



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Pavel Kopřivík

# Výpočet objemových ztrát vznikajících příčnými řezy a na přídavcích při výrobě dříví harvestorem

Katedra lesnických technologií a staveb

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jiří Dvořák, Ph.D.

Studijní program: Lesní inženýrství

Fakulta: Fakulta lesnická a dřevařská

Praha 2022

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Výpočet objemových ztrát a optimalizace druhování při výrobě dříví harvestorem ve vybraných výrobních podmínkách vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Jiřího Dvořáka, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby

V ..... dne .....

Podpis autora

V první řadě bych chtěl poděkovat svému vedoucímu, doc. Ing. Jiřímu Dvořákovi, Ph.D. za jeho cenné rady, odborné znalosti, čas strávený konzultacemi a celkové vedení. Mé poděkování patří také bezesporu mé rodině, manželce Kláře, synům Danielovi a Jiřímu za podporu při studiu a vytváření vhodných pracovních podmínek, ať už ve zkuškovém období nebo při psaní této diplomové práce a vlastně během celého studia. V neposlední řadě patří velký dík majiteli harvestoru, panu Miroslavu Burianovi za čas a trpělivost při sbírání dat v terénu, které mi poskytl. Závěrem bych rád poděkoval také všem vyučujícím, kteří se podíleli na mém studiu a celé ČZU, navštěvovat tuto akademickou půdu pro mě bylo velmi inspirující, bavilo mě a naplňovalo.

Velké díky Všem!

Title: Calculation of Timber Volume Losses in Case of the Cross Cutting and Allowances by CTL-method

Author: Pavel Kopřivík

Department: Department of Forestry Technologies and Construction

Supervisor: doc. Ing. Jiří Dvořák, Ph.D., Department of Forestry Technologies and Construction

Abstract: Fictitious or factual losses that arise during the production of wood are not entirely quantified, not even considering the diversity of wood production. These losses are also part of the disputes between volume differences, between forest management records (LHE) and the National Forest Inventory (NIL). Therefore the research tasks of the Department of Forestry Technologies and Constructions focus on them. From a multi-item list of these possible losses, the thesis focuses on the additional losses to the nominal length of the assortments, i.e. in excess and cutting windows, and losses arising from cross-sections when cutting wood. As part of the diploma thesis, the above losses were analyzed after the use of harvester technology. Samples (trees) were selected at three selected sites and the actual length of the manufactured assortments was measured. The allowance was calculated by the difference between the actual and nominal length and then spread over the excess and the cutting window. Employing the methods of mathematical and statistical analysis we calculated their volume, and converted it to a share of the volume of the mined log; a follow-up analysis was performed to determine the dependence of the additional volume on the volume of the harvested strain. The loss on cross-sections was analyzed similarly. From the results, a 1.3% share of the volume of timber harvested in excess was calculated, which, however, differs according to the type of assortment produced. The second actual loss, i.e. the volume of the harvester's cutting window, corresponds to 0.9% of the volume of wood produced. Cross-sectional losses account for 0.2%.

Keywords: assortment timber allowance, cutting window, actual loss

Název práce: Výpočet objemových ztrát vznikajících příčnými řezy a na přídavicích při výrobě dříví harvestorem

Autor: Pavel Kopřivík

Department: Katedra lesnických technologií a staveb

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Dvořák, Ph.D., Katedra lesnických technologií a staveb

Abstrakt: Fiktivní či faktické ztráty, které vznikají při výrobě dříví nejsou jednoznačně vyčísleny, a to i s ohledem na různorodost výroby dříví. Tyto ztráty jsou i součástí sporů mezi objemovými rozdíly, mezi lesní hospodářskou evidencí (LHE) a Národní inventarizací lesů (NIL) a proto se na ně zaměřují výzkumné úkoly Katedry lesnických technologií a staveb. Z několikapoložkového výčtu těchto možných ztrát je diplomová práce zaměřena na ztráty, které jsou v přídavicích ke jmenovité délce vyráběných sortimentů, tj. v nadměrcích a řezacích oknech, a ztráty vznikající příčnými řezy při krácení dříví. V rámci diplomové práce byly výše uvedené ztráty analyzovány po nasazení harvestorové technologie. Na třech vybraných stanovištích byly vybírány vzorníky (stromy) a u vyrobených sortimentů byla měřena skutečná délka. Přídavek byl vypočítán rozdílem mezi skutečnou a jmenovitou délkou a následně rozložen na nadměrek a řezací okno. Matematickou a statistickou analýzou byl vypočítán jejich objem přepočítán na podíl z objemu těženého kmene; navazující analýza byla prováděna pro zjištění závislosti objemu přídavek na objemu těženého kmene. Obdobným postupem byla analyzována ztráta vznikající na příčných řezech. Z výsledků byl vypočítán 1,3 % podíl z objemu vytěženého dříví v nadměrcích, který se ovšem liší podle druhu vyráběného sortimentu. Druhá faktická ztráta, tj. objem řezacího okna harvestoru, činila 0,9 % objemu vyrobeného dříví. Ztráty na příčných řezech byly vyčísleny na 0,2 %.

Klíčová slova: sortiment, nadměrek, řezací okno, faktická ztráta

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Cíle práce</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Harvestorová technologie</b>	<b>5</b>
3.1	Historie harvestorové technologie . . . . .	5
3.2	Harvestor . . . . .	7
3.2.1	Rozdělení harvestorů . . . . .	7
3.2.2	Hydraulický jeřáb . . . . .	9
3.2.3	Harvestorová hlavice . . . . .	9
3.2.4	Aktuální počty v ČR . . . . .	10
3.3	Podmínky potřebné k nasazení harvestorové technologie . . . . .	12
3.3.1	Sklonitost terénu . . . . .	12
3.3.2	Únosnost půdního povrchu . . . . .	13
3.3.3	Překážky v terénu . . . . .	13
3.3.4	Terénní klasifikace a technologické typizace . . . . .	13
3.3.5	Charakter těžebního zásahu a zpracované suroviny . . . . .	15
3.3.6	Období těžby . . . . .	16
3.4	Rozdělení postupů harvestorové technologie . . . . .	16
3.4.1	Komplexní harvestorová technologie . . . . .	16
3.4.2	Komplexní harvestorová technologie skrytou linkou . . . . .	17
3.4.3	Harvestorová technologie s motomanuální těžbou v mezizóně . . . . .	17
3.4.4	Kombinace komplexní harvestorové technologie a klasické technologie pro těžbu a transport dříví z mezizóny . . . . .	18
3.4.5	Nekomplexní technologie s vyvážecím traktorem . . . . .	18
3.4.6	Nekomplexní technologie s harvestorem . . . . .	18
3.5	Výhody a nevýhody harvestorové technologie . . . . .	18
3.5.1	Výhody harvestorové technologie . . . . .	19
3.5.2	Nevýhody harvestorové technologie . . . . .	20
3.6	Sortimentní metoda . . . . .	21
3.7	Potenciál využití harvestorové technologie v ČR . . . . .	22
<b>4</b>	<b>Výčet fiktivních a faktických ztrát při výrobě dříví harvestory</b>	<b>24</b>
4.1	Fiktivní ztráty . . . . .	24
4.2	Faktické ztráty . . . . .	24
<b>5</b>	<b>Měření a výpočet objemu dříví</b>	<b>26</b>
5.1	StanForD . . . . .	26
5.2	Softwarové systémy harvestoru . . . . .	28
5.2.1	Výrobně-plánovací software . . . . .	28
5.2.2	Výrobně-evidenční software . . . . .	28
5.3	Kontrolní měření kalibrace . . . . .	28
5.4	Nadměrek . . . . .	30
5.5	Řezací okno . . . . .	31

<b>6</b>	<b>Metodika diplomové práce</b>	<b>32</b>
6.1	Měřené dříví . . . . .	32
6.1.1	Výpočet objemu . . . . .	32
6.1.2	Výpočet chyby . . . . .	32
6.2	Nadměrek . . . . .	33
6.2.1	Výpočet objemu . . . . .	33
6.2.2	Výpočet chyby . . . . .	34
6.3	Řez . . . . .	35
6.3.1	Výpočet objemu . . . . .	35
6.3.2	Výpočet chyby . . . . .	36
6.4	Řezací okno . . . . .	36
6.4.1	Objem řezacího okna . . . . .	36
6.4.2	Chyba objemu . . . . .	37
6.5	Přídavek . . . . .	37
6.5.1	Objem přídatku . . . . .	37
6.5.2	Chyba určení přídatku . . . . .	37
<b>7</b>	<b>Výsledky měření</b>	<b>38</b>
7.1	Postup měření . . . . .	38
7.2	Výrobní lokalita . . . . .	38
7.2.1	Měření I. - Pracoviště č. 1 . . . . .	38
7.2.2	Měření II., III. - Pracoviště č. 2 . . . . .	39
7.3	Analýza dat . . . . .	39
7.3.1	Objemové závislosti vybraných veličin . . . . .	41
7.3.2	Kumulativní objemové závislosti . . . . .	43
<b>8</b>	<b>Diskuse výsledků</b>	<b>46</b>
8.1	Objemové závislosti . . . . .	46
8.2	Kumulativní objemové závislosti . . . . .	47
<b>9</b>	<b>Závěr</b>	<b>49</b>
	<b>Seznam použité literatury</b>	<b>50</b>
	<b>Seznam obrázků</b>	<b>54</b>
	<b>Seznam tabulek</b>	<b>55</b>
	<b>Seznam zkratk</b>	<b>56</b>

# 1. Úvod

V první části práce rozebíráme dostupnou literaturu ohledně druhování dříví a harvesterové technologie. Na základě této literární rešerše bude následně provedena hloubková analýza vybraných závislostí jednotlivých objemů.

V metodické části práce jsme se snažili ze základního vztahu (Huberův vzorec) pro výpočet objemu sortimentu odvodit upřesňující vztahy pro výpočet objemu přídávku, který se skládá z objemu řezacího okna a objemu nadměrku. Odvozené vzorce mají lépe popsat objem celého sortimentu, jelikož zohledňují přepočtení středové tloušťky vzhledem ke každému dílčímu objemu.

Specificky jsme se věnovali odvození objemu ztráty zapříčiněné příčnými řezy. Na základě velmi tenkého seříznutého rotačního kuželu byl zvolen postup integrace vzhledem k měnící se funkci poloměru s konstantní hodnotou výšky daného útvaru.

V poslední pasáži metodického přístupu jsme zkoumali správnost odvozených vzorců pomocí přístupu parciálních derivací pro výpočet chyby nepřímého měření. Tato chyba by měla být zatížena převážně chybou použitého měřicího přístroje, chybou zaokrouhlování, které je pro tento typ výpočtů normaticky stanovena a chybou určenou charakterem proměnných v daných rovnicích. Tyto chyby zajistí, že použité vzorce jsou v souladu s reálnými objemy, které dané kmeny skutečně měly.

V závěrečné části práce jsme vykreslili požadované objemové závislosti a zkoumali korelaci mezi nimi. Dále jsme vykreslili objemové kumulativní závislosti vzhledem ke zvyšujícímu se počtu sortimentů, přičemž jsme tentokrát zkoumali charakter dané křivky. Následně jsme stanovili diskusi se zřetelem na grafickou interpretaci závislostí.



## 2. Cíle práce

Hlavním cílem této diplomové práce je zjištění objemových ztrát v důsledku příčných řezů a na přídavicích vznikajících při výrobě dříví harvestorem. Na tento hlavní cíl navazují primární dílčí cíle práce a to zkoumání objemových závislostí celkového nadměrku, řezacího okna a řezu kmene na celkovém objemu kmene. Současně se značná část úsilí bude soustředit na sekundární dílčí cíl práce a to zkoumání kumulativních závislostí objemu nadměrku, řezacího okna a řezu v porovnání s objemem kmene v závislosti na rostoucím počtu kmenů.

Vzhledem k těmto cílům diplomové práce byla dodatečně vypracována teorie upřesnění výpočtů jednotlivých částí přídavku, tedy objem nadměrku, objem řezu a objem řezacího okna.

## 3. Harvestorová technologie

Harvestorovou technologii dnes označujeme za nejmodernější, nejbezpečnější a také nejméně fyzicky náročný způsob provádění těžby a vyvážení dříví. Vysoká efektivita výroby je zajištěna velkou rychlostí všech pracovních operací, ale také dokonalým druhováním a zatříděním vyrobených sortimentů. Harvestor jako víceoperační stroj provádí několik výrobních operací v nepřetržitém sledu, souběžně probíhá měření a výpočet objemu vyrobeného dříví výrobně-evidenčním softwarem harvestoru. Nedílnou součástí moderní harvestorové technologie je druhý dopravní stroj, vyvážecí traktor (forwarder), který vyváží vyrobené dříví na odvozní místo, kde jej ukládá do jednotlivých hromad dle sortimentu. Výsledkem je zejména urychlení celého výrobního procesu. Společné nasazení obou těchto strojů představuje nejefektivnější variantu harvestorové technologie. Harvestor a vyvážecí traktor tak tvoří technologický celek, který je označován jako harvestorový uzel (Dvořák et. al 2012).

Tyto stroje jsou speciálně navrženy a zkonstruované pro práci v lesním prostředí a klade se důraz na jejich šetrnost k přírodě. V současné době se výrobci se zaměřují na vývoj vedoucí k nutné minimalizaci dopadů pohybu strojů v porostech (Macků 2015). Poškození porostů ovšem také ve velké míře závisí na odbornosti a odpovědnosti operátora a na odpovídajících výrobních podmínkách, do kterých jsou stroje nasazovány.

Riziko poškození porostů, ve kterých pracují tyto stroje lze dále značně snižovat kvalitní technickou přípravou výroby a zodpovědnou volbou těžební a dopravní technologie zejména s ohledem na místní podmínky dané lokality. Zohledněním těchto aspektů lze dosáhnout velmi dobrých výsledků, kdy podíl poškozených stromů spadá k hranici 5% (Malík, Dvořák, 2007).

### 3.1 Historie harvestorové technologie

První víceoperační těžební stroje se ve světě začaly objevovat již koncem 40. let minulého století. Jednalo se o velmi těžké stroje s hmotností často přes 40 tun, které měly tudíž malou průchodnost terénem, produktivita práce nedosahovala dnešní úrovně a jejich měřicí a evidenční systémy byly velmi nedokonalé (Mrňák 2017).

První dovezené těžební stroje v tehdejší Československé republice byly nasazeny v první polovině 70. let. Šlo o jednooperační kácecí stroje a na ně navazující odvětvovací stroje Logma, které byly koncem 70. let nahrazeny prvními harvestory Volvo a ÖSA. V tomto případě se jednalo o dvojúchopové harvestory první generace, kdy kácení prováděla kácecí hlavice na rameni hydraulického jeřábu, odvětvování a druhování zajišťovala druhá procesorová hlavice umístěná na podvozku stroje. Tyto stroje dosahovaly na tehdejší dobu bezkonkurenční produktivity práce při zachování relativní bezpečnosti oproti motomanuálním těžbám, ale jejich nasazení v prakticky jakýchkoliv výrobních a klimatických podmínkách kvůli dosažení maximální výkonnosti způsobilo mnoho nenávratných ekologických

škod (Mrňák 2017).

Významným milníkem v historii vývoje harvestorových technologií byl rok 1987, kdy se ve světě objevily první jednoúchopové stroje, tzv. harvestory druhé generace. Tyto stroje již disponovali těžební hlavici na hydraulickém jeřábu, která dokázala strom pokácet, odvětvit, rozmanipulovat a vyklidit k vyvážecí lince na jedno uchopení. Současně byly na těžební hlavici zdokonaleny podávací válce, odvětvovací nože a také především měření a registrace vyrobeného dříví (Wilde-  
man, 2011). Díky této modernizaci technologie, která výrazně zvýšila produktivitu práce, vznikla možnost šetrného a efektivního způsobu provádění dosud nerentabilních výchovných těžeb v nejmladších porostech. Tyto nové harvestory se prosa-  
dily v průběhu 90. let především v soukromých lesích v Německu a ve Švýcarsku (Ulrich et. al 2002). Tím došlo k dalšímu rozsáhlejšímu rozšíření harvestorů a k návratu a vzestupu používání sortimentní těžební metody, kterou tyto typy harvestorů pracovaly (Jaeger 2017).

V České republice se objevilo v 90. letech několik těchto harvestorů značky Timberjack a byly využívány v porostech do 40 let věku při výchovných zásazích (Lasák, 1996). Pro vojenské lesy v této době pracovaly finské úzkozáběrové harvestory Makeri, které měly těžební hlavici připevněnou přímo k přednímu rámu. Harvestor dojel až ke stromu, který pokácel nožovým kácecím ústrojím a vyvezl nastojato k vyvážecí lince, kde strom odvětvil a vydrůhoval sortimenty (Brožek 2009). Vlivem častých přesunů do těsné blízkosti těžného stromu docházelo k poměrně silnému poškození kořenových náběhů kovovými pásy, kterými byly stroje vybaveny. Ve smrkových porostech se proto tyto harvestory příliš neosvědčily a byly nasazovány v oblastech severní Evropy do borových monokultur (Dvořák 2012).

Tato etapa ojedinělých využití těžebně dopravních strojů, skončila zhruba v polovině 90. let, kdy dochází v celém středoevropském regionu k masivnímu rozvoji harvestorové technologie. Největší rozvoj uplatnění harvestorů a jimi prováděné sortimentní metody lze pak pozorovat v českých zemích zvláště po roce 2000 (Dvořák 2012).

Od této doby dochází k postupnému nasazování harvestorových technologií do předmýtních a mýtních těžeb. V současné době je harvestorová technologie nejvíce nasazována do nahodilých těžeb zejména pod vlivem kůrovcové kalamity. V tomto širokém spektru těžebních prací nachází nejvíce uplatnění středněvýkonové harvestory (71 - 140 kW). Tyto stroje nepřesahují svou hmotností 14 tun a zatížení půdy je u nich ještě sníženo použitím moderních širokoprofilových a nízkotlakých pneumatik. Společně se zodpovědným přístupem technickohospodářských pracovníků při technologické přípravě a operátorů při těžbě můžeme pokládat tuto harvestorovou technologii za velmi šetrnou k lesnímu prostředí.

Můžeme konstatovat, že v současné době, s přibývajícimi dobrými zkušenostmi lesních hospodářů a správců s využitím harvestorových technologií v nejrůznějších výrobních podmínkách, téměř vymizela počáteční nedůvěra lesnické veřejnosti k víceoperačním strojům, o čemž svědčí stále rostoucí počet harvestorů u nás a také

zvyšující se podíl harvesterové těžby (Malík, Dvořák 2007).

V současnosti o tom, že harvesterová těžba prováděná po zodpovědné technologické přípravě nezpůsobuje nadměrné poškození životního prostředí a nákladovost, kvalita a produktivita práce překonává ostatní technologie, nelze pochybovat. Harvesterová technologie tak má v dnešním evropském, potažmo českém lesnictví, nezastupitelné místo a s ohledem na stále složitější situaci s manuálními pracovními silami a vývojem kůrovcové kalamity je téměř jisté, že její význam a podíl využití bude nadále stoupat (Mrňák 2019).

## 3.2 Harvester

V současné době jsou harvestory považovány za nejmodernější těžebně-dopravní systémy v lesním hospodářství. Jedná se o víceoperační těžební stroj, který kromě samostatného pohybu terénem kácí, odvětvuje, druhuje dříví na sortimenty a vyklizuje ho na vývozní místo u vyvážecích linek. Všechny pracovní operace se dějí v jednom kontinuálním cyklu, ale některé činnosti probíhají i souběžně (např. přemísťování, odvětvování, druhování). Pracovní cyklus může být automatizovaný nebo plně mechanizovaný a řízený operátorem harvesteru v reálném čase (Lukáč, 2005).

Harvestory byly zkonstruovány zejména pro zpracování jehličnaté dřeviny, původně smrku a borovice skandinávského typu, kde je odlišný štíhlostní koeficient na rozdíl od dřevin rostoucích v našich podmínkách. Při zpracování kmenů borovice dochází mnohdy k problémům s odvětčováním, protože jejich větve jsou silnější a tvrdé, stejně tak následná výroba sortimentů je vzhledem k vyšší křivosti u borovice obtížnější než u rovného smrku. Příčinou zvýšené poptávky po harvesterové technologii v současnosti je nahodilá těžba z důvodu hmyzové kalamity, která postihuje zejména smrkové porosty. Přijatelné pracovní podmínky pro harvestory mají i mladší bukové porosty, s větším zastoupením rovných stromů (Schlaghamerský, 2001, Dvořák et. al 2012).

### 3.2.1 Rozdělení harvesterů

Harvestory se dělí z několika hledisek, např:

- Podle výkonu motoru – malovýkonové, středněvýkonové a vysokovýkonové. Od výkonu motoru se odvíjí i parametry strojů a jeho nástaveb (např. hydraulický jeřáb).
- Podle druhu podvozku – kolové, pásové, krácející a kombinované (Neruda et. al, 2008)

Ze všech těchto řešení se nejčastěji dodávají na trh kolové verze harvesterů. Kolový podvozek je v rámci použití univerzálnější, protože umožňuje řádově vyšší pojzdovou rychlost, možnost přejezdu po veřejných komunikacích atd. Kolové verze harvesterů mohou zvládnout terén do sklonu 35%, při vyšším sklonu jsou doporučovány spíše pásové a krácející harvestory (Dvořák 2012). Jsou také schopny pohybovat se na podloží, které snese tlak

	malý	střední	velký
Výkon motoru (kW)	do 70	70-140	nad 140
Hmotnost (t)	4-9	9-13	14-15 (18)
Hmotnatost vhodné těžby (m <sup>3</sup> /kmen)	do 0,15	do 0,35	nad 0,35
Šířka (cm)	160-240	240-280	260-290
Max. úřez (cm)	20-35	36-45	46-65
Výkonnost (m <sup>3</sup> /Mth)	3-5	4-8	5-15
Roční výkonnost (v tisících m <sup>3</sup> /rok)	8	12	18

Tabulka 3.1: Rozdělení harvestorů podle rozměrů a výkonu (Ulrich et al, 2006)

od cca 100 kPa, případné problémy s únosností lze řešit použitím kolopásů, které lze použít pouze na tandemové nápravy. Čtyřnápravové stroje vybavené kolopásky jsou tak schopny projíždět i na podmíněně únosných podkladech. Naproti tomu stojí možnost použít řetězy pro zvýšení trakce kolového harvestoru. Používány bývají na jednotlivá kola v terénech, kde naopak dochází k prokluzu kol, nikoliv k jeho propadnutí (Bambuška 2016). Nápravy harvestorů mohou být pevné, výkyvné nebo tandemové (boogie), charakteristické pro šesti- a osmikolové stroje. Hřídele kol jsou zde pevně připevněny ke společnému rámu a tento rám je kyvně upevněn na čepu upevněném na rámu podvozku stroje. Výkyv společného rámu je omezen dorazy. Tato náprava umožňuje stále rovnoměrné zatížení všech kol, snížení měrného tlaku na půdu a menšímu bočnímu náklonu harvestoru při přejíždění určitých překážek (Neruda, Simanov 2006).

Harvestory s pásovým podvozkem jsou druhým nejpoužívanějším typem harvestorů po kolových. Nekonečné kovové pásy jsou složeny z jednotlivých článků, které jsou nejčastěji jednobřité, nebo trojbřité, zajišťující vyšší trakci. Hydraulický systém ovládající pohyb pásů má samostatný uzavřený okruh pro levý i pravý pás, tím je usnadněno směrové řízení stroje, které je uskutečňováno změnou rychlosti pohybu jednotlivých pásů. Pásový podvozek zabezpečuje vynikající trakci v podmínkách méně únosného terénu a výhody jsou patrné zejména při nasazení na podmíněně únosných stanovištích (Pitor 2008). Nevýhoda těchto strojů spočívá v nižší operační mobilitě a nutnosti převážet stroj i v rámci jednoho výrobního bloku (Lukáč 2005, Neruda et. al, 2008).

Kráčející verze harvestorů má vysoce sofistikovaný řídicí systém a každá ze šesti noh je elektronicky propojena s ostatními nohami, takže tlak na podloží pod každou nohou se kontroluje kontinuálně a také přerozděluje podle okamžitého stavu. Stroj se může pohybovat do všech stran a po diagonále, také se může otáčet na místě (Lukáč 2005). Stroje s kráčejícím podvozkem jsou používány ojediněle a můžeme mluvit stále o fázi prototypů. Harvestory s kombinovaným podvozkem jsou zpravidla na klasickém bagrovém podvozku. Jedná se o podvozky vybavené párem teleskopických stabilizačních podpěr a párem kol zajišťujících stabilitu stroje ve svazích s velkým podélným i příčným sklonem a v terénech, které jsou svým charakterem pro harvestory s jiným typem podvozku neprůjezdné (Pitor 2008).

- Podle technologie zpracování stromu – jednoúchopové harvestory s těžební hlavicí a dvojúchopové s kácející hlavicí, která strom pokácí a následně vloží do výkyvné procesorové hlavice nesené na zadním podvozku harvestoru) (Dvořák 2012).
- Podle umístění těžební hlavice - širokozáběrové (těžební hlavice je umístěna na hydraulickém jeřábu) a úzkozáběrové (hlavice je přímo na rámu stroje, který provádí těžbu (Malík, Dvořák, 2007).

### 3.2.2 Hydraulický jeřáb

Je kloubový hydraulický mechanismus, manipulující s harvestorovou hlavicí, která je na jeho konci upevněna na rotoru. Nosnost hydraulického ramene se udává v kilonewtonmetrech, zdvihací moment je dán součinem délky ramena v metrech a zdvihové síly při konkrétní délce ramene v kilonewtonech. Dle celkového zdvihového momentu lze jeřáby dělit na malé (do 40  $kNm$ ), střední (okolo 100  $kNm$ ) a velké (okolo 160  $kNm$ ) (Dvořák 2012).

Pohyb jeřábu je zajištěn hydraulickým systémem, který ovládá i další činnosti, například pohyb rotátoru s hlavicí, pohyb odvětovacích nožů a podávacích válců a v neposlední řadě také řezací ústrojí těžební hlavice (Pitor 2008).

Jeřáby se dělí také dle konstrukce na výkyvné, paralelní a teleskopické. Výložníky výkyvného jeřábu jsou poháněny přímočarými hydraulickými motory, je to nejjednodušší koncepční řešení s nižší nosností (vyvážecí traktory a malé harvestory). Paralelní jeřáb, jenž je obdobou výkyvného jeřábu, je vybaven paralelně vedenými rameny, které jsou ovládány přes kloubový mechanismus (Pivoňka 2012). U teleskopického jeřábu převažují teleskopicky výsuvné výložníky a mají zaručenou nejvyšší nosnost.

Uložení hydraulického jeřábu u moderních harvestorů může být na boku kabiny operátora, před kabinou na předním rámu nebo i nad kabinou (Dvořák 2012).

### 3.2.3 Harvestorová hlavice

Úkolem harvestorové hlavice je pokácet, odvětvit a nařezat strom na požadovanou délku a uložit jednotlivé sortimenty na vývozní místo. Dále je vybavena měřícími mechanismy pro měření tloušťky a délky vyráběného dříví. Typická harvestorová hlavice se skládá z nožového nebo řetězového řezacího mechanismu. V současné době se používá řetězový, je lehčí a na řezné ploše nevytrhává dřevní vlákna, nezpůsobuje vznik trhlin a rozvláknění dřeva v oblasti řezu. Pohon řetězu i lišty je hydraulický. Kácecí mechanismus slouží k pokácení a směrovému přetlačení stromu do požadovaného směru. Skládá se ze dvou částí – podřezávací mechanismus s úkolem strom co nejrychleji podřezat a navalovací mechanismus, který podřezaný strom přetlačí do požadovaného směru pádu anebo přímo přenesení na místo uložení (Dvořák 2012).

Dále se na hlavicí nachází jeden pevný a dva a více konkávních pohyblivých odvětovacích nožů, odstraňující větve po obvodu stromu a dva rotující válce,

kteří zajišťují posuv kmene přes těžební hlavici (Dvořák 2012). Odvětvovací mechanismus zajišťuje odvětvení kmene stromu. Odvětvovací nože by měli být schopné co nejlépe kopírovat tvar kmene. Konstrukčním řešením odvětvovacích nožů jsou tvary řezacího obrysu nože parabolický nebo kružnicový a tvary příčného profilu nože jednostranné (přímý, s držákem) a oboustranné (přímý, tvarovaný) (Mrenica 2005). Podávací mechanismus zabezpečuje podélný posun kráceného kmene mezi jednotlivými pracovními mechanismy. Nejčastěji používaným podávacím ústrojím jsou podávací válce, které se ke kmenu pevně přitlačují pomocí přímočarých hydromotorů, díky nimž se dosahuje velké tažné síly. Podávací válce mohou být ocelové, pogumované nebo pneumatikové, nebo také složené z různých kovových segmentů (Dvořák 2012).

Výrobci začali také nabízet harvesterové hlavice s větším počtem podávacích kotoučů místo tradičního páru. Poskytují pevné uchopení stromu, tlak je odkloněn od nožů, kterým je tím umožněna koncentrace pouze na odvětvení a možnost práce i při nízkých tlacích. Čtyřválcové hlavice, tzv. „finský“ typ disponují kompaktnější konstrukcí a dokáží lépe kopírovat povrch kmene. Jsou také vhodné nejen pro práci s rovnými kmeny, ale i křivými, vlivem menší velikosti jsou schopné kvalitního kopírování křivých kmenů. Dvouválcové hlavice, tzv. „švédský“ typ mají robustnější konstrukci, delší základní rám a válce disponují o několik procent větší silou. Tím jsou vhodné pro práci s dlouhými a rovnými kmeny s minimálním počtem nerovností a uplatnění nalézájí zejména v jehličnatých smrkových porostech (Dvořák 2012).

Dalším možným způsobem podávání je podávání pomocí řetězového dopravníku se speciálními úchopovými mechanismy, pásovými mechanismy a lanovými systémy (Coombie 1992).

Některé harvesterové hlavice mohou být vybaveny zařízením, které je schopné označovat vyráběné sortimenty. Označení probíhá prostřednictvím barev, což usnadňuje identifikaci sortimentů při jejich nakládání při vyvážení (Pitor 2008).

### 3.2.4 Aktuální počty v ČR

V roce 2020 bylo v České republice v provozu 938 harvesterů, z toho 901 kolových a 37 pásových. 283 strojů je vybaveno těžební hlavici s úřezem do 55 cm, což je předpoklad k jejich uplatnění pro práci v kůrovcových kalamitních těžbách s vyšším objemem těženého kmene, jejichž rozsahy v posledních letech trvale stoupají. Harvesterů, které jsou vybaveny těžebními hlavicemi s úřezem do 62, 72 a 75 cm je celkem 655 kusů. Zajímavým údajem je také stáří strojů provozovaných na našem území. 563 harvesterů (60%) bylo vyrobeno do roku 2009 a jen 375 (40%) strojů je mladších než 10 let. Je pravděpodobné, že starší stroje nebudou již v nejlepší kondici a náklady na jejich opravy ztlačí ekonomiku s jejich provozem v budoucnu (MZe, 2003).

Výrobce	Celkem	%	Z toho dle úřezu kácecí hlavice				Z toho dle roku výroby			
			do 55 cm	do 62 cm	do 72 cm	do 75 cm	až 1995	1995-2000	2001-2009	2010-2020
John Deere	436	48,4	65	104	183	84	20	38	211	167
Rottne	182	20,1	87	53	6	36	0	3	110	69
Komatsu	51	5,6	17	9	21	4	0	8	36	7
Ponsse	135	14,9	11	0	15	109	3	2	66	64
Logset	22	2,4	1	2	5	14	0	0	11	11
HSM	5	0,5	2	0	2	1	0	0	0	5
Sampo	34	3,8	31	2	0	0	0	0	12	22
Gremo	3	0,3	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	2,7	0	0	0	0	0	0	6	12
UTC 10-67	1	0,1	1	0	0	0	0	1	0	0
Entracon	10	1,0	10	0	0	0	0	0	2	8
Kolové celkem	901	100	248	172	233	248	25	53	456	367
Kaiser	1	2,7	0	0	0	1	0	0	0	1
Menzi Muck	3	8,1	3	0	0	0	0	0	3	0
MHT Linz	32	86,5	31	1	0	0	0	4	21	7
Königs Tiger	1	2,7	1	0	0	0	0	0	1	0
Pásové celkem	37	100	35	1	0	1	0	4	25	8
Celkem	938	100	283	173	233	249	25	57	481	375
Procesor Hyplo	3		3	0	0	0	0	0	3	0

Tabulka 3.2: Harvestory podle velikosti a roku výroby



Při zjišťování počtu harvestorů v centrálním registru vozidel bylo projektovým šetřením v roce 2015 zjištěno jen 93 registrovaných harvestorů oproti počtu 531 ks uváděných v „Zelené zprávě“ MZ ČR (Dvořák, Natov 2016). Jak autoři v důvodové zprávě uvádějí, je třeba si uvědomit, že registrace harvestorů jako pracovních strojů v centrálním registru vozidel není povinná v případě, že nejsou provozovány na veřejných účelových komunikacích (lesní cesty) a veřejných komunikacích. I v případě registrování harvestorů v uvedeném registru je však identifikace stroje zejména z důvodu způsobu zápisu obtížná (Dvořák, Chytrý 2017). Autoři zde uvádí, že početní stavy v „Zelené zprávě“ se zdají být nadhodnocené. V současnosti lze s autory jen souhlasit, vezmeme-li v potaz počet strojů a objem vytěženého dříví sortimentní metodou uváděných aktuální „Zelenou zprávou“.

### **3.3 Podmínky potřebné k nasazení harvestorové technologie**

Harvestorové technologie nemohou být využívány neomezeně na všech stanovištích. Využití těchto technologií je vázáno na určité výrobní podmínky. Pokud by se tyto podmínky neakceptovaly, mohlo by dojít ke způsobení škody na porostu, nebo na samotném harvestoru (Bambuška 2016).

Při plánování nasazení harvestorové technologie pro těžbu dříví je nutné posuzovat několik limitních podmínek. Mezi prioritní jsou řazeny terénní a přírodní podmínky, zejména sklonitost, únosnost a překážky v terénu, dále také charakter těžebního zásahu a zpracovávané suroviny (Dvořák 2012) a v neposlední řadě také období těžby (Kabeš 2015).

#### **3.3.1 Sklonitost terénu**

Největší výkonnosti dosahují harvestorové technologie na rovinách. V posledních letech jsou nasazovány i do svažitého terénu s různou sklonitostí (Kabeš 2015). Nejpoužívanější kolové harvestory zvládnou pracovat v podélném sklonu svahu, tj. po spádnicí do 35%, ve výjimečných případech, dle stavu pojezdového povrchu až do 50% (Staempfer 1999), při vyšší sklonitosti přicházejí v úvahu pouze pásové, kombinované a krácející varianty podvozků (Dvořák 2012). Při pojezdu v příčném sklonu svahu je stabilita harvestoru malá a dovoluje pouze maximální 10% sklon (Schlaghamerský 2002). Na prudších svazích lze zajistit harvestor při pohybu stroje po spádnicí s ním synchronizovaným trakčním navijákem a výrazně zvýšit svahovou dostupnost a stabilitu stroje. Některé typy harvestorů jsou vybaveny nivelací kabiny, také kola podvozku lze přizpůsobit sklonu svahu, čímž se zvýší příčná stabilita stroje při pojezdu po vrstevnici, obecně je ale mobilita strojů a tím i jejich výkonnost na této terénní podmínce velmi závislá. Značnou nevýhodou strojů v případě jejich dlouhodobého nasazení ve vysoké sklonitosti je přelévání olejové lázně do níže položeného místa, čímž dochází ke špatnému mazání některých komponentů a následnému riziku poškození mechanismů (Dvořák 2012).

### 3.3.2 Únosnost půdního povrchu

Půdní povrch je jedním z nejdůležitějších podkladů pro lesní produkci. Lesní půda představuje složitý systém pro život organismů, produkci a životní podmínky rostlin, ale také zajišťuje hydrologické procesy a řadu dalších funkcí. Tyto půdní poměry lze těžební a dopravní činnostmi prostřednictvím harvesterové technologie velmi narušovat. Při stlačování půdy dochází ke zvýšení její objemové hmotnosti, zhoršení propustnosti vody půdou a také nárůstu nebezpečí vodní eroze. U kořenů stromů dochází ke zvyšování mechanického odporu, narušení kořenového systému a také horšímu zásobování vodou a kyslíkem, což se může projevit snížením přírůstu (Dvořák 2012).

K narušení struktury půdního povrchu dochází v závislosti na dvou skupinách faktorů. První skupinou jsou vlastnosti půdy a jejich stav v době výrobního procesu. Tyto vlastnosti vychází z trvalé nebo sezónní charakteristiky půdního podkladu. Jedná se například o vlhkost, zrnitost, pórovitost a stupeň plasticity, ale také o tloušťku humusové vrstvy či jiné organické vrstvy a zhutnění (Ulrich 1998). Některé z těchto vlastností jsou podmíněny klimatickými faktory v závislosti na expozici a nadmořské výšce. Druhá skupina ovlivňující narušení půdního povrchu zahrnuje provozní faktory. V tomto případě se jedná zejména o celkovou váhu mechanizace, zatížení a počet náprav, šířku pneumatik, ale také počet přejezdů strojů (Ulrich 2007). Strojem vyvíjený tlak na půdní povrch je ovlivněn všemi výše zmíněnými faktory (Flehsig et al., 2006). Za únosné terény jsou považovány dle terénní klasifikace Lesprojektu z r. 1980 takové, které snesou tlak vyšší než 50 kPa. Harvesterová technologie by měla být nasazována do terénu s únosností nad 100 kPa (Dvořák et. al 2012)

### 3.3.3 Překážky v terénu

Hledisko překážkovosti v terénu je ovlivněno výškou, respektive hloubkou a rozstupem jednotlivých překážek. S ohledem na průjezdnost harvesteru lesními porosty má zásadní vliv světlost a šířka stroje. Světlost u středně- a vysokovýkonových harvesterů se pohybuje v intervalu 500 – 730 mm, šířka stroje v intervalu 2,1 – 3,1 m. Jako problémové jsou uváděny terény s překážkami vyššími než 500 mm a nebo s rozstupem menším než 5 m (Dvořák 2012).

### 3.3.4 Terénní klasifikace a technologické typizace

K nutnému vyhodnocení provozních terénních podmínek a návržení vhodné těžební technologie byly vytvořeny terénní klasifikace a na ně navazující technologické typizace. Terénní klasifikace „Lesprojekt 1980“ určuje 15 terénních typů, které mohou být uváděny jako údaj v LHP nebo LHO v kolonce terénní typ. Jednotlivé typy jsou pak sdruženy do 5 terénních skupin s podobnou technologickou příbuzností. Skupiny jsou označeny písmeny a jsou pro ně doporučeny vhodné prostředky pro soustředování dříví (ÚHUL 2007). Dle této klasifikace je optimální terénní skupina A, v ostatních terénních typech je nasazení harvesterové technologie obtížnější. Nevýhodou v této klasifikaci je rozpětí sklonových kategorií, které již neodpovídá technickým parametrům lesní techniky v současnosti (Malík, 2007).

Terénní typ	Sklon v %	Charakter	Skupina
11	do 8	únosný	A
12	9-15	únosný	
13	16-25	únosný	
14	26-40	únosný	B
15	nad 40	únosný	C
21	do 8	neúnosný	D
22	9-15	neúnosný	
23	16-25	neúnosný	
24	26-40	neúnosný	
25	nad 40	neúnosný	
31	do 8	s překážkami	E
32	9-15	s překážkami	
33	16-25	s překážkami	
34	26-40	s překážkami	
35	nad 40	s překážkami	

Tabulka 3.3: Charakteristiky terénních typů v terénní klasifikaci "Lesoprojekt 1980"(Zdroj ÚHUL 2007)

Další velmi často používanou klasifikací a z ní vycházející technologickou typizací je Macků-Popelka-Simanov z roku 1993 nesoucí název dle autorů. Tato terénní klasifikace je více kompatibilní s novými stupni poznání a využívanými technologiemi (Simanov et. al 1993, Tuháček 1997). Oproti klasifikaci Lesoprojektu zde byly změněny stupně sklonu terénu a únosnost, i zde je specifikována nerovnost terénu a terénní překážky. Charakter terénu se vyjadřuje pomocí edafické kategorie, sklonu a výše překážek (Dvořák 2012).

Přestože technologické typizace nejsou závazné a mají jen doporučující charakter, mohou a měly by být důležitou pomůckou při plánování a zodpovědném rozhodování o nasazení těžebně dopravních technologií.

Sklon v %	Edafická kategorie	Terénní typ	Charakteristika terénů
≤ 10	M K S B C I H	11	trvale únosné, nerovnosti do (do 30 cm)
≤ 10	X Z N W A	12	trvale únosné, nerovnosti do (30-50 cm)
≤ 10	O D L P Q V U	13	podmíněně únosné, nerovnosti (do 30 cm)
≤ 10	T G R	15	neúnosné
≤ 10	překážky (včetně Y, J)	16	překážky (nad 50 cm)
11-20	M K S B C I H	21	trvale únosné, nerovnosti do (do 30 cm)
11-20	X Z N W A	22	trvale únosné, nerovnosti do (30-50 cm)
11-20	O D L P Q V U	23	podmíněně únosné, nerovnosti (do 30 cm)
11-20	T G R	25	neúnosné
11-20	překážky (včetně Y, J)	26	překážky (nad 50 cm)
11-20	svážné	29	podmíněně únosné až neúnosné, nerovnosti (do 30 cm)
21-23	M K S B C I H	31	trvale únosné, nerovnosti do (do 30 cm)
21-23	X Z N W A	32	trvale únosné, nerovnosti do (30-50 cm)
21-23	O D L P Q V U	33	podmíněně únosné, nerovnosti (do 30 cm)
21-23	T G R	35	neúnosné
21-23	překážky (včetně Y, J)	36	překážky (nad 50 cm)
21-23	svážné	39	únosnost a nerovnosti různé včetně překážek
34-50	C	41	trvale únosné, nerovnosti do (do 30 cm)
40-50	M K S B	41	trvale únosné, nerovnosti do (do 30 cm)
34-50	X Z N W A	42	trvale únosné, nerovnosti do (30-50 cm)
34-50	O D V	43	podmíněně únosné, nerovnosti (do 30 cm)
34-50	V, U	45	neúnosné
34-50	překážky (včetně Y, J)	46	překážky (nad 50 cm)
34-50	svážné	94	únosnost a nerovnosti různé
51-70	extrémní	59	včetně všech překážek
≥ 71	extrémní	69	včetně všech překážek

Tabulka 3.4: Charakteristika (vyjádřená za pomoci edafické kategorií sklonu terénu) terénních typů terénní klasifikace "Macků, Popelka, Simanov 1992" (Zdroj: ÚHUL 2007)

V řadě evropských států byla vypracována metodika hodnocení práce strojů a technologických metod z hlediska působení na lesní porosty, půdu a její erozi a působení z hlediska výkonnosti, funkčnosti, ergonomie, ekonomiky a požadavků na přípravu pracovišť (Dvořák 2012). Mezi známé klasifikace patří například švédský typ (Berg 1992), dále irská (FOREST SERVICE 2000) nebo saská klasifikace (Flechsigt 2006).

### 3.3.5 Charakter těžebního zásahu a zpracované suroviny

Druhy těžby dříví jsou rozděleny na předmýtní úmyslnou, mýtní úmyslnou, nahodilou a mimořádnou. Zatímco harvesterové technologie byly nasazovány především do předmýtních úmyslných těžeb nad 40 let věku a mýtních úmyslných těžeb, obecně ekonomicky rentabilních intenzivních těžebních zásahů, v současnosti jsou nepostradatelné v těžbách nahodilých, které jsou vlivem kůrovcové kalamity svým objemem dominantní. V rychlosti a způsobu zpracování velkého množství dříví napadeného podkorním hmyzem, kdy hrozí vylétnutí další generace a několikanásobná gradace kůrovců, je harvesterová technologie nenahraditelná žádnou jinou technologií a je rozhodujícím faktorem při volbě těžební technologie (Mrňák 2019).

Jako optimální z hlediska dřevinného složení jsou uváděny pro nasazení harvesto-

rové technologie porosty se zastoupením jehličnatých dřevin nad 80%, pro něž byla tato technologie původně vyvinuta. Základní podmínkou kvalitního zpracování jsou rovné kmene. Horní běžný limit objemu těženého kmene pro jehličnaté dřeviny je doporučován do  $1 \text{ m}^3/\text{kmen}$  (Dvořák et. al 2010) u listnatých dřevin je doporučovaná hmotnost do  $0,5 \text{ m}^3/\text{kmen}$  (Johansson 1995). U listnatých porostů je doporučováno použití této technologie pouze ve výchovných těžbách do 40 – 50-ti let u dřevin bříza a buk. Zpracování jiných dřevin je sice technologicky možné, ale neefektivní (Dvořák 2012).

### 3.3.6 Období těžby

Na těžbu stromů i na vyvážení dřevní suroviny má vliv to, zda je těžba prováděna v období vegetačním nebo mimo něj. V návaznosti se také nabízí porovnání, je-li těženo a vyváženo dříví čerstvé nebo proschlé. Dále je pak rozdíl, jestli se vyváží dříví z tvrdých listnatých dřevin nebo z měkkých listnatých dřevin a jehličnatých dřevin (Kabeš 2015). Vhodné je vyvážet dříví v zimě, kdy je půda umrzlá a následně pak ve většině případů nedochází k poškození lesních cest a půdního povrchu pojezdem vyvážecího traktoru. Naopak při nástupu jarního období, když začíná období tání sněhu, je půda značně podmáčená a často dochází k poškození lesních cest a půdního povrchu. V tomto období je vhodnější menší náklad za účelem snížení rizika vytváření erozních rýh (Kabeš 2010).

## 3.4 Rozdělení postupů harvesterové technologie

Použití plně mechanizovaných technologií je limitováno dosahem hydraulického jeřábu harvestoru, únosností půdního povrchu, terénními anomáliemi apod. Za předpokladu harvestoru jezdícího jen po vyvážecích linkách by vyvážecí linky měly být od sebe vzdáleny na dvojnásobek dosahu jeřábu harvestoru. V lesnickém provozu se využívají následující technologie.

### 3.4.1 Komplexní harvesterová technologie

Šíře pracovních polí ve výchovných zásazích je  $20 \text{ m}$  (dle dosahu jeřábu harvestoru). Hranici mezi pracovními poli tvoří fiktivní transportní hranice, od níž harvester vyklizuje dříví vždy k bližší vyvážecí lince a ukládá sortimenty pro vyvážení. Z linek procházejících středem pracovních polí je prováděna zcela mechanizovaná probírka harvestorem na celé ploše porostu. Vyvážení sortimentů provádí vyvážecí traktor, nebo vyvážecí souprava. Výhoda komplexní harvesterové technologie spočívá v nasazení jednoho strojového uzlu spojené s vysokou produktivitou a bezpečností práce. Harvester při zpracování stromů ukládá klest na vyvážecí linky před sebe (pokud není plánováno jeho další komerční využití) a snižuje tak riziko poškození půdy, kořenových náběhů a kořenů stojících stromů. Je také značně snížen tlak na půdu způsobený pojezdem strojů po vyvážecích linkách, zejména na lokalitách se zvýšenou hladinou podzemní vody (podmáčená stanoviště). Nevýhodou nasazení komplexní harvesterové technologie ve výchovných zásazích zůstává vysoký podíl plochy vyvážecích linek. Tento podíl může tvořit až 20% produkční plochy lesních porostů (Dvořák et. al 2012).

Při mýtní úmyslné těžbě spojené s holosečným způsobem hospodaření, kdy probíhá obnova smýcením mateřského porostu se harvester pohybuje hranicí neodtěženého porostu úzkým pruhem cca 10 - 15 m, dle dosahu ramene harvestoru. Vyrobené sortimenty ukládá podélně k okraji paseky, vždy střídavě sortimenty a klest, tak aby byly k vyvážení připraveny oba produkty. Klest je ukládán na hromady a vyváží se za účelem výroby štěpky. Minimum klestu je také ukládáno pod kola harvestoru z důvodu snížení množství pojezdu po ploše mechanizačními prostředky, zejména vyvážecím traktorem (Kabeš 2015).

### **3.4.2 Komplexní harvesterová technologie skrytou linkou**

Šíře pracovního pole je cca 40 m a harvester jede po nevyznačené lince (transportní hranici). Harvester těží a zpracovává vyznačené stromy a výřezy ukládá směrem k vyvážecí lince, tak aby na ně forwarder mohl dosáhnout hydraulickou rukou a provádět vyklizování výřezů. Druhou variantou je pokácení a vyklizení celých stromů z místa pokácení k vyvážecí lince, kde poté probíhá dodatečné zpracování stromu. Při pohybu po transportní hranici se operátor harvestoru flexibilně vyhýbá překážkám v porostu a opticky tak nevzniká charakter linky. Tato varianta je akceptovatelná pouze ve výjimečných případech, protože bez vytyčené přímé linky hrozí větší nebezpečí poškození stojících stromů v porostu (Dvořák, 2012).

### **3.4.3 Harvesterová technologie s motomanuální těžbou v mezizóně**

Pracovní pole je široké 30 m. Plně mechanizovaný výchovný zásah harvesterem je prováděn v dosahu jeřábu cca 10 m z každé strany linky. V mezizóně o šíři 10 m je prováděna motomanuální těžba stromů, které jsou káceny směrem k bližší vyvážecí lince. Následně je strom zpracován harvesterem, který zde plní funkci procesoru a jednotlivé výřezy jsou vyklizeny kolmo k vyvážecí lince. Vyvážení dříví je prováděno pomocí forwarderu (Dvořák et al. 2012).

Tento typ harvesterové technologie s dřevorubcem, tzv. předkacovačem s JMP může nastat v několika specifických případech. Jedná se například o přítomnost silnějších stromů než je úřez hlavice harvestoru, při výskytu stromů s růstovými vadami (křivost, přesílené větve, výskyt dvojáků). Tyto stromy jsou káceny a odvětčovány dřevorubcem z důvodu zamezení poškození harvesterových hlavic. Při uvolňování náletů a nárůstu se využívá dřevorubec pro kácení stromů z náletu. Důvodem zde je omezení manipulace ramene harvestoru s těžební hlavicí v samotném náletu a snížení poškození náletu na minimum. Postupným nadzvedáváním stromů z náletu do výšky se také snižuje poškození náletu v porovnání s vytahováním kmene z náletu. V neposlední řadě se předchází poškození těžební hlavice vlivem nedostačující možnosti vizuální kontroly operátora při nasazování hlavice na těžební kmen, kde pata stromu je v náletu. Samozřejmě je také tato varianta harvesterové technologie využívána v případech, kdy je těžební porost z většiny vhodný pro použití harvestoru, ale nachází se zde v určitých místech terénní překážky (rokle, prudký svah apod.). Na těchto místech pak dřevorubec provádí těžbu vyznačených stromů (Kabeš 2015).

### **3.4.4 Kombinace komplexní harvestorové technologie a klasické technologie pro těžbu a transport dříví z mezizóny**

Rozestup středů vyvážecích linek je cca 40 m. Z linek je provedena plně mechanizovaná probírka v dosahu jeřábu harvestoru. V mezizóně široké 20 m je prováděna motomanuální těžba tak, aby paty stromů směřovaly k bližší vyvážecí lince. Stromy jsou následně vyklizovány k lince pomocí navijáku traktoru, který se pohybuje pouze po lince. Následuje zpracování vyklizených stromů harvestorem, který plní funkci procesoru. Vyvážení dříví zajišťuje vyvážecí traktor. Nevýhodou této metody jsou vysoké pracovní-organizační nároky, vyšší náklady a narůstající škody způsobené vyklizováním celých stromů. Za výhodu je považován menší podíl plochy vyvážecích linek a tím vyšší využití produkční plochy v nižších věkových třídách lesních porostů (Dvořák et. al 2012).

### **3.4.5 Nekomplexní technologie s vyvážecím traktorem**

Harvestory a vyvážecí traktory nemusí vždy tvořit komplexní uzel. Harvestory lze nasadit v kombinaci s jinými transportními prostředky a vyvážecí traktory mohou být nasazeny k vyvážení dříví v návaznosti na motomanuální těžbu. Rozestup linek je do 20 m. Těžba je prováděna zejména v nižších věkových stupních, tedy v porostech a typech těžby, kdy je neúčelné nasazení harvestorových uzlů. V souvislosti s touto technologií jsou nasazovány malé vyvážecí traktory (např. Vimek, Terri, LongLander) případně vyvážecí soupravy. Nevyplatí se nasazení velkokapacitních vyvážecích traktorů z ekonomického hlediska (Dvořák et. al 2012, Kabeš 2015).

### **3.4.6 Nekomplexní technologie s harvestorem**

Harvestory mohou být používány na manipulaci na lesních skladech dříví, kdy pak výřezy na krátkou vzdálenost převáží a do hromad rovná vyvážecí traktor nebo vyvážecí souprava, případně může probíhat odvoz odvozními soupravami.

V dalším případě se jedná o nasazení zejména pásových nebo kráčejících harvestorů v nepříznivých terénech pro vyvážecí traktory, kdy je nahrazují LDZ. Soustředování vyrobených sortimentů je prováděno lanovkou na odvozní místo, kde ukládání výřezů provádí vyvážecí traktor nebo souprava.

## **3.5 Výhody a nevýhody harvestorové technologie**

Nasazení a použití jakékoliv těžební technologie je ovlivněno řadou faktorů. Jednou z nejdůležitějších priorit nejen při aktuální krizové situaci na trhu se dřívím v důsledku kůrovcové kalamity, je ekonomická otázka. Mezi další podstatné faktory patří povinnost vycházet při nasazení strojů z průvodní dokumentace a výrobních podmínek, které jsou při volbě technologie a mechanizace dominující. V neposlední řadě jsou otázky ekologické a sociální, jejichž postavení s vývojem společnosti

nabývá na významu. Z těchto faktorů je nezbytné vycházet při volbě harvestorové technologie a přesně specifikovat všechny výhody a nevýhody při jejím nasazení při těžebně-dopravní činnosti (Kováč et. al 2017, Simanov 2003).

### 3.5.1 Výhody harvestorové technologie

- **Úspora mzdových nákladů a s nimi spojenými pracovními silami.** Úspora mzdových nákladů při použití harvestorové technologie je přímá, zahrnující náklady na pracovní sílu, která by musela být vynaložena k odvedení stejné výkonnosti motomanuální těžební technologií. Další nepřímé úspory pracovních sil je dosaženo na manipulačních skladech, protože dříví je vyrobeno v lese a následuje transport zpravidla přímo k odběratelům. Na manipulačních skladech tím končí potřeba například vícesměnného provozu, investic na jejich rozvoj a mnohdy se ruší úplně. Budeme-li vycházet z výstupů normativních, narůstá hodinová výkonnost harvestoru ve střeoevropských podmínkách v porovnání s motomanuální těžbou až šestnásobně v závislosti na objemu těžného stromu (Dvořák et al., 2012). V severských státech se uvádí výkonnost harvestoru až desetkrát vyšší než motomanuální těžba (Kováč et. al 2017, Simanov 2003).
- **Měřicími a řídicími systémy je prováděna optimální sortimentace kmenů na základě požadavků odběratele.** V elektronické podobě uložený záznam o vyrobeném objemu dříví (počet a objem zpracovaného dříví a jednotlivých sortimentů), umožňuje snazší kontrolu práce a je možné provádět velmi pružný způsob organizace práce od těžebně dopravních činností až po odvoz dříví k odběratelům (Kováč et. al 2017, Simanov 2003).
- **Operátorům harvestoru je zajištěna vysoká ergonomičnost systému a hygiena práce.** Fyzická náročnost práce se snižuje na úkor psychické zátěže a dochází ke zvýšení bezpečnosti práce, zejména při nasazení v nepříznivých klimatických podmínkách. Pro tuto výhodu jsou harvestory často nasazovány v kalamitních těžbách, kde mohou provádět kompletní výrobu od těžby počínaje, nebo v případě motomanuálně předkácených stromů nahrazovat práci procesoru a dokončit zbývající fáze výroby. Intenzivní nasazení harvestorové technologie bylo použito například v polomech a vývratech po větrné smršti ve Vysokých Tatrách v roce 2004, nebo při likvidaci následků kalamity Kyrill na divizi Horní Planá u Vojenských lesů a statků, s.p. v roce 2007. Podíl objemu zpracovaného dříví harvestorovou technologií na jednotlivých lesních správách dosahoval 50 – 60% (Kováč et. al 2017, Simanov 2003, Gross 2008).
- **Čistota dřevní suroviny pro následné zpracování v dřevozpracujícím průmyslu.** Se stromy je během celé fáze výroby možná uvážená a šetrná manipulace, od přenosu hydraulickým jeřábem v harvestorové hlavici při kácení, přes odvětvování a druhování sortimentů, přenosu hydraulickou rukou vyvážecího traktoru až po převoz na odvozní místo (Kováč et. al 2017, Simanov 2003).
- **Omezením škod na lesních dřevinách je dodržována požadovaná čistota práce.** Podíl poškozených stromů je odhadován pod hranicí 5%



(Dvořák 2000, Dvořák 2004, Malík a Dvořák 2007, Sauter a Busmann 1994). Nižší podíl škod v porovnání s klasickou technologií není však příliš ovlivněn samotnou mechanizací, jako spíše zvolenou těžební metodou. V případě kmenové metody může dosahovat podíl škod způsobených strojem až 10% z celkového počtu, ale 90% škod je však způsobeno samotným soustředěným dřívím (Horek 1991). Harvester tedy sortimentní metodou může způsobit stejný počet škod jako traktor v kmenové metodě. Nevznikají však škody na porostech od vyváženého dřeva (Kováč et. al 2017, Simanov 2003).

### 3.5.2 Nevýhody harvesterové technologie

- **Náročná organizace práce pro pokud možno nepřetržitý provoz harvestoru a zajištění návratnosti vložené investice.** Finanční prostředky na pořízení strojů jsou vysoké. Návratnost těchto prostředků závisí na vytížení stroje, standardně je zajišťován jednosměnný nebo dvousměnný provoz při délce pracovní doby 8 - 10 hodin. Jakékoliv prostoje související nejčastěji s poruchou stroje nebo převozem na jiné pracoviště zvyšují výrobní náklady na jednotku ( $m^3$ ) (Kováč et. al 2017, Simanov 2003).
- **Dlouhodobé a nákladné zaškolení operátorů harvestoru.** Provoz a řízení těchto sofistikovaných strojů by měla vykonávat osoba se zodpovědným přístupem. Současná legislativa nevyžaduje žádné speciální oprávnění k obsluze stroje, stačí pouze řidičský průkaz skupiny T (k přepravě harvestoru po veřejných komunikacích). Tato skutečnost je v porovnání s náročnější legislativou pro práci s motorovou pilou až absurdní. Některé lesní společnosti proto pořádají školící kurzy pro své zaměstnance, které jsou dosti nákladné a leckdy i ztrátové, protože na trhu je kvalitních operátorů nedostatek a ti přecházejí k jiným zaměstnavatelům za lepší finanční nabídkou. Výsledným řešením častokrát bývá najmutí harvestoru bez nutnosti pořízení stroje (Kováč et. al 2017, Simanov, 2003).
- **Náročnost na vzdělání nebo znalosti operátorů v oborech strojírenství, elektrotechniky a také lesnictví (Dvořák et. al 2012).** Volba harvesterové technologie je prováděna na základě požadavků provozu, kterými jsou zejména dostatečná bezpečnost provozu a ergonomie práce, splnění hospodářsko-ekonomických požadavků a požadovaná kvalitní výchova porostů. Přípravou porostů před použitím harvesterové technologie je docíleno minimalizace škod a zabránění ekonomickým ztrátám, snížení nákladů na asanace půdního podkladu a poškození stromů a maximální výkonnosti strojů při dobré pracovní-organizační činnosti. Použití harvesterové technologie zvyšuje výrobní efektivitu a redukcí nákladů v lesním hospodářství. Tím se stala pevným článkem moderního řetězce v současné době vlivem kůrovcové kalamity již celorepublikově. Hlavním cílem je zajištění kvalitní logistiky při organizaci práce spojené s plynulou výrobou, od těžby až po transport dříví nejen na odvozní místo, ale až k odběratelům, neboť ty jsou schopny lesní společnosti fixovat pouze dynamickou výrobou (Dvořák et. al 2012).

## 3.6 Sortimentní metoda

V těžební činnosti rozlišujeme několik těžebních metod. Jedná se o metodu kmenovou, kdy jsou surové kmeny vyráběné při pni v celých délkách; stromovou, kde odvětvování probíhá na odvozním místě a metodu sortimentní, nazývanou také CTL (cut-to-length) (Pulkki 1997), kdy výroba sortimentů probíhá přímo na lokalitě pařez (Kabeš 2015).

Výrobci těžebně dopravních strojů zareagovali na požadavky zpracovatelů dřeva, kteří požadovali surovinu nepoškozenou a poměrně čistější než dříví soustředěvané po zemi. Výrobci přinesla sortimentní těžební metoda pozitivum ve formě snížení nákladů a úspory pracovních sil. Historicky se však jedná o jednu z nejstarších těžebních metod používaných v dobách těžby ručním nářadím a přibližování výhradně animální silou. Když ale začaly být pro přibližování dříví používány traktory a odvoz z lesa zajišťovaly nákladní automobily, přestala být délka výřezu limitní. Sortimentní metodu tak zatlačila do pozadí metoda kmenová. Tou je u nás do dnes zpracovávána nadpoloviční většina těžebního dříví (cca 57%) (MZe, 2021), ale její podíl díky stoupajícímu využití harvestorů klesá (Mrňák, 2017).

Nástup traktorových technologií pro soustředování dříví znamenal potlačení významu sortimentní metody, protože byla prosazována kmenová těžební metoda. Toto období trvalo do devadesátých let minulého století, kdy se u nás začalo zvyšovat nasazení harvestorové technologie. Od té doby dochází k postupnému návratu k sortimentní metodě (Dvořák 2002).

Sortimentní těžební metoda byla tedy vyvinuta z klasických metod těžby dříví, kdy byl přímo v porostu na pařezu vydruhován sortiment standardní či požadované délky, čímž se snižovala celková transportní hmotnost nákladu při soustředování dříví animálními silami. Objem nákladu vzhledem k současným možnostem lesní mechanizace nezpůsobuje žádný problém, výhoda však bezesporu spočívá zejména v lepší manipulovatelnosti jednotlivých sortimentů, při ukládání na vývozních místech a také pro skládání sortimentů hydraulickou rukou na vyvážecí traktory. Další zřetelnou výhodou je působení menšího počtu škod na stojících stromech v lesním porostu při výchovných těžbách. Při sortimentní těžební metodě jsou zpracovány pouze potřebné části, které se skutečně využijí, zatímco těžební zbytky zůstávají v porostu (Dvořák 2012).

Požadavky odběratelů, po tzv. „čistém“ sortimentu, tzn. nepoškozeném dříví vlečením při soustředování dříví, jsou příčinou, že většina dodavatelů začala upřednostňovat výrobu sortimentů přímo na lokalitě „P“. Zároveň se zkrátil tok suroviny z porostu k odběrateli a tím snížily výrobní náklady, protože bylo odbouráno druhování části výroby na manipulačních skladech. Vzhledem k tomu, že současná generace dřevorubců stárne a mladých lidí do této profese nepřibývá, potýkáme se v dnešní době s nedostatkem kvalifikovaných pracovních sil v těžební činnosti. I tyto důvody dávají podnět k většímu využívání harvestorových technologií, se kterými se zvyšuje podíl sortimentní těžební metody. V dnešní době je sortimentní metoda velmi využívána, což je způsobeno kůrovcovou kalamitou a z

Subjekty	Sortimentní technologie	Kmenová technologie	Celkem	% Sortimentní technologie	Štěpkování	Soustředování lanovkou
Státní lesy (včetně škol)	7053	9065	16118	44	1069	82
Obecní lesy	3100	3263	6363	49	480	60
Soukromé lesy	5309	7964	13273	40	790	400
Celkem	15462	20292	35754	43	2369	542

Tabulka 3.5: Podíl sortimentní těžební metody na výrobě dříví 2005 – 2020

ní vyplývající ekonomicko-hospodářskou krizí, kdy se každý výrobce snaží snížit výrobní náklady (Kabeš 2015).

Hovoříme-li o zpracování dříví harvestorovou technologií, jedná se téměř ve všech případech o těžební metodu sortimentní, pro kterou byla tato technologie vyvinuta. Dle „Zprávy o stavu lesa a lesního hospodářství ČR za rok 2020“, kterou uveřejnilo Ministerstvo zemědělství, bylo v tomto roce z celkového objemu těžeb 35,754 mil.  $m^3$  dříví zpracováno sortimentní metodou 15,462 mil.  $m^3$ , což činí 43% z celkového objemu těžeb. (MZe 2020). V některých evropských státech, jako je například Švédsko, Norsko a Finsko, je v současné době sortimentní metoda využívána téměř výhradně ke všem těžbám (Lundbäck et al. 2018). Potenciál sortimentní metody není v ČR stále zcela využit. Podíl sortimentní metody na roční těžbě dříví může v budoucnu dle předpokladů dosáhnout na více než 50% (Dvořák et al. 2011) a výrobní podmínky jsou pro využití harvestorové technologie vhodné na více než 70% rozlohy lesních pozemků (Dvořák, Natov 2016).

### 3.7 Potenciál využití harvestorové technologie v ČR

Při nasazení harvestorových technologií je v první řadě třeba dbát na to, aby byl dodržen zákon číslo 289/1995 Sb., o lesích a zvláště pak ustanovení § 11 (každý si musí počínat tak aby nedocházelo k ohrožování nebo poškozování lesů) a § 34 který říká, že přibližování, uskladnění a odvoz dříví musí být prováděno tak, aby nedocházelo k nepřiměřenému poškozování lesů a ostatních pozemků (ČR 1995). Z hlediska zachování trvale udržitelného hospodaření v lesích jsou v použití harvestorových technologií nutné zodpovědné způsoby přípravy, řízení a organizace prací. Jsou-li dodrženy tyto základní požadavky, lze považovat harvestorovou technologii za velmi šetrnou a není třeba se obávat větších ekologických nebo ekonomických ztrát (Ulrich et. al 2006).

Dlouhodobý vývojový trend harvestorové technologie vyvolal také potřebu širší analýzy možností využití těžebně dopravních strojů v rámci ČR. Na základě tohoto požadavku byla zpracována studie, která mapuje plošný a objemový potenciál pro harvestorovou technologii v ČR. Specializované mapy s odborným obsahem vytvořil tým řešitelů z Fakulty lesnické a dřevařské České zemědělské univerzity v Praze v rámci projektu „Optimalizace sortimentace a druhování dříví zpracovávaného harvestorovou technologií a návrh postupu pro kontrolu přesnosti měření objemu výroby pro posílení produkční funkce lesa a zachování stability porostů vůči škodlivým činitelům“. Mapy byly zpracovány podle krajů a okresů jak pro plošný, tak pro objemový výrobní potenciál. Mohou sloužit zejména jako technický podklad pro dlouhodobé plánování těžebně-dopravních technologií,

nebo pro přípravy podnikatelských záměrů těžebních a dřevařských společností. V neposlední řadě je mohou využívat státní instituce při řešení strategických úkolů ve státní správě lesů. Při zpracování databáze byla použita jako hlavní zdroj data Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů v Brandýse nad Labem. Podíl plochy pozemků určených k plnění funkce lesa, na kterých je možnost využití harvesterové technologie uvádí tabulka X (Dvořák, Natov 2015).

sklonitost (%)	zastoupení vhodných jehličnatých i listnatých dřevin (%)					
	do 60		60 - 80		nad 80	
	plocha lesních pozemků					
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
do 10	54 518	2,10	99 700	3,84	777 447	29,98
10 - 20	44 783	1,73	76 475	2,95	467 180	18,02
20 - 35 (33)	34 255	1,32	54 755	2,11	272 134	10,49
<b>harvestor a forwarder</b>	<b>133 566</b>	<b>5,15</b>	<b>230 930</b>	<b>8,90</b>	<b>1 516 761</b>	<b>58,49</b>
<b>celkem pro využití harvesterového uzlu</b>					<b>1 881 247</b>	<b>72,54</b>
<i>zdroj: ÚHÚL Brandýs n. Labem, 2011</i>						

Tabulka 3.1: Plošný výrobní potenciál pro harvesterovou technologii v ČR v závislosti na výrobních podmínkách.

# 4. Výčet fiktivních a faktických ztrát při výrobě dříví harvestory

Změny evidovaného objemu dříví vznikající v průběhu výroby jsou jak fiktivní, které vznikají zejména rozdílnými výsledky určování objemu vlivem používaných metod, tak faktické, kde se jedná o ztrátu dříví v podobě hmotné (Simanov 2003, Löwe et. al 2019).

## 4.1 Fiktivní ztráty

Rozdíly této kategorie vznikají nejčastěji při předávkách dříví, kdy obě obchodující strany používají odlišné postupy měření objemu dříví, či při samotném prodeji, který je prováděn v rozdílných měrných jednotkách, například prostorový objem dříví versus přejímka hmotnostní, kde je přihlíženo k okamžité vlhkosti materiálu (Simanov 2003, Löwe et. al 2019).

Dalším velmi podstatným důvodem je také zaokrouhlování tloušťek výřezů, kdy dle Doporučených pravidel pro měření a třídění dříví v ČR se zaokrouhluje vždy na celé centimetry dolů (místa za desetinnou čárkou se neuvažují) (Wojnar 2007).

Fiktivní ztráty vznikají také při používání různých algoritmů nastavitelných ve výrobně-evidenčních softwarech harvestorů (Löwe et. al 2018).

## 4.2 Faktické ztráty

V tomto případě se jedná o rozdíly množstevního charakteru vznikající při samotné výrobě dříví. Do této kategorie patří například vyzdravování kmene, ulomení vršku stromu způsobené pádem, nadměrky, ztráta při každém příčném řezu stromem, nezpracování vrcholové části stromu či v případě listnatých dřevin nezpracování větví patřících svoji tloušťkou do hroubí stromu. V těchto případech se jedná o ztráty před prvotní evidencí vyrobeného dříví, které tedy nezmění stav této hodnoty. V neposlední řadě lze zmínit také ztráty vzniklé při soustředování dříví. Mezi hlavní faktické rozdíly můžeme zařadit (Schlaghamerský 2001):

- **Objem surového dříví** - při evidenci, fakturaci nebo odměňování je používán objem surového dříví v metrech krychlových bez kůry. V běžném provozu se vyskytují i odlišné jednotky obchodování dříví a také odlišné ukazatele odměňování. Jelikož lesní hospodářská evidence eviduje záznam produkce dřeva jednotlivých porostů právě v metrech krychlových bez kůry, nelze se této metodě vyhnout.
- **Huberův vzorec** – při výpočtu objemu kmene se velmi často používá tento vzorec, nahrazující reálný tvar kmene válcem. Čím více je jednotlivý výřez vzdálen tvaru válce, tím vyšší je rozdíl mezi skutečným objemem a vypočítaným objemem výřezu. Protože každá část kmene se od ideálního válce liší jinak, jsou také rozdíly odlišné v závislosti na části kmene, z které

se jednotlivé výřezy vyrábějí. U výřezů z oddenkových částí kmene bývají zpravidla hodnoty objemu vypočítané Huberovým vzorcem nižší, než je skutečná hodnota, u střední části kmene se obě hodnoty téměř vyrovnávají, u výřezů z vrškových částí kmene je objem dle vzorce nadhodnocen.

- **Ztráta objemu příčným řezem** – jedná se o ztrátu, která je přímo úměrná tloušťce řezné spáry, velikosti přeřezávaného profilu kmene a počtem řezů. Právě na tuto ztrátu se práce zaměřuje.
- **Odkorňování kmene** - nesprávné nastavení přítlaku odkorňovacích nožů či případná hniloba zpracovávaného kmene způsobuje vytrhávání zdravého dříví.
- **Přetřídění sortimentů** – jedná se o ztrátu vznikající buď nedodržením požadovaných hodnot výřezů a tím snížení jakostního stupně, nebo i chybou v zařazení do požadované skupiny vzniklé lidským faktorem.
- **Harvestory** – výpočet objemu vyráběného dříví na základě elektronického měření pomocí senzorů na ramenech odvětvovacích nožů harvesteru bývá velmi přesné, je však podmíněné pravidelným kontrolním měřením a případnou kalibrací měřících systémů stroje před zahájením těžby.

# 5. Měření a výpočet objemu dříví

Moderní harvestory jsou vybaveny automatickým systémem měření délek a tloušťek zpracovávaného kmene a jednotlivých sortimentů. Pro měření délky je v harvestorové hlavici umístěno ozubené kolečko, které během posunu kmene v hlavici kopíruje povrch kmene a z počtu jeho otáček na základě impulsů se odvozuje délka kmene či sortimentů s přesností na jeden centimetr. Vzhledem k občasným problémům s prokluzem měřicího kolečka a s tím spojeným chybným výpočtem délky, je tento mechanismus různě upravován s ohledem na momentální výrobní podmínky. Lze uzpůsobit povrchovou strukturu kolečka i sílu jeho přitlačování ke kmeni (Neruda 2008). Tloušťka kmene a sortimentů je odvozena od velikosti rozevření odvětvovacích nožů, které obepínají kmen. Měří se pomocí napětí potenciometru umístěného v úchytných ramenech odvětvovacích nožů v hlavici. Tloušťka kmene je měřena ve dvou na sebe kolmých směrech v sekcích po deseti centimetrech. Hodnoty napětí z potenciometru jsou zprůměrovány a pak přepočteny v systému stroje na výslednou tloušťku. Údaje o změřených veličinách (impulsy a napětí) získané těmito senzory se převádí z analogové formy do podoby digitální a poté jsou výrobně-evidenčním softwarem přepočítány na metrické míry, z kterých je stanoven objem (Dvořák et al., 2012). V softwarech pracujících v komunikačním standardu StanForD je možno nastavit 14 různých algoritmů (vzorců) pro výpočet objemu. Zvolený algoritmus výpočtu objemu se nastavuje v rámci předvýrobního nastavení počítače harvestoru jako parametr nazvaný typ ceny. Jen některé z těchto typů ceny zajišťují výpočet podle DPP 2008 a to M3toDE a M3miDE. Stanovení objemu může probíhat jak s kůrou, tak bez kůry. Podle toho se nastavují srážky na kůru s ohledem na to, zda je tloušťka měřená s kůrou nebo bez kůry (Natov, Dvořák 2018).

## 5.1 StanForD

Pro kvalitní optimalizaci výroby v rozsáhlých objemech těžby dříví vznikla nutnost jednotné správy a přenosu výrobních dat mezi harvestory, forwardery a dalšími účastníky výrobního procesu (např. vlastníky lesů apod.). Na základě dohody předních výrobců harvestorů a skandinávských lesních společností byl v roce 1987 výzkumným lesnickým ústavem Skogforsk ve švédské Uppsale sestaven a přijat původní standard pod názvem StanForD Classic (Standard for Forest Machine Data and Communication). Tento standard pro přenos dat a datovou komunikaci je postaven na komunikačním rozhraní KERMIT, který obsahuje nejpoužívanější základní funkce. Všechna data jsou v něm přenášena a ukládána v textovém formátu ASC II. Ukládané soubory ve StanForD Classic jsou složeny z názvu a přípony. (Natov, Dvořák 2018, Mrňák 2019).

Metoda	Cenové typy uvádějí metodu, která se používá k odhadu objemu. Hodnoty v cenové matici.
m3to	Cena/m <sup>3</sup> . Měření čepu. Objem se počítá jako válec v největším průměru kmene.
m3f	Cena/m <sup>3</sup> . Měření čepu. Objem se vypočítá jako skutečný objem kmen. (Obvykle je objem dělen. To znamená, že kmen je nejprve rozdělen do řezů, např. 10 cm. Každý řez se pak vypočítá jak válec s forným průměrem řezu. Stacionární měření se pak uvádí jako součet objemu všech řezů).
pic	Cena/ks. Cena není závislá na objemu, ale odkazuje na vstupní cenu za kus.
m3fmi	Cena/m <sup>3</sup> . Norský odhad objemu. Objem se vypočítá jako válec s teoretickým průměrem ve středu kmene. (se zužováním 1 cm/m)
mt3ftr	Cena/m <sup>3</sup> . Měření u vrcholku a u kořenů. Měření průměru se provádí na nebo pod kúrou v bodě 10 cm od středu vrcholku a 10 cm od spoda.
m3toDE	Cena/m <sup>3</sup> . Německý cenový typ. Pevná měření. Objem je založen na naměřeném průměru v místě uprostřed kmene a cenová klasifikace je založená na největším průměru. Průměr HKS. Průměr je zaokrouhlen na nejbližší cm. (dříve známý jako m3PT6)
m3miDE	Cena/m <sup>3</sup> . Německý cenový typ. Pevná měření. Objem a cena vychází z průměru měřeného v bodě uprostřed kmene. Průměr HKS. Průměr je zaokrouhlen na nejbližší cm. (dříve známý jako m3PT7)
m3fmimi	Cena/m <sup>3</sup> . Pevná měření. Výpočty objemu je založeny na průměru ve středu kmene. Cenová klasifikace je založena na středového bodu průměru (mm).
Board feet Cena/m <sup>3</sup> .	Cena/m <sup>3</sup> . Americký cenový typ. Není normativně definován, protože je použitelná celá řada různých metod výpočtu.
m3fm	Cena/m <sup>3</sup> . Pevná měření. Střední naměřený průměr pro výpočet objemu. Cenová klasifikace založená na horním průměru (mm).
picNo	Cena/m <sup>3</sup> . Norský cenový typ. Objem se měří v m3fmi při registraci výsledků z výroby.

Tabulka 5.1: Metody stanovení objemu dle standardu StanForD

Přípona	Výklad
*.APT	Instrukce pro druhování dříví zahrnující " <u>cenovou matici</u> " pro vyráběný sortiment.
*.PRD	Celková produkce (především data o výrobě dříví).
*.PRI	Individuální produkce (registrace těžebních dat týkající se každého výřezu a kmene).
*.STM	Parametry kmenů (měřená délka a tloušťka apod.)
*.STI	Identifikační číslo kmