka měří ve dvou na sebe kolmých směrech vždy. Hodnoty jednotlivých měření tloušťky se při ručním měření vyjadřují v celých centimetrech tak, že se údaje za desetinnou čárkou neuvažují. Při provádění dvou na sebe kolmých měření je výsledná hodnota tloušťky vypočtena aritmetickým průměrem a udává se v celých centimetrech (Wojnar, 2007).

Na základě měření tloušťky v různých místech výřezu rozlišujeme tloušťku středovou a tloušťku čepovou, popř. ještě tloušťku čela a tloušťku ve vzdálenosti jeden metr od čela kusu (Slanina, 2015).

- Středová tloušťka slouží hlavně ke stanovení objemu výřezu a při ručním měření se měří ve středu jmenovité délky výřezu. Jestliže se v místě měření vyskytuje výrazná nepravidelnost růstu, měří se středová tloušťka na dvou místech, která se nachází ve stejné (co možná nejkratší) vzdálenosti od požadovaného místa měření před a za nepravidelností růstu. Středová tloušťka se posléze vypočítá jako aritmetický průměr ze dvou, respektive čtyř hodnot měření (Wojnar, 2007). Kromě kubírování je možné využít středovou tloušťku pro třídění důlních výřezů a surových kmenů. Podle této tloušťky se také rozřazují výřezy do tloušťkových tříd a do tloušťkových stupňů (Slanina, 2015).
- Čepová tloušťka slouží zejména ke třídění výřezů pro jejich další zpracování. Při ručním měření se měří ve vzdálenosti do 10 cm od slabšího konce výřezu tzv. čepu. Jestliže se v místě měření vyskytuje výrazná nepravidelnost růstu, měří se čepová tloušťka v co nejmenší vzdálenosti od původního místa měření. Čepová tloušťka je nejmenší tloušťka daného výřezu, její velikost má proto zásadní

význam pro možnosti mechanického zpracování výřezu. S ohledem na mechanické zpracování je u většiny sortimentů dříví rozhodující právě minimální čepová tloušťka (Dejmal, 1973). Právě nejmenší čepová tloušťka je normou nebo uzancí stanovená minimální tloušťka čepu pro určitý způsob zpracování dříví, respektive třídu jakosti (Neruda et al., 2015). Čepová tloušťka se dá využít i pro zjištění objemu výřezu (Wojnar, 2007).

### 3.2.3 Třídění sortimentů dle kvality

Při posuzování dříví z hlediska kvality hovoříme o jakosti dříví. Jakost dříví (též technologická jakost dříví) se jen zcela výjimečně charakterizuje ukazatelem skutečné kvality např. počtem letokruhů na jeden centimetr u rezonančního dříví. Většinou se posuzuje nepřímou, podle výskytu a rozsahu vad dříví, které nejvýrazněji ovlivňují způsob zpracování dříví. Rozdělení vad do skupin, jejich následné měření a hodnocení se liší podle existujících norem, pravidel a uzancí. V zásadě však lze říct, že je rozdělujeme na suky, vady tvaru kmene, trhliny, nepravidelnosti struktury dřeva, napadení dřeva houbami, napadení dřeva hmyzem a ostatní poškození dřeva. Rozdílný je i způsob vzniku vad. Některé vzniknou působením přírodních sil, proto lze jejich výskyt ovlivnit jen omezeně. Další však vznikají následkem neodborně provedené těžby a neodborným a nevhodným dočasným uskladněním dříví (Neruda et al., 2015). Výskyt těchto vad lze omezit vhodnými postupy těžby a uskladňování.

Pro určení vhodnosti zařazení výřezu do některého ze sortimentů rozlišujeme několik základních vad dříví.

- Suky jsou části větví obrostlé dřevem, které se dále dělí na otevřené (viditelné na povrchu sortimentu), zarostlé (nacházejí se pod povrchem a mohou tvořit bouli), vypadávé (odumřelé suky, které nedrží pevně v okolním dřevě), nezdravé (suky s příznaky hniloby) a zdravé. Velikost suků, jejich kvalita a počet jsou jednou z hlavních charakteristik pro zařazení dříví do některé z jakostních tříd.
- Trhliny vznikají rozdělením dřeva podél vláken. Trhliny označujeme podle místa vzniku (boční, čelní, dřeňové, přecházející, nepřecházející, pronikající, odlupčivé) a dále podle způsobu vzniku (mrazové, vysušné a výrobní).
- Vady růstu jsou nejčastěji způsobeny postavením stromu v porostu, kdy strom nemá ideální prostor pro růst, dále nevhodností druhu dřeviny nebo genetického materiálu pro danou lokalitu, svažítostí, extrémností terénu či exponovaností stanoviště. Konkrétními vadami růstu jsou: křivost (jednoduchá a složená),

točitost, sbíhavost, excentrická dřev, křemenitost tzv. reakční dřevo (tahové a tlakové dřevo).

- Vady způsobené houbami jsou zejména hniloby, které jsou výsledkem působení dřevokazných hub a mikroorganismů. Po napadení dřeva dochází k jeho změknutí, významné ztrátě hmotnosti a pevnosti a často i ke změně textury a barvy. Společně se suky jde o vadu, která významně ovlivňuje sortimentaci stromů či porostů, neboť zasahuje spodní, tj. nejcennější části kmenů. Druhů hnilob je více, nejčastěji rozlišujeme hniloby měkké a tvrdé. K dalším vadám způsobeným houbami patří hniloba bílá a hnědá, plíseň, pruhovitost, zamodrání, zapaření, či jen změna zbarvení.
- Vady způsobené napadením hmyzem. Podle hloubky požerků (závrty a chodby v kůře nebo ve dřevě) určujeme, jestli se jedná o napadení hluboké, které ovlivňuje mechanické vlastnosti dřeva nebo mělké, které nezasahuje do hloubky větší než 3 milimetry. Povrchové napadení proniká maximálně do hloubky jednoho milimetru.
- Vady ostatní, kde jsou zastoupeny vady způsobené nemocemi nebo jiným mechanickým poškozením, které nelze zařadit mezi výše popsané vady. Jedná se o boule, liziny, nádory, rakovinu, růže, rýhy, smolníky, svalovitost, vnitřní běl, zárost, vytrhaná vlákna a výskyt cizích těles ve dřevě (Slanina, 2015).

Právě na základě posouzení výskytu výše zmíněných vad, jejich rozsahu a určení rozměrů výřezu přiřazujeme daný výřez do jakostních tříd. Třídění se dnes na našem území obvykle provádí podle Doporučených pravidel pro měření a třídění dříví v České republice 2008 (Wojnar, 2007).

### **3.3 Měření dříví**

V ČR i v okolních státech je v současné době prakticky užíváno více způsobů stanovení rozměrů i objemů výřezů. Každý takový způsob má pro svoji existenci i užívání důvody historické, technické i obchodní. V krátké době nelze reálně předpokládat sjednocení způsobů měření (Wojnar, 2007). Měření dříví může být manuální nebo automatické, závisí to na využití těžební metodě a technologii výroby. Objem dříví může být stanoven na základě tloušťky kmene měřené s kůrou nebo bez kůry (Edwards, 1998). Pro obchodní záležitosti je způsob měření a výpočtu objemu určen výhradně dohodou mezi dodavatelem a odběratelem, pro účely lesní hospodářské evidence národními

standardy. Při měření dříví je však vždy cílem stanovit rozměry i objem výřezů s dostatečným stupněm přiblížení se skutečnému stavu tak, aby postupy byly jednoznačné a co možná nejjednodušší, aby byly proveditelné ručními i elektronickými prostředky, aby rozdíl v dosažených výsledcích byl co nejmenší a aby výsledky měření byly opakovatelné s co nejvyšší mírou shody (Wojnar, 2007).

Pro výpočet objemu kmenů i výřezů lze využít různé matematicky formulované objemové vzorce. Mezi ty nejznámější a nejpoužívanější patří Huberova, Smaliánova či Newtonova metoda (Husch et al., 2003). Vzorce jsou známé podle jména původních autorů a jsou odvozené na podkladě stereometrického principu za předpokladu, že skutečný tvar výřezu je nahrazen jednoduchým rotačním tělesem. Jedná se o jednoduché kubírovací vzorce, které požadují odměření délky kmene (výřezu) a malého počtu jedné, dvou, max. třech tloušťek (Sequens, 2007). Objem výřezu je dle Huberovy metody vypočítán jako násobek obsahu ideální kruhové plochy ve středu výřezu a délky výřezu. Obsah kruhové plochy je vypočítán na základě středové tloušťky výřezu. Objem výřezu podle Smalianovy metody je vypočítán za využití čepové tloušťky a tloušťky čela výřezu, Newtonova metoda navíc ještě k těmto dvěma tloušťkám využívá středovou tloušťku.

Černý a Pařez (2005) zjišťovali objem a způsob sortimentace stojících stromů s využitím modelu tvaru kmene. Celá řada vědců u nás i ve světě se zabývala zjišťováním různých způsobů výpočtu objemů, proto bylo vytvořeno mnoho různých přístupů, tvarových a objemových rovnic, které se snažily co nejsprávněji charakterizovat tvar a průběh kmene. Jako příklad lze uvést několik zahraničních autorů Graves (1906), Kozak et al. (1969), Loetsch et al. (1973), Goulding (1976), Liu (1980), Thomas a Parresol (1991), Wiant et al. (1992), Filho a Schaaf (1999), Nummi (1999), Fang et al. (2000), Karlsson (2000), Eerikäinen (2001), Kangas a Maltamo (2002), Wilhelmsson et al. (2002), Zakrzewsky a MacFarlane (2006), Li a Weiskittel (2010), Özcelik a Brooks (2012), Shahzad et al. (2019), Hussain et al. (2020) a řadu dalších.

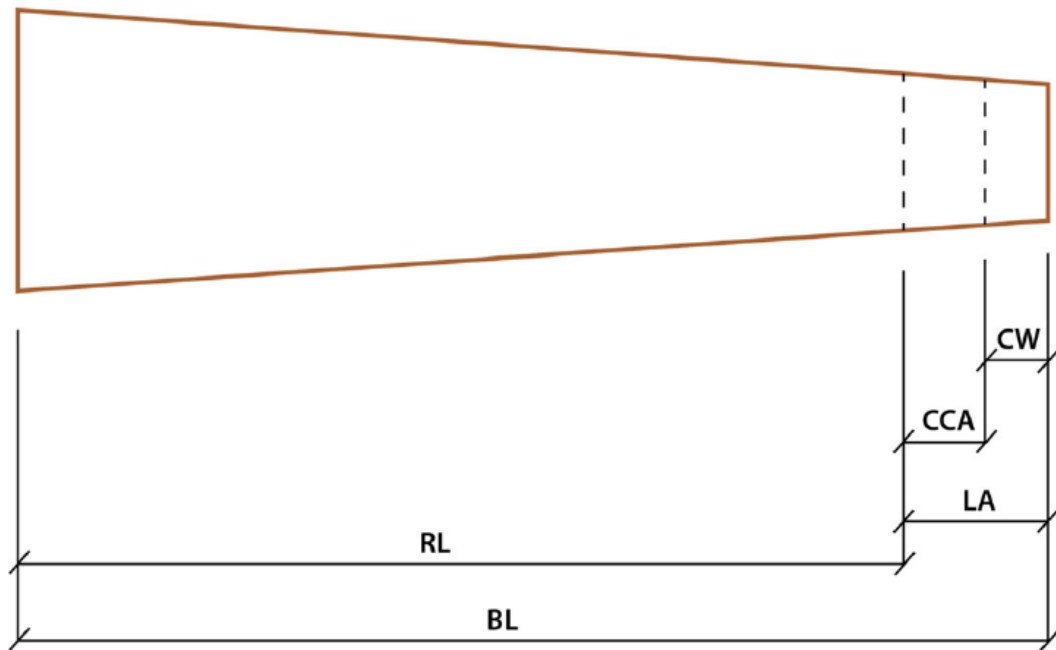
### **3.3.1 Měření dříví harvestory**

Měřicí systém harvesteru je založen na principu palubního počítače s operačním systémem, kterým je nejčastěji Microsoft Windows. Díky tomu se nabízí kromě jeho primární funkce, kterou je ovládána harvesterová hlavička, i funkce sekundární. Sekundární funkcí může být instalace jakéhokoliv programu určeného pro operační systém Microsoft Windows. Takový program pak může být využitelný buď přímo pro samotnou výrobu dříví a jeho následného ocenění, nebo jej lze využít na činnost nepřímo

související s výrobou. Jako příklad lze uvést tabulkový procesor, klient elektronické pošty, textový editor a internetový prohlížeč. Systémy harvestorů při zpracování stromů na sortimenty využívají optimalizační metodu. Tato metoda na základě předem uložených rozměrů a parametrů vyráběných sortimentů (jmenovitá délka, středová tloušťka, čepová tloušťka, průměrná cena, sbíhavost) optimálně druhuje s maximální výtěžností s ohledem na maximalizaci zisku z prodeje vyrobených sortimentů (Kabeš, 2015). Dříví zpracovávané harvestory je měřeno pomocí harvestorové hlavice nesené na konci hydraulického jeřábu harvestoru (Neruda et al., 2015). Počítačový systém v kabině řídí podávání kmene pomocí válců v hlavici harvestoru a krácení kmene na sortimenty. Měření délky a tloušťky výřezu může být podle uvážení operátora harvestoru ruční, nebo podle programu, kde se přihlíží ke kvalitě, účelu a ceně výřezu, poloautomatické, či plně automatické (Schlaghamerský, 2001b). Pokud je harvestor vybaven satelitní navigací a odpovídajícím softwarem, může ke každému vyrobenému výřezu také přiřadit informaci o jeho přesné poloze v porostu prostřednictvím souřadnic systému GPS (Neruda et al., 2015; Olivera, Visser, 2016).

Délka výřezu se měří s přesností na centimetry (Neruda et al., 2008). Určuje se na základě počtu elektronických impulsů vznikajících při synchronním odvalování měřicího ozubeného kolečka po povrchu výřezu protahovaném harvestorovou hlavicí při svém zpracování (Neruda et al., 2015). Měřicí kolečko je přitlačováno pružinou nebo hydraulickým válcem ke kmeni a při jeho posuvu se pomalu odvaluje směrem dopředu nebo dozadu podle pohybu směru kmene. Tímto způsobem předává do řídicího počítače odpovídající počet impulsů z impulsního generátoru. Získané impulsy jsou pak v počítači na základě jedné kalibrační hodnoty přepočítávány na délku. Pro každý druh dřeviny je nutné stanovit přepočet impulsů na délku samostatně (Wojnar, 2007). Makkonen (2001) však zmiňuje, že u některých harvestorů chybí měřicí kolečko a měření délky je prováděno přímo posunovacími válci. Při výrobě dříví harvestorovou technologií je celková délka sortimentu tvořena jmenovitou délkou výřezu a přídatkem k délce. Složení přídatku k délce se liší u jednotlivých vyráběných sortimentů. U některých sortimentů je tvořen pouze řezacím oknem. Řezací okno je vyžadované konstrukčním řešením hlavice harvestoru, jejíž přesnost měření délek při správné kalibraci se pohybuje v pásmu  $\pm 2$  cm (Natov, Dvořák, 2018). Jedná se o délkovou část kmene, ve které je povoleno jeho zkrácení (Fišer, Provazník, 2012). Řezací okno určuje přesnost a rychlost měření délky tím, že nastavuje toleranci měřicích senzorů v harvestorové hlavici během nastavení

kmene na správnou polohu řezu. Výsledkem je zkrácení doby potřebné na správnou polohu řezu a zvýšení produktivity stroje (Dvořák et al., 2018). U sortimentů, kde je požadován odběratelem nadměrek, je přídavek k délce tvořen tímto nadměrkem a řezacím oknem. Schéma představující jednotlivé délkové rozměry výřezu včetně složení přídavku k délce zobrazuje Obrázek 1.



Obrázek 1: Schéma popisující jednotlivé délkové rozměry výřezu vyráběného harvestorovou technologií včetně složení přídavku k délce ( $BL$  = celková délka;  $RL$  = jmenovitá délka;  $LA$  = přídavek k délce;  $CCA$  = nadměrek;  $CW$  = řezací okno).

Hodnoty tloušťky výřezu jsou získány s přesností na milimetry na základě úrovně napětového elektrického signálu odvozeného od měřicích potenciometrů v závislosti na míře rozevření horních odvětvovacích nožů nebo ramen válců posuvu (Neruda et al., 2015). Tloušťku tak určuje úhel otevření odvětvovacích nožů nebo podávacích válců na harvestorové hlavici, který se snímá pomocí odporových nebo impulsních snímačů. Tloušťka v daném místě se vypočítá jako aritmetický průměr z hodnot rozevření každého z obou odvětvovacích nožů (napětí u odporových snímačů nebo počtu impulsů u impulsních generátorů). Poloha odvětvovacích nožů nebo podávacích válců umožňuje téměř křížové měření tloušťky kmene. Tloušťkové parametry pro výrobu sortimentů (min. a max. tloušťky) jsou zadávány bez kůry (Wojnar, 2007). Harvestor je schopen měřit tloušťku po jednom centimetru délky a evidovat ji v desetimetrových intervalech (Anderson, Dyson, 2002). Každé měření tloušťky je výsledkem dvou

měřených tloušťkových hodnot. Přesné zjištění tlouštěk kmene, zvláště v jeho horní části (na čepu), má velký vliv na cenovou relaci sortimentu. Výrobně-evidenční software stroje vypočítává z délek a tlouštěk nejen objem bez kůry, ale také s kůrou. Software kalkuluje také tvar kmene (Schlaghamerský, 2001b).

Správné a bezchybné fungování harvestorové hlavice je založeno na několika senzorech, které monitorují aktuální situaci. Jedná s o tři typy snímačů. Prvním z nich je impulsátor určený na měření délky. Pro měření tloušťky je naopak zásadní odporový snímač nebo impulsní generátor. Třetím typem snímačů jsou indukční senzory, které kontrolují polohu pily (Wojnar, 2007).

Na základě změřené délky a tloušťky spočítá měřicí systém harvestoru celkový objem výřezu. Objem výřezu je vypočítán na základě takového algoritmu, který je předem v měřicím systému stroje zvolen (Neruda et al., 2015). Standard StanForD umožňuje zvolit z různých ceníkových typů (tzv. price categories), které definují jak algoritmus pro výpočet objemu výřezu, tak způsob druhování výřezu na základě jeho středové nebo čepové tloušťky (Skogforsk, 2012). Provozovatel harvestoru je vždy povinen definovat využitý ceníkový typ, tzn. algoritmus výpočtu objemu kmene a parametry, které byly k výpočtu použity. Výpočet objemu vyrobeného dříví harvestorem závisí na zvoleném výpočtovém vzorci (algoritmu). Ceníkový typ lze nastavit pro každý vyráběný sortiment samostatně, např. na základě růstových charakteristik jakou je sbíhavost. Zásadní vliv na výpočet objemu má také parametr, který určuje, z jaké délky (celková, jmenovitá, zaokrouhlená) se objem bude počítat (Wojnar, 2007).

Výsledná hodnota objemu výřezu může být vyjádřena s kůrou nebo bez kůry. V praxi se nejčastěji vyjadřuje objem tzv. čistého dříví bez kůry. Hodnoty bez kůry jsou také použity v tloušťkových parametrech určených pro výrobu sortimentů harvestorem. Nicméně, harvestorem provedené měření tloušťky výřezu je provedeno v kůře. Protože při výrobě výřezu nedochází k jeho odkornování, musí se pro výpočet objemu výřezu bez kůry použít funkce, která je schopna provést dle naměřené tloušťky odpovídající srážku na kůru. Tuto srážku (odpočet kůry) lze stanovit pro jednotlivé dřeviny samostatně a dvojitým způsobem. Nikdy by však neměly být aplikovány oba dva postupy (Ulrich et al., 2006).

V doporučených pravidlech (Wojnar, 2007) lze dohledat tabulku odpočtu srážek na kůru, která je zkonstruovaná podle normy ČSN 48 0009 (ČSN, 1977). Při využití

tohoto postupu mluvíme o pásmové metodě odpočtu kůry. Další možností je využití parametrického lineárního odpočtu kůry. Při této metodě však musíme zvolit parametry lineární funkce, které jsou pro lesní hospodářství ČR sestavené, ale dosud nejsou využívány (Natov, Dvořák, 2018). Parametry navržené pro odpočet kůry smrku v podmínkách českého lesnictví ověřoval Jankovský et al. (2019). Odpočty na kůru nastavuje provozovatel harvestoru a je povinen informovat uživatele výstupů výroby o uplatněné metodě (Wojnar, 2007). Polynomická funkce, která je v České republice využívána pro odpočet kůry (Wojnar, 2007), není při výrobě dříví harvestorovou technologií aplikovatelná. Standard StanForD totiž podporuje možnost odečítat parametricky hodnotu srážky na kůru pouze lineárně (Natov, Dvořák, 2018).

Ve Švédsku funguje nezávislá organizace SDC (Skog Data Centre), do které operátoři harvestoru vždy po směně posílají data z harvestorů. Jedná se především o produkční data, data o jednotlivých kmenech a informace o kalibracích. V SDC jsou data dále zpracovávána a při zjištění významnějších odchylek od normálu je operátor upozorněn na nutnost přezkoušení měřicího a řídicího systému (Priddle, 2005). Podobná instituce centrálně shromažďující data z výroby harvestorů však v České republice zatím neexistuje.

### **3.3.2 Přesnost měření dříví harvestory**

Přesnost měření délky harvestorem lze s rezervou očekávat v pásmu  $\pm 2$  cm od strojem zobrazené délky. Většina nepřesností je pak dána mechanickým přenosem pohybu z kmene na měřicí kolečko např. kvůli míze, křivosti kmene (Wojnar, 2007). Nepřesnost měření délek výřezů může způsobit i boření hrotů měřicího kolečka harvestoru v důsledku různé pevnosti kůry (Neruda et al., 2015). U státního podniku Lesy České republiky není přípustné, aby harvestor vyráběl výřezy delší o více než 6 cm nebo kratší o více než 2 cm, než je dohodnutý nadměrek. Tyto hodnoty vychází z předpokládané přesnosti měření a velikost řezacího okna, které by mělo být 3 až 4 cm (Slanina, 2015). Natov a Dvořák (2018) doporučují nastavit rozsah řezacího okna v intervalu 0–4 cm.

Při měření délky je využívána jen jedna kalibrační hodnota pro přepočítání impulsů na výslednou délku. Z tohoto důvodu není možné, aby při měření délky docházelo k situaci, kdy sortiment o určité nastavené délce je vyráběn kratší, než je jeho požadovaná délka, a zároveň jiný sortiment o jiné délce je vyráběn delší, než je jeho požadovaná délka. Jestliže není systém měření délky správně zkalibrován, může v důsledku toho docházet



pouze ke kladným odchylkám nebo pouze k záporným odchylkám (Kabeš, 2015). Odchylky při měření délek mohou vznikat z mnoha dalších příčin např. změnou přírodních podmínek, poškozením hlavice, nedostatečnou nebo nesprávnou kalibrací či opotřebením zubů měřicího kolečka. Nepřesnosti měření délky mohou vzniknout i v době mízy, kdy při použití příliš úzkého měřicího kolečka dochází ke stržení a posunu kůry a tím ke zkreslení výsledné délky. Ovlivnit přesnost měření mohou i vibrace a otřesy vznikající při protahování kmene podávacími válci a rovněž abnormality tvaru kmene a jeho povrch, zejména hrubost kůry, boulovitost, větevnatost (Slanina, 2015). Při definování možných příčin přesnosti měření nesmíme zapomenout i na lidský faktor, kterým je v tomto případě operátor harvestoru (Makonnen, 2001).

Ačkoliv jsou harvestory schopny měřit délky s přesností na centimetry a tloušťky s přesností na milimetry (Sládek, Neruda, 2007), v českém lesnictví chybí standard, který by umožnil akceptování těchto měření v oficiálních záznamech. To samé platí i pro Německo a některé další evropské státy (Hohmann et al., 2017). Na druhou stranu mohou být výstupy z harvestorů ovlivněny chybami měření, použitými postupy a způsoby dříví (Marshall, 2005). Při stanovení objemu výřezů znamená chyba v měření tloušťky výřezu dvojnásobek chyby při měření délky, tj. když je u výřezu s průměrem 20 cm chyba 1 cm (5 %), pak tato chyba obnáší u objemu již 10 % (Bergmann, 1997). Význam přesného měření tlouštěk je tedy jednoznačný, a to i s ohledem na výrobu sortimentů (Schlaghamerský, 2001). V průběhu výroby dříví navíc dochází k faktickým i fiktivním ztrátám v jeho evidovaném objemu (Simanov, 2003; Šafařík, Hlaváčová, 2015). Využití různých ceníkových typů určujících algoritmus pro výpočet objemu dříví vyráběného harvestory může způsobit značné odchylky mezi výstupy evidovaného objemu. Dvořák et al. (2017) zjistili, že evidovaný objem výřezu dle Huberovy metody může být až o 15,6 % nižší než objem zjištěný součtem dílčích 10 cm dlouhých sekcí výřezu. Výše tohoto rozdílu však závisí na vyráběném sortimentu. Využití různých algoritmů tak vede ke vzniku fiktivních ztrát v evidovaném objemu výroby. Aby prvotní výstupy z těžby dříví harvestory byly považovány za důvěryhodné a tím i využitelné pro vedení záznamů lesní hospodářské evidence, je nutné, aby se lesnická veřejnost nejprve důkladně seznámila s fungováním výrobně-evidenčních softwarů.

### 3.3.3 Kontrolní měření a kalibrace harvestoru

Kalibrace slouží k řádnému nastavení měřicích zařízení pro měření délek a tloušťek v harvestorové hlavici. Ke kalibraci se přistupuje až na základě výsledků kontrolního měření (Natov, Dvořák, 2018). Kalibrací se rozumí nastavení měřicího zařízení harvestoru na základě kontrolního měření tak, aby bylo dosaženo nejvyšší přesnosti (Schlaghamerský, 2001b). Kalibraci měření je nezbytné provést v případě, že se reálné hodnoty délky a tloušťky významně neshodují s údaji, které uvádí měřicí systém harvestoru (Neruda et al., 2015). Kalibraci můžeme provádět buď manuálně, nebo elektronicky. Manuální kalibrování se provádí podle ručně naměřených hodnot rozměrů výřezů (Wojnar, 2007). Nezbytnou pomůckou pro správné provedení manuální kalibrace je využití diagramů pro vyrovnání délek a tloušťek (Natov, Dvořák, 2018). Rozdíly mezi ručně změřenými hodnotami a údaji harvestoru lze spočítat a vložit je do tabulky sloužící k nastavení měření. Počítač harvestoru podle vložených hodnot následně upraví přepočtové koeficienty. Další možností je vložit do této tabulky ručně změřené hodnoty přímo. Palubní počítač porovná výsledky kontrolního měření s hodnotami vlastního měření a navrhne optimální způsob nastavení výpočtů. Nastavení je pak provedeno potvrzením návrhu obsluhou harvestoru. Provedení kalibrace musí být vždy evidováno, a to buď automaticky, nebo obsluhou stroje. Záznam o kalibraci musí obsahovat datum, způsob nastavení a jeho výsledek (Wojnar, 2007). Sestavení diagramu při manuální kalibraci je založeno na určité míře subjektivity, proto je z důvodu nižší míry chybovosti způsobené lidským faktorem doporučováno využít elektronickou metodu kalibrace, při které je využita digitální průměrka v kombinaci s analogovým nebo digitálním pásmem pro měření délek a standard StanForD. V České republice se můžeme setkat s digitálními průměrkami od dvou hlavních výrobců. Jedná se o digitální průměrky švédské firmy Haglöf Sweden AB a finské firmy Masser Oy. Nevýhodou využití digitální průměrky je jen vyšší pořizovací cena a vyšší kvalifikační nároky kladené na pracovníka, který s ní pracuje (Natov, Dvořák, 2018). Elektronická metoda provedení kontrolního měření a následné kalibrace je dnes na vzestupu. Výsledky takového kontrolního měření délky a tloušťky výřezů se jednotlivě nebo po dávkách přenášejí do palubního počítače harvestoru, který je porovnává s výsledky měření harvestorovou hlavici. Po vyhodnocení kontrolního měření počítač automaticky navrhne způsob nastavení výpočtů měření měřicích senzorů v harvestorové hlavici. Potvrzení návrhu kalibrace je na obsluze harvestoru. Přesný postup provádění kontrolního měření, tj. přenos dat mezi palubním počítačem a elektronickou průměrkou, jejich zpracování a nastavení měřicího systému

harvestoru, je závislý na typu harvestoru a druhu jeho programového vybavení (Wojnar, 2007).

Kalibruje se jak měření délek, tak tloušťek. Technika i další výrobní faktory mohou způsobit velký rozptyl měřených hodnot. Je tedy třeba dbát na to, aby kalibrace měřicího zařízení byla pravidelná a nebyla založena jen na malém počtu měření (Schlaghamerský, 2001b). Neruda et al. (2015) doporučují provádět kontrolu měření délek a tloušťek minimálně jedenkrát denně. Před vlastní kalibrací harvestoru se vždy provádí nejprve kontrolní měření. Podle Doporučených pravidel pro měření a třídění dříví v České republice 2008 (Wojnar, 2007) je vhodné provádět základní a opakovanou kontrolu měření harvestoru. Kontrolní měření je nedílnou součástí správného pracovního postupu při výrobě dříví harvestorovou technologií (Natov, Dvořák, 2018). Základní kontrolu nastavení měření délky je nutné stanovit pro každou dřevinu zvlášť, a to na vzorku 5 až 7 stromů u předem zadavatelem definovaných sortimentů. Základní kontrola nastavení tloušťek by měla být provedena optimálně v tloušťkových pásmech po 50 mm a to v intervalech 100, 150, 200, 250, 300, 350 mm atd. v závislosti na objemu těžných kmenů a s ohledem na programové vybavení počítače harvestoru.

Oba typy kontrolního měření spočívají v porovnání hodnot tloušťky i délky ukázaných na monitoru počítače stroje se skutečně naměřenými hodnotami. Pokud je zjištěna odchylka, tak jsou hodnoty v počítači upraveny dle skutečně naměřených hodnot. Základní kontrola nastavení měření délky a tloušťky je provedena před započítáním prací na zakázce nebo při poruše měřicího zařízení harvestoru formou ručního měření. Opakovaná kontrola nastavení měřicího zařízení musí být prováděna na základě ručního kontrolního měření a hodnot naměřených harvestorovou hlavicí. Za kontrolní porovnání odpovídá provozovatel harvestoru a to v pravidelných intervalech (dle dohody) u vzorku minimálně 3 stromů. Pro kontrolní měření se používá výstup z výrobně-evidenčního softwaru, který poskytuje informace o konkrétních kontrolních výřezech (STM soubor). Kontrola nastavení měřicího zařízení by se měla provádět i při změně těžebních podmínek např. těžené dřeviny, průměrného objemu těžného kmene a po opravách součástí harvestorové hlavice nebo měřicího systému (Neruda et al., 2015). Podrobný popis postupu provádění kontrolního měření a kalibrace je popisován v Doporučených pravidlech pro elektronický příjem dříví harvestory v ČR 2018 (Natov, Dvořák, 2018). Tato pravidla doporučují rozlišovat frekvenci kontrolního měření z hlediska času a objemu. Nutné je také zohledňovat druh těžby (předmýtní, mýtní). V případě mýtní

těžby je doporučeno provádět kontrolní měření na minimálně čtyřech stromech a v případě předvýtní těžby na minimálně sedmi stromech. S ohledem na zastoupení dřevin je doporučeno provádět kontrolní měření pro každou dřevinu samostatně v případě více než 30% zastoupení dalších dřevin.

Výrobci strojů kalibraci doporučují provádět při odchylce objemu dříví po kontrolním měření o více jak 5 %. Natov a Dvořák (2018) v Doporučených pravidlech pro elektronický příjem dříví harvestory v ČR uvádí, že by výsledný rozdíl v celkovém objemu kontrolního měření neměl překročit  $\pm 3$  %. Někteří vlastníci lesů si stanovují i přísnější pravidla, např. interní směrnice státního podniku Lesy ČR nepřipouští odchylku více než 2 % (LČR, 2019). Kalibrace je obtížná zejména na začátku zimy a brzy na jaře, kdy na osluněných částech kmene je kůra měkká, zatímco ve stínu je zmrzlá. Měřicí elementy se pak boří do kůry na obou stranách kmene různě, což způsobuje rozdíly v délce i tloušťce (Neruda et al., 2015). Dobrou kalibrací lze dosáhnout snížení rizika velkého nadměrku. Každý centimetr nadměrku navíc znamená 0,20 až 0,25 % ztráty na cenové hodnotě dřeva. Dobrá kalibrace také znamená přesné vyřídění sortimentu, zvláště u minimálních tlouštěk, kde různé sortimenty mohou zapříčinit velké rozdíly v cenách (Schlaghamerský, 2001b). Pravidelné kontrolní měření a kalibrace vedou k prokazatelnému zpřesnění měření harvestoru (Dooley et al., 2006). Výsledky studie prováděné v Německu na harvestorech Timberjack, Valmet, Ponssee a Skogsjan ukázaly, že u 70 až 75 % vyrobených výřezů se naměřené hodnoty tlouštěk při kontrolním měření lišily do 4 mm od hodnot tlouštěk měřených strojem (Schlaghamerský, 2001b).

### **3.4 Softwarové vybavení harvestorů a standard StanForD**

Harvestory se neobejdou bez kvalitního měřicího a řídicího systému. Struktura řídicích systémů je založena na technologii CAN (Controller Area Network) a distribuovaném řízení. Pomocí CAN sběrnice spolu vzájemně komunikují jednotlivé nezávislé řídicí moduly harvestoru, např. řídicí jednotka motoru, modul harvestorové hlavice, modul hydraulického jeřábu apod. To umožňuje vytvořit v různých situacích přehlednou modulovou strukturu a multifunkční diagnostiku. Programy řídicích systémů pracují v prostředí operačního systému Microsoft Windows. Měřicí systém harvestoru vyhodnocuje data získaná ze senzorů umístěných na harvestorové hlavici, dále data, která zadá bezprostředně během výroby operátor a data z ceníku uloženého v palubním počítači. Na základě těchto informací pak navrhuje optimální skladbu sortimentů tak, aby dosáhl maximálního zpeněžení pro aktuálně zpracovávaný kmen, popř. upravuje skladbu

sortimentů podle jejich požadovaného celkového podílu v rámci zakázky. Ceník je soubor, ze kterého získává měřicí systém informace o parametrech požadované výroby (např. o druhu dřeviny, rozměrech jednotlivých sortimentů, jejich reálném nebo častěji relativním zpeněžení atd.). Informace do souboru ceníku zadává operátor nebo majitel stroje. Měřicí a řídicí systém harvestoru má tzv. pracovní režim a režim nastavení. V pracovním režimu má operátor k dispozici aktuální informace k právě prováděné těžbě (např. délka a tloušťka výřezu, označení sortimentu nebo prognóza sortimentů, které budou následovat) a k vybraným funkčním parametrům harvestoru (např. teplota hydraulického oleje, množství paliva nebo otáčky motoru). V režimu nastavení např. zadává operátor identifikační informace k těžnému porostu a ke svojí osobě, provádí volby tiskové sestavy realizované výroby, zadává podklady pro výrobu, provádí kalibraci měření nebo diagnostiku a nastavení funkčních parametrů stroje (Neruda et al., 2015).

Výrobci harvestorů i vyvážecích traktorů dodávají tyto stroje vybavené speciálním softwarovým vybavením, které často obsahuje několik samostatných softwarových produktů (Natov, Dvořák, 2018). Často používané označení softwarového vybavení víceoperačních strojů jako „operační systém“ může být zavádějící, protože operační systém je v informatice vnímán jako základní programové vybavení počítače (tj. software), které je zavedeno do paměti počítače při jeho startu a zůstává v činnosti až do jeho vypnutí. Skládá se z jádra a pomocných systémových nástrojů. Hlavním úkolem operačního systému je zajistit uživateli možnost ovládat počítač. V případě víceoperačních strojů je využíván zpravidla jako operační systém produkt Microsoft Windows. U harvestorů některé z těchto speciálních softwarových produktů zajišťují například komunikaci s měřicími senzory umístěnými na těžební hlavici a získané údaje o změřených veličinách převádí z analogové formy do podoby digitální. Tento převod do digitální formy provádí ukládáním získaných údajů v jednotném datovém formátu. Takto uložená digitální data jsou následně předávána operátorovi nebo technicko-hospodářskému pracovníkovi prostřednictvím zobrazovací jednotky stroje, zpravidla monitoru. Tento jednotný datový formát pro záznam, převod a ukládání naměřených dat se postupně vyvíjí již od roku 1980 ve Švédsku, jako první komunikační standard pro komunikační systémy harvestorů a vyvážecích traktorů. Tento standard je všeobecně známý pod zkratkou StanForD. Jedná se o zkratku z anglického spojení „Standard for Forest Machine Data and Communication“ (Dvořák et al., 2012). Standard StanForD je koordinován švédským lesnickým výzkumným ústavem v Uppsale nesoucím název

Skogforsk. Skogforsk, jehož posláním je vyvíjet a komunikovat znalosti, služby a produkty, které podporují ještě větší udržitelnost lesnictví, je zodpovědný za vývoj a udržování standardu (Skogforsk, 2020). Standard byl oficiálně uveden do provozu v roce 1987 a od jeho vzniku je aktivně vyvíjen a podporován hlavními výrobci víceoperačních strojů a výrobci softwarových produktů určených pro víceoperační stroje. Nejznámějšími výrobci jsou Dasa, LogMax, Parker Hannifin Corp., Komatsu Forest AB, Ponsse Oy, Rottne AB, John Deere Forestry a SDC. Uvedení výrobci vyvíjejí nejen tento standard, ale také vlastní softwarové produkty, které standard StanForD plně využívají a podporují (Dvořák et al., 2012). V současné době se lze setkat se dvěma verzemi standardu. Původní, nazývanou StanForD Classic, a novější verzí StanForD 2010. Vývoj StanForD Classic byl ukončen v roce 2011, nicméně naprostá většina harvesterů v současné době pracujících na území České republiky tuto verzi stále využívá. V následujících letech, s nástupem zavádění novějších harvesterů, se však dá očekávat rozšíření novější verze StanForD 2010. Cílem novější verze standardu není okamžité upuštění od původní verze, ale využití dobře fungujících částí, které budou doplněny především o nové kontrolní mechanismy. Softwarové produkty využívající standard StanForD můžeme rozdělit na dvě hlavní skupiny. První skupinou je výrobně-plánovací software, druhou skupinou výrobně-evidenční software (Natov, Dvořák, 2018).

Výrobně-plánovací software zahrnuje takzvaný balík kancelářského softwaru, který slouží především pro přípravu a plánování výroby nebo zpětnou analýzu dat získaných při výrobě (Dvořák et al., 2012). Tento software může být instalován na libovolný počítač splňující požadované hardwarové a softwarové požadavky. Zpravidla se proto jedná o osobní nebo přenosný počítač vybavený operačním systémem Microsoft Windows (Natov, Dvořák, 2018). Druhá skupina softwarových produktů, výrobně-evidenční software, se stará o získávání a zpracování výrobních dat, jejich záznam a o samotnou komunikaci s operátorem stroje. Každý harvester musí být vybaven konkrétním výrobně-evidenčním softwarem, aby byla zjištěna jeho správná funkčnost. Výrobně-evidenční software se stará o komunikaci s měřicími senzory a je určen převážně pro evidenci, kontrolu a sledování výroby surového dříví podle potřeby dodavatele prací, vlastníka lesa a dalších smluvních firem. Doplnění systému harvestoru satelitní navigací a GSM přenosem dat navíc umožňuje tyto údaje z výroby aktuálně přenášet mezi operátorem harvestoru, jeho zaměstnavatelem a případně rovnou s odběratelem a zadavatelem prací. Hlavními funkcemi výrobně-evidenčního softwaru

jsou kontrola technických funkcí stroje, optimalizace práce při vysokém objemu výroby a přenos dat. Výrobně-evidenční software registruje pracovní plochu, operátora, délku pracovní doby, rozměry dřeviny, druh dřeviny, navrhuje optimální druhotání kmene na základě algoritmu zadaného podle potřeb smluvních firem v ceníkové matici, počítá objem pokácených stromů a registruje jejich počet, počítá objem vyrobených sortimentů a registruje jejich počet, ukládá profil kmene těžného stromu a umožňuje elektronický přenos dat nebo jejich přímý tisk (Dvořák et al., 2012). Nejběžnější softwarové produkty výrobců víceoperačních strojů s největším zastoupením v České republice jsou přehledně zobrazeny v Tabulce 4. Tyto softwarové produkty jsou instalovány do značek strojů Caterpillar, EcoLog, Forestline, Gremo, Hyundai, John Deere, Komatsu, Logman, Logset, Lännen, Nokka, Pika, Pinox, Ponsse, Profi, Prosi, Rottne, Timberjan, Tigercat a Vimek. Některé značky se již nevyrábí, ale mohou být stále využívány v provozu (Natov, Dvořák, 2018).

Tabulka 4: Nejběžnější softwarové produkty výrobců s největším zastoupením v České republice (Natov a Dvořák, 2018).

Výrobce	Výrobně-plánovací software	Harvester výrobně-evidenční software	Forwarder výrobně-evidenční software
John Deere	TimberOffice 5 TimberNavi TimberCalc TimberLink	TimberMatic 300 TimberMatic H	TimberMatic 700 TimberMatic F
Komatsu	MaxiA MaxiB MaxiC MaxiD MaxiS MaxiN MaxiP MaxiL	MaxiHarvester MaxiXplorer	MaxiForwarder
Ponsse	OptiGIS Office OptiEditor OptiSimu OptiStem OptiPlanner OptiComm OptiReport OptiAnalysis OptiLogi Office	Opti3G Opti4G OptiPlan Viewer OptiMap Harvester	OptiControl OptiForwarder OptiMap Forwarder OptiTime Control LoadOptimizer
Rottne	Využívá softwarových produktů výrobce DASA	Rottne D4 Rottne D5 DasaForester	Rottne D4 Rottne D5
Dasa <sup>1)</sup>	Optimization Builder Production Report File Transfer Assortment Builder Project Shell Priority Builder Instruction Compiler Operation Monitor Operation Report Forwarder Volume GeoInfo	Dasa 4 Dasa 5 d5Bucking Dasa 380	Dasa 4 Dasa 5 DasaForwarder Volume
Motomit <sup>1)</sup>		Motomit IT/PC	Motomit IT/PC
Logset		TOC-MD 2 (OS Linux)	TOC-MD 2 (OS Linux)
Další softwarové produkty:		Aptor 2 DSP4000 LogMate 500 xLOGGER	

Poznámky: 1) Pouze výrobce softwarových řešení.



Veškerá výrobní data ukládá výrobně-evidenční software harvestoru v textových souborech s parametry splňujícími standard StanForD na pevném disku počítače. Soubory jsou rozlišeny příslušnou koncovkou, která určuje obsah souboru (Dvořák et al., 2012). V následujícím přehledu jsou uvedeny základní soubory, které byly využívány pro potřeby tohoto výzkumu, a které jsou standardizovány dle StanForD Classic (Priddle, 2005; Natov, Dvořák, 2018).

- APT soubor obsahuje instrukce pro druhování dříví zahrnující cenovou matici pro vyráběný sortiment.
- PRD soubor informuje o celkové produkci výroby dříví.
- STM soubor obsahuje informace o parametrech kmenů a jednotlivých vyrobených výřezů. Zde jsou zaznamenány například hodnoty naměřených délek a tloušťek.
- STI soubor představuje identifikační číslo kmene posílané z palubního počítače do digitální průměrky pro snadnější identifikaci kontrolovaného kmene.
- KTR soubor je využit při provádění kontrolního měření a následné kalibrace pomocí digitální průměrky.

V datovém formátu standardu StanForD je také zaznamenán způsob stanovení objemu jednotlivých výřezů. Vychází se z tzv. cenové matice, kde je uvedena cena za metr krychlový dříví. Cenová matice vychází z měření tloušťky kmene (výřezu) dle jednotlivých ceníkových typů (měření tloušťky ve středu kmene, na čepu) nebo vstupní ceny za kus (Kabeš, 2015). Jednotlivé ceníkové typy, které je možné zvolit ve standardu StanForD pro definování algoritmu počítajícího objem výřezu a způsob druhování výřezu, jsou uvedeny v Tabulce 5.

Tabulka 5: Ceníkové typy definující algoritmus pro výpočet objemu výřezu a způsob druhování výřezu, které je možné zvolit ve standardu StanForD při výrobě dříví harvesterovou technologií (Skogforsk, 2012).

Ceníkové typy dle standardu StanForD	
Název ceníkového typu	Popis ceníkového typu
Kód 1 (název M3to)	Cena/m <sup>3</sup> . Objem dle tloušťky na čepu (SED). Proměnná 164 definuje přesné místo, kde se měří čepová tloušťka (SED).
Kód 2 (název M3s)	Celkový objem po sekcích. Celkový objem výřezu za použití maximálního možného počtu měření tlouštěk (sekcí). Zpravidla se používá alespoň jedno měření tloušťky na 10 cm po celé délce výřezu. Pro tento měřicí interval má být použita středová tloušťka v každé 10 cm sekci. Tento výpočet by se měl co nejvíce blížit skutečnému objemu.
Kód 3 (název Log)	Cena/výřez. Objem se stanovuje jako M3s (objem podle kódu 2) při registraci výsledku výroby.
Kód 4 (název M3sNO)	Cena/m <sup>3</sup> . Norská cenová kategorie. Objem se vypočítává na základě válce s teoretickým průměrem na středu výřezu (M). Délka (L) je celková skutečná délka v decimetrech. Je-li L v centimetrech, je zkrácena na decimetry (spodní třída). Podle definice je průměrná třída u tloušťky 1 cm (nezávisle na skutečných cenách v cenové matici). Registrovaná tloušťka (T) se měří 10 cm od vrcholu. Jestliže je T v milimetrech, je zaokrouhlena na centimetry (spodní třída). Pro získání tloušťky ve středu kmene (M) se použije vzorec: $M = T + (L/2 * 0,1) + 0,5$ Objem se následně vypočítá v dm <sup>3</sup> podle vzorce $V = ((M/10)*(M/10)* PI/4*L$ , kdy PI je matematická konstanta 3,14.
Kód 5 (název M3tobutt)	Cena/m <sup>3</sup> . Švédský typ měření čela a čepu. Měření tloušťky výřezu s nebo bez kůry ve vzdálenosti 10 cm od čepu a ve vzdálenosti 10 cm od čela výřezu. U oddenkového výřezu ale ve vzdálenosti 50 cm od čela výřezu. Objem výřezu se vypočítává z průměrné hodnoty délky a průměru třídy. Je-li tloušťka výřezu zaznamenána v mm nebo délka v cm, objem může být vypočítán jako dolů zaokrouhlená hodnota tloušťky nebo délky. Měřením čela a čepu výřezu se objem vypočítá podle následujícího vzorce: $V = PI/4*L/100*[a*(Dr/1000**2+(1-a)*(Dt/1000)**2]$ . V je objem výřezu v m <sup>3</sup> , L je délka výřezu v centimetrech, Dr je tloušťka čela výřezu v milimetrech a Dt je tloušťka čepu výřezu v milimetrech.
Kód 6 (název M3toDE)	Cena/m <sup>3</sup> . Německá cenová kategorie. Celkový objem je počítán dle středové tloušťky. Cenová matice se stanovuje dle čepové tloušťky. Středová tloušťka je pro potřeby výpočtu objemu zaokrouhlena dle metody HKS vždy dolů na nejbližší nižší centimetr. Např. středová tloušťka 250-259 mm je zaokrouhlen na HKS 250 mm.
Kód 7 (název M3miDE)	Cena/m <sup>3</sup> . Celkový objem je počítán dle středové tloušťky. Cenová matice se stanovuje dle středové tloušťky. Středová tloušťka je pro potřeby výpočtu objemu zaokrouhlena dle metody HKS vždy dolů na nejbližší nižší centimetr. Např. středová tloušťka 250-259 mm je zaokrouhlena na HKS 250 mm
Kód 8 (název M3smimi)	Cena/m <sup>3</sup> . Pro výpočet objemu je využita středová tloušťka (mm), měřena ve skutečném středu výřezu. Cenová matice je dle středové tloušťky (mm).

Kód 9 (název Board feet)	Cena/board feet. Americká cenová kategorie. Není definována v normě vzhledem k velkému počtu existujících různých výpočetních metod. Je definována každým uživatelem jednotlivě.
Kód 10 (název M3sm)	Cena/m <sup>3</sup> . Celkový objem, tloušťka (mm), měřeno dle středové tloušťky pro výpočet objemu. Cenová matice podle tloušťky čepu (mm).
Kód 11 (název LogNO)	Cena/kmen. Norská cenová kategorie. Objem se měří podle kódu 4 (M3sNO) při registraci výsledku výroby.
Kód 12 (název M3sB)	Cena/svazek m <sup>3</sup> . Hromadný objem vypočtený s výchozím průměrem a délkou svazku.
Kód 13 (název M3sEST)	Estonská funkce pro výpočet objemu. Tato funkce se nazývá také Nilsonův model. Základní myšlenkou funkce je výpočet skutečného objemu na základě čepové tloušťky výřezu. Objem je počítán následovně: $V=(D*D*L(a1+a2*L)+a3*L*L)/10000$ V=objem výřezu m <sup>3</sup> bez kůry, D=čepová tloušťka v mm, L=délka výřezu v dm s alespoň jedním desetinným místem, a1,a2 a a3=kuželové koeficienty závislé na druhu dřevin, které jsou uloženy v prom161_t2, prom161_t3 a prom161_t4.
Kód 14 (název M3tos)	Cena/m <sup>3</sup> . Objem dle tloušťky čepu (SED) podle kategorie 1 při registraci výsledku výroby. Proměnná 164 definuje přesné místo, kde se měří čepová tloušťka SED. Cenová matice dle skutečného objemu M3s, jak je definováno v souladu s kódem 2.

Výkazy výroby, které poskytují soudobé verze měřicích systémů harvestorů, plně odpovídají svým obsahem a přesností vykazovaných parametrů provozním potřebám lesnictví. Případné odchylky v jednotlivých parametrech předávané výroby jsou způsobeny buď lidským faktorem (záměrnou nebo neodbornou manipulací s měřicím softwarem) nebo specifickými pracovními podmínkami, jako jsou těžba v době námrazy nebo mízy, popř. práce v kalamitách (Neruda et al., 2015).

Abychom mohli efektivně využívat jakoukoli technologii, musíme si vždy prostudovat všechny související vlastnosti a charakteristiky, které jsou s ní spojené. Vědecká literatura se zaměřila na několik aspektů problematiky využití harvestorové technologie, jako například poškození kmene hroty podávacích válců (Nuutinen et al., 2010; Gerasimov et al., 2012; Karaszewski et al. 2018), vliv těžkých strojů na půdu (Marusiak, Neruda, 2018), sledování účinnosti, výkonosti a produktivity harvestorů (Glöde, Sikström, 2001; Spinelli et al., 2010; Strandgard et al., 2013; Apafaian et al., 2017; Mederski et al., 2018), optimalizace druhování (Labelle, Huß, 2018), analýza spotřeby času (Nurminen et al., 2006; Szewczyk, Sowa, 2017; Pajkoš et al., 2018) a vliv zkušeností operátora harvestoru na jeho výkon (Purfürst, 2010). Jeden klíčový aspekt harvestorové technologie těžby byl však ve vědecké literatuře do jisté míry opomíjen: výrobně-evidenční softwary a standardy spojené s jejich nastavením k dosažení co nejpřesnějších odhadů objemu vyrobeného dříví. Proto byl tento výzkum zaměřen právě na tuto problematiku.

## 4 Metodika

Tato část práce obsahuje stručný popis metodického zpracování výzkumu, který je detailně rozpracován v publikovaných člancích.

### 4.1 Sběr dat

Data pro Článek 1 a Článek 2 byla získána ze středně výkonového harvestoru John Deere 1270E vybaveného harvestorovou hlavicí Waratah 480C a výrobně-evidenčním softwarem TimberMatic. Harvestor pracoval převážně v mýtních úmyslných těžbách a nahodilých těžbách. Data pro Článek 3 byla získána z 15 různých harvestorů, které prováděly nejen mýtní úmyslnou těžbu a nahodilou těžbu, ale také předmýtní úmyslnou těžbu. Harvestory pracovaly v různých regionech České republiky. Převážnou část zpracovávaných stromů tvořil smrk ztepilý (*Picea abies* [L.] Karst.). K výzkumu proto byla využita právě data z těžby smrkového dříví. Sběr dat probíhal v letech 2016 až 2018. Výrobně-evidenční softwary harvestorů byly vždy nastaveny na automatické ukládání STM souborů dle jednotného standardu StanForD Classic (Skogforsk, 2012). Každý STM soubor obsahoval data o jednom zpracovaném kmeni, kde byly zaznamenány hodnoty délek jednotlivých výřezů a hodnoty tloušťek výřezu po každých 10 cm jeho délky. Soubor také obsahoval hodnotu objemu výřezu dle ceníkového typu M3s. Skogforsk (2012) uvádí, že objem vypočítaný dle algoritmu ceníkového typu M3s je nejbližší skutečnému objemu výřezu. Pro zajištění přesnosti naměřených délek a tloušťek bylo na začátku každého pracovního dne harvestoru, případně i při významné změně výrobních podmínek v průběhu dne, provedeno kontrolní měření za použití digitální průměrky. V případě potřeby poté proběhla kalibrace měřicích čidel.

### 4.2 Zpracování a kategorizace dat

Údaje obsažené v STM souborech byly převedeny do pracovních souborů tabulkového procesoru MS Excel prostřednictvím aplikace STeMa (autor: Natov, rok: 2016). Aplikace STeMa je přímo navržena pro analýzu STM souborů, které jsou ukládány v harvestorech a splňují podmínky standardu StanForD Classic. V Článku 3 bylo pracováno s databází obsahující 493 920 STM souborů. Z této velké databáze byl vytvořen 10% náhodný výběr, v němž probíhalo opět zpracování dat pomocí aplikace STeMa.

Každý vyrobený výřez představoval konkrétní sortiment vyhovující dřevinou, rozměry a jakostí požadavkům odběratele. Při výrobě operátor harvestoru určuje dřevinu

a kvalitu sortimentu. Software harvestoru operátorovi navrhne sortiment, který má být vyroben na základě zadaných kvantitativních parametrů. Protože vyráběných sortimentů na základě požadavků odběratelů bylo mnoho, bylo nutné vylišit jednotlivé skupiny sortimentů. Sortimenty proto byly rozděleny do následujících skupin sortimentů: Těžební zbytky (Timber residues / Firewood), Kulatina (Roundwood), Agregát (Aggregate) a Vlákna (Pulpwood). V Článku 3 byla z důvodu práce strojů i v předmýtních těžbách rozlišována také skupina sortimentů Tyčovina (Pole logs). Sortimenty ve skupinách Kulatina, Agregát, Vlákna a Tyčovina byly společně označovány jako obchodovatelné výřezy. Konkrétní způsob rozdělení sortimentů do rozlišovaných skupin sortimentů je popsán v jednotlivých článcích.

V Článku 2 a Článku 3 byly analyzované výřezy rozděleny také do jednotlivých kategorií dle jejich jmenovité délky a středové tloušťky. Pro analýzu objemu přídavků k délce výřezů s kořenovými náběhy byly výřezy rozlišeny na oddenkové výřezy zahrnující vždy první vyrobený výřez z každého pokáceného stromu a kategorii ostatních výřezů, která obsahovala zbývající vyrobené výřezy z každého pokáceného stromu.

### **4.3 Ceníkové typy a jejich algoritmy pro stanovení objemu**

Standard StanForD umožňuje volbu ze 14 různých ceníkových typů, které definují jak algoritmus pro výpočet objemu výřezu, tak faktory pro druhotání dříví na základě středové nebo čepové tloušťky (Skogforsk, 2012). Některé ceníkové typy se však liší pouze ve využití odlišné tloušťky pro určení sortimentu, zatímco algoritmus pro výpočet objemu sortimentu je stejný. Po detailním rozboru ceníkových typů bylo nakonec rozlišeno 7 různých algoritmů (A1–A7), které jsou využívány pro stanovení objemu výřezu. Každý algoritmus byl detailně popsán v Článku 1.

Při stanovení objemu podle Algoritmu A2 (ceníkové typy M3s a Log), který byl v této práci použit jako etalon, se měří tloušťka s kůrou na každém konci 10 cm dlouhé sekce výřezu. U každé sekce jsou následně průměrovány naměřené hodnoty tloušťky na začátku a konci dané sekce a tento průměr je využit jako vstupní hodnota tloušťky pro výpočet objemu dané desetimetrové sekce dle Huberova vzorce (Husch et al., 2003). Celkový objem každého výřezu je nakonec finálně vyjádřen jako součet dílčích objemů jeho jednotlivých sekcí.

Při stanovení objemu podle Algoritmu A5 (ceníkové typy M3toDE a M3miDE), který je v podmínkách České republiky využíván pro evidování objemu sortimentů

kulatiny, je využita středová tloušťka výřezu a jeho jmenovitá délka. Pro výpočet objemu je středová tloušťka, která je harvestorem měřena v milimetrech, zaokrouhlena směrem dolů na nejbližší celý centimetr podle metody HKS (BW-HKS, 1983). Následně je opět využit Huberův vzorec (Husch et al., 2003).

#### **4.4 Přídavky k délce výřezů**

Přídavek k délce výřezů byl vždy specifikován v parametrech pro délkovou strukturu výroby jednotlivých sortimentů ve výrobně-evidenčním softwaru harvestoru. Přídavek k délce výřezu při výrobě dříví harvestorovou technologií bylo možné rozlišit na nadměrek ke jmenovité délce požadovaný odběratelem (2 % jmenovité délky výřezu) a řezací okno vyžadované konstrukčním řešením hlavice harvestoru, jejíž přesnost měření délek při správné kalibraci se pohybuje v pásmu  $\pm 2$  cm. V tomto výzkumu proto bylo využito doporučené řezací okno 0–4 cm (Natov, Dvořák, 2018). Složení přídavku k délce se lišilo u jednotlivých vyráběných sortimentů. Výřezy ve skupině sortimentů Kulatina a Agregát měly přídavek k délce složen z nadměrku ke jmenovité délce i řezacího okna. Přídavek k délce výřezů ve skupině sortimentů Vlákna a Tyčovina byl tvořen pouze řezacím oknem. Objem přídavku k délce byl vypočítán za využití čepové tloušťky výřezu měřené na konci jeho jmenovité délky a délky přídavku. Relativní objem přídavku k délce byl následně vyjádřen jako procentuální podíl objemu přídavku k délce výřezu a celkovému objemu výřezu v kůře stanovenému dle Algoritmu A2 (ceníkový typ M3s).

#### **4.5 Statistická 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. Jednotlivé hypotézy byly testovány s využitím obecných lineárních modelů (General Linear Models; GLM), konkrétně za využití jednosměrné analýzy rozptylu (One-way ANOVA), vícefaktorové analýzy rozptylu (Factorial ANOVA) a analýzy rozptylu pro opakovaná měření (RMANOVA). Signifikantní rozdíly byly následně zjišťovány post-hoc Tukeyho HSD testy. Pro všechny statistické testy byla zvolena hladina významnosti  $\alpha = 5$  %.

## 5 Syntéza výsledků

Tato část práce obsahuje výsledky výzkumu rozdělené podle předem vytyčených cílů. Výsledky jsou zde představeny ve formě tří publikovaných článků. Každá podkapitola představuje jeden z článků se stručným popisem dosažených výsledků. Detailně jsou výsledky vždy popsány v originálním článku, který je součástí dané podkapitoly.

### 5.1 Článek 1: Rozdíly mezi odhady objemu dříví za využití různých algoritmů dostupných ve výrobně-evidenčních systémech harvestorů

Originální název článku: Differences in Timber Volume Estimates Using Various Algorithms Available in the Control and Information Systems of Harvesters

Časopis: Forests (časopis v databázi Web of Science s přiděleným Impact factor indexem)

Autoři: Radim Löwe, Monika Sedmíková, Pavel Natov, Martin Jankovský, Pavla Hejcmanová, Jiří Dvořák

Stručný popis: Článek se zabývá analýzou metodik využívaných pro výpočet objemu výřezů ve standardu StanForD a porovnání objemových rozdílů výřezů stanovených dle jednotlivých algoritmů těchto metodik. Ze 14 různých ceníkových typů, které umožňuje nastavit standard StanForD pro zjištění objemu výřezu a jeho druhování, bylo zjištěno využití 7 různých algoritmů (A1–A7) pro stanovení evidovaného objemu výřezu. Algoritmus A2, používaný ke stanovení objemu výřezu při nastavení typu ceny M3s nebo Log, byl považován při porovnání evidovaných objemů výřezů zjištěných jednotlivými algoritmy za etalon, neboť stanovený objem podle tohoto algoritmu by se měl co nejvíce přibližovat skutečnému objemu výřezu (Skogforsk, 2012). Do výsledků bylo zahrnuto celkem 231 196 výřezů. Byly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi objemy výřezů stanovenými dle různých algoritmů. To neplatilo pouze v případě porovnání objemů zjištěných algoritmy A2 a A3. Po kategorizaci výřezů do jednotlivých skupin sortimentů výsledky ukázaly, že významné rozdíly existují také mezi objemy zjištěnými různými algoritmy v každé skupině sortimentů. Ve skupině sortimentů Kulatina, která obsahovala nejvíce hodnotné výřezy, byl zjištěn o více než 6 % nižší celkový objem výřezů stanovený algoritmem A5 než algoritmem A2. To je velmi zajímavý výsledek, protože algoritmus A5 je v některých zemích střední Evropy včetně ČR běžně využíván ke zjišťování objemu kulatiny při výrobě dříví harvestorovou technologií.

Article

# Differences in Timber Volume Estimates Using Various Algorithms Available in the Control and Information Systems of Harvesters

Radim Löwe <sup>1,\*</sup>, Monika Sedmíková <sup>1</sup>, Pavel Natov <sup>1</sup>, Martin Jankovský <sup>1</sup>, Pavla Hejčmanová <sup>2</sup> and Jiří Dvořák <sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Faculty of Forestry and Wood Sciences, Czech University of Life Sciences Prague, Kamýčká 129, 16521 Prague 6, Suchdol, Czech Republic; sedmikovam@fld.czu.cz (M.S.); natov@fld.czu.cz (P.N.); jankovskym@fld.czu.cz (M.J.); dvorakj@fld.czu.cz (J.D.)

<sup>2</sup> Faculty of Tropical AgriSciences, Czech University of Life Sciences Prague, Kamýčká 129, 16521 Prague 6, Suchdol, Czech Republic; hejcmánova@ftz.czu.cz

\* Correspondence: lowe@fld.czu.cz; Tel.: +420-607-108-112

Received: 29 March 2019; Accepted: 30 April 2019; Published: 30 April 2019



**Abstract:** Timber is the most important source of revenue in forestry and, therefore, is necessary to precisely estimate its volume. The share of timber volume produced by harvesters is annually growing in many European countries. Suitable settings of harvesters will allow us to achieve the most accurate volume estimates of the produced timber. In this study, we compared the different methods of log volume estimation applied by control and information systems of harvesters. The aim was to analyze the price categories that can be set up in the StanForD standard and to determine the differences between the algorithms used for log volume estimations. We obtained the data from \*.STM files collected from March 2017 until June 2018 on a medium-size harvester. We analyzed price categories and found seven different algorithms used to estimate the log volumes. Log volume estimates according to Algorithm A2 were considered as standard because these estimates should be closest to the true log volumes. Significant differences, except the difference between Algorithm A2 and Algorithm A3, were found between log volumes estimated by different algorithms. After categorization of logs to assortments, the results showed that significant differences existed between algorithms in each assortment. In the roundwood assortment, which contains the most valuable logs, a difference of more than 6% was found between the log volumes estimated by Algorithm A5 and Algorithm A2. This is interesting because Algorithm A5 is widely used in some Central European countries. To obtain volumes closest to the true volumes, we should use Algorithm A2 for the harvester production outputs. The resulting differences between the algorithms can be used to estimate the volume difference between harvester outputs using the different price categories. Understanding this setting of harvesters and the differences between the price categories will provide users useful information in applied forest management.

**Keywords:** bucking; log; StanForD; stem file; tree measurement; TimberMatic; CTL method

## 1. Introduction

Timber is the most important source of revenue in forestry. Besides grade, which affects the price per unit, it is necessary to precisely estimate volume and weight to quantify the amount of merchantable timber. Incorrect estimates of timber quantity affect the economic vitality of enterprises and forest owners. Besides the effects of the accuracy of the estimates on revenue, they also have a function on a societal level, serving as inputs into records and being used in industrial statistics.



There are many different ways of measuring timber. Measurements can be manual or automatic, depending on the logging method and technology. Timber can be scaled based on diameter measured either over or under bark [1]. For automated measurements that are rapid and accurate, there is no reason not to scale immediately after felling. In fact, it enables precise record keeping in forestry and reduces risk of losing timber during handling.

The use of manual, semiautomatic or automatic measurement is closely related to logging methods. Pulkki [2] describes five logging methods used around the world. He distinguishes between cut-to-length (CTL), tree-length, full-tree, whole-tree, and complete-tree logging methods. These methods differ in the form and size of logs hauled from the forest immediately after logging [3]. The CTL logging method can be described as a series of operations, in which standing trees are converted to timber assortments directly at the stump [4]. The assortments are produced during forest harvesting to increase net revenue early in the production chain [5,6]. The frequency that the CTL method is used varies between countries. Almost all logging in Sweden, Finland, and Norway is carried out by the CTL method [7,8]. The CTL method plays an important role in other European countries as well; in Estonia, 80% of all timber is logged by the CTL method, whilst in Latvia, 70%; Germany, 65%; Spain, 60%; and Italy, 60% [8]. Similarly, the share of the CTL method in the total amount of annual logging is increasing over the long term in countries such as the Czech Republic [9] and Poland [10], mainly due to the popularity of harvester technology. The reason for the increasing usage of harvester technology is that mechanized harvesting increases productivity and reduces costs and damages compared to motor-manual harvesting [11]. In the Czech Republic, the share of the CTL method reached 34% of total annual logging in 2017 [12], though this proportion may continue to grow to at least 50% [13].

Harvesters automate the measurement of log dimensions and subsequent volume estimation. If a machine is properly calibrated and set up, the outputs from its control and information system can be accepted as an accurate estimate of the amount of harvested timber by that machine. Although the harvesters are capable of measuring lengths with the accuracy in centimeters and diameters in millimeters [14], Czech forestry is lacking a standard that would govern the acceptance of these measurements by official records. This is also true for Germany and other European countries [15]. On the other hand, the outputs from harvesters can be affected by measurement errors, practices used, and bucking procedures [6]. For harvester outputs to be considered trustworthy in forestry record keeping, it is necessary for the forestry community to become familiar with the functioning of control and information systems.

Machine manufacturers supply the harvesters equipped with control and information system suites, often containing several separate software products. This software provides means of communication with the measuring sensors placed on the harvester head and converts the measured data (pulses and voltages) into metrics (lengths and diameters). Diameters of a log are recorded every 1 to 10 cm of its length—this distance depends on the control and information system and the standard file type. The measured data are stored in a unified data format, according to the StanForD standard. This communication standard allows data transfer between harvesters from different producers without problems. It was developed and is maintained by Skogforsk, the Forestry Research Institute of Sweden. The original StanForD was developed in 1988, and in 2011, an updated version was published. The updated version was named StanForD 2010 and the original was renamed to StanForD Classic [16]. In the Czech Republic, most of the harvesters still use StanForD Classic, which specifies data in more than 20 standard file types, such as \*.KTR files for control measurement data, \*.PRD files for production data, \*.STM files for stem information, \*.APT for bucking instruction data, and so on [17]. The StanForD offers a selection of 14 different price categories [18]. The price category defines the algorithm for volume estimation from the measured data (diameters and lengths) and also determines which diameter of the log (midspan or top-end) determines the inclusion of the log into individual assortments [19].

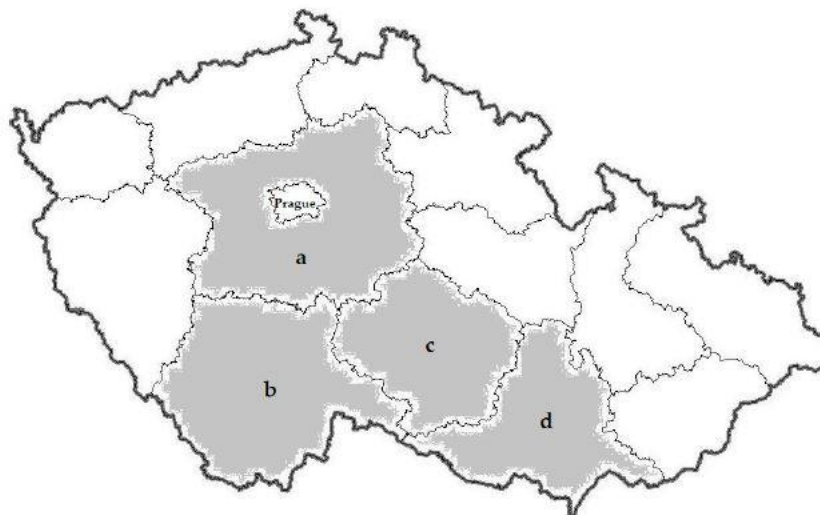
To enable the efficient use of any technology, we must study all relevant characteristics connected to it. Several aspects of using the harvester technology were studied, such as the damage to logs by feed roller spikes [20–22], the impact of heavy machinery on soil [23], harvester efficiency and performance [24,25], bucking optimization [26], harvester productivity [27–29], time consumption analysis [30–32] and harvester operators [33]. However, one key aspect of the harvester technology has been largely neglected in the scientific literature: the control and information systems and standards connected with their settings to achieve the most accurate volume estimates of the produced timber.

Therefore, this study compares the different methods of log volume estimation applied by the control and information systems of harvesters in conjunction with different price categories. The aim of this study was to analyze the price categories and to determine the differences between the algorithms used for log volume estimations. The algorithms use different parameters and calculation procedures to estimate the log volume. Therefore, we expect them to provide significantly different estimates of log volume, regardless of the assortment considered. It is important to consider this in the forestry practice, as even a seemingly minuscule error in volume estimation (e.g., due to using an inappropriate algorithm) can have a severe effect on the timber production in large-scale harvesting operations. Errors in volume estimation directly affect revenues, because they manifest in the amount of timber supplied to the market. This is especially true for roundwood, the most valuable assortment produced. Understanding this setting of harvesters and the differences between the price categories will provide users useful information in applied forest management.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Data Collection

The data were collected from March 2017 until June 2018 on a medium-size John Deere 1270E harvester. The machine was equipped with the TimberMatic control and information system and with a Waratah 480C harvester head. In the Czech Republic, the vast majority of harvesters use StanForD Classic. Therefore, a harvester using this standard was selected for this study. The harvester was owned by a private forest company. Harvests included mainly final felling and took place in Central Bohemia, South Bohemia, Vysočina and South Moravia Regions of the Czech Republic (Figure 1).



**Figure 1.** Map of the Czech Republic showing the Regions from where the harvester data originated. These regions are marked in gray: (a) Central Bohemia Region; (b) South Bohemia Region; (c) Vysočina Region; (d) South Moravia Region.

We dealt with \*.STM files that contained lengths and diameters along 10 cm length increments of each recorded stem. For the purpose of this study, a total amount of 40,930 \*.STM files were used. In this study, we analyzed Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) timber. Data from \*.STM files represent a total amount of 231,196 spruce logs. To ensure the accuracy of the measured lengths and diameters, a control measurement was performed at the beginning of each working day. In the control measurements, the harvester felled from three to five trees, which were processed into logs. The harvester recorded the log lengths and diameters and created the \*.STM control tree files. Subsequently, the harvester operator imported the \*.STM data from the control and information system of the harvester into the Haglöf Digitech Professional II digital caliper with Kermit communication, equipped with the Digitech Tape and remeasured the logs. The caliper was set to automatic and used Skalman 6.11 software (Haglöf Sweden AB: Långsele, Sweden). In this setting, the harvester operator was guided for measurement locations by audio alerts of the caliper. When the control measurements were finished, the caliper created a \*.KTR file. This file contains deviations between the log lengths and diameters as measured by the harvester and the caliper. If more than 20% of the diameters differed by more than 4 mm or more than 20% of the lengths differed by more than 2 cm, the harvester measuring device was calibrated. The calibration was realized by transferring the \*.KTR file from the digital caliper to the harvester on-board computer. The TimberMatic software (1.19, Deere & Company: Moline, Illinois, USA) allows for the performance of automatic calibration of length and diameter gauges in the harvester head from the \*.KTR file according to StanForD Classic.

## 2.2. Price Categories and Volume Estimation Algorithms

The TimberMatic software had 14 price categories pre-set. The description of each price category contained information about the algorithm used for the log volume estimation and also information about the diameter used for sorting the logs to individual assortments [18]. Some price categories differed only in using a different diameter to determine the assortment of the log, and their algorithm for the calculation of the log volume estimate remained the same. If some price categories were not described in detail [18], they were excluded. Two price categories were excluded from this study. They were the Board feet price category, which is not defined in the standard due to the very large number of different calculation methods that exist [18], and the M3sB price category, where the bulk volume is calculated with the default diameter and length of the bundle [34]. Other price categories were divided into groups according to the algorithm used to estimate the log volume. Price categories that contained the same algorithm for the log volume estimate were merged. This way, we ended up with seven different algorithms for the calculation of log volume estimates according to StanForD (Table 1).

**Table 1.** Seven algorithms (A1–A7) for log volume estimations according to StanForD. Price categories were merged to algorithms based on the log volume estimating algorithm.

Algorithm	Name of the Price Category
A1	M3to (code 1); M3tos (code 14)
A2	M3s (code 2); Log (code 3)
A3	M3sNO (code 4); LogNO (code 11)
A4	M3tobutt (code 5)
A5	M3toDE (code 6); M3miDE (code 7)
A6	M3smimi (code 8); M3sm (code 10)
A7	M3sEST (code 13)

All log diameters were measured over bark. Log volumes were estimated in m<sup>3</sup> over bark and from the required length (nominal log length) instead of the total length (bucked length). Price categories were described in detail by Skogforsk [18].

Log volume according to Algorithm A1 was estimated by top-end diameter ( $TD$ ) in millimeters and required length in centimeters. The  $TD$  measurement was always performed at the end of the required log length, i.e., 0 cm from the top end. The volume was estimated according to Equation (1):

$$V_{A1} = [\pi \times (TD/1000)^2] / 4 \times (RL/100) \quad (1)$$

where:  $V_{A1}$  is the log volume ( $m^3$  over bark),  $\pi = 3.14$ ,  $TD$  is the top-end diameter (mm),  $RL$  is the required length (cm).

The log volume estimate according to Algorithm A2 included price categories M3s and Log. Skogforsk [18] states that the volume estimated by the M3s is closest to the true volume of a log, because it measures the over bark diameter at each end of a 10 cm long section of the log. These measurements are then averaged, thus approximating the section as a cylinder. As the feeding rollers move the stem through the measurement devices, the machine adds up the volume of all sections calculated through Huber's formula until it reaches the threshold diameter for smallwood of the set price category [35]. For the last section, which is shorter than 10 cm, the real length is used in volume estimation. The total volume of the log is then calculated as the sum of all section volumes. This reduces the possible deviation from the true volume to a minimum. Total log volumes according to Algorithm A2 were taken from the \*.STM file where they are automatically recorded.

Other algorithms use various measured or calculated diameters and required length of the log to calculate volume estimates. These algorithms were added to the StandForD standard to meet the requirements of key timber producers and make the outputs of harvesters and other scaling methods compatible in forestry record-keeping.

Log volume according to Algorithm A3 was estimated based on the calculated theoretical midspan diameter of the log ( $TMD$ ) and the required length. The required length in decimeters was used for estimating the log volume. Therefore, the length measured in centimeters was rounded down to the nearest whole decimeter. The registered diameter measured at a distance of 10 cm from the top of the log ( $TD_{10}$ ) was used for calculating the theoretical midspan diameter ( $TMD$ ). The  $TD_{10}$  measured in millimeters was rounded down to the nearest whole centimeter. Equation (2) was used to calculate the log midspan diameter:

$$TMD = TD_{10} + (RL/2/10) + 0.5 \quad (2)$$

where:  $TMD$  is the theoretical midspan diameter (cm),  $TD_{10}$  is the diameter at a distance of 10 cm from the top of the log (cm), and  $RL$  is the required length (dm).

Then, the log volume was calculated in  $dm^3$  according to Equation (3):

$$V_{A3} = (TMD/10)^2 \times \pi/4 \times RL \quad (3)$$

where:  $V_{A3}$  is the log volume ( $dm^3$  over bark, subsequently converted to  $m^3$  for volume comparisons),  $TMD$  is the theoretical midspan diameter (cm),  $\pi = 3.14$ , and  $RL$  is the required length (dm).

Log volume according to Algorithm A4 was estimated based on diameters measured at a distance of 10 cm from the top of the log and at a distance of 10 cm from the log butt end. In the case of a butt log (stem base), a second diameter was measured at a distance of 50 cm from the log butt end. Log volume was calculated according to the following Equation (4):

$$V_{A4} = \pi/4 \times RL/100 \times [a \times (BD_{10(50)}/1000)^2 + (1 - a) \times (TD_{10}/1000)^2] \quad (4)$$

where:  $V_{A4}$  is the log volume ( $m^3$  over bark);  $\pi = 3.14$ ,  $RL$  is the required length (cm);  $a$  is the parameter assigned according to the length and top end diameter of the log [18];  $BD_{10}$  or  $BD_{50}$  is the diameter at a distance of 10 cm from the log butt end (mm) or at a distance of 50 cm from the butt end in the case of a butt log; and  $TD_{10}$  is the diameter at a distance of 10 cm from the top of the log (mm).

Log volume according to Algorithm A5 was estimated based on the midspan diameter and the required length. For volume estimation, the midspan diameter was rounded down to the nearest

whole centimeter according to the Handelsklassensortierung (sorting of merchantable wood; further in text HKS) method [18,36]. The total log volume was calculated according to Equation (5):

$$V_{A5} = \pi \times (MD^2/4/10,000) \times RL/100 \quad (5)$$

where:  $V_{A5}$  is the log volume ( $m^3$  over bark),  $\pi = 3.14$ ,  $MD$  is the midspan diameter (cm), and  $RL$  is the required length (cm).

Log volume according to Algorithm A6 was estimated based on the midspan diameter and the required length. The midspan diameter was measured in millimeters and was not rounded. The total log volume was calculated according to Equation (6):

$$V_{A6} = \pi \times (MD^2/4/1,000,000) \times RL/100 \quad (6)$$

where:  $V_{A6}$  is the log volume ( $m^3$  over bark),  $\pi = 3.14$ ,  $MD$  is the midspan diameter (mm), and  $RL$  is the required length (cm).

Log volume according to Algorithm A7 was estimated based on the top-end diameter of the log. The volume was calculated according to Equation (7):

$$V_{A7} = [TD^2 \times RL \times (a_1 + a_2 \times RL) + a_3 \times RL^2]/10,000 \quad (7)$$

where:  $V_{A7}$  is the log volume ( $m^3$  over bark),  $TD$  is the top-end diameter (mm),  $RL$  is the required length (dm) with at least one decimal,  $a_1 = 0.07995$  is the tree species dependent conic factor for spruce,  $a_2 = 0.000161$  is the tree species dependent conic factor for spruce, and  $a_3 = 0.04948$  is the tree species dependent conic factor for spruce ( $a_1$ ,  $a_2$  and  $a_3$  factors are by Skogforsk [18]).

### 2.3. Stem Files Analysis

Data stored in the \*.STM files were transferred to the MS Excel spreadsheets using the STeMa application. The variables obtained from the \*.STM files were the following: (i) tree species (SP), (ii) assortment (AS), (iii) total length (TL), (iv) required length (RL), (v) log volume according to M3s (A2), and (vi) top-end diameter (TD). Other variables necessary for log volume estimation by particular algorithms were calculated during the iteration of each single \*.STM file by analysis of the StanForD variable that contains the taper curve of the produced stem and allows for the extraction of variables that are not a direct part of the saved \*.STM file by using a suitable algorithm. This way, the following variables were obtained: (i) midspan log diameter (MD), (ii) diameter at a distance of 10 cm from the top end of the log ( $TD_{10}$ ), (iii) diameter at a distance of 50 cm from the log butt end ( $BD_{50}$ ), and (iv) diameter at a distance of 10 cm from the log butt end ( $BD_{10}$ ). After the batch processing of the \*.STM files was finished, the data were saved in the \*.CSV format. This format allows for easy conversion to the \*.XLSX format, which is suitable for further data analysis. Data in the \*.XLSX format were subsequently used for estimation of the log volumes according to the individual algorithms.

### 2.4. Assortment Categorization

The stem of the felled tree was cut into individual logs by the harvester. Each log represented an assortment, meeting the tree species, dimensions, and quality requested by the customer. The harvester operator determined the tree species and grade; the machine software then suggested the assortment to be produced based on the quantitative parameters. We distinguished the logs into three assortments: (i) firewood (FW), the lowest grade of timber intended for energy use; (ii) pulpwood (PW), timber intended for production of wood pulp products; and (iii) roundwood (RW), the highest grade of timber intended for industrial processing, such as for veneer logs, timber for the production of musical instruments, sawn wood, poles, etc.

### 2.5. Data Analyses

First, we calculated the absolute (in m<sup>3</sup> over bark) and the relative (in %) differences between the log volumes estimated by each algorithm and Algorithm A2. We also calculated the relative differences between the log volume estimates for the seven different algorithms, differentiated by assortment categorization. Then, we used general linear models (GLM), specifically ANOVA for repeated measurements, to test differences in log volume estimates among the algorithms, both for all timber together and categorized according to assortments. The post-hoc tests (Tukey HSD) were used to find out differences between the log volumes estimates according to the respective algorithms. For all statistical tests, the  $\alpha = 5\%$  level of significance was set. All tests were conducted in the Statistica 13 package (TIBCO Software Inc.: Palo Alto, CA, USA).

### 3. Results

Altogether, 231,196 logs were measured, and seven volume estimates were calculated (Table 2).

Table 2. Measured timber parameters and estimated log volumes.

Timber Parameter	All Logs		Assortments					
			Roundwood		Pulpwood		Firewood	
	<i>n</i> = 231,196		<i>n</i> = 93,129		<i>n</i> = 114,474		<i>n</i> = 23,593	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
TL (cm)	294.9	126.7	430.0	83.5	211.3	27.0	167.2	64.1
RL (cm)	288.6	122.3	418.4	81.4	208.1	26.8	167.2	64.1
MD (mm)	207.4	102.0	278.8	79.7	171.0	86.1	101.9	56.4
TD (mm)	193.2	98.8	261.8	78.8	157.9	83.1	93.7	55.1
TD <sub>10</sub> (mm)	194.1	98.9	262.6	78.8	158.8	83.3	94.3	55.4
BD <sub>50</sub> (mm)	217.8	106.8	295.3	83.0	177.8	87.4	105.2	57.2
BD <sub>10</sub> (mm)	222.0	107.6	299.4	83.9	182.4	88.6	108.0	58.0
V <sub>A1</sub> (m <sup>3</sup> )	0.1251	0.1443	0.2431	0.1508	0.0517	0.0647	0.0149	0.0300
V <sub>A2</sub> (m <sup>3</sup> )	0.1453	0.1650	0.2830	0.1694	0.0597	0.0725	0.0170	0.0333
V <sub>A3</sub> (m <sup>3</sup> )	0.1452	0.1636	0.2845	0.1663	0.0582	0.0682	0.0178	0.0334
V <sub>A4</sub> (m <sup>3</sup> )	0.1413	0.1594	0.2744	0.1637	0.0585	0.0696	0.0175	0.0330
V <sub>A5</sub> (m <sup>3</sup> )	0.1370	0.1560	0.2659	0.1608	0.0571	0.0708	0.0164	0.0323
V <sub>A6</sub> (m <sup>3</sup> )	0.1417	0.1593	0.2740	0.1633	0.0596	0.0720	0.0176	0.0332
V <sub>A7</sub> (m <sup>3</sup> )	0.1420	0.1629	0.2781	0.1689	0.0570	0.0686	0.0174	0.0328

N = number of logs, TL = total length, RL = required length, MD = midspan diameter, TD = top-end diameter, TD<sub>10</sub> = diameter at a distance of 10 cm from the top of the log, BD<sub>50</sub> = diameter at a distance of 50 cm from the log butt end, BD<sub>10</sub> = diameter at a distance of 10 cm from the log butt end, V<sub>A1</sub> = log volume estimate according to Algorithm A1, V<sub>A2</sub> = log volume estimate according to Algorithm A2, V<sub>A3</sub> = log volume estimate according to Algorithm A3, V<sub>A4</sub> = log volume estimate according to Algorithm A4, V<sub>A5</sub> = log volume estimate according to Algorithm A5, V<sub>A6</sub> = log volume estimate according to Algorithm A6 and V<sub>A7</sub> = log volume estimate according to Algorithm A7.

The absolute log volumes estimated by the different algorithms were always lower than the log volumes estimated by Algorithm A2 (Table 3). Algorithm A1 provided log volume estimates which differed the most from those provided by Algorithm A2. The second highest difference was recorded by using Algorithm A5. On the other hand, the smallest difference was recorded using Algorithm A3.

**Table 3.** Absolute and relative differences between the log volume estimates by seven different algorithms according to StanForD Classic. Differences were related to Algorithm A2.

Algorithm	Total Volume of Logs	Absolute Difference from Algorithm A2	Relative Difference from Algorithm A2
	(m <sup>3</sup> over Bark)	(m <sup>3</sup> over Bark)	%
A1	28,914.92	−4674.31	−13.92
A2	33,589.22	0	0
A3	33,577.46	−11.76	−0.04
A4	32,662.77	−926.46	−2.76
A5	31,684.32	−1904.90	−5.67
A6	32,753.76	−835.46	−2.49
A7	32,835.02	−754.20	−2.25

The relative differences between the log volume estimates were also determined for the seven different algorithms differentiated by assortment. Out of 231,196 logs, 40.3% of logs were roundwood assortments, 49.5% of logs were pulpwood assortments and 10.2% of logs were firewood assortments (Table 4). The total volume of the logs according to Algorithm A2 was 33,589.22 m<sup>3</sup> over bark, out of which roundwood assortments accounted for 78.5%, pulpwood assortments for 20.3%, and firewood assortments for 1.2%.

**Table 4.** Relative differences between the log volume estimates by seven different algorithms according to the assortment's categorization (roundwood, pulpwood, firewood). Differences were related to Algorithm A2.

Algorithm	Assortments					
	Roundwood		Pulpwood		Firewood	
	Total Volume of Logs	Relative Difference from Algorithm A2	Total Volume of Logs	Relative Difference from Algorithm A2	Total Volume of Logs	Relative Difference from Algorithm A2
	(m <sup>3</sup> over Bark)	%	(m <sup>3</sup> over Bark)	%	(m <sup>3</sup> over Bark)	%
A1	22,643.54	−14.08	5919.51	−13.38	351.87	−12.51
A2	26,353.27	0	6833.77	0	402.18	0
A3	26,495.77	0.54	6661.30	−2.52	420.39	4.53
A4	25,554.26	−3.03	6696.71	−2.01	411.80	2.39
A5	24,759.89	−6.05	6537.43	−4.34	387.00	−3.78
A6	25,519.29	−3.16	6819.89	−0.20	414.91	3.16
A7	25,895.78	−1.74	6528.71	−4.46	410.53	2.08

There were significant differences in the mean log volume estimates among the algorithms (Figure 2a). Algorithm A2 estimated the highest mean log volume and was similar to Algorithm A3. The smallest log volume was estimated by Algorithm A1. Calculations according to assortments followed similar patterns with minor differences (Figure 2b). For the roundwood assortment, the highest log volume was estimated by Algorithm A3, followed by the lower log volume estimated by Algorithm A2. Algorithm A1 provided the smallest log volumes estimates and was followed by Algorithm A5. For the pulpwood assortment, the highest log volume was estimated by Algorithm A2, followed by the significantly lower log volume estimated by Algorithm A6. The smallest log volume was estimated by Algorithm A1 and the second lowest log volume was estimated by Algorithm A5. For the firewood assortment, the highest log volume was estimated by Algorithm A3, which was followed by Algorithm A6. The smallest log volume was also estimated by Algorithm A1 and the second lowest volume was estimated by Algorithm A5.

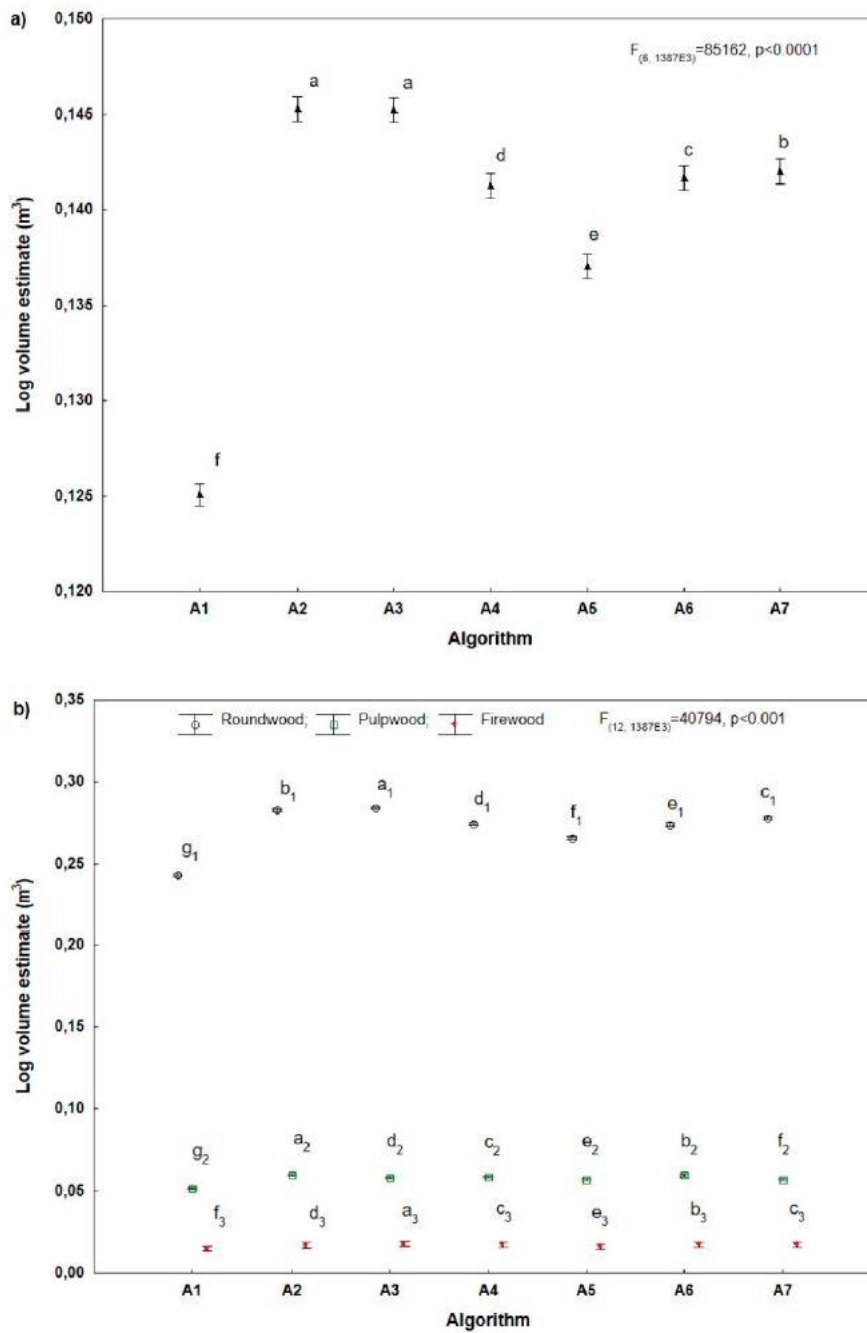


Figure 2. Differences in mean volume estimates per log by different algorithms (a) of all logs together, (b) according to assortments. Different letters indicate significant differences revealed by post-hoc Tukey HSD tests ( $\alpha = 0.05$ ); assortments were tested separately. The error bars indicate a 0.95 confidence interval. There were no significant differences only between Algorithms A2 and A3 in the group of all logs together (a-a) and between Algorithms A4 and A7 in the firewood assortment ( $c_3-c_3$ ).



#### 4. Discussion

The results showed significant differences between the log volumes estimated by different algorithms used in the control and information systems of harvesters. A comparison of the obtained results with other studies could not be carried out because we were unable to find suitable scientific literature dealing with the evaluation of volume differences according to the price categories of StanForD. Differences between the volumes estimated by the individual algorithms were related to Algorithm A2. As Skogforsk [18] states, the volume estimated by the Algorithm A2 should be closest to the true volume of the log. However, even this volume estimation algorithm is not absolutely precise; as Hohmann et al. [15] state, harvesters underestimate the log volume by  $-0.45\%$  on average, compared to the water immersion technique.

The large difference between Algorithm A2 and Algorithm A1 can be explained by the parameters they use to estimate the volume. Algorithm A1 is based on cylindrical volume to estimate the log volume and uses the top-end diameter as the diameter value. Naturally, the top-end diameter is the smallest value that can be used and will result in a substantial underestimation of the log volume, so it is inappropriate for detecting the true log volume. However, it can be assumed that Algorithm A1 was never intended to provide a true log volume, but apparently to provide a value reflecting the volume available for full-length sawn products.

The second largest difference was found between Algorithm A2 and Algorithm A5. According to Algorithm A5, the log volume is estimated based on the measured midspan diameter. However, its value is always rounded down to the nearest whole centimeter. This is in accordance with the HKS method [35] described in detail by Wojnar [37]. Thus, if Algorithm A5 is used to determine the volume of harvester timber production, this cannot be considered as a true timber volume which is felled and hauled from the forest. The large difference was interesting because Algorithm A5 is used in the M3toDE and M3miDE price categories that are used in Central European countries such as Germany, the Czech Republic, Austria, Slovakia, and Hungary. For example, in the Czech Republic, these price categories are recommended because they ensure that the timber volume reported by the harvester will be comparable to the timber volume determined according to the Recommended Rules for Timber Measurement and Sorting in the Czech Republic 2008 [37]. Thus, we deliberately significantly underestimate the volume of timber production.

It is also very interesting to compare the volume results according to Algorithm A5 and Algorithm A6. These two methods differ in one key aspect: Algorithm A6 does not require rounding down the midspan diameter because it is not based on the HKS method. Therefore, the directly measured midspan diameter, in millimeters, is used for the volume estimation. Estimating the volume based on precise midspan diameter halved the margin of error to  $3.18\%$  ( $1069.44 \text{ m}^3$ ). Therefore, we recommend working with the accuracy of diameter measurements harvesters provide [14] and not round the measured diameters for volume estimation.

Both Algorithm A4 and Algorithm A7 showed a difference in estimated log volumes of less than  $3\%$  compared to Algorithm A2. Algorithm A4 uses Equation (4) that contains the “a” parameter, the value of which varies with the log length and top-end diameter. The values of the “a” parameter are listed in [18]. Also, Algorithm A7 uses Equation (7) for log volume estimation. The log volume is estimated by using the top-end diameter of the log and the conic factors whose value depends on the tree species [18]. Thus, the difference from Algorithm A2 could be different if we were to estimate the log volumes of tree species other than the Norway spruce.

Algorithm A3 proved to estimate the volume closest to the benchmark Algorithm A2. This difference was the lowest one and was the only statistically insignificant difference. Algorithm A3 estimated the log volume based on a cylinder with a theoretical midspan diameter of the log and the measured log length rounded down to the nearest whole decimeter. However, the diameter used to estimate the theoretical midspan diameter was actually measured 10 cm from the top of the log. This measured diameter is always rounded down to the nearest whole centimeter. The calculation of the theoretical midspan diameter is based on a standard stem taper that is 1 cm diameter per 1 m

length. Such a standard taper is in accordance with what is stated in [38] for sawlogs. Then, 0.5 cm is added to the calculated theoretical midspan diameter for compensation of the previous rounding. Then, the Huber's equation [35] is used to calculate the log volume. Equation (3), used to calculate the volume according to Algorithm A3, thus appears to be the best alternative to Algorithm A2. However, if we focused on individual assortments, we found that there were significant differences between these two algorithms, though the lowest difference between these two algorithms was in the roundwood assortment. This could be due to the fact that the equation of Algorithm A3 uses the theoretical midspan diameter that is calculated based on the principle of standard stem taper of 1 cm diameter per 1 m length. This stem taper is referred to as the standard for sawlogs, which largely represents the roundwood assortment. On the contrary, pulpwood and firewood assortments contained mainly butt and top logs, which can taper differently than the standard rate [38].

When we compared the differences in the assortments, it was interesting to focus especially on differences in the roundwood assortment that contained not only the highest volume of the logs but also the best economically valued logs. In the roundwood, the results showed that a significant difference occurred between the log volume estimates for each algorithm pair. As compared with the overall difference, the difference between Algorithm A5 and Algorithm A2 increased by 0.38 percentage points. This result was interesting because it showed an increase in the volume difference in the most valuable timber. In some Central European countries, Algorithm A5 is used for harvester production outputs of roundwood. If we would like to use these outputs for selling timber, we would sell more than 6% less timber than what the true volume is. In the case where this underestimation is not reflected in the timber price, this would bring a significant economic loss to the seller, even if the machines were properly maintained and calibrated. We should require credible outputs not only for timber sales, but also for credible timber production records.

Log volumes estimated by Algorithm A2 were the highest in the pulpwood and the second highest in the roundwood. However, in the firewood assortment, the volume estimated by Algorithm A3, Algorithm A4, Algorithm A6, and Algorithm A7 was higher than that estimated by Algorithm A2. This can be due to the fact that the firewood grade contained logs of small dimensions. Procedures for estimating the log volume of firewood logs according to some algorithms are not entirely appropriate for these small dimensions and therefore overestimate the true log volume.

This study was focused only on spruce stems. Generally, cutting and processing coniferous trees is preferred for harvesters. The influence of tree species cannot be ignored when discussing mechanized harvesting [25]. There are still problems when harvesting broadleaved trees by machines associated with delimiting [39], taller stumps in coppice stands [40], and also larger shavings of the bark and the lateral surface of processed assortments [41]. Defects on stems and large branches, which are particularly common in some broadleaved tree species, can cause measurement errors for both the **log length and diameter** [42]. These errors can significantly affect the precision of volume estimations through various algorithms.

It is necessary to perform regular control measurements of harvester measuring systems and, if necessary, to calibrate the harvester. Regular calibration improves the accuracy of the harvester measurement system [43] and ensures that the volume outputs are credible. Different methods can be used for manual control measurements. In this study, a digital caliper equipped with a digital tape was used. The combination of a digital caliper and a digital tape is faster, more accurate, and more efficient than conventional analog measuring devices. We strongly recommend using this method to calibrate the measuring system of harvesters. Performing regular control measurements and calibration of the machine measuring system secures sufficient measurement accuracy of the timber volume production.

For these results, it is also necessary to note that the log volume estimates in this study were expressed as volumes in m<sup>3</sup> over bark. In this manner, volumes are free from potential inaccuracies caused by the estimation of volume under bark. Marshall et al. [44] dealt with the effects of bark thickness estimates. It is important to note that the resulting volumes compared in this study cannot be compared with the true total volume of logs because timber volumes in this study do not include the

volume of the allowance to the required length and the cutting window volume. The length allowance means the addition of length to some assortments for cross-cutting or other processing, and the cutting window is an addition to the length for ensuring a cut-point tolerance of the harvester measuring sensors, which increases the performance of the machine. In the Czech Republic, the recommended allowance is 2% of the required log length, and the recommended cutting window is within a range from 0 cm to a maximum of 4 cm [19]. The total volume of harvested timber also differs from the volume of standing timber because it does not contain a share of logging residue volume estimates [45].

## 5. Conclusions

In this study, we revealed significant differences between the log volumes estimated by different algorithms used in the control and information systems of harvesters. The results showed that if we want to use harvester production outputs for timber sales and record keeping, it is necessary to distinguish how the log volumes were estimated. Algorithm A1 proved to be an inappropriate algorithm for estimating the true log volume. There was no significant difference between the log volumes estimated by Algorithm A3 and Algorithm A2. In the roundwood assortment, a difference of more than 6% was found between the log volumes estimated by Algorithm A5 and Algorithm A2. This is an interesting result, especially for some Central European countries, where Algorithm A5 is preferred in harvester production outputs.

To obtain volumes closest to the true volumes, we should use Algorithm A2 for timber production outputs of harvesters. These conclusions are true if the goal is to obtain the most accurate total timber volume that can be used for timber sales and for precise forestry record-keeping. If the measurement would have a different goal, e.g., to estimate the amount of timber for board production, using a different algorithm could be appropriate.

However, the outputs of timber production are useful only if credible. Therefore, it is necessary to perform regular control measurements of the harvester measuring systems and, if necessary, to calibrate the machine. The resulting differences between the algorithms can be used to estimate the volume difference between harvester outputs using different price categories. Further research could be focused on what share of timber is not registered in harvester production outputs due to the length allowance and the cutting window of logs.

**Author Contributions:** Conceptualization, P.N.; Data curation, R.L.; Formal analysis, R.L., P.N., and P.H.; Funding acquisition, R.L. and M.S.; Investigation, R.L. and M.S.; Methodology, R.L., P.N., M.J., and J.D.; Project administration, R.L. and M.S.; Resources, R.L., M.S., M.J., and P.H.; Software, P.N.; Supervision, J.D.; Validation, J.D.; Writing—original draft, R.L. and M.S.; Writing—review & editing, R.L., M.S., P.N., M.J., and P.H.

**Funding:** This research was funded by the Faculty of Forestry and Wood Sciences, Czech University of Life Sciences in Prague, grant projects IGA A/04/18 (Analysis of the Log Volume Estimate Methodologies Used in the Control and Information Systems of Harvesters) and IGA A/08/18 (Analysis of Volume Differences Between Timber Production Outputs of Harvesters and Standing Volume Estimated by the National Forest Inventory II).

**Acknowledgments:** We would like to thank the private forest company that allowed us to collect data from its harvester.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References

1. Edwards, P.N. *Forestry Commission Booklet 49- Timber Measurement: A Field Guide*; HMSO: Edinburgh, UK, 1998; p. 64, ISBN 0-85538-403-4.
2. Pulkki, R. Cut-to-length, tree-length or full tree harvesting? *Cent. Woodl.* **1997**, *1*, 22–27.
3. Rebula, E. Tehnologija u šumarstvu na početku idućeg tisućljeća. *Mehanizacija šumarstva* **1988**, *13*, 31–40.
4. Malinen, J.; Kilpeläinen, H.; Wall, T.; Verkasalo, E. Variation in the value recovery when bucking to alternative timber assortments and log dimensions. *For. Stud.* **2006**, *45*, 89–100.
5. Faaland, B.; Briggs, D. Log Bucking and Lumber Manufacturing Using Dynamic Programming. *Manag. Sci.* **1984**, *30*, 245–257. [[CrossRef](#)]

6. Marshall, H.D. An Investigation of Factors Affecting the Optimal Output Log Distribution from Mechanical Harvesting and Processing Systems. Ph.D. Thesis, Oregon State University, Corvallis, OR, USA, 2005.
7. Gellerstedt, S.; Dahlin, B. Cut-to-length: The next decade. *Int. J. For. Eng.* **1999**, *10*, 17–25.
8. Lundbäck, M.; Häggström, C.; Nordfjell, T. 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”, Rotorua, New Zealand, 16–19 April 2018; pp. 1–3.
9. Natov, P.; Dvořák, J.; Sedmíková, M.; Löwe, R.; Ferenčík, M. Srovnání vyrobeného objemu dříví harvesterem se zásobou porostu stanovenou objemovými tabulkami. *Zprávy Lesnického Výzkumu* **2017**, *62*, 1–6.
10. Bembenek, M.; Mederski, P.S.; Karaszewski, Z.; Łacka, A.; Grzywiński, W.; Wegiel, A.; Giefing, D.F.; Erler, J. Length accuracy of logs from birch and aspen harvested in thinning operations. *Turk. J. Agric. For.* **2015**, *39*, 845–850. [[CrossRef](#)]
11. Spinelli, R.; Lombardini, C.; Magagnotti, N. The effect of mechanization level and harvesting system on the thinning cost of Mediterranean softwood plantations. *Silva Fenn.* **2014**, *48*, 1–15. [[CrossRef](#)]
12. MZe. *Zpráva o Stavů Lesů a Lesního Hospodářství České Republiky v Roce 2017*; Ministry of Agriculture: Prague, Czech Republic, 2018; p. 116, ISBN 978-80-7434-477-0.
13. Dvořák, J.; Bystrický, R.; Hořková, P.; Hrib, M.; Jarkovská, M.; Kováč, J.; Krilek, J.; Natov, P.; Natovová, L. *The Use of Harvester Technology in Production Forests*, 1st ed.; Lesnická práce s.r.o.: Kostelec nad Černými lesy, Czech Republic, 2011; p. 156, ISBN 978-80-7458-018-5.
14. Sládek, P.; Neruda, J. Analysis of volume differences in measuring timber in forestry and wood industry. In Proceedings of the Austro 2007/FORMEC'07: Meeting the Needs of Tomorrow's Forests—New Developments in Forest Engineering, Wien, Austria, 7–11 October 2007; pp. 1–11.
15. Hohmann, F.; Ligocki, A.; Frerichs, L. Harvester Measuring System for Trunk Volume Determination: Comparison with the Real Trunk Volume and Applicability in the Forest Industry. *Bull. Transilv. Univ. Braşov* **2017**, *10*, 27–34.
16. Skogforsk the Forest Research Institute of Sweden. StanForD. Available online: <https://www.skogforsk.se/english/projects/stanford/> (accessed on 19 March 2019).
17. Skogforsk the Forest Research Institute of Sweden. Standard for Forest Data and Communications. 27 March 2007, p. 10. Available online: [https://www.skogforsk.se/cd\\_48e53b/contentassets/b063db555a664ff8b515ce121f4a42d1/stanford\\_maindoc\\_070327.pdf](https://www.skogforsk.se/cd_48e53b/contentassets/b063db555a664ff8b515ce121f4a42d1/stanford_maindoc_070327.pdf) (accessed on 19 March 2019).
18. Skogforsk the Forest Research Institute of Sweden. Appendix- Standard for Forest Data and Communications. 18 April 2012, p. 32. Available online: [https://www.skogforsk.se/cd\\_48e53b/contentassets/b063db555a664ff8b515ce121f4a42d1/appendix1\\_eng\\_120418.pdf](https://www.skogforsk.se/cd_48e53b/contentassets/b063db555a664ff8b515ce121f4a42d1/appendix1_eng_120418.pdf) (accessed on 19 March 2019).
19. Natov, P.; Dvořák, J. *Doporučená pravidla pro elektronický příjem dříví harvesterů v ČR 2018*; Produkce BPP s.r.o.: Litomyšl, Czech Republic, 2018; p. 136, ISBN 978-80-906874-7-9.
20. Nuutinen, Y.; Väättäinen, K.; Asikainen, A.; Prinz, R.; Heinonen, J. Operational efficiency and damage to sawlogs by feed rollers of the harvester head. *Silva Fenn.* **2010**, *44*, 121–139. [[CrossRef](#)]
21. Gerasimov, Y.; Seliverstov, A.; Syunev, V. Industrial Round-Wood Damage and Operational Efficiency Losses Associated with the Maintenance of a Single-Grip Harvester Head Model: A Case Study in Russia. *Forests* **2012**, *3*, 864–880. [[CrossRef](#)]
22. Karaszewski, Z.; Łacka, A.; Mederski, P.S.; Bembenek, M. Impact of season and harvester engine RPM on pine wood damage from feed roller spikes. *Croat. J. For. Eng.* **2018**, *39*, 183–191.
23. Marusiak, M.; Neruda, J. Dynamic Soil Pressures Caused by Travelling Forest Machines. *Croat. J. For. Eng.* **2018**, *39*, 233–245.
24. Apăfăian, A.I.; Proto, A.R.; Borz, S.A. Performance of a mid-sized harvester-forwarder system in integrated harvesting of sawmill, pulpwood and firewood. *Ann. For. Res.* **2017**, *60*, 227–241. [[CrossRef](#)]
25. Mederski, P.S.; Bembenek, M.; Karaszewski, Z.; Pilarek, Z.; Łacka, A. Investigation of Log Length Accuracy and Harvester Efficiency in Processing of Oak Trees. *Croat. J. For. Eng.* **2018**, *39*, 173–181.
26. Labelle, E.R.; Huß, L. Creation of value through a harvester on-board bucking optimization system operated in a spruce stand. *Silva Fenn.* **2018**, *52*, 1–22. [[CrossRef](#)]
27. Glöde, D.; Sikström, U. Two felling methods in final cutting of shelterwood, single-grip harvester productivity and damage to the regeneration. *Silva Fenn.* **2001**, *35*, 71–83. [[CrossRef](#)]
28. Spinelli, R.; Hartsough, B.R.; Magagnotti, N. Productivity Standards for Harvesters and Processors in Italy. *Prod. J.* **2010**, *60*, 226–235. [[CrossRef](#)]

29. Strandgard, M.; Walsh, D.; Acuna, M. Estimating harvester productivity in *Pinus radiata* plantations using StanForD stem files. *Scand. J.* **2013**, *28*, 73–80. [[CrossRef](#)]
30. Nurminen, T.; Korpunen, H.; Uusitalo, J. Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. *Silva Fenn.* **2006**, *40*, 335–363. [[CrossRef](#)]
31. Szewczyk, G.; Sowa, J.M. The accuracy of measurements in a time study of harvester operations. *New Zealand J. For. Sci.* **2017**, *47*. [[CrossRef](#)]
32. Pajkoš, M.; Klvac, R.; Neruda, J.; Mishra, P.K. Comparative Time Study of Conventional Cut-To-Length and an Integrated Harvesting Method—A Case Study. *Forests* **2018**, *9*, 194. [[CrossRef](#)]
33. Purfürst, F.T. Learning Curves of Harvester Operators. *Croat. J. For. Eng.* **2010**, *31*, 89–97.
34. Arlinger, J. (Skogforsk, Upsalla Science Park, Upsalla, Sweden). Personal communication, 13 August 2018.
35. Husch, B.; Beers, T.W.; Kershaw, J.A., Jr. *Forest Mensuration*, 4th ed.; John Wiley and Sons: New York, NY, USA, 2003; p. 443, ISBN 978-0-471-01850-6.
36. BW-HKS. *Gesetzliche Handelsklassensortierung für Rohholz (Forst-HKS) mit Ergänzungsbestimmungen für BadenWürttemberg*; Ministerium für Ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten: Stuttgart, Germany, 1983; p. 25.
37. Wojnar, T. *Doporučená pravidla pro měření a třídění dříví v ČR 2008*, 2nd ed.; Lesnická práce s.r.o.: Kostelec nad Černými lesy, Czech Republic, 2007; p. 147, ISBN 978-80-87154-01-4.
38. Hamilton, G.J. *Forestry Commission Boklet No. 39—Forest Mensuration Handbook*; HMSO: London, UK, 1975; p. 274, ISBN 0-11-710023-4.
39. Labelle, E.R.; Soucy, M.; Cyr, A.; Pelletier, G. Effect of Tree Form on the Productivity of a Cut-to-Length Harvester in a Hardwood Dominated Stand. *Croat. J. For. Eng.* **2016**, *37*, 175–183.
40. Spinelli, R.; Magagnotti, N.; Schweier, J. Trends and Perspectives in Coppice Harvesting. *Croat. J. For. Eng.* **2017**, *38*, 219–230.
41. Karaszewski, Z.; Lacka, A.; Mederski, P.S.; Noskowiak, A.; Bembenek, M. Damage caused by harvester head feed rollers to alder, pine and spruce. *Drewno* **2016**, *59*, 77–88.
42. Strandgard, M. Evaluation of Manual Log Measurement Errors and Its Implications on Harvester Log Measurement Accuracy. *Int. J. For. Eng.* **2009**, *20*, 9–16. [[CrossRef](#)]
43. Nieuwenhuis, M.; Dooley, T. The effect of calibration on the accuracy of harvester measurements. *Int. J. For. Eng.* **2006**, *17*, 25–33. [[CrossRef](#)]
44. Marshall, H.D.; Murphy, G.E.; Lachenbruch, B. Effects of bark thickness estimates on optimal log merchandising. *For. Prod. J.* **2006**, *56*, 87–92.
45. Gendek, A.; Wezyk, P.; Moskalik, T. Share and accuracy of estimation of logging residues in the total volume of harvested timber. *Sylvan* **2018**, *162*, 679–687.



© 2019 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## **5.2 Článek 2: Analýza neevidovaného objemu dříví v přídavcích k délce výřezů při výrobě smrkového dříví harvestorovou technologií**

Originální název článku: Analýza neevidovaného objemu dříví v přídavcích k délce výřezů při výrobě smrkového dříví harvestorovou technologií

Časopis: Zprávy lesnického výzkumu (časopis v databázi SCOPUS s přiděleným Scientific Journal Ranking indexem)

Autoři: Radim Löwe, Monika Sedmíková, Pavel Natov, Jiří Dvořák, Martin Jankovský


Stručný popis: Článek se zabývá stanovením podílu neevidovaného objemu dříví v přídavcích k délce výřezů při výrobě smrkového dříví harvestorovou technologií. Jednalo se o případovou studii, kdy byla analyzována data z jednoho harvestoru provádějícího zejména mýtní úmyslnou těžbu na území České republiky. Vyhodnoceno bylo celkem 195 565 obchodovatelných výřezů smrku s celkovým evidovaným objemem 31 874,36 m<sup>3</sup>. Celkový neevidovaný objem dříví zjištěný v přídavcích k délce byl 697,76 m<sup>3</sup>, což představovalo objem v přídavcích 2,19 % z celkového evidovaného objemu obchodovatelných výřezů. Po kategorizaci výřezů do jednotlivých skupin sortimentů (Kulatina, Agregát, Vlákna) výsledky ukázaly, že se průměrné relativní objemy přídávku k délce významně liší mezi skupinami sortimentů. Nejvyšší průměrný relativní objem přídávku k délce, vzhledem k celkovému objemu výřezu, byl zjištěn ve skupině sortimentů Kulatina (2,43 %), následován skupinou sortimentů Agregát (2,41 %) a skupinou sortimentů Vlákna (1,22 %). V jednotlivých skupinách sortimentů proběhla také analýza rozdílů mezi neevidovaným objemem dříví v přídávku k délce mezi tloušťkovými a délkovými kategoriemi výřezů. Ve všech skupinách sortimentů byl zjištěn vyšší průměrný relativní objem přídávku u kratších výřezů oproti delším výřezům. Zkoumány byly také rozdíly průměrných relativních objemů přídávků k délce mezi oddenkovými a ostatními výřezy. Ve skupinách sortimentů Kulatina a Vlákna byly zjištěny signifikantně vyšší průměrné relativní objemy přídávků k délce u oddenkových výřezů než u ostatních výřezů.

## ANALÝZA NEEVIDOVANÉHO OBJEMU DŘÍVÍ V PŘÍDAVČÍCH 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, Kamýčká 129, 165 21 Praha 6 - Suchdol, Czech Republic

 email: lowe@fd.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 přídávky k délce výřezu (SIMANOV 2003; DVOŘÁK et al. 2018).

Sortimenty surového dříví jsou vyráběny harvesterem na základě parametrů nastavených ve výrobně-evidenčním softwaru harvestoru dle požadavků odběratele. Jedním z parametrů je i nastavení přídavku k délce sortimentu (NATOV, DVOŘÁK 2018). Přídavek k délce sortimentu může být v případě výroby dříví harvesterem složen ze dvou částí, (i) skutečného nadměru 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 dezintegrovaného materiálu, např. u vlákniny (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 přídavku k celkové délce výřezu specifický pro harvestory (NATOV, DVOŘÁK 2018). Určuje přesnost a rychlost měření délky tím, že představuje toleranci měřících senzorů v harvesterové 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 vlákniny (DVOŘÁK et al. 2018).

Ztráty způsobené neevidováním objemů přídavků 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 % (ADOLR et al. 2016). Tento procentuální rozdíl je fakticky nižší například právě o procentuální podíl neevidovaného objemu dříví v přídavcích k délce.

Cílem této práce je (i) stanovení relativního podílu neevidovaného objemu dříví v přídavcích k délce výřezů při výrobě smrkového dříví kalibrovaným harvesterem, (ii) zjištění objemových rozdílů přídavků k délce mezi jednotlivými vyráběnými skupinami sortimentů, (iii) zjištění objemových rozdílů přídavků k délce mezi jednotlivými kategoriemi výřezů dle jmenovité délky a středové tloušťky výřezu a (iv) zjištění objemových rozdílů přídavků 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 harvesterovou 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 harvester. Software harvestoru ukládá data v jednotném systému StanForD Classic. Harvester byl vlastněn a provozován soukromou společností. Sběr dat se

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

Harvester 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 kmene. 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 harvesterové hlavičky je kmen posouván a během výroby jsou měřicími senzory (měřicím 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 harvester zaznamenal jejich délky a tloušťky. Následně operátor harvestoru přenosovým protokolem Kermit importoval data z \*.STM souborů kontrolních kmenů do digitální průměrky Haglőf Digitech Professional II. Digitální průměrka, vybavená digitálním pásmem Digitech Tape, byla nastavena na měření po sekcích s využitím softwaru Skalman 6.11 (Haglőf Sweden AB: Långsele, Sweden). Při tomto měření operátor měl jednotlivé výřezy kontrolních kmenů. Na přesná místa měření jednotlivých sekcí upozorňovaly osudu 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 harvesterem 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 harvesterové 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 řešení 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 károu 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 károu dle cenového typu M3s* vyjadřovala hodnotu objemu jednotlivého výřezu v m<sup>3</sup> s károu, 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 m<sup>3</sup> s károu 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  $V_n$  [m<sup>3</sup> s károu] je *Objem přídavku k délce*;  $\pi$  [-] je Ludolfovo číslo = 3,14;  $D_c$  [mm] je *Čepová tloušťka* s károu 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 károu dle cenového typu M3s*. Tato hodnota byla následně vyjádřena v procentech a jednalo se o *Relativní objem přídavku k délce*.

Jednotlivé výřez 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  $\pm 2$  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 m<sup>3</sup> s károu (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 loupáné dýhy, rezonanční výřezy a jiné speciální výřezy. Slabé výřezy určené pro pilařské zpracování byly zařazené 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 *Odděnkový výřez* a *Ostatní výřez*. Kategorie *Odděnkový výřez* zahrnovala vždy první vyrobený výřez z každého pokáceného stromu, tzn. výřezy často tvarově ovlivněné kořenovými náběhy. Do kategorie *Ostatní výřez* byly zahrnuty zbyváající 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 neevidovaného 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 přídávcích 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 neevidovaného dříví v přídávcích 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 neevidovaného dříví v přídávcích 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 m<sup>3</sup>. Celkový neevidovaný objem dříví zjištěný v přídávcích k délce byl 697,76 m<sup>3</sup>, 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 neevidované objemy dříví v jednotlivých obchodovatelných sortimentech předkládá tab. 3.

Mezi jednotlivými skupinami sortimentů dříví byly zjištěny signifikantní rozdíly průměrného relativního objemu přířevku k délce (obr. 1). Nejvyšší průměrný relativní objem přířevku 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 přířevku k délce byl zaznamenán ve skupině *Vláknina* (1,22 %; SD = 0,32 %).

Tab. 2.

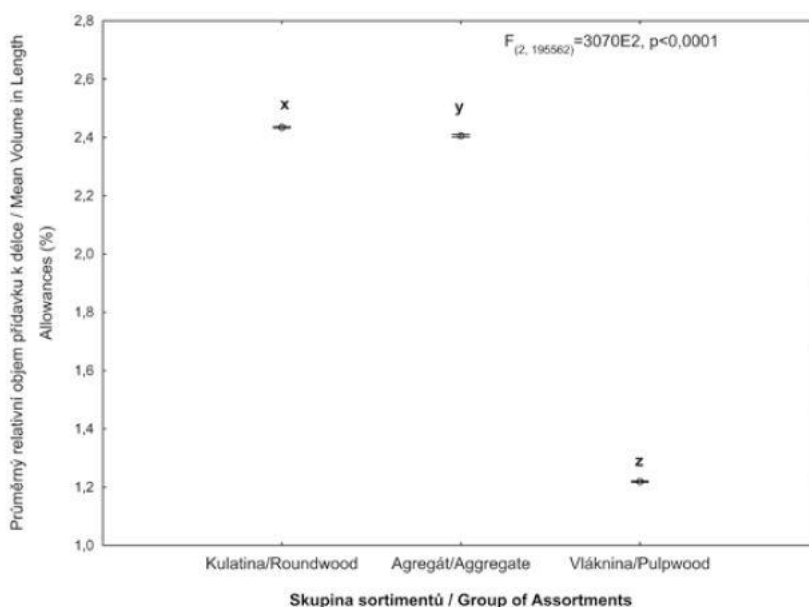
Kategorizace výřezů dle jmenovité délky výřezu a středové tloušťky výřezu; hodnota středové tloušťky vyjadřuje hodnotu tloušťky výřezu ve středu jmenovité délky  
Categorization of logs according to nominal length and midspan diameter; the midspan diameter represents the value of the diameter in the middle of the nominal length

Dělková 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 neevidovaného 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 přířevku (cm)/Mean length allowance (cm)	12,2	12,1	3,0	7,1
Průměrný evidovaný objem (m <sup>3</sup> s kůrou)/ Mean recorded volume (m <sup>3</sup> over bark)	0,34	0,12	0,06	0,16
Celkový evidovaný objem (m <sup>3</sup> s kůrou)/ Total recorded volume (m <sup>3</sup> over bark)	22688,76	2603,11	6582,49	31874,36
Celkový neevidovaný objem v přídávcích k délce (m <sup>3</sup> s kůrou)/ Total unrecorded volume in length allowances (m <sup>3</sup> over bark)	553,78	61,89	82,09	697,76
Celkový neevidovaný objem v přídávcích 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)	
	Počet výřezů (ks)/ Number of logs (pcs)	Objem výřezů/ Total volume (m <sup>3</sup> )	Počet výřezů (ks)/ Number of logs (pcs)	Objem výřezů/ Total volume (m <sup>3</sup> )	Počet výřezů (ks)/ Number of logs (pcs)	Objem výřezů/ Total volume (m <sup>3</sup> )
<b>Kulatina/Roundwood</b>						
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
<b>Agregát/Aggregate</b>						
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
<b>Vlákna/Pulpwood</b>						
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.

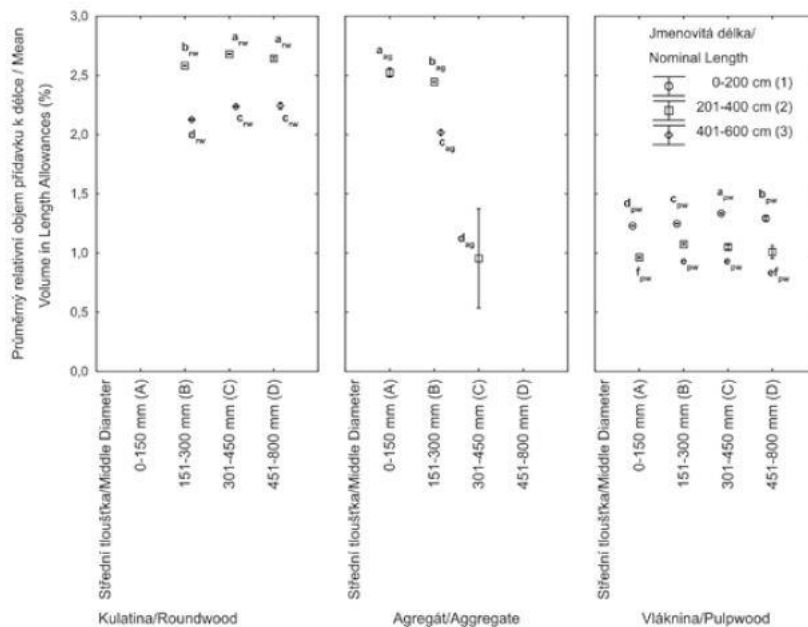
Výřezy v každé skupině sortimentů byly rozděleny do kategorií dle jejich jmenovité délky a středové tloušťky (tab. 4). Po této kategorizaci výřezů byly zjištěny signifikantní rozdíly průměrných relativních objemů přídávku k délce mezi jednotlivými kategoriemi dané skupiny sortimentů (obr. 2). Ve skupině sortimentů *Kulatina* byly zjištěny nejvyšší průměrné relativní objemy přídávku k délce vzhledem k celkovému objemu výřezu u výřezů v délkové kategorii 2. V této délkové kategorii byl nejvyšší průměrný relativní objem přídávku 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 přídávku 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 přídávku 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 přídávku k délce u výřezů v délkové kategorii 1. V této délkové kategorii byl nejvyšší průměrný relativní objem přídávku 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 přídávku 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.

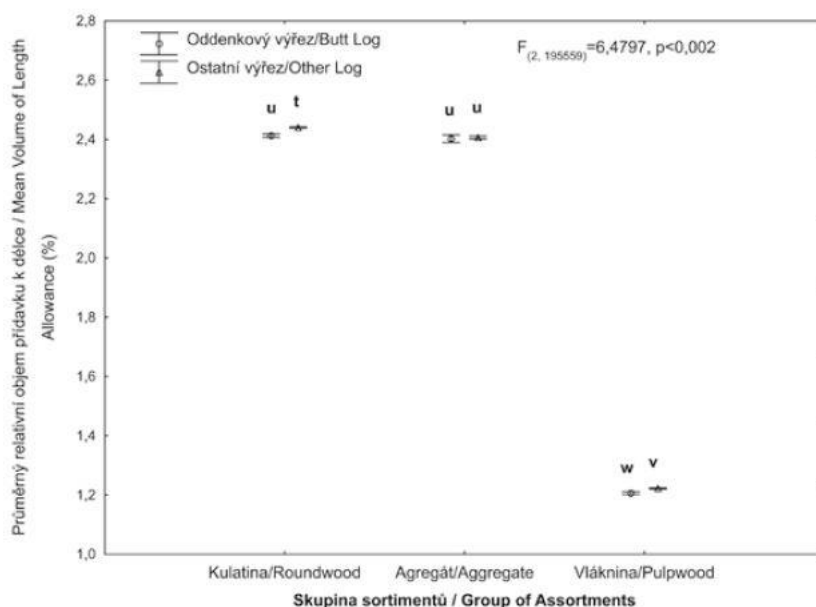
skupině sortimentů *Vláknina* nebyly zjištěny signifikantní rozdíly mezi výřezy v délkové kategorii 2, a to konkrétně mezi tloušťkovými kategoriemi B, C a D ( $e_{pw} - e_{pw} - e_{pw}$ ) a mezi tloušťkovými kategoriemi A a D ( $f_{pw} - f_{pw}$ ).

Z celkového počtu 195 565 výřezů bylo do kategorie oddenkových výřezů 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 neevdování 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 obnovy těžby jednoho porostu (Dvořák et al. 2018). Tento výsledek byl však vztážen k celkovému objemu smrkového dříví bez kůry, stanoveného cenovým typem M3toDE dle STANFORD (2012). Relativní podíl neevdovaného 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 nevidovalo 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 přídavku 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 přídavku 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 přídavcích 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 přídavků k délce mezi oděnkovými výřezy a ostatními výřezy v jednotlivých skupinách sortimentů prokázala významné rozdíly. Ve skupinách sortimentů *Kulatina* a *Vláknina* byly průměrné relativní objemy přídavků u oděnkových výřezů vyšší než u ostatních výřezů. Oděnkové výřezy jsou výřezy charakteristické kořenovými náběhy, které zesilují čelní část výřezu (CARPENTER et al. 1989). Kořenové náběhy tedy způsobí, že oděnkový výřez má větší objem než výřez neobsahující kořenové náběhy. Z tohoto důvodu je průměrný relativní objem přídavků vycházející z čepové tloušťky výřezu u oděnkového 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 oděnkových 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

Nevidovaný objem dříví v přídavcích k délce výřezu je nezanedbatelný. Ukázalo se, že sortimenty, jejichž přídavek k délce je tvořen nadměrkem ke jmenovité délce i řezacím oknem, mají přibližně dvakrát vyšší nevidovaný objem v přídavcích k délce než sortimenty, jejichž přídavek 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 přídavku 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 nevidovaného dříví v přídavcích k délce u výřezů s kratší jmenovitou délkou. Ve skupinách sortimentů *Kulatina* a *Vláknina* bylo také zjištěno, že relativní objem přídavku k délce je výrazně nižší u oděnkových výřezů oproti ostatním výřezům, což je způsobeno zesílením čelní části oděnkových výřezů kořenovými náběhy.

Tyto výsledky mohou být využity jako podklad dodavatelům dříví pro odhady množství nevidovaného dříví v přídavcích k délce, které je předáváno odběratelům dříví. Zároveň mohou být využity pro doplnění záznamů lesní hospodářské evidence o odhad nevidovaného objemu dříví v přídavcích 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](https://cofe.frec.vt.edu/documents/2001/COFE_2001_Anderson_Dyson.pdf)
- BEMBENEK M., MEDERSKI P. S., KARASZEWSKI Z., ŁACKA A., GRZYWIŃSKI 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 harvestorovou 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 harvestorem 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. Schlägl, Austria, 5–9 October 2003. Wien, BOKU: 1–11 [CD-ROM]
- NIEUWENHUIS 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/b063db555a664ff8b515ce121f4a42d1/appendix1\\_eng\\_120418.pdf](https://www.skogforsk.se/cd_48e53b/contentassets/b063db555a664ff8b515ce121f4a42d1/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 (ŠIMANOV 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. (ŠIMANOV 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 m<sup>3</sup> 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



### **5.3 Článek 3: Neevidovaný objem smrkového dříví při výrobě dříví sortimentní těžební metodou**

Originální název článku: Unrecorded volume of Norway spruce timber in cut-to-length harvesting

Časopis: Scandinavian Journal of Forest Research (časopis v databázi Web of Science s přiděleným Impact factor indexem)

Autoři: Jiří Dvořák, Radim Löwe, Pavel Natov, Martin Jankovský, Monika Sedmíková

Stručný popis: Článek se zabývá stanovením podílu neevidovaného objemu dříví v přídavicích k délce výřezů při výrobě smrkového dříví harvestorovou technologií. Jednalo se o výzkum navazující na předchozí případovou studii (Löwe et al., 2019). Metodika využitá v případové studii byla aplikována na data získaná z 15 různých harvestorů provádějících předmýtní i mýtní úmyslné těžby v České republice. Po provedení náhodného 10% výběru z originální databáze dat bylo vyhodnoceno celkem 176 980 obchodovatelných smrkových výřezů. Jejich celkový evidovaný objem představoval 10 322,83 m<sup>3</sup>. Celkový neevidovaný objem dříví zjištěný v přídavicích k délce byl 205,20 m<sup>3</sup>, což představovalo objem v přídavicích 1,99 % z celkového evidovaného objemu obchodovatelných výřezů vyráběných harvestory. Po kategorizaci výřezů do jednotlivých skupin sortimentů (Kulatina, Agregát, Vlákna, Tyčovina) výsledky ukázaly, že se průměrné relativní objemy přídávku k délce významně liší mezi všemi skupinami sortimentů. Nejvyšší průměrný relativní objem přídávku k délce vzhledem k celkovému objemu výřezu byl zjištěn ve skupině sortimentů Agregát (3,16 %), následován skupinou sortimentů Kulatina (2,99 %). Nižší průměrný relativní objem přídávku k délce byly zjištěny ve skupinách sortimentů Vlákna (0,46 %) a Tyčovina (0,27 %). V jednotlivých skupinách sortimentů proběhla analýza rozdílů mezi neevidovaným objemem dříví v přídávku k délce mezi tloušťkovými a délkovými kategoriemi výřezů. Ve skupině sortimentů Kulatina a Agregát byl zjištěn vyšší průměrný relativní objem přídávku u výřezů se jmenovitou délkou 201–400 cm oproti výřezům o délce 401–700 cm. U oddenkových výřezů byl ve všech skupinách sortimentů zjištěn nižší průměrný relativní objem přídávku k délce než u ostatních výřezů. Statisticky signifikantní rozdíly mezi oddenkovými a ostatními výřezy byly však potvrzeny pouze ve skupinách sortimentů Agregát a Vlákna.



## Unrecorded volume of Norway spruce timber in cut-to-length harvesting

Jiří Dvořák , Radim Löwe , Pavel Natov , Martin Jankovský & Monika Sedmíková

To cite this article: Jiří Dvořák , Radim Löwe , Pavel Natov , Martin Jankovský & Monika Sedmíková (2020) Unrecorded volume of Norway spruce timber in cut-to-length harvesting, Scandinavian Journal of Forest Research, 35:7, 383-393, DOI: [10.1080/02827581.2020.1815829](https://doi.org/10.1080/02827581.2020.1815829)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/02827581.2020.1815829>



Published online: 14 Sep 2020.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 48



View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)



## Unrecorded volume of Norway spruce timber in cut-to-length harvesting

Jiří Dvořák, Radim Löwe, Pavel Natov, Martin Jankovský and Monika Sedmíková

Department of Forestry Technologies and Construction, Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Forestry and Wood Sciences Prague, Czech Republic

### ABSTRACT

Knowing credible records of harvested timber is in the interest of the forest owner, forest entrepreneur and timber-sector stakeholder. Therefore, the objective of the research was to determine the share of unrecorded Norway spruce timber volume in length allowance on the total timber volume produced by harvester technology in Czechia. We analyzed 176,980 merchantable logs (total volume of 10,333 m<sup>3</sup>) produced by 15 harvesters. Primary data were obtained from .stm files. Logs were categorized into five grades according to metric and qualitative requirements of the customers, also butt logs were distinguished. Statistical analysis were processed in the Statistica 13 package. Results showed that 1.99% of the volume of produced timber were excluded from the primary forestry records. Mean unrecorded volume of length allowance to assortments that contained both the cross-cut and cutting window allowances, varied from 2.99% up to 3.16%, while 0.27% to 0.46% of volume were unrecorded for those assortments that contained only the cutting window. In higher quality grades, we found shorter logs had a higher mean relative volume of length allowance than longer logs. The mean relative volumes of length allowances also varied between butt and other logs.

### ARTICLE HISTORY

Received 24 February 2020  
Accepted 22 August 2020

### KEYWORDS



Assortment; stem file;  
Stanford; cross-cut allowance;  
cutting window

### Introduction

The share of CTL (cut-to-length) harvesting on the total volume of harvests increased between 2005 and 2015 in Czechia from 11% i.e. 1,712,000 m<sup>3</sup> to 38% i.e. 6,093,900 m<sup>3</sup> (Natov et al. 2017; Dvořák et al. 2019). In 2017 and 2018, the share of the CTL method decreased slightly from 38% to 34% and subsequently 32%, caused mainly by the increasing share of salvage logging connected to biotic disturbance (mainly *Ips typographus*). However, the annual volume of timber produced by harvesters continues to increase in absolute terms, reaching 8,300,000 m<sup>3</sup> in 2018. This was about 2,206,000 m<sup>3</sup> more than in 2015, when the production of timber by harvesters reached 6,094,000 m<sup>3</sup> (Ministry of Agriculture of the Czech Republic 2016, 2019). The CTL method is mainly associated with the harvester technology (Pulkki 1997). In some European countries, such as Sweden, Norway and Finland, the CTL method is currently widely used for all types of fellings (Lundbäck et al. 2018). On the other hand, this technology has still not found widespread use in some countries of Southeastern Europe, mainly due to the high investment costs (Moskalik et al. 2017; Dvořák et al. 2019) and other issues linked to the terrain accessibility and larger share of broadleaved species, such as slope, branching, etc. (Ferrari et al. 2012). The main advantages of harvester technology are that mechanized harvesting increases productivity and reduces production costs compared to motor-manual logging in countries with high labor costs (Zinkevičius et al. 2012; Spinelli et al. 2014; Mederski et al. 2016). Mechanized harvesting still has not reached its full potential in Czechia. The share of the CTL method in the annual logging is

expected to grow (Dvořák et al. 2011), because more than 70% of Czech forests provide favorable conditions for the use of harvester technology (Dvořák and Natov 2016). There are estimated 235–376 harvesters used in Czechia (Dvořák et al. 2018b).

Because of the methods used in timber production records (the amount of merchantable timber produced), differences occur between the amount of timber recorded and produced in reality. On the one hand, the differences may be factual, caused by allowing of length, cross-cuts, technological losses, debarking, etc. On the other hand, they can be fictitious, resulting from the rounding of measured log parameters or the usage of various methods in timber volume estimations, set in the national standards (Simanov 2003; Wojnar 2007; Šafařík and Hlaváčová 2015). These differences may cause a loss for forest owners, and in exceptional cases, the volume of timber may be overestimated. Fictitious differences can lead to a loss, but also to an overestimation of timber volume. For example, when the Huber formula (Husch et al. 2003) is used for volume estimation, volumes of butt logs are underestimated and volumes of top logs are frequently overestimated (Simanov 2003). Dvořák et al. (2017) found that the mean volume estimated according to Huber formula is 0.9% lower than the volume determined as the sum of 10 cm long section volumes for whole trees. However, fictitious volume differences depend on produced assortments. The volume estimated according to Huber formula can be 1.2% lower than the volume determined as the sum of 10 cm long section volumes for one type of assortment, while for another type of assortment, it can be 15.6%

**CONTACT** Radim Löwe  [lowe@fd.czu.cz](mailto:lowe@fd.czu.cz)  Department of Forestry Technologies and Construction, Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Forestry and Wood Sciences, Kamýcká 129, 165 00 Prague, Czech Republic

© 2020 Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group

higher (Dvořák et al. 2017). Fictitious differences do not arise from human error, but are rather the consequence of the methods of timber scaling or the harvesting technology. This fact can be shown also on the difference of timber volume estimated by 2D or 3D scanning systems. 2D scanners overestimate the volume by 0.4–0.5% compared to the Huber formula, while 3D scanners underestimate the volume by 2.5–5.5% due to the search for the minimum diameter at the measurement point (Janák 2007).

When recording timber produced by harvesters, we can encounter both factual and fictitious differences. When scaling timber by harvesters, fictitious differences may arise from using various algorithms in control and information systems of harvesters (Löwe et al. 2019a) or by rounding diameter measurements. Factual losses in timber production by harvesters include, for example, losses caused by cross-cutting, not-processing treetops, settings of bark deduction and not-recording the volumes in length allowance (Šimanov 2003; Dvořák et al. 2018a; Löwe et al. 2019b).

Timber assortments are produced by harvesters based on the parameters set in control and information systems of harvesters according to the customer's requirements. One of the entered parameters is the length allowance of the produced assortment (Natov and Dvořák 2018). For harvester technology, the length allowance of the assortment can consist of two parts, i.e. the cross-cut allowance to the required length and the cutting window (Figure 1).

The cross-cut allowance to the required length is required by the customer for some assortments to compensate for the technological losses caused by shrinkage or cross-cutting in sawmill processing, etc. The cutting window is a specific type of allowance to the bucked length of the log, which affects the accuracy and speed of the length measurement by the harvester (Natov and Dvořák 2018). The cutting window is to give the harvester a suitable interval, where the harvester head can stop moving the stem and thus easily find a cutting position, without having to move the stem back and forth to find the exact bucking point (Skogforsk 2019). As a result, the time required to set the log to the correct cutting position is shorter and the productivity of machine is higher. The cutting window is set for all assortments, including pulpwood (Dvořák et al. 2018a). Both types of the length allowance are based on the required length of the log. The length allowance is provided to the customer free of charge and is not kept in the timber production records (Poleno et al. 1994). The cross-cut allowance is required for assortments intended for the production of saw logs, though it is not required for pulpwood assortments (Dvořák et al. 2018a).

In Czechia, the recommended cross-cut allowance is 2% of the required length of the log (Wojnar 2007), unless a different value is specified by the contract parties. In other countries, the cross-cut allowance is set not only as a proportion of the required length, but also as an absolute value or a combination of the proportion of the required length and a maximum threshold (CITES 2006; Opferkuch et al. 2014). As for the cutting window, the recommended range for this allowance is between 0–4 cm for assortments produced by harvester technology in Czechia (Wojnar 2007; Natov and

Dvořák 2018). Method of calculation of the length allowance in Czechia does not differ from the general guidelines applied in other European countries.

Timber losses caused by not recording volumes in length allowance are one of the reasons for the existence of differences between the total annual volumes of harvested timber estimated through timber cruising and post-harvesting records. In Czechia, this shows when comparing the results of the National Forest Inventory and the data of Czech Statistical Office (CSO). Czechia, like other European countries, performs regular national forest inventories. Albeit, different methodologies are used for carrying out the national forest inventories (Vidal et al. 2016).

Estimates of the volume of harvested timber based on the National Forest Inventory II (NFI II) conducted in 2011–2014 on inventory plots from the National Forest Inventory I (NFI I) performed from 2001–2004 are significantly higher compared to the estimates reported by the CSO. The CSO data on the volume of harvested timber come from companies that manage forests. These companies report these data annually to the CSO (CSO 2019). The mean annual estimates of harvested timber according to CSO for the period from 2001 (the start of NFI I) to 2014 (the end of NFI II), recalculated over a ten-year period, reached 81% of NFI II estimate. Moreover, the estimates of NFI II timber harvesting are systematically underestimated according to the methodology and this underestimation is assumed to be up to 10% (Adolt et al. 2016). The results of NFI II thus indicate 19% volume difference in harvested timber compared to CSO and considering the possible underestimation, the difference could grow up to 29% (Adolt et al. 2016). In fact, this relative difference can be partly explained by adding the volume of timber not recorded in CSO data, e.g. length allowance, double bark thickness overestimation, etc.

The purpose of this study is to estimate the volume of unrecorded timber in length allowance on data obtained from several harvesters in Czechia, generalizing the volumes in length allowance on a national level. Aims of this study were to (i) determine the proportion of unrecorded timber volume in length allowance of spruce timber, as harvested by harvesters, with properly set parameters in control and information systems, (ii) analyse the volume differences of length allowance between the individual assortment grades, (iii) analyse the volume differences of length allowance between different length and diameter categories, and (iv) to analyse the volume differences of length allowance between butt logs and other logs.

## Materials and Methods

### Data collection and \*.stm files dataset

Data were gathered from 15 harvesters that carried out thinning and final fellings throughout Czechia. Data were collected from January 2016 to August 2018. To obtain results, \*.stm files were processed, so that they contained information on each felled tree. The files contained information such as measured log lengths and diameters, crucial for timber volume estimation. To ensure the accuracy of the measured

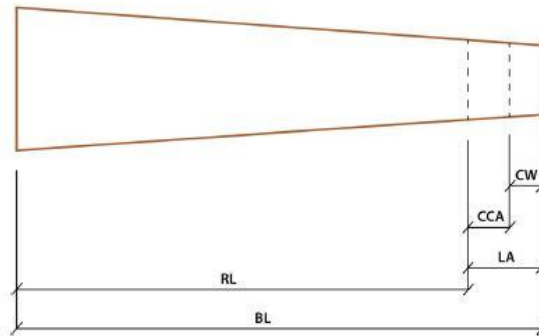


Figure 1. Scheme describing individual length dimensions of a log produced by harvester technology (BL = bucked length; RL = required length; LA = length allowance; CCA = cross-cut allowance; CW = cutting window).

lengths and diameters, the machine's devices and control and information systems were properly controlled and calibrated if needed. A control measurement was carried out on three to five trees at the beginning of each working day. The \*.stm files of control trees were uploaded to a digital caliper and all logs from control trees were remeasured. Trees for control measurements were the most uniform in shape available, to highlight harvester measurement biases (Strandgard 2009). Then, if necessary, the control and information system was used for calibrating length and diameter gauges in the harvester head. The calibration system procedure met the requirements of the StanForD standard (Skogforsk 2012a). The detailed description of the control measurement and calibration procedures were described by Löwe et al. (2019a).

The control and information system in each harvester stored stem data according to the StanForD Classic standard and was preset to automatically save a unique \*.stm file for each processed stem. In the \*.stm files, the length of each log and the diameters of all 10 cm log segments were recorded. Based on these measured values, \*.stm files also contained the estimation of log volume calculated according to the price category M3s – code 2 (Skogforsk 2012b). Skogforsk (2012b) states that the volume estimated using the M3s price category algorithm is the closest to the real log volume. When estimating the volume according to this algorithm, the diameter over bark is measured at each end of the 10 cm long segment of the log. These measurements are then averaged, thus approximating the section as a cylinder. The mean segment diameter is then used as an input diameter for calculating the volume of the segment according to Huber formula (Husch et al. 2003). The volume of each log is finally expressed as the sum of the volumes of its segments. The detailed description of the method estimating a total volume of a log according to the M3s price category was described by Löwe et al. (2019a).

The extracted data from control and information systems of harvesters were stored in a folder, creating a database containing approximately half a million of \*.stm files. In the first instance, we checked and cleared duplicate files from the database and assigned a unique identifier to each remaining \*.stm file, thus creating a dataset that contained a total of

493,920 \*.stm files. A detailed description of data acquisition is available in Jankovský et al. (2019).

#### Data processing and categorization

For data processing, we used a random sample, consisting of 10% of the \*.stm files from the dataset. The PHP array\_rand() function (PHP.net 2019) was applied to create the random sample. Data saved in the \*.stm files from this sample were converted to \*.XLSX working file using the STeMa application, version 1.0 (author: Natov; year of origin: 2016). The STeMa application was directly designed for analyses of \*.stm files stored by harvesters and met the requirements of the StanForD Classic standard. The STeMa application was created in PHP scripting language as a web application with authorized access. The application does not have a graphical user interface and works with direct source code editing. It was designed and programmed by an imperative approach (procedurally). The sample dataset contained the following variables obtained from \*.stm files: (i) unique identifier of the \*.stm file; (ii) order number of the \*.stm file (iii) order number of the assortment within each \*.stm file; (iv) name of the produced assortment; (v) tree species (spruce, pine, larch, deciduous); (vi) midspan diameter of the log measured over bark (mm); (vii) top end diameter of the log measured over bark (mm); (viii) bucked length of the log (cm); (ix) required length of the log (cm); (x) log volume over bark according to the M3s price category (m<sup>3</sup>). Variables were taken from \*.stm files interactively for each individual file. After batch processing of the \*.stm files, data were displayed in a browser and saved in \*.CSV format, which allows easy conversion to the \*.XLSX format for further data analysis. Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.), the most abundant tree species in Czechia (Ministry of Agriculture of the Czech Republic 2019), was also the main tree species felled by harvesters. Therefore, only data of Norway spruce logs were used in this study. Finally, after filtering out the \*.stm files (not containing spruce, extremes and outlier data were too filtered out from the database. Thus, we ended up with the sample database containing 40,471 spruce stems (\*.stm files) cut into 194,954 logs. From this sample database of trees,

38% of total recorded timber volume originated in thinnings and 62% in final fellings.

The following log variables were analyzed. The assortment (AS) contained information about the quality grade according to the required parameters of the customer. The midspan diameter (Dm) expressed the value of the log diameter over bark in the middle of its required length. The bucked length (BL) expressed the value of the length of the log including length allowance. The required length (RL) expressed the value of the length of the log required by the customer, which is sometimes also referred to as minimum expected length. The length allowance (LA) expressed the difference (in cm) between the bucked length and the required length of the log. The log volume (Vl) variable was the value of log volume over bark according to M3s price category, calculated from the required length of the log. The top end diameter (Dt) was the log diameter over bark measured at the end of the required length of the log and served as the base for calculating the volume of the length allowance and for inclusion of the log into the assortment. Then, the volume of the length allowance (Va) over bark was calculated based on the length allowance and the top end diameter according to the following formula (1):

$$Va = \pi * \frac{(Dt * 0.001)^2}{4} * LA * 0.01 \quad (1)$$

where: Va is the volume of the length allowance (m<sup>3</sup> over bark),  $\pi = 3.14$ , Dt is the top end diameter of the log (mm), LA is the length allowance (cm).

This calculated variable was used to express the relative proportion of the volume in length allowance to the log volume. Subsequently this value was expressed as the percentage and the variable was named as the relative volume of the length allowance; RVa (%).

According to the assortment variable (AS), the logs were assigned into five grades (Table 1) that were produced during harvesting according to metric and qualitative requirements of the customers. Similar grading was used by Löwe et al. (2019b), though we added a fifth assortment grade – pole logs. In the study conducted by Löwe et al. (2019b), pole logs were not produced by the harvester that served as the data source. We used standard Czech grading nomenclature, which was simplified to ensure better international comparability of our results. The sorting of logs into individual

assortment grades was carried out according to the minimum top-end diameter, required length and quality (Table 1).

Parameters for the production of individual assortments were always set before the start of harvest in the control and information system by the harvester operator. These parameters also specify the length allowance, as: (i) the cross-cut allowance to the required length required by the customer (2% of the required length) and (ii) the cutting window. The cutting window of 0–4 cm by Natov and Dvořák (2018) was used in this study. The composition of the length allowance varied for individual grades (Table 1). The data recorded as timber residue grade, which contained no length allowance (the required length and the bucked length of the log was the same), were excluded from the secondary data analysis. Therefore, they were not reflected in the results. Harvesters registered this timber grade, however couldn't produce any merchantable timber from it, because it did not meet the parameters required by customers. The timber recorded in the timber residue grade was left on the forest floor after harvesting. Other grades contained merchantable logs produced according to customers' requirements. Roundwood grade contained logs intended for sawmill processing, logs for veneer, resonance logs, and other special logs. Thin logs intended for sawmill processing were included in the aggregate grade. Pulpwood contained logs intended for production of particle boards and pulp. Pole log grade contained stemwood intended for use mainly in its original form, most often for enclosing and fencing of land (Table 1). Logs were also graded according to their required length and midspan diameter (Table 2).

For analyses of the volume in length allowance of logs with buttresses, the categories *butt log* and *other log* were distinguished. The butt log always represented the first log cut from each harvested tree that could be misshaped by root flares (Carpenter et al. 1989). The other log category represented the remaining logs produced from each harvested tree.

### Statistical analyses

Statistical analyses were processed in the Statistica 13 package (TIBCO Software Inc.: Palo Alto, CA, USA). Descriptive statistics (SD- standard deviation; N- number; mean; sum) were used to obtain mean and summarizing values of individual variables. Differences between mean relative unrecorded timber volumes of the length allowance, related to the mean log volume in each grade, were tested using General Linear Models (GLM), namely One-way ANOVA. Factorial ANOVA from GLM was used to test the mean relative

**Table 1.** Grades of spruce timber assortments produced by harvesters according to customer requirements. For each grade, the parameters of the minimum top end diameter, the required length and the composition of the length allowance are stated.

Grade	Top end diameter (mm)	Required length (cm)	Length allowance
Roundwood	≥ 200	245–700	CCA + CW
Aggregate	90 - 200	150–700	CCA + CW
Pulpwood	≥ 50	190–600	CW
Pole logs	≥ 60	220–255	CW
Timber residues	X	X	NLA

Abbreviations: X – not specified; CCA – cross-cut allowance; CW – cutting window; NLA – no length allowance.

**Table 2.** Categories of logs according to their required length and midspan diameter. The midspan diameter is the value of the diameter measured in the middle of the required length of the log.

Length category	Required length interval (cm)	Diameter category	Midspan diameter interval (mm over bark)
1	0–200	A	0–150
2	200–400	B	151–300
3	401–700	C	301–450
		D	451–800

volumes of the length allowance between length and diameter categories in each grade. Categories containing 0–3 logs were excluded from this statistical analysis due to insufficient number of observations for reliable results. Factorial ANOVA was also used to test the differences between mean relative volume of the length allowance of butt logs and other logs in each grade. For all statistical tests, significant differences were subsequently tested by the Tukey HSD post-hoc test, indicating homogeneous groups; the significance level was set to  $\alpha = 5\%$ .

## Results

In the timber residue grade, we recorded 17,974 logs with the total log volume 210.78 m<sup>3</sup> over bark (according to the M3s price category). In total, we analyzed 176,980 spruce logs in merchantable grades of assortments. According to the price category M3s, the total recorded timber volume of these logs was 10,332.83 m<sup>3</sup>. The total unrecorded timber volume in length allowance was 205.20 m<sup>3</sup>, representing the addition of 1.99% to the total volume of merchantable logs produced by harvesters. When individual assortment grades were analyzed, the total recorded volume varied from 139 m<sup>3</sup> to 4,462 m<sup>3</sup> and the total unrecorded volume of length allowance varied from 0.38 m<sup>3</sup> to 125.32 m<sup>3</sup> (Table 3).

Significant differences ( $p < 0.001$ ) of the mean relative volume of length allowance were found between timber grades (Figure 2). The greatest mean relative volume of length allowance to the total log volume was found in the aggregate grade (3.16%, SD = standard deviation = 0.83%), followed by roundwood grade (2.99%, SD = 0.81%) and pulpwood (0.46%, SD = 0.68%). The lowest mean relative volume of length allowance was found in pole log grade (0.27%, SD = 0.53%).

After sorting logs according to their required length and midspan diameter (Table 4), statistical test revealed significant

differences between mean relative volumes in length allowance of individual timber grades (Figure 3).

The highest mean relative volume of length allowance was found in roundwood grade (Table 5). In this grade, along with the aggregate grade, higher mean relative volumes of length allowances were recorded in the required length category 2 (201–400 cm) compared to the required length category 3 (401–700 cm). Lower mean relative volumes of length allowances were found in pulpwood and pole log grade. In pulpwood, we recorded lower mean relative volume in length allowance of a log with the required length 0–200 cm compared to a log with the required length 201–400 cm in each diameter category.

There were 39,033 butt logs out of the total 176,980 logs. Statistical analyses of this data showed significant differences ( $p < 0.001$ ) of mean relative timber volume of length allowance between grades (Figure 4). The roundwood grade contained 4,485 butt logs and 12,042 other logs. In the roundwood grade, we found no significant difference ( $p = 0.24$ ) between the mean relative volume of length allowance of butt logs (2.97%; SD = 0.71%) and other logs (3.00%; SD = 0.85%). The aggregate grade contained 6,422 butt logs and 17,222 other logs, the mean relative volume of length allowance was significantly lower ( $p < 0.001$ ) in butt logs (3.10%; SD = 0.68%) compared to other logs (3.19%; SD = 0.88%). The pulpwood included 26,959 butt logs and 102,556 other logs, the mean relative volume of length allowance was significantly lower ( $p < 0.001$ ) for butt logs (0.44%; SD = 0.60%) compared to other logs (0.47%; SD = 0.70%). The pole log grade contained 1,167 butt logs and 6,127 other logs. In the pole log grade, we found no significant difference ( $p = 0.67$ ) between the mean relative volume of length allowance of butt logs (0.24%; SD = 0.29%) and other logs (0.27%; SD = 0.56%).

## Discussion

As a result of not recording length allowance, 1.99% of merchantable spruce timber produced by harvesters was not included in the primary records of timber produced by the harvester technology. Compared to the results reported by Löwe et al. (2019b), who examined the mean volume of length allowance of logs produced by one Czech harvester, our findings point towards a smaller share of length allowance on the log's total volume, as they report that length allowance accounted for 2.19% of the total volume of produced merchantable timber. The difference between these results can be explained by the fact that the data analyzed by Löwe et al. (2019b) were gathered only from final fellings, while this study also included data from thinnings. Data from thinnings reduced the share of higher grade assortments with the cross-cut allowance (roundwood, aggregate), while increasing the share of lower grade assortments where only the cutting window was allowed for (pulpwood, pole logs). Dvořák et al. (2018a) analyzed the unrecorded timber volume of length allowance of 294 spruce stems from a final felling of a single stand. The results of their study (Dvořák et al. 2018a) showed that the unrecorded timber volume of length allowance represented 2.31% of the total volume of the produced

**Table 3.** Assortment grade variables and total volumes of recorded and unrecorded timber in individual grades of assortments.

Variable	Roundwood	Aggregate	Pulpwood	Pole logs	Total
Total number (pcs)	16,527	23,644	129,515	7,294	176,980
Mean required length (cm)	393	323	207	228	241
Mean top end diameter (mm)	268	159	112	94	121
Mean length allowance (cm)	12.7	11.5	1.1	0.7	3.6
Mean recorded volume (m <sup>3</sup> over bark)	0.27	0.08	0.03	0.02	0.06
Total recorded volume (m <sup>3</sup> over bark)	4,462	1,884	3,848	139	10,333
Total unrecorded volume of length allowance (m <sup>3</sup> over bark)	125.32	55.23	24.27	0.38	205.20
Total unrecorded relative volume of length allowance (%)	2.81	2.93	0.63	0.27	1.99

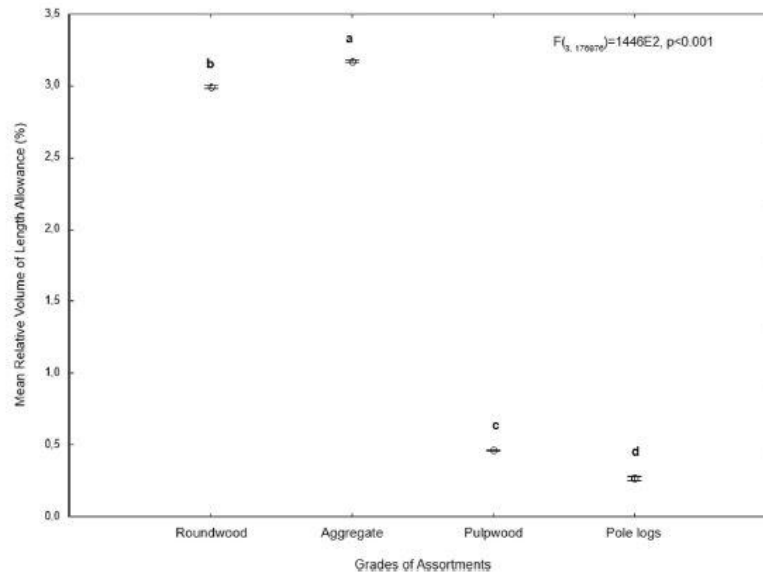


Figure 2. Differences of mean relative timber volume in length allowance between grades of assortments. The error bars delineate a 95% confidence interval, letters (a,b,c,d) indicate significant differences found by post-hoc Tukey HSD test ( $\alpha = 5\%$ ).

timber. However, this figure was related to the total timber volume under bark, estimated through the M3toDE StanForD price category (Skogforsk 2012b). Using a different price category might have caused the higher share of length allowance volume on the log total volume reported by Dvořák et al. (2018a). The log volume estimated according to the M3s price category is on average 5.67% larger than the volume estimated by the M3toDE price category (Löwe et al. 2019a).

The length allowance of a log has either one or two components – the cross-cut allowance and the cutting window

(Natov and Dvořák 2018). Therefore, significant differences were found between particular assortment grades. The length allowance of the pole logs and pulpwood was created only by the cutting window, because of which the shares of unrecorded volumes of length allowance were 0.27% and 0.46% on average, respectively. Compared to the roundwood and aggregate grades, adding a cross-cut allowance increased the volume of length allowance to 2.99% and 3.16%. Regarding to the study by Löwe et al. (2019b), we recorded an almost 2 cm smaller mean length allowance in the pulpwood. For pulpwood, lower mean relative

Table 4. Number of logs and their total volume in grades of assortments, sorted according to their required length and midspan diameter.

Required length (cm) Midspan diameter (mm)	0–200 (cat. 1)		201–400 (cat. 2)		401–700 (cat. 3)	
	Number of logs (pcs)	Total volume (m <sup>3</sup> )	Number of logs (pcs)	Total volume (m <sup>3</sup> )	Number of logs (pcs)	Total volume (m <sup>3</sup> )
Roundwood						
0–150 (cat. A)	0*	0	0*	0	0*	0
151–300 (cat. B)	0*	0	9048	1546.47	2345	650.69
301–450 (cat. C)	0*	0	3141	1173.56	1607	785.72
451–800 (cat. D)	0*	0	327	247.95	59	57.60
Aggregate						
0–150 (cat. A)	0*	0	4982	230.71	0*	0
151–300 (cat. B)	0*	0	17973	1540.46	687	112.28
301–450 (cat. C)	0*	0	2*	0.33	0*	0
451–800 (cat. D)	0*	0	0*	0	0*	0
Pulpwood						
0–150 (cat. A)	98352	1655.34	8525	257.87	3*	0.23
151–300 (cat. B)	16218	982.96	3667	298.48	22	4.71
301–450 (cat. C)	1743	343.20	682	175.38	0*	0
451–800 (cat. D)	225	91.11	78	39.05	0*	0
Pole logs						
0–150 (cat. A)	0*	0	7255	137.10	0*	0
151–300 (cat. B)	0*	0	39	1.64	0*	0
301–450 (cat. C)	0*	0	0*	0	0*	0
451–800 (cat. D)	0*	0	0*	0	0*	0

Abbreviations: cat. – category; \* – the category did not contain enough logs for statistical analysis focused on the differences in mean relative volume of length allowance between categories in each grade.



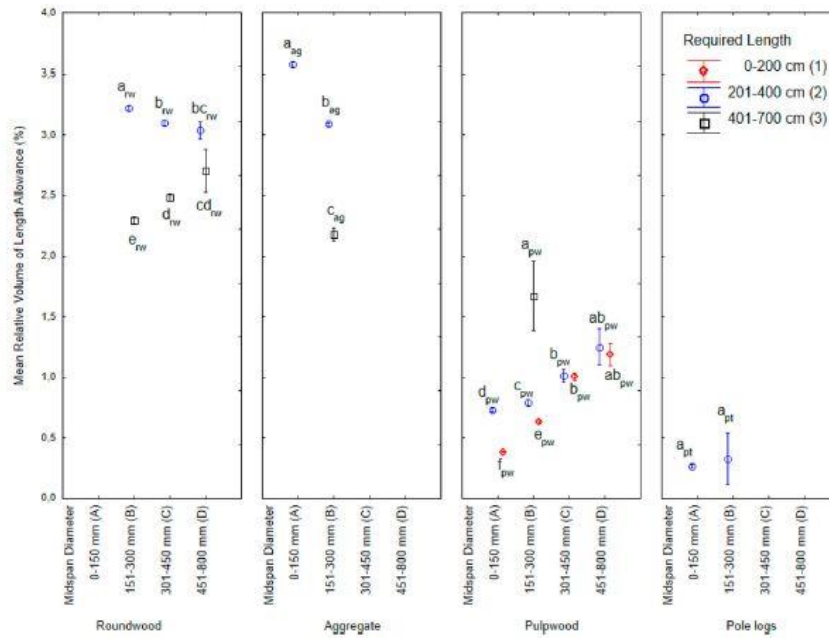


Figure 3. Differences of mean relative timber volume in length allowance between the categories of logs sorted according to their required length and midspan diameter in individual grades of assortments. Different letters (a,b,c,d,e,f) indicate significant differences between categories in each grade of assortments revealed by post-hoc Tukey HSD tests ( $\alpha = 5\%$ ). Grades of assortments are distinguished by text indices (rw, ag, pw, pt), the error bars delineate a 95% confidence interval.

volumes of length allowance were found for logs from thinning as for logs from final fellings (Dvořák et al. 2018a). Thus, the overall mean relative volume of length allowance was probably smaller due to the inclusion of data from thinning in our study than that reported by Löwe et al. (2019b).

In the roundwood grade, significantly larger mean length allowance volumes were found for logs with a required length of 201–400 cm (length category 2) compared to logs with a required length of 401–700 cm (length category 3). We found no significant difference between these two length categories only for logs with a midspan diameter 451–800 mm (diameter category D). However, this was likely caused by the fewer logs in these categories. The significant difference between these two length categories was also revealed in the aggregate grade. A similar trend of increasing the mean relative volume of length allowance with decreasing required length of the log was also observed for the pulpwood. However, the differences were not statistically significant for logs with a 301–450 mm and 451–800 mm midspan diameter. Only logs with a required length 401–700 cm (length category 3) and a midspan diameter 151–300 mm (diameter category B) showed a different trend. However, there were only 22 of these logs, which was not a representative sample sufficient for generalizing the results. Löwe et al. (2019b) study contained no log in the length category 3 / diameter category B, therefore we cannot compare the mean relative length allowance volume of the logs from this length and diameter category in the pulpwood. The increasing share of the volume of length allowance related to the decreasing required log length can be attributed to

the cutting window, which is set to an absolute range of 0–4 cm for all merchantable assortments. Thus, the share of the volume of length allowance on the log total volume, estimated through the absolute length of the cutting window, will be bigger for shorter logs. We recommend the use of a cutting window in a given interval of 0–4 cm. Extending this interval would lead to an unnecessary increase in the share of unrecorded timber, while narrowing it would mean a higher time consumption for bucking and would thus make the timber processing less efficient. When using the 0–4 cm interval of the cutting window, the share of unrecorded timber caused by this length allowance component is acceptable with regard to the efficiency of produced timber by harvester technology.

Butt logs often have characteristic buttresses that thicken the large end of logs (Carpenter et al. 1989). Therefore, we performed the analysis of the mean relative volumes of length allowance between butt logs and other logs in individual timber grades. It was assumed that the butt log would have a bigger volume than a log without the buttress, and for this reason the mean relative volume of length allowance, estimated through the top end diameter of the butt log, would be lower than other log because it relates to a bigger volume of the log. Indeed, the mean relative volume of length allowance of butt logs was lower than the mean relative volume of length allowance of other logs in all grades, however, the statistically significant differences were revealed only in the aggregate grade and pulpwood.

The timber volumes in this study were estimated over bark. This way, we avoided inaccuracies in volume estimation that

**Table 5.** Mean relative volumes of length allowance in individual grades of merchantable assortments- a) roundwood, b) aggregate, c) pulpwood and d) pole logs.

a) Roundwood				b) Aggregate			
Required Length Category	Midspan Diameter Category			Required Length Category	Midspan Diameter Category		
	151–300 mm (B)	301–450 mm (C)	451–800 mm (D)		0–150 mm (A)	151–300 mm (B)	
201–400 cm (2)	3.23% (SD = 0.83%)	3.10% (SD = 0.72%)	3.04% (SD = 0.59%)	201–400 cm (2)	3.57% (SD = 0.77%)	3.09% (SD = 0.80%)	
401–700 cm (3)	2.30% (SD = 0.42%)	2.48% (SD = 0.47%)	2.71% (SD = 0.71%)	401–700 cm (3)	X	2.18% (SD = 0.44%)	
c) Pulpwood				d) Pole logs			
Required Length Category	Midspan Diameter Category				Required Length Category	Midspan Diameter Category	
	0–150 mm (A)	151–300 mm (B)	301–450 mm (C)	451–800 mm (D)		0–150 mm (A)	151–300 mm (B)
0–200 cm (1)	0.38% (SD = 0.61%)	0.63% (SD = 0.65%)	1.01% (SD = 0.77%)	1.19% (SD = 0.56%)	201–400 cm (2)	0.27% (SD = 0.53%)	0.33% (SD = 0.51%)
201–400 cm (2)	0.73% (SD = 0.98%)	0.79% (SD = 0.84%)	1.02% (SD = 0.85%)	1.25% (SD = 1.01%)			
401–700 cm (3)	X	1.67% (SD = 0.39%)	X	X			

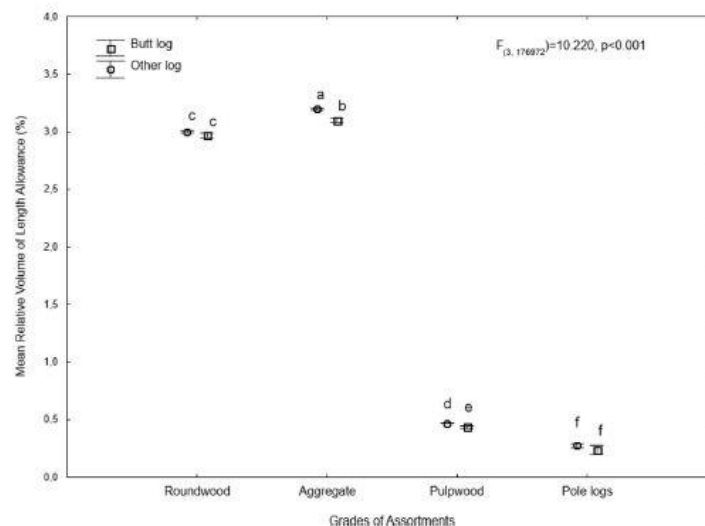
Abbreviations: SD – standard deviation; X – the category did not contain any logs for statistical analysis.

originate from double bark thickness estimation. The accuracy of double bark thickness estimation can be affected by numerous factors, both tree- and site-specific, as discussed by Laasasenaho et al. (2005), Marshall et al. (2006b) and Jan-kovský et al. (2019), but also shavings of bark on logs due to delimiting knives make further inaccuracies in bark subtraction.

In Czechia, the cross-cut allowance required by customers is most often 2% of the required length of the log. The customer usually does not accept a lower length allowance, therefore it is necessary to take into account the accuracy of measuring the lengths that the harvester can achieve. The accuracy of a correctly calibrated length measuring device of harvester is in the  $\pm 2$  cm range (Natov and Dvořák 2018). The harvester must therefore be adjusted so that a tolerance

of 2 cm is included in the value of the required cross-cut allowance. Otherwise, shorter logs could be produced that do not meet the minimum length requirements of assortments required by customers.

To ensure reliable primary harvesting records presented in harvester outputs, it is necessary to regularly control the harvester's measuring systems and, if necessary, perform their calibration. Regular control and calibration increase the accuracy of the measuring systems (Nieuwenhuis and Dooley 2006) and increases the reliability of their outputs. In Czechia, the tolerated deviation of the timber volume obtained from the harvester's output from the timber volume estimated according to Wojnar (2007) is usually between 2 and 5%, depending on the contract conditions (Natov and Dvořák 2018; State Forest Enterprise 2019). An



**Figure 4.** Differences of mean relative timber volume in length allowance between butt logs and other logs in various grades of assortments. Different letters (a,b,c, d,e,f) indicate significant differences between categories found by post-hoc Tukey HSD tests ( $\alpha = 5\%$ ), the error bars delineate a 95% confidence interval. There were revealed no significant differences between mean relative volume of length allowance of butt logs and other logs in roundwood grade (a-a), as well as in pole log grade (f-f).

inaccurate measurement of lengths and diameters can cause the log to be downgraded to a lower grade, resulting in considerable financial losses (Leitner et al. 2014). Conradie et al. (2003), Marshall et al. (2006a) and Marence et al. (2009) report revenue losses caused by inaccuracy of length and diameter measurements range from 4.4% to 8.0%. Currently, great emphasis is placed on increasing the efficiency of forestry as an industrial sector in Czechia (Beranová and Navrátilová 2017), therefore such economic differences are not negligible.

It is suitable to use a digital caliper equipped with a digital tape to perform regular control measurements of harvester measuring systems, because this method is faster, more accurate and more efficient than the use of analog measuring devices for this purpose (Löwe et al. 2019a). Recommended frequency of control measurements, as well as the description of control measurement and calibration procedures, are described in detail by Natov and Dvořák (2018). However, despite regular control measurements and calibration of the harvester measuring systems, some measurement error must be considered. Log length measurements, that are performed by rolling the measuring wheel on the stem with centimeter accuracy (Leitner et al. 2014), may be adversely affected by the wheels movement on stripped bark, burr of a stem, damage of a stem or too high moisture content of a stem (Makkonen 2001). The measurement accuracy can also be adversely affected by thick and frequent branches (Andersson and Dyson 2001), which are abundant especially in the processing of deciduous trees (Bembenek et al. 2015).

Although unrecorded volume in length allowance will always occur when timber is produced by the harvester technology, it is important to strive for minimizing it to an acceptable amount. Therefore, contract parties should follow the national recommended rules for setting up the control and information system of harvester, providing they exist. It is important to record the amount of harvested timber as accurately as possible, especially when considering a wide range of sector indicators and subsidies are linked to these figures. The share of unrecorded timber can be reduced by the technological development of machines, which increases the accuracy of length measurement and narrows the cutting window range, while maintaining the efficiency of timber production. The unrecorded timber volume of length allowance of logs is not negligible. The evaluated data were gathered from several harvesters that performed harvesting of differently sized trees, in various natural conditions throughout Czechia. Therefore, the results of this study can be considered generally applicable to the forestry conditions in Czechia.

## Conclusions

The study revealed that the mean unrecorded volume of length allowance to merchantable assortments, whose length allowance consisted of the cross-cut allowance and the cutting window, varied from 0.27% to 0.46%, while for merchantable assortments with length allowance consisting of only the cutting window it was 2.99% to 3.16%. In the roundwood and aggregate grades, it was found that the shorter logs usually had a higher mean relative volume of

length allowance than longer logs. This was caused by the expression of the cutting window as an absolute length range, which changed its relative effect based on the changing log metrics. In aggregate and pulpwood, we found significant differences between the mean relative volumes in length allowance of butt logs and other logs. It could be explained by buttresses occurring on some butt logs.

These results can be used as a basis for timber producers who can estimate the amount of unrecorded timber of length allowance that is delivered to their customers. Simultaneously, information about the amount of unrecorded timber in length allowance can supplement national forest management records. The information about proportions of unrecorded timber can be also used in the development of forest management software as additional information for getting a more comprehensive view of the timber stock volume in the forest.

The results also serve in discussions on comparing the estimate a harvested volume provided by the National Forest Inventory II (Adolt et al. 2016) and those annually reported by the CSO (Ministry of Agriculture of the Czech Republic 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011). The difference between these estimates was at least 19% during years 2001–2010. Just the unrecorded timber volume of length allowance in the CSO records may partially explain this difference. In future studies, we shall focus on other possibilities of dealing with unrecorded timber in the timber production and its quantification.

## Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the author(s).

## Funding

This work was supported by the National Agency for Agricultural Research under Grant QJ1520005: "Optimization of cut-to-length logging and grading of harvester-processed timber and proposed control procedures of timber volume measurements accuracy with the objective to enhance the production function of forests and maintain stand stability with respect to harmful agents" and by the Faculty of Forestry and Wood Sciences, Czech University of Life Sciences in Prague under the Grant IGA A/04/18: "Analysis of the Log Volume Estimate Methodologies Used in the Control and Information Systems of Harvesters".

## References

- Adolt R, Kučera M, Kohn I, Kratěna L, Fejfar J, Závodský J, Piškýtlóvá K, Čech Z. 2016. Výstupy Národní inventarizace lesů uskutečněné v letech 2011–2015, 3. Těžba dříví (Outputs of the national forest inventory in 2011–2015, 3. harvesting). *Lesnická práce*. 95(2):8. Available from: [http://nil.uhul.cz/data/documents/vysledky\\_projektu\\_nil2/tezba\\_drivi\\_lp\\_unor\\_2016.pdf](http://nil.uhul.cz/data/documents/vysledky_projektu_nil2/tezba_drivi_lp_unor_2016.pdf).
- 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; p. 5; Available from: [https://cofe.frec.vt.edu/documents/2001/COFE\\_2001\\_Anderson\\_Dyson.pdf](https://cofe.frec.vt.edu/documents/2001/COFE_2001_Anderson_Dyson.pdf).
- Bembenek M, Mederski PS, Karaszewski Z, Łacka A, Grzywinski W, Wegiel A, Giefing DF, Erler J. 2015. Length accuracy of logs from birch and aspen harvested in thinning operations. *Turkish J Agri For*. 39:845–850. doi:10.3906/tar-1406-39.

- Beranová M, Navrátilová M. 2017. Zhodnocení efektivnosti hospodářské činnosti menšinových státních lesních podniků v ČR a SR v letech 2005-2014 (Economic assessment of minority state forest enterprises in the Czech Republic and Slovak Republic in 2005–2014). *Zprávy Lesnického Výzkumu - Reports of Forestry Research*. 62(2):95–100.
- Carpenter RD, Sonderman DL, Rast ED, Jones MJ. 1989. Defects in hardwood timber. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 678. p. 88.
- CITES. 2006. Standard Procedure for the Measurement of Logs and Saw Wood of Timber Species Included in Appendices II and III. In: Sixteenth meeting of the Plants Committee Lima (Peru), 3-8 July 2006, 11 p. Available from: <https://www.cites.org/sites/default/files/eng/com/pc/16/E-PC16-19-03.pdf>.
- Conradie IP, Greene WD, Murphy GE. 2003. Value recovery with harvesters in south-eastern USA pine stands. Bar Harbor: Council of Forest Engineering Symposium: Forest Operations Among Competing Forest Uses. [https://cofe.frec.vt.edu/documents/2003/COFE\\_2003\\_Conradie\\_et\\_al.pdf](https://cofe.frec.vt.edu/documents/2003/COFE_2003_Conradie_et_al.pdf) Available from: [Cited 27 December 2019].
- CSO, Czech Statistical Office. 2019. Lesnictví – 2018 (Forestry – 2018). Available from: <https://www.czso.cz/csu/czso/lesnictvi-2018> [Cited 27 December 2019].
- Dvořák J, Bystrický R, Hošková P, Hrib M, Jarkovská M, Kováč J, Králek J, Natov P, Natovová L. 2011. The use of harvester technology in production forests. Prague, Czech Republic: Lesnická práce. p. 156.
- Dvořák J, Chytrý M, Natov P, Jankovský M, Beljan K. 2019. Long-term cost analysis of Mid-performance harvesters in Czech conditions. *Austrian J For Sci*. 136(4):351–372.
- Dvořák J, Natov P. 2016. Plošný výrobní potenciál pro harvesterovou technologii v ČR k 31. 12. 2015. - specializované mapy s odborným obsahem (Potential area for timber production by harvester technology in the Czech Republic, 31st December 2015 – specialized maps). Prague, Czech Republic: Czech University of Life Sciences in Prague. p. 32.
- Dvořák J, Natov P, Bystrický R. 2018b. Plošný a výrobní potenciál pro harvesterovou technologii v ČR (Surface and production potential for harvester technology in the Czech Republic). *Lesnická práce*. 97(9):54–57.
- Dvořák J, Natov P, Chytrý M. 2017. Comparison of different scaling methods of harvester-processed timber. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov*. 59(10):19–26.
- Dvořák J, Natov P, Jankovský M. 2018a. Analysis of unregistered timber volume in allowance in cut-to-length logging. In: *Formec 51st edition of the international symposium of forestry mechanization*. Proceedings. 24–28 September 2018. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid, Spain: Fundación Conde del Valle de Salazar; p. 97–111. Available from: <https://www.formec.org/images/proceedings/2018/Proceedings2018.PDF>.
- Ferrari E, Spinelli R, Cavallo E, Magagnotti N. 2012. Attitudes towards mechanized cut-to-length technology among logging contractors in Northern Italy. *Scandinavian J For Res*. 27(8):800–806. doi:10.1080/02827581.2012.693192.
- Husch B, Beers TW, Kershaw JA. Jr. 2003. *Forest Mensuration*, 4th ed. New York, NY, USA: JohnWiley and Sons. p. 443.
- Janák K. 2007. Differences in round wood measurements using Electronic 2D and 3D systems and standard manual method. *Drvna Industrija*. 58(3):127–133.
- Jankovský M, Natov P, Dvořák J, Szala L. 2019. Norway spruce bark thickness models based on log midspan diameter for use in mechanized forest harvesting in Czechia. *Scandinavian J For Res*. 34(7):617–626. doi:10.1080/02827581.2019.1650952.
- Laasasenaho J, Melkas T, Aldén S. 2005. Modelling bark thickness of *Picea abies* with taper curves. *For Ecol Manag*. 206:35–47. doi:10.1016/j.foreco.2004.10.058.
- Leitner T, Stampfer K, Visser R. 2014. Analysing log length measurement accuracy of harvester and processor heads. *Austrian J For Sci*. 131:129–146.
- Löwe R, Sedmíková M, Natov P, Dvořák J, Jankovský M. 2019b. Analýza nevidovaného objemu dříví v přidavcích k délce výřezů při výrobě smrkového dříví harvesterovou technologií (Analysis of unrecorded timber volume in length allowances of logs in spruce timber production by harvesters technology). *Zprávy Lesnického Výzkumu - Reports of Forestry Research*. 64(4):207–216.
- Löwe R, Sedmíková M, Natov P, Jankovský M, Hejčmanová P, Dvořák J. 2019a. 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.
- Lundbäck M, Haggström 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; p. 3; Available from: <http://www.foresteng.canterbury.ac.nz/FEC2018.shtml>.
- Makkonen I. 2001. Factors affecting measurement accuracy in processing heads. *For Eng Res Ins Canada, Adv*. 2(24):1–9.
- Marence J, Vadnjaj J, Kosir B. 2009. Bucking of conifers using the Woody H60 Processors on the Syncrofalke 3T cable yarder in the Alpine foothills. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*. 88:3–10.
- Marshall HD, Murphy GE, Boston K. 2006a. Evaluation of the economic impacts of length and diameter measurement error on mechanical harvesters and processors operating in pine stands. *Can J For Res*. 36:1661–1673.
- Marshall HD, Murphy GE, Lachenbruch B. 2006b. Effects of bark thickness estimates on optimal log merchandising. *For Prod J*. 56:87–92.
- Mederski P, Bembenek M S, Karaszewski Z, Lacka A, Szczepanska-Álvarez A, Rosinska M. 2016. Estimating and modelling harvester productivity in pine stands of different ages, densities and thinning intensities. *Croatian J For Eng*. 37(1):27–36.
- Ministry of Agriculture of the Czech Republic. 2002. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2001 (Report on the state of forests and forestry in the Czech Republic in the year 2001). Prague, Czech Republic: Ministry of Agriculture of the Czech Republic.
- Ministry of Agriculture of the Czech Republic. 2003. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2002 (Report on the state of forests and forestry in the Czech Republic in the year 2002). Prague, Czech Republic: Ministry of Agriculture of the Czech Republic.
- Ministry of Agriculture of the Czech Republic. 2004. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2003 (Report on the state of forests and forestry in the Czech Republic in the year 2003). Prague, Czech Republic: Ministry of Agriculture of the Czech Republic.
- Ministry of Agriculture of the Czech Republic. 2005. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2004 (Report on the state of forests and forestry in the Czech Republic in the year 2004). Prague, Czech Republic: Ministry of Agriculture of the Czech Republic.
- Ministry of Agriculture of the Czech Republic. 2006. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2005 (Report on the state of forests and forestry in the Czech Republic in the year 2005). Prague, Czech Republic: Ministry of Agriculture of the Czech Republic.
- Ministry of Agriculture of the Czech Republic. 2007. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2006 (Report on the state of forests and forestry in the Czech Republic in the year 2006). Prague, Czech Republic: Ministry of Agriculture of the Czech Republic.
- Ministry of Agriculture of the Czech Republic. 2008. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2007 (Report on the state of forests and forestry in the Czech Republic in the year 2007). Prague, Czech Republic: Ministry of Agriculture of the Czech Republic.
- Ministry of Agriculture of the Czech Republic. 2009. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2008 (Report on the state of forests and forestry in the Czech Republic in the year 2008). Prague, Czech Republic: Ministry of Agriculture of the Czech Republic.
- Ministry of Agriculture of the Czech Republic. 2010. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2009 (Report on the state of forests and forestry in the Czech Republic in the year 2009). Prague, Czech Republic: Ministry of Agriculture of the Czech Republic.
- Ministry of Agriculture of the Czech Republic. 2011. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2010 (Report on the state of forests and forestry in the Czech Republic in the year 2010). Prague, Czech Republic: Ministry of Agriculture of the Czech Republic.
- Ministry of Agriculture of the Czech Republic. 2016. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2015 (Report on the state

- of forests and forestry in the Czech Republic in the year 2015). Prague, Czech Republic: Ministry of Agriculture of the Czech Republic.
- Ministry of Agriculture of the Czech Republic. 2019. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2018 (Report on the state of forests and forestry in the Czech Republic in the year 2018). Prague, Czech Republic: Ministry of Agriculture of the Czech Republic.
- Moskalik T, Borz SA, Dvořák J, Ferencík M, Glushkov S, Muiste P, Lazdiňš A, Styraničský O. 2017. Timber harvesting methods in Eastern European countries: a review. *Croatian J Forest Eng.* 38(2):231–241.
- Natov P, Dvořák J. 2018. Doporučená pravidla pro elektronický příjem dříví harvestory v ČR 2018 (Guidelines for electronic registration of the harvested timber by harvesters in the Czech Republic 2018). Prague, Czech Republic: Produkce BPP. 136 p.
- Natov P, Dvořák J, Sedmíková M, Löwe R, Ferencík M. 2017. Srovnání vyrobeného objemu dříví harvestorem se zásobou porostu stanovenou objemovými tabulkami (Comparison of harvester-produced timber volume with the standing timber volume determined by volume tables). *Zprávy Lesnického Výzkumu – Reports of Forestry Research.* 62(1):1–6.
- Nieuwenhuis M, Dooley T. 2006. The effect of calibration on the accuracy of harvester measurements. *Int J For Eng.* 17:25–33. doi:10.1080/14942119.2006.10702533.
- Opferkuch M, Jaeger D, Wagner T. 2014. Improved wood delivery by new scaling methods of Log piles. In: *Formec. 47th international symposium on forestry mechanisation: "forest engineering: propelling the forest value chain"*, September 23–26, 2014 in Gerardmer, France. Available from: <https://www.formec.org/images/proceedings/2014/a185.pdf>.
- PHP.net. 2019. *Function array\_rand.php*, PHP manual. Available from: [www.php.net/manual/en/function.array-rand.php](http://www.php.net/manual/en/function.array-rand.php) [Cited 2019 November 20].
- Poleno Z, Vlková V, Rybníček P. 1994. *Lesnický naučný slovník, díl I (Forestry Vocabulary, volume I)*. Prague, Czech Republic: Agrospoj. p. 743.
- Pulkki R. 1997. Cut-to-length, tree-length or full tree harvesting? *Central Woodlands.* 1:22–27.
- Šafařík D, Hlaváčová P. 2015. Losses in the amount of produced and sold timber. *Procedia Economics and Finance.* 34:51–57.
- Šimanov V. 2003. Rozdíly v evidovaném objemu dříví (Differences in recorded volume of timber). *Lesnická práce.* 82(2):32–34.
- Skogforsk. 2012a. *Project StanForD Classic Documents.* (last update 2012-04-18). The Forest Research Institute of Sweden. Uppsala: Sweden, [Cited 2019 December 03]. Available from: <https://www.skogforsk.se/english/projects/stanford/>.
- Skogforsk. 2012b. *Standard for Forest Data and Communications. Appendix: Definitions of variables – General and country specific.* (last update 2012-04-18). The Forest Research Institute of Sweden. Uppsala: Sweden. p. 32 [Cited 2019 December 03]. Available from: [https://www.skogforsk.se/cd\\_20190114161714/contentassets/b063db555a664ff8b515ce121f4a42d1/appendix1\\_eng\\_120418.pdf](https://www.skogforsk.se/cd_20190114161714/contentassets/b063db555a664ff8b515ce121f4a42d1/appendix1_eng_120418.pdf).
- Skogforsk. 2019. *Introduction to StanForD 2010.* (last update 2019-02-06). The Forest Research Institute of Sweden. Uppsala: Sweden. p. 81 [Cited 2020 July 23]. Available from: [https://www.skogforsk.se/cd\\_20190206130936/contentassets/1a68cdce4af1462ead048b7a5ef1cc06/stanford-2010-introduction-190106.pdf](https://www.skogforsk.se/cd_20190206130936/contentassets/1a68cdce4af1462ead048b7a5ef1cc06/stanford-2010-introduction-190106.pdf).
- Spinelli R, Lombardini C, Magagnotti N. 2014. The effect of mechanization level and harvesting system on the thinning cost of Mediterranean softwood plantations. *Silva Fenn.* 48:1–15. doi:10.14214/sf.1003.
- State Forest Enterprise. 2019. *Výroba a prodej dříví na LS a LZ – procesní směrnice 8/2019 (Production and sale of timber for LS and LZ - procedural directive 8/2019)*. Hradec Králové, Czech Republic: Lesy České republiky. p. 42.
- Strandgard M. 2009. Evaluation of manual log measurement errors and its implications on harvester log measurement accuracy. *Int J For Eng.* 20:9–16. doi:10.1080/14942119.2009.10702578.
- Vidal C, Alberdi I, Hernández L, Redmond J. 2016. *National forest inventories: Assessment of wood availability and use*. Cham: Springer International Publishing Switzerland. p. 845.
- Wojnar T. 2007. *Doporučená pravidla pro měření a třídění dříví v České republice 2008 (Guidelines for timber scaling in the Czech Republic 2008)*, 2nd ed. Kostelec nad Černými lesy, Czech Republic: Lesnická práce. p. 147.
- Zinkevičius R, Steponavičius D, Vitunskas D, Činga G. 2012. Comparison of harvester and motor-manual logging in intermediate cuttings of deciduous stands. *Turkish J Agri Forestry.* 36:591–600. doi:10.3906/tar-1103-46.

## 6 Diskuze

Po provedené analýze ceníkových typů nastavitelných ve standardu StanForD bylo podrobně popsáno a definováno 7 různých algoritmů, které jsou využívány pro stanovení objemu výřezu. Výsledky ukázaly, že mezi objemy výřezu stanovenými dle jednotlivých algoritmů existují významné rozdíly. Srovnání těchto výsledků s jinými studii nebylo možné provést, protože se nepodařilo najít vhodnou vědeckou literaturu zabývající se hodnocením objemových rozdílů podle jednotlivých ceníkových typů popsaných standardem StanForD. Rozdíly mezi objemy odhadovanými jednotlivými algoritmy byly vztaženy k algoritmu A2, protože objem stanovený tímto algoritmem by měl být co nejbližší skutečnému objemu výřezu, vzhledem k tomu, že je počítán jako součet objemů dílčích deseticentimetrových sekcí (Skogforsk, 2012). Ani tento algoritmus stanovení objemu však není zcela přesný. Hohmann et al. (2017) uvádí, že tento objem v porovnání s objemem zjištěným ponořením výřezu do vody je průměrně o 0,45 % nižší.

Velký rozdíl mezi objemy stanovenými algoritmem A2 a algoritmem A1 lze vysvětlit parametry, které používají k odhadu objemu. Algoritmus A1 je totiž založen na výpočtu objemu výřezu jako válce s hodnotou průměru, která využívá hodnotu čepové tloušťky výřezu. Čepová tloušťka je přirozeně nejnižší hodnota tloušťky výřezu, kterou lze použít, a vede proto k podstatnému podhodnocení objemu výřezu. Algoritmus A1 je tak zcela nevhodný pro evidenci objemu výřezu. Lze však předpokládat, že algoritmus A1 nikdy neměl za cíl poskytnout skutečný objem výřezu, ale spíše poskytnout hodnotu vyjadřující objem dostupný pro pilařské produkty vyráběné z celé délky výřezu.

Druhý nejvyšší rozdíl byl zjištěn mezi algoritmem A2 a algoritmem A5. Podle algoritmu A5 se objem výřezu vypočítá na základě měřené středové tloušťky výřezu v milimetrech. Pro stanovení objemu je však vždy středová tloušťka zaokrouhlena na celé centimetry dolů. To je v souladu s metodou HKS (BW-HKS, 1983). Pokud je tedy k evidování objemu vyrobeného dříví využít algoritmus A5, nelze tento evidovaný objem považovat za objem blízký se skutečnému objemu dříví, které je vytěženo a odvezeno z lesa. Zjištění tohoto rozdílu, který vede k podhodnocování výroby, je velmi zajímavé, protože algoritmus A5 je součástí ceníkových typů M3toDE a M3miDE využívaných k evidování objemu dříví vyráběného harvestory v zemích střední Evropy, jako je

Německo, Česká republika, Rakousko, Slovensko a Maďarsko. Například v České republice jsou tyto ceníkové typy doporučovány (Natov, Dvořák, 2018) a využívány, protože jako jediné zajišťují, že výstupy vyrobeného dříví budou porovnatelné s objemem dříví stanoveným podle Doporučených pravidel pro měření a třídění dříví v České republice 2008 (Wojnar, 2007), které jsou zároveň uznávaným národním standardem pro krychlení dříví.

Je také velmi zajímavé porovnat objemy stanovené podle algoritmu A5 a algoritmu A6. Tyto dva algoritmy se liší v jednom klíčovém parametru. Algoritmus A6 nevyžaduje zaokrouhlení naměřené středové tloušťky, protože není založen na metodě HKS. K výpočtu objemu je tak využita nezaokrouhlená hodnota středové tloušťky naměřená v milimetrech. Výsledky tak odhalily, že využití přesné středové tloušťky eliminovalo o více jak polovinu rozdíl evidovaného objemu od objemu stanoveného algoritmem A2 (o 3,18 %, což představovalo 1069,44 m<sup>3</sup>). Na základě těchto výsledků lze konstatovat, že standardy pro krychlení dříví používané v ČR výrazně podhodnocují. K evidenci nevyužíváme ten nejvhodnější algoritmus, který výrobně-evidenční software harvestoru nabízí ke stanovení co nejpresnějšího objemu výřezu, a navíc nevyužíváme ani milimetrovou přesnost měření tlouštěk, kterou nám harvestory poskytují. Nicméně pouze využití algoritmu A5 je v našich podmínkách lesního hospodářství aktuálně jediné správné, neboť tento algoritmus využívá ke stanovení objemu dříví shodný postup jako uvádí norma ČSN 48 0009 (ČSN, 1977), na jejímž základu jsou sestaveny všechny využívané standardy pro krychlení dříví v ČR: Tabulky a polynomy pro výpočet objemu kulatiny bez kůry (Černý, Pařez, 2009), Soubor tabulek pro krychlení surového dříví (Šimánek, Fuksa, 2009) i Doporučená pravidla pro měření a třídění dříví (Wojnar, 2007).

Algoritmy A4 a A7 vykázaly rozdíl v evidovaném objemu dříví nižší než 3 % ve srovnání s algoritmem A2. Algoritmus A4 používá rovnici detailně popsanou v Článku 1 (Equation 4), která obsahuje parametr „a“, jehož hodnota se mění podle délky kmene a čepové tloušťky. Hodnoty parametru „a“ uvádí Skogforsk (2012). Algoritmus A7 pro stanovení objemu využívá rovnici uvedenou v Článku 1 (Equation 7). Objem je zde stanoven na základě čepové tloušťky výřezu a kónických faktorů, jejichž hodnota závisí na druhu dřeviny (Skogforsk, 2012). Rozdíl mezi evidovanými objemy při porovnání algoritmů A7 a A2 by tedy mohl být odlišný, pokud budeme odhadovat objem výřezů jiné dřeviny než smrku.

Rozdíl mezi objemy zjištěnými podle algoritmu A3 a srovnávacího algoritmu A2 byl nejnižší a jako jediný nebyl statisticky významný. Objem dle algoritmu A3 byl vypočítán jako objem válce s teoretickou středovou tloušťkou výřezu a měřenou délkou výřezu zaokrouhlenou dolů na nejbližší celý decimetr. Tloušťka využitá ke zjištění teoretické středové tloušťky byla však ve skutečnosti měřena 10 cm od čepu výřezu. Tato měřená tloušťka byla navíc zaokrouhlená dolů na celý centimetr. Výpočet teoretické středové tloušťky byl založen na standardní sbíhavosti, která je 1 cm tloušťky na 1 m délky kmene. Tato standardní sbíhavost je v souladu s tím, co uvádí Hamilton (1975) pro pilařské výřezy. Poté se k vypočítané teoretické středové tloušťce přidá 0,5 cm pro kompenzaci předchozího zaokrouhlování. Následně se k výpočtu objemu výřezu použije Huberova metoda (Husch et al, 2003). Rovnice popsaná v Článku 1 (Equation 3), využitá k výpočtu objemu podle algoritmu A3, se tak jeví jako nejlepší alternativa k algoritmu A2. Nicméně, pokud se zaměříme na jednotlivé skupiny sortimentů, zjistíme, že mezi objemy těchto dvou algoritmů existují významné rozdíly, ačkoli nejnižší rozdíl mezi těmito dvěma algoritmy byl zjištěn ve skupině sortimentů Kulatina. To by mohlo být způsobeno právě tím, že algoritmus A3 používá teoretickou středovou tloušťku vypočítanou na základě principu standardní sbíhavosti 1 cm tloušťky na 1 m délky výřezu. Tato sbíhavost je standardně uváděna pro pilařské výřezy, které do značné míry představují právě sortimenty zahrnuté ve skupině sortimentů Kulatina. Naopak výřezy zastoupené ve skupinách Vlákna a Těžební zbytky představovaly zejména výřezy ze spodní a vrchní části kmene, jejichž sbíhavost se může lišit od té standardní (Hamilton, 1975).

Při porovnání objemových rozdílů mezi skupinami sortimentů bylo zajímavé zaměřit se zejména na rozdíly ve skupině Kulatina, která představovala nejen nejvyšší celkový objem dříví, ale také nejvíce ekonomicky hodnotné obchodovatelné výřezy. Výsledky zde ukázaly, že odhady objemu stanovené jednotlivými algoritmy se mezi sebou významně liší. Ve srovnání s celkovou odchylkou bez rozdělení výřezů do jednotlivých skupin sortimentů se rozdíl mezi objemem stanoveným algoritmem A2 a algoritmem A5 zvýšil o 0,38 %, tj. na 6,05 %. Tento výsledek byl zajímavý, protože ukázal nárůst objemového rozdílu při výrobě těch nejhodnotnějších sortimentů. V některých střeoevropských zemích se algoritmus A5 používá pro evidenci výroby kulatiny. Pokud bychom tedy chtěli tyto výstupy z harvestoru využít k prodeji dříví, připravili bychom se o více než 6 % reálného objemu dříví. V případě, že se toto



podhodnocení neodrazí v jednotkové ceně dříví, přineslo by to prodejci významnou ekonomickou ztrátu. Co nejpřesnější výstupy produkce dříví při jeho výrobě harvesterovou technologií bychom však neměli vyžadovat jen z důvodu jejich možného využití pro prodej dříví, ale také pro kvalitní vedení jeho evidence.

Průměrný objem výřezu stanovený algoritmem A2 byl vzhledem k objemům stanoveným ostatními algoritmy nejvyšší ve skupině sortimentů Vlákna a druhý nejvyšší ve skupině sortimentů Kulatina. Ve skupině Těžební zbytky však byl evidovaný objem zjištěný algoritmem A3, algoritmem A4, algoritmem A6 a algoritmem A7 vyšší než objem stanovený algoritmem A2. To mohlo být způsobeno skutečností, že skupina Těžební zbytky obsahovala výřezy malých rozměrů. Postupy pro odhad objemu podle některých algoritmů nejsou pro výřezy malých rozměrů zcela vhodné, a proto nadhodnocují skutečný objem výřezu.

U těchto výsledků porovnání jednotlivých objemů je také nutné poznamenat, že hodnoty objemů v tomto výzkumu byly vyjádřeny v metrech krychlových s kůrou. Tímto způsobem se studie vyvarovala potenciálních nepřesností způsobených využitím různých metod odpočtu kůry pro stanovení objemu výřezu bez kůry. Metodami odhadu tloušťky kůry se zabývali např. Laasasenaho et al. (2005), Marshall et al. (2006b), Stängle et al. (2016) a Jankovský et al. (2019). Je důležité si uvědomit, že evidované objemy analyzované v Článku 1 nelze srovnávat s reálným objemem dříví, protože vykazované objemy nezahrnují objem přídavek k délce výřezu, tj. objem řezacího okna a případného nadměrku k některým sortimentům. Celkový objem vytěženého evidovaného dříví se také liší od objemu hroubí stojícího porostu, protože zde vznikají další faktické ztráty způsobené příčnými řezy, ponecháním vyšších pařezů a nezpracováním vrcholových částí stromů a silnějších větví (Simanov 2003; Dvořák et al. 2018; Gendek et al., 2018) a zároveň se pro taxaci dříví nastojato používají jiné metodiky výpočtu objemu, respektive zásoby porostu.

Výzkum v Článku 2 a Článku 3 se proto zaměřil na délkovou strukturu vyráběných sortimentů a stanovení neevidovaného objemu dříví v přídavecích k délce výřezů, jakožto jednu z příčin vzniku faktických objemových ztrát. Článek 2 sloužil jako pilotní studie pro Článek 3. Výsledky Článku 3 ukázaly, že v důsledku neevidování objemů přídavek k délce výřezů došlo ke ztrátě 1,99 % z objemu smrkového dříví obchodovatelných sortimentů vyráběných harvestory. Tento podíl objemu dříví tedy nebyl zahrnut do prvotní evidence dříví. Výsledky Článku 2, které však jako pilotní studie

byly založeny pouze na datech z jednoho harvestoru, zjistily nevidovaný objem přídavek k délce výřezů ve výši 2,19 % z objemu obchodovatelných sortimentů. Rozdíl mezi těmito výsledky může být částečně vysvětlen tím, že data analyzovaná v Článku 2 byla shromážděna z mýtních úmyslných a nahodilých těžeb, zatímco data v Článku 3 obsahovala také informace z výroby dříví uskutečněné v předmýtních úmyslných těžbách. Data z předmýtních úmyslných těžeb redukovala podíl sortimentů vyšších jakostních tříd obsahujících nadměrek (Kulatina, Agregát) a naopak zvýšila podíl sortimentů nižších jakostních tříd, u kterých je přídavek k délce složen pouze z řezacího okna (Vláknina, Tyčovina). Nevidovaný objem v přídavech k délce byl na výřezech z 294 stromů mýtní těžby analyzován také ve studii Dvořák et al. (2018), kde představoval 2,31 % z evidovaného objemu vyrobeného dříví. Tento výsledek se však vztahoval k celkovému evidovanému objemu dříví bez kůry, který byl stanoven na základě ceníkového typu M3toDE, tzn. algoritmu A5. Objem stanovený podle tohoto algoritmu je však dle výsledků Článku 1 v průměru o 5,67 % nižší než objem podle Algoritmu A2. Využití jiného ceníkového typu pro stanovení celkového objemu dříví mohlo způsobit vyšší podíl nevidovaného objemu dříví v přídavech k délce výřezů.

Přídavek k délce výřezu má s ohledem na vyráběný sortiment jednu nebo dvě složky – řezací okno a nadměrek (Natov, Dvořák, 2018). Proto byly zjištěny významné rozdíly mezi jednotlivými skupinami sortimentů. Přídavek k délce výřezů ve skupině Tyčovina a Vláknina byl vytvořen pouze řezacím oknem, díky čemuž byly podíly nevidovaného objemu přídavek k délce v průměru 0,27 %, respektive 0,46 %. Ve srovnání s výřezy ve skupinách Kulatina a Vláknina přidáním nadměrku k délce výřezu (zpravidla 2 % jmenovité délky) vzrostly podíly nevidovaného objemu přídavek k délce na 2,99 % a 3,16 %. Výřezy ve skupině Vláknina, analyzované v Článku 3, měly průměrně téměř o 2 cm kratší délku přídavek než výřezy ve stejné skupině hodnocené v Článku 2. Dvořák et al. (2018) zjistili, že vlákninové výřezy z předmýtních těžeb mají nižší průměrný podíl objemu přídavek k délce výřezu než vlákninové výřezy z mýtních těžeb. Průměrný relativní objem přídavek k délce výřezu zjištěný v Článku 3 byl tedy pravděpodobně nižší z důvodu zahrnutí dat z předmýtních těžeb oproti výsledkům zjištěným v Článku 2.

Po kategorizaci výřezů do jednotlivých tloušťkových a délkových tříd bylo zjištěno, že ve skupině Kulatina byly zjištěny významně vyšší hodnoty relativního průměrného objemu přídavek k délce u výřezů se jmenovitou délkou 201–400 cm oproti

výřezům se jmenovitou délkou 401–600 cm. Trend zvyšujícího se průměrného relativního objemu přídavku se snižující se jmenovitou délkou výřezu byl zjištěn i u některých dalších skupin sortimentů. Tento výsledek pravděpodobně souvisí s řezacím oknem, které je nastaveno u všech sortimentů v absolutním rozmezí 0–4 cm. Relativní objem v přídavicích k délce, zjištěný na základě absolutního rozmezí délky řezacího okna, tak bude mít vyšší hodnotu u kratších výřezů. Doporučujeme proto použít řezací okno v daném intervalu 0–4 cm. Rozšíření tohoto intervalu by vedlo ke zbytečnému zvýšení podílu nevidovaného objemu dříví, zúžení intervalu by znamenalo vyšší časovou náročnost na druhování kmene vedoucí k nižší efektivitě výroby dříví. Při použití intervalu řezacího okna 0–4 cm je podíl nevidovaného dříví, způsobený touto složkou přídavku k délce, přijatelný s ohledem na vysokou produktivitu výroby dříví harvesterovou technologií.

Oddenkové výřezy mají často charakteristické kořenové náběhy, které zesilují výřez u jeho čela (Carpenter et al., 1989). Proto byla provedena analýza objemových rozdílů přídavek k délce mezi oddenkovými výřezy a ostatními výřezy v jednotlivých skupinách sortimentů. Předpokládalo se, že evidovaný objem výřezu oddenkového výřezu by mohl být větší než objem výřez bez kořenových náběhů. Z tohoto důvodu by průměrný relativní objem přídavku k délce, který je počítán na základě čepové tloušťky výřezu, mohl být u oddenkových výřezů menší než u ostatních výřezů. Výsledky ukázaly, že průměrný relativní objem přídavku k délce u oddenkového výřezu byl opravdu nižší než u ostatních výřezů.

Celý tento výzkum byl zaměřen pouze na smrkové výřezy. Obecně je pro harvestory doporučeno zpracování jehličnatých dřevin. Pokud se tedy zabýváme problematikou harvesterové technologie, vliv dřevin nelze ignorovat (Mederski et al., 2018). Při těžbě listnatých dřevin harvestory se vyskytují problémy spojené s odvětčováním (Labelle et al., 2016), vyššími pařezy ve výmladkových lesích (Spinelli et al., 2017) a také s poškozením zpracovávaných výřezů podávacími válci (Karaszewski et al., 2016). Křivost kmene a velké větve, které jsou velmi běžné u některých listnatých druhů stromů, mohou způsobit chyby měření délek i tlouštěk výřezů (Strandgard, 2009). Přesnost měření délky výřezu může být také negativně ovlivněna posunem měřicího kolečka po stržené kůře, poškozením kmene nebo příliš vysokou vlhkostí kmene (Makkonen, 2001). Tyto chyby mohou také významně ovlivnit přesnost odhadů objemu pomocí různých algoritmů.

Ačkoliv se neevidovaný objem přídatku k délce bude vyskytovat při výrobě dříví harvesterovou technologií vždy, je důležité usilovat o jeho minimalizaci na přijatelné množství. Smluvní strany by proto měly dodržovat národní doporučená pravidla pro nastavení softwarového vybavení harvesterů, pokud existují. Je důležité zaznamenávat množství vytěženého dříví co nejpřesněji, zejména pokud vezmeme v úvahu širokou škálu odvětvových ukazatelů a dotačních titulů, které se tyto údaje vztahují. Podíl neevidovaného dříví lze snížit technologickým vývojem harvesterů, který zvyšuje přesnost měření délky a zužuje rozsah řezacího okna při zachování efektivity výroby dříví. Neevidovaný objem dříví v nadměrcích k délce není zanedbatelný. Výsledky z Článku 3 jsou založeny na datech výroby dříví z 15 harvesterů, které těžily stromy různých parametrů v různých přírodních podmínkách na území ČR. Tyto výsledky proto lze proto považovat za obecně platné v podmínkách lesního hospodářství ČR.

Při správném využívání harvesterové technologie je nutné provádět pravidelná kontrolní měření měřicích systémů harvesteru a v případě potřeby provést kalibraci. Pravidelná kontrolní měření a případné kalibrace zlepšují přesnost měření harvesterů (Nieuwenhuis, Dooley, 2006) a zajišťují důvěryhodnost výstupů výroby. Přípustná odchylka v objemu dříví je zpravidla mezi 2–5 % podle subjektů provádějících výrobu dříví (Natov, Dvořák, 2018; LČR, 2019). Pro kontrolní měření lze použít různé metody. V tomto výzkumu byly využity digitální průměrky vybavené digitálním pásmem. Kombinace digitální průměrky s digitálním pásmem je rychlejší, přesnější a efektivnější než běžná analogová měřicí zařízení. Tuto metodu důrazně doporučujeme použít ke kontrolním měřením a kalibraci měřicího systému harvesteru. Validita výstupů výroby je zajištěna i následným správným nastavením výrobně-evidenčního systému. Nepřesné měření délek a tloušťek může způsobit, že vyráběný sortiment bude degradován do nižší jakostní třídy, což má za následek značné finanční ztráty (Leitner et al., 2014). Conradie et al. (2003), Marshall et al. (2006a) a Marence et al. (2009) uvádějí ztráty výnosů způsobené nepřesností měření délek a tloušťek v rozmezí od 4,4 % do 8,0 %.

## 7 Závěry a doporučení pro praxi

Výzkum odhalil významné rozdíly mezi objemy výřezů stanovenými různými algoritmy nastavitelnými ve výrobně-evidenčních softwarech harvestorů. Výsledky ukázaly, že pokud bychom chtěli využít výstupy prvotní evidence dříví vyráběného harvestory k prodeji dříví a vedení jeho kvalitní lesní hospodářské evidence, je nutné rozlišovat, jakým způsobem byly stanoveny objemy vyráběných sortimentů. Algoritmus A1 se ukázal jako zcela nevhodný pro evidování objemu výřezů. Mezi objemy výřezů stanovenými algoritmem A3 a algoritmem A2 nebyl zjištěn významný rozdíl. Ve skupině sortimentů Kulatina byl při využití algoritmu A5 zjištěn o více než 6 % nižší objem než při využití algoritmu A2. To je zajímavý výsledek, zejména pro některé země střední Evropy, kde je využíván algoritmus A5. Algoritmus A5 je pro výpočet evidovaného objemu dříví doporučen i v ČR (Natov, Dvořák, 2018), protože jako jediný zajišťuje, že evidovaný objem výroby je srovnatelný s objemem stanoveným dle Doporučených pravidel pro měření a třídění dříví v České republice 2008 (Wojnar, 2007). Abychom však získaly hodnoty objemů co nejbližší těm skutečným objemům výřezů, měli bychom ve výrobně-evidenčním softwaru harvestoru využívat ceníkový typ založený na algoritmu A2. To však v našich podmínkách lesního hospodářství aktuálně není možné, neboť tento algoritmus není v souladu s využívanými standardy pro krychlení dříví v ČR. Tyto závěry jsou relevantní pro případ, že je cílem získat co nejpřesnější celkový objem dříví, který lze použít pro prodej dříví a pro vedení přesné evidence výroby. Pokud by stanovení objemu mělo jiný cíl, například odhadnout množství dříví pro speciální pilařské produkty, mohlo by být vhodné využít jiný algoritmus. Výsledné rozdíly zjištěné mezi jednotlivými algoritmy lze použít k odhadu objemového rozdílu mezi výstupy prvotní evidence harvestorů stanovenými na základě různých ceníkových typů.

Výzkum odhalil, že průměrný neevidovaný objem přídávku k délce je nezanedbatelný. U obchodovatelných sortimentů, jejichž přídavek k délce se skládal jen z řezacího okna, se pohyboval od 0,27 % do 0,46 %, zatímco u obchodovatelných sortimentů s přídávkem k délce tvořeným řezacím oknem a nadměrkem to bylo 2,99 % až 3,16 %. Ve skupině sortimentů Kulatina bylo zjištěno, že kratší výřezy měly vyšší průměrný relativní objem přídávku k délce než delší výřezy. To mohlo být způsobeno tím, že řezací okno bylo definováno rozsahem absolutní délky, což měnilo jeho relativní účinek měnících se délkových rozměrů výřezu. Zjištěn byl také nižší průměrný relativní objem přídávku k délce u oddenkového výřezu oproti ostatním výřezům. To lze vysvětlit

tím, že se na některých oddenkových výřezech vyskytují kořenové náběhy, které zvyšují tloušťku a následně i evidovaný objem výřezu.

Výsledky analýzy délkové struktury sortimentů mohou být využity jako podklad dodavatelům dříví pro odhady množství neevidovaného dříví v přídavicích k délce, které je předáváno odběratelům dříví. Zároveň mohou být využity pro doplnění záznamů lesní hospodářské evidence o odhad neevidovaného objemu dříví v přídavicích k délce. Informace o podílu neevidovaného dříví v přídavicích k délce by se také mohly použít při vývoji komplexních lesnických softwarů jako další informace pro získání celkového pohledu na objem zásoby dřeva v lesích. Výsledky také mohou posloužit jako podklad pro diskuzi 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 byly publikovány Adolt et al. (2016). Rozdíl mezi těmito odhady byl v letech 2001–2010 nejméně 19 %. Tento rozdíl může částečně vysvětlit právě neevidovaný objem dříví v těžebních datech uvedených ve Zprávách o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky. V dalších studiích by proto bylo vhodné zaměřit se na další faktické ztráty, způsobené příčnými řezy, ponecháním vyšších pařezů a nezpracováním vrcholových částí stromů a silnějších větví, a tyto ztráty ve výrobě dříví kvantifikovat.

Výstupy prvotní evidence výroby dříví harvesterovou technologií jsou však užitečné pouze, pokud jsou důvěryhodné a validní. Proto je nutné provádět pravidelná kontrolní měření měřicích systémů harvestoru a případně stroj kalibrovat. Věřím, že výsledky této studie budou sloužit v lesnické praxi pro lepší pochopení fungování výrobně-evidenčního softwaru harvestorů a tím i k zajištění správného nastavení konkrétních parametrů výroby. Jedině tak bude docíleno toho, že výstupy prvotní evidence dříví vyráběného harvestory budou mít potenciál pro jejich následné využití.

## 8 Seznam literatury a použitých literárních zdrojů

1. 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. Dostupné na: [http://nil.uhul.cz/data/documents/vysledky\\_projektu\\_nil2/tezba\\_drivi\\_lp\\_unor\\_2016.pdf](http://nil.uhul.cz/data/documents/vysledky_projektu_nil2/tezba_drivi_lp_unor_2016.pdf)
2. Anderson, B.; Dyson, P. 2002. *Evaluating the measuring accuracy of harvesters and processors*. Forest Engineering Research Institute of Canada. Pointe-Claire. Que. Advantage Report 3(4):19 s.
3. Apafaian, A.I.; Proto, A.R.; Borz, S.A. 2017. Performance of a mid-sized harvester-forwarder system in integrated harvesting of sawmill, pulpwood and firewood. *Annals of Forest Research*, 60: 227–241.
4. Bartoš, L. 2009. Kolik místa zbývá v našich lesích pro harvestory?. *Lesnická práce*, 88(5): 298–299.
5. Bembenek, M.; Mederski, P.; Karaszewski, Z.; Łacka, A.; Grzywiński, W.; Węgiel, 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.
6. Bergmann, A. 1997. Die Möglichkeiten eines modernen Bordcomputers, *Forst und Technik*, 7: 20–23.
7. BW-HKS. 1983. *Gesetzliche Handelsklassensortierung für Rohholz (Forst-HKS) mit Ergänzungsbestimmungen für BadenWürttemberg*, Ministerium für Ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten: Stuttgart, Germany. 25 s.
8. Bystrický, R.; Kajfosz, R.; Sirota, I.; Kodytek, A.; Staněk L. 2010. Zjištění rozlohy a porostní zásoby v lesích ČR, kde je možno využít pro lesnické hospodaření harvesterové technologie. Závěrečná zpráva – Úkol Mze č.j.: 28422/2010-16210, Brandýs nad Labem. [1–16.]
9. Carpenter, R.D.; Sonderman, D.L.; Rast, E.D.; Jones, M.J. 1989. *Defects in hardwood timber*. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 678, 88 s.
10. CITES. 2006. *Standard Procedure for the Measurement of Logs and Saw Wood of Timber Species Included in Appendices II and III*. In: Sixteenth meeting of the

- Plants Committee Lima (Peru), 3-8 July 2006, 11 s. Dostupné na: <https://www.cites.org/sites/default/files/eng/com/pc/16/E-PC16-19-03.pdf>.
11. Černý, M.; Pařez, J. 2005. Zjišťování objemu a sortimentace stojících stromů s využitím modelu tvaru kmene. *Lesnická práce*, 84 (12). Dostupné na: <http://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-84-2005/lesnicka-prace-c-12-05/zjistovani-objemu-a-sortimentace-stojicich-stromu-s-vyuzitim-modelu-tvaru-kmene>
  12. Černý, M.; Pařez, J. 2009. *Tabulky a polynomy pro výpočet objemu kulatiny bez kůry podle středové tloušťky měřené v kůře*, Lesnická práce s.r.o., ISBN 80-86386-26-0
  13. ČSN. 1977. *Norma ČSN 48 0009: Tabulky objemu kulatiny bez kůry podle středové tloušťky měřené v kůře*; ČSN: Praha, 592 s.
  14. Dejmal, J. 1973. *Výzkum kvantitativních a kvalitativních znaků limitujících tvorbou sortimentů surového dříví. Závěrečná zpráva Lesnické fakulty, Vysoká škola zemědělská, Brno*
  15. Dooley, T.; Layton, T.; Nieuwenhuis, M. 2006. The impact of calibration on the accuracy of harvester measurement of total harvest volume and assortment volume for Sitka spruce clearfells in Ireland. *Irish Forestry—The Journal of The Society of Irish Foresters*, 6 (1–2): 96–107.
  16. Dvořák, J. 2002. Rozvoj harvesterových technologií v LH, *Lesnická práce*, 81 (8): 364–365.
  17. Dvořák, J.; Bystrický, R.; Hošková, P.; Hrib, M.; Kováč, J.; Krilek, J.; Natov, P.; Natovová, L.; Lieskovský, M. 2012. *Využití harvesterových technologií v hospodářských lesích*. 1. vydání, Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, s.r.o., 156 s.
  18. Dvořák, J.; Chytrý, M.; Natov, P.; Jankovský, M.; Beljan, K. 2019. Long-term cost analysis of mid-performance harvesters in Czech conditions. *Austrian Journal of Forest Science*, 136(4): 351–372.
  19. 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.
  20. Dvořák, J.; Natov, P.; Chytrý, M. 2017. Comparison of different scaling methods of harvester-processed timber. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov*, 59(10): 19–26.



21. 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. Fundación Conde del Valle de Salazar: 97–111. Dostupné na: <https://www.formec.org/images/proceedings/2018/Proceedings2018.PDF>
22. Edwards, P.N. 1998. *Forestry Commission Booklet 49- Timber Measurement: A Field Guide*, HMSO: Edinburgh, UK, 64 s.
23. Eerikäinen, K. 2001. Stem volume models with random coefficients for *Pinus kesiya* in Tanzania, Zambia, and Zimbabwe. *Canadian Journal of Forest Research*. 31 (5): 879–888.
24. Faaland, B.; Briggs, D. 1984. Log Bucking and Lumber Manufacturing Using Dynamic Programming. *Management Science*, 30(2): 245–257.
25. Fang, Z.; Borders, B.E.; Bailey, R.L. 2000. Compatible volume-taper models for loblolly and slash pine based on a system with segmented-stem form factors. *Forest Science*, 46(1): 1–12.
26. Ferrari, E.; Spinelli, R.; Cavallo, E.; Magagnotti, N. 2012. Attitudes towards mechanized cut-to-length technology among logging contractors in Northern Italy. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27(8): 800–806.
27. Filho, A. F.; Schaaf, L. B. 1999. Comparison between predicted volumes estimated by taper equations and true volumes obtained by the water displacement technique (xylometer). *Canadian Journal of Forest Research*, 29(4): 451–461.
28. Fišer, K.; Provazník, L. 2012. *Měření a příjem dříví. Lesy České republiky– Pokyn výrobně technického ředitele 03/2009*, Hradec Králové: Lesy České republiky.
29. Gellerstedt, S.; Dahlin, B. 1999. Cut-to-length: the next decade. *International Journal of Forest Engineering*, 10: 17–25.
30. Gendek, A.; Wezyk, P.; Moskalik, T. 2018. Share and accuracy of estimation of logging residues in the total volume of harvested timber. *Sylvan*, 162: 679–687.
31. Gerasimov, Y.; Seliverstov, A.; Syunev, V. 2012. Industrial Round-Wood Damage and Operational Efficiency Losses Associated with the Maintenance of a Single-Grip Harvester Head Model: A Case Study in Russia. *Forests*, 3: 864–880.

32. Glöde, D.; Sikström, U. 2001. Two felling methods in final cutting of shelterwood, single-grip harvester productivity and damage to the regeneration. *Silva Fennica*, 35: 71–83.
33. Goulding, C.J.; Murray, J.C. 1976. Polynomial taper equations that are compatible with tree volume equations. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 5: 313–322.
34. Graves, H.S. 1906. *Forest Mensuration*. John Wiley and Sons, NY. 458 s.
35. Gross, J. 1995. *Sortimentace surového dříví*. Habilitační práce, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
36. Hamilton, G.J. 1975. *Forestry Commission Boklet No. 39—Forest Mensuration Handbook*; HMSO: London, UK, 274 s.
37. Hohmann, F.; Ligocki, A.; Frerichs, L. 2017. Harvester Measuring System for Trunk Volume Determination: Comparison with the Real Trunk Volume and Applicability in the Forest Industry. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov*, 10: 27–34.
38. Husch, B.; Beers, T.W.; Kershaw, J.A. Jr. 2003. *Forest Mensuration*, 4th ed. New York, NY, USA: JohnWiley and Sons. 443 s.
39. Hussain, A.; Shahzad M.K., He P., Jiang L. 2020. Stem taper equations for three major conifer species of Northeast China, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 35(8): 562–576.
40. Jankovský, M.; Natov, P.; Dvořák, J.; Szala, L. 2019. Norway spruce bark thickness models based on log midspan diameter for use in mechanized forest harvesting in Czechia. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 34(7): 617–626.
41. Jiroušek, R.; Klvač, R.; Skoupý, A. 2007. Productivity and costs of the mechanised cut-to-length wood harvesting system in clear-felling operations. *Journal of Forest Science*, 53(10): 476–482.
42. Kabeš, A. 2015. *Metodika pro kalibraci těžebních strojů a analýza výstupů dat dle StandForD*, disertační práce, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 142 s.
43. Kangas, A.; Maltamo, M. 2002. Anticipating the Variance of Predicted Stand Volume and Timber Assortments with Respect to Stand Characteristics and Field Measurements. *Silva Fennica*, 36(4): 799–811.

44. Karaszewski, Z.; Łacka, A.; Mederski, P.S.; Bembenek, M. 2018. Impact of season and harvester engine RPM on pine wood damage from feed roller spikes. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 39: 183–191.
45. Karaszewski, Z.; Łacka, A.; Mederski, P.S.; Noskowiak, A.; Bembenek, M. 2016. Damage caused by harvester head feed rollers to alder, pine and spruce. *Drewno*, 59: 77–88.
46. Karlsson, K. 2000. Stem Form and Taper Changes After Thinnings and Nitrogen Fertilization in *Picea abies* and *Pinus sylvestris* Stands. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 15: 621–632.
47. Kozak, A.; Munro, D.D.; Smith, J.H.G. 1969. Taper functions and their application in forest inventory. *For Chronicle*, 45(4): 278–283.
48. Laasasenaho, J.; Melkas, T.; Aldén, S. 2005. Modelling bark thickness of *Picea abies* with taper curves. *Forest Ecology and Management*, 206: 35–47.
49. Labelle, E.R.; Huß, L. 2018. Creation of value through a harvester on-board bucking optimization system operated in a spruce stand. *Silva Fennica*, 52: 1–22.
50. Labelle, E.R.; Soucy, M.; Cyr, A.; Pelletier, G. 2016. Effect of Tree Form on the Productivity of a Cut-to-Length Harvester in a Hardwood Dominated Stand. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 37(1): 175–183.
51. Lasák, O.; Němec, K. 1996. Víceoperační těžebně-dopravní stroje (TDS) v ČR, *Lesnická práce*, 74(11): 402–403.
52. LČR. 2019. *Výroba a prodej dříví na LS a LZ – procesní směrnice 8/2019*. Hradec Králové: Lesy České republiky, 42 s.
53. 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.
54. Li, R.; Weiskittel, A.R. 2010. Comparison of model forms for estimating stem taper and volume in the primary conifer species of the North American Acadian Region. *Annals of Forest Research*, 67(3): 302–302.
55. Liu, C.J. 1980. Log volume estimation with spline approximation. *Forestry Science*, 26: 361–369.
56. Loetsch, F.; Zöhrer, F.; Haller, K. 1973. *Forest Inventory*. BLV Verlagsgesellschaft, Vol II, 469 s.
57. Löwe, R.; Sedmíková, M.; Natov, P.; Dvořák, J.; Jankovský M. 2019. Analýza nevidovaného objemu dříví v přídavicích k délce výřezů při výrobě smrkového

- dříví harvesterovou technologií. *Zprávy lesnického výzkumu*, 64: 207–216.
58. Lukáč, T. 2005. *Viacoperačné stroje v lesnom hospodárstve*. Zvolen: Technická univerzita ve Zvolenu, 137 s.
59. 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.
60. Makkonen, I. 2001. *Factors affecting measurement accuracy on processing heads*. Forest Engineering Research Institute of Canada, Vancouver, Advantage Report 2(24)
61. Malinen, J.; Kilpeläinen, H.; Wall, T.; Verkasalo, E. 2006. Variation in the value recovery when bucking to alternative timber assortments and log dimensions. *Forestry Studies*, 45: 89–100.
62. Marenc, J.; Vadjal, J.; Kosir, B. 2009. Bucking of conifers using the Woody H60 Processors on the Syncrofalke 3T cable yarder in the Alpine foothills. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 88: 3–10.
63. Marshall, H.D. 2005. *An Investigation of Factors Affecting the Optimal Output Log Distribution from Mechanical Harvesting and Processing Systems*. Ph.D. Thesis, Oregon State University, Corvallis, OR, USA
64. Marshall, H.D.; Murphy, G.E.; Boston, K. 2006a. Evaluation of the economic impacts of length and diameter measurement error on mechanical harvesters and processors operating in pine stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 36: 1661–1673.
65. Marshall, H.D.; Murphy, G.E.; Lachenbruch, B. 2006b. Effects of bark thickness estimates on optimal log merchandising. *Forest Products Journal*, 56: 87–92.
66. Marusiak, M.; Neruda, J. 2018. Dynamic Soil Pressures Caused by Travelling Forest Machines. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 39: 233–245.
67. Mederski, P.S.; Bembenek, M.; Jakubowski, M.; Zinkevičius, R. 2008. Length accuracy of aspen logs harvested with CTL 40HW harvester head designed for broadleaved species. *Human and Nature Safety*, 14: 241–243.
68. Mederski, P.S.; Bembenek, M.; Karaszewski, Z.; Łacka, A.; Szcepanska-Álvarez, A.; Rosinska, M. 2016. Estimating and modelling harvester productivity in pine stands of different ages, densities and thinning intensities. *Croatian Journal of*

*Forest Engineering*, 37: 27–36.

69. Mederski, P.S.; Bembenek, M.; Karaszewski, Z.; Pilarek, Z.; Łacka, A. 2018. Investigation of Log Length Accuracy and Harvester Efficiency in Processing of Oak Trees. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 39: 173–181.
70. Moskalik, T.; Borz, S.A.; Dvořák, J.; Ferenčík, M.; Glushkov, S.; Muiste, P.; Lazdinš, A.; Styranivsky, O. 2017. Timber harvesting methods in Eastern European countries: a review. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 38(2): 231–241.
71. MZe. 2006. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2005 [online]. Praha, Ministerstvo zemědělství ČR: 135 s. [cit. 2020–11–10]. Dostupné na: [http://eagri.cz/public/web/file/6451/zelena\\_zprava\\_2005.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/6451/zelena_zprava_2005.pdf)
72. MZe. 2007. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2006 [online]. Praha, Ministerstvo zemědělství ČR: 128 s. [cit. 2020–11–10]. Dostupné na:  
[http://eagri.cz/public/web/file/6455/zelena\\_zprava\\_2006\\_cast\\_1.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/6455/zelena_zprava_2006_cast_1.pdf)  
a [http://eagri.cz/public/web/file/41611/zelena\\_zprava\\_2006\\_cast\\_2.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/41611/zelena_zprava_2006_cast_2.pdf)
73. MZe. 2009. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2008 [online]. Praha, Ministerstvo zemědělství ČR: 128 s. [cit. 2020–11–10]. Dostupné na: [http://eagri.cz/public/web/pub/fe/9/61/41365\\_45479\\_zz2008.pdf](http://eagri.cz/public/web/pub/fe/9/61/41365_45479_zz2008.pdf)
74. MZe. 2011. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2010 [online]. Praha, Ministerstvo zemědělství ČR: 128 s. [cit. 2020–11–10]. Dostupné na:  
[http://eagri.cz/public/web/file/138583/Zprava\\_o\\_stavu\\_lesa\\_2010.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/138583/Zprava_o_stavu_lesa_2010.pdf)
75. MZe. 2012. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2011 [online]. Praha, Ministerstvo zemědělství ČR: 136 s. [cit. 2020–11–10]. Dostupné na:  
[http://eagri.cz/public/web/file/175948/Zprava\\_o\\_stavu\\_lesa\\_2011.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/175948/Zprava_o_stavu_lesa_2011.pdf)
76. MZe. 2013. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2012 [online]. Praha, Ministerstvo zemědělství ČR: 132 s. [cit. 2020–11–10]. Dostupné na:  
[http://eagri.cz/public/web/file/263114/Zprava\\_o\\_stavu\\_lesa\\_2012.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/263114/Zprava_o_stavu_lesa_2012.pdf)
77. MZe. 2014. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2013 [online]. Praha, Ministerstvo zemědělství ČR: 134 s. [cit. 2020–11–10].

Dostupné na:

[http://eagri.cz/public/web/file/337394/Zprava\\_o\\_stavu\\_lesa\\_2013.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/337394/Zprava_o_stavu_lesa_2013.pdf)

78. MZe. 2016. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2015 [online]. Praha, Ministerstvo zemědělství ČR: 132 s. [cit. 2020–11–11]. Dostupné na: [http://eagri.cz/public/web/file/576970/ZZ\\_2015.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/576970/ZZ_2015.pdf)
79. MZe. 2018. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2017 [online]. Praha, Ministerstvo zemědělství ČR: 116 s. [cit. 2020–11–01]. Dostupné na: [http://eagri.cz/public/web/file/609179/Zprava\\_o\\_stavu\\_lesa\\_2017.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/609179/Zprava_o_stavu_lesa_2017.pdf)
80. MZe. 2019. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2018 [online]. Praha, Ministerstvo zemědělství ČR: 110 s. [cit. 2020–11–01]. Dostupné na: [http://eagri.cz/public/web/file/640937/Zprava\\_o\\_stavu\\_lesa\\_2018.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/640937/Zprava_o_stavu_lesa_2018.pdf)
81. MZe. 2020. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2019 [online]. Praha, Ministerstvo zemědělství ČR: 124 s. [cit. 2020–11–01]. Dostupné na: [http://eagri.cz/public/web/file/661268/Zprava\\_o\\_stavu\\_lesa\\_2019\\_WEB.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/661268/Zprava_o_stavu_lesa_2019_WEB.pdf)
82. Natov, P.; Dvořák, J. 2018. *Doporučená pravidla pro elektronický příjem dříví harvestory v ČR 2018*. Praha, Česká republika: Produkce BPP. 136 s.
83. Natov, P.; Dvořák, J.; Sedmíková, M.; Löwe, R.; Ferencík, M. 2017. Srovnání vyrobeného objemu dříví harvestorem se zásobou porostu stanovenou objemovými tabulkami. *Zprávy lesnického výzkumu*, 62(1): 1–6.
84. Neruda, J.; Simanov, V. 2006. *Technika a technologie v lesnictví*, 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 324 s.
85. Neruda, J.; Ulrich, R.; Kupčák, V.; Slodičák, M.; Messingerová, V. 2008. *Harvestorové technologie lesní těžby*. 1. vydání. Brno: Mendelova univerzita, 150 s.
86. Neruda, J.; Simanov, V.; Klvač, R.; Skoupý, A.; Kadlec, J.; Zemánek, T.; Nevrkla, P. 2015. *Technika a technologie v lesnictví: učební text pro předměty Technika a technologie v lesnictví, Základní procesy těžby a dopravy dříví, Technika a technologie lesní těžby a Technika a technologie dopravy dříví*. Díl druhý. Druhé, přepracované vydání. Brno: Mendelova univerzita
87. Nieuwenhuis, M.; Dooley, T. 2006. The effect of calibration on the accuracy of harvester measurements. *International Journal of Forest Engineering*, 17: 25–33.

88. Nummi, T. 1999. Prediction of Stem Characteristic for *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 14: 270–275.
89. Nurminen, T.; Korpunen, H.; Uusitalo, J. 2006. Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. *Silva Fennica*, 40: 335–363.
90. Nuutinen, Y.; Väätäinen, K.; Asikainen, A.; Prinz, R.; Heinonen, J. 2010. Operational efficiency and damage to sawlogs by feed rollers of the harvester head. *Silva Fennica*, 44: 121–139.
91. Olivera, A.; Visser, R. 2016. Development of forest-yield maps generated from Global Navigation Satellite System (GNSS)-enabled harvester StanForD files: preliminary concepts, *New Zealand Journal of Forestry Science*, 46(3): 1–10.
92. Opferkuch, M.; Jaeger, D.; Wagner, T. 2014. *Improved wood delivery by new scaling methods of Log piles*. In: Formec. 47th international symposium on forestry mechanisation: “forest engineering: propelling the forest value chain”, September 23-26, 2014 in Gerardmer, France. Dostupné na: <https://www.formec.org/images/proceedings/2014/a185.pdf>.
93. Özcelik, R.; Brooks, J.R. 2012. Compatible volume and taper models for economically important tree species of Turkey. *Annals of Forest Research*, 69(1): 105–118.
94. Pajkoš, M.; Klvač, R.; Neruda, J.; Mishra, P.K. 2018. Comparative Time Study of Conventional Cut-To-Length and an Integrated Harvesting Method—A Case Study. *Forests*, 9: 194.
95. Poleno, Z.; Vlková, V.; Rybníček, P. 1994. *Lesnický naučný slovník, díl I.*, Praha, Agrospoj: 743 s.
96. Priddle, J. 2005. *Computer – controlled optimisation in cut to length harvesting systems and associated data flows*, Gottstein fellowship report, 49 s.
97. Pulkki, R. 1997. Cut-to-length, tree-length or full tree harvesting? *Central Woodlands*, 1: 22–27.
98. Purfürst, F.T. 2010. Learning Curves of Harvester Operators. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 31: 89–97.
99. Sequens, J. 2007. *Dendrometrie*, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 152 s. Dostupné na: [https://katedry.czu.cz/storage/3844\\_Souhrn\\_Dendrometrie.pdf](https://katedry.czu.cz/storage/3844_Souhrn_Dendrometrie.pdf)
100. Shahzad, M.K.; Hussain, A.; Jiang, L. 2019. A model form for stem taper and volume estimates of Asian white birch (*Betula platyphylla*): a major commercial

- tree species of Northeast China. *Canadian Journal of Forest Research*, 50(3): 274–286.
101. Schlaghamerský, A. 2001a. Harvestorové technologie v lesních porostech, *Lesnická práce*, 80(4). Dostupné na: <http://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-80-2001/lesnicka-prace-c-4-01/harvestorove-technologie-v-lesnich-porostech>
102. Schlaghamerský, A. 2001b. Harvestorové technologie v lesních porostech III., *Lesnická práce*, 80(10). Dostupné na: <http://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-80-2001/lesnicka-prace-c-10-01/harvestorove-technologie-v-lesnich-porostech-iii>
103. Schlaghamerský, A. 2002. Harvestorové technologie v probírkách, *Lesnická práce*, 81(5). Dostupné na: <http://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-81-2002/lesnicka-prace-c-5-02/harvestorove-technologie-v-probirkach>
104. Simanov, V. 2003. Rozdíly v evidovaném objemu dříví. *Lesnická práce*, 82(2): 32–34.
105. Skogforsk. 2020. Project StanForD- Standard for Forest Data and Communications. [online]. The Forest Research Institute of Sweden. Upsala. [cit. 2020–11–11]. Dostupné na: <https://www.skogforsk.se/english/projects/stanford/>
106. Skogforsk. 2012. The Forest Research Institute of Sweden. Appendix- Standard for Forest Data and Communications. 18 April 2012, 32 s. [cit. 2020–10–10]. Dostupné na: [https://www.skogforsk.se/cd\\_20190114161714/contentassets/b063db555a664ff8b515ce121f4a42d1/appendix1\\_eng\\_120418.pdf](https://www.skogforsk.se/cd_20190114161714/contentassets/b063db555a664ff8b515ce121f4a42d1/appendix1_eng_120418.pdf)
107. Skoupý, A. 2011. *Multikriteriální hodnocení technologií pro soustředování dříví*. Lesnická práce s.r.o., Kostelec nad Černými lesy, 212 s.
108. Sládek, P.; Neruda, J. 2007. *Analysis of volume differences in measuring timber in forestry and wood industry*. In Proceedings of the Austro 2007/FORMEC'07: Meeting the Needs of Tomorrow's Forests—New Developments in Forest Engineering, Wien, Austria, 7–11 October 2007; 11 s.
109. Slanina, S. 2015. *Experimentální porovnání stávajících sortimentačních tabulek s STM daty z harvestorů*, Disertační práce, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 129 s.



110. Spinelli, R.; Hartsough, B.R.; Magagnotti, N. 2010. Productivity Standards for Harvesters and Processors in Italy. *Forest Products Journal*, 60: 226–235.
111. 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.
112. Spinelli, R.; Magagnotti, N.; Schweier, J. 2017. Trends and Perspectives in Coppice Harvesting. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 38(2): 219–230.
113. 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.
114. Strandgard, M. 2009. Evaluation of Manual Log Measurement Errors and Its Implications on Harvester Log Measurement Accuracy. *International Journal of Forest Engineering*, 20: 9–16.
115. Strandgard, M.; Walsh, D.; Acuna, M. 2013. Estimating harvester productivity in *Pinus radiata* plantations using StanForD stem files. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 28: 73–80.
116. Šimánek, M.; Fuksa, R. 2009. *Soubor tabulek pro krychlení surového dříví v desetinách a tyčoviny v setinách*, Lesnická práce s.r.o., ISBN 80-86386-52-X
117. Thomas, C.E.; Parresol, B.R. 1991. Simple, flexible, trigonometric taper equations. *Canadian Journal of Forest Research*, 21: 1132–1137.
118. Szewczyk, G.; Sowa, J.M. 2017. The accuracy of measurements in a time study of harvester operations. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 47:24.
119. Ulrich, R.; Kneifl, M.; Kadavý, J.; Mazal, P.; Neruda, J. 2005. *Aplikace metodiky výpočtu převodních koeficientů objemu rovnanného dříví pomocí počítačové analýzy obrazu a její verifikace prostřednictvím elektronické přejímky a stanovení koeficientů podle dřevin a sortimentů pro harvesterovou technologii*. MZLU: Brno, 42 s.
120. Šafařík, D.; Hlaváčová, P. 2015. Losses in the amount of produced and sold timber. *Procedia Economics and Finance*, 34: 51–57.
121. Ulrich, R.; Neruda, J.; Zeman, V. st.; Zeman, V. ml.; Zemánek, T. 2006. *Harvesterové technologie a jejich optimální využití v praxi*. 1. vydání. Brno: MZLU v Brně, 87 s.

122. Ulrich, R.; Schlaghamerský, A.; Štorek, V. 2002. *Použití harvestorové technologie v probírkách*, 1. vyd. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno. ISBN 80-715-7631-X.
123. Wiant, H. V.; Wood, G. B.; Gregoire, T. G. 1992. Practical guide for estimating the volume of a standing sample tree using either importance or centroid sampling. *Forest Ecology and Management*, 49(3-4): 333–339.
124. Wilhelmsson, L.; Arlinger, J.; Spangberg, K.; Lundquist, S.O.; Grahn, T.; Hedenberg, O.; Olsson, L. 2002. Models for Predicting Wood Properties in Stems of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 17: 330–350.
125. Wojnar, T. 2007. *Doporučená pravidla pro měření a třídění dříví v České republice 2008*, 2. vyd. Kostelec nad Černými lesy, Česká republika, Lesnická práce. 147 s.
126. Zakrzewski, W. T.; MacFarlane, D.W. 2006. Regional stem profile model for cross-border comparisons of harvested red pine (*Pinus resinosa* Ait.) in Ontario and Michigan. *Forest Science*, 52(4): 468–475.
127. Zinkevičius, R.; Steponavičius, D.; Vitunskas, D.; Činga, G. 2012. Comparison of harvester and motor-manual logging in intermediate cuttings of deciduous stands. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36: 591–600.

## 9 Seznam tabulek, obrázků a použitých zkratek

### Seznam tabulek

Tabulka 1: Přehled počtu registrovaných harvestorů od různých výrobců v České republice v roce 2019.....	17
Tabulka 2: Rozdělení kolových harvestorů dle velikosti a výkonu motoru.....	18
Tabulka 3: Objem výroby dříví v rámci těžebních technologií v České republice od roku 2005 do roku 2019 v tis. m <sup>3</sup> .....	22
Tabulka 4: Nejběžnější softwarové produkty výrobců s největším zastoupením v České republice.....	40
Tabulka 5: Ceníkové typy definující algoritmus pro výpočet objemu výřezu a způsob druhování výřezu, které je možné zvolit ve standardu StanForD při výrobě dříví harvestorovou technologií.....	42

### Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma popisující jednotlivé délkové rozměry výřezu vyráběného harvestorovou technologií včetně složení přídatku k délce.....	30
--	----

### Seznam použitých zkratek

GSM	Globální systém pro mobilní komunikaci
CAN	Controller Area Network
CTL	Cut-to-length method
ČR	Česká republika
ČSN	Česká státní norma
HKS	Handels Klassen Sortierung
KPZ	Kulatina pro průmyslové zpracování
NIL2	Národní inventarizace lesů ČR II

SDC	Skog Data Centre
StanForD	Standard for Forest Machine Data and Communication
STM	Soubor s informacemi o každém vyrobeném kmeni (z angl. stem=kmen)
ON	Oborová norma
P	Lokalita pařez
VM	Vývozní místo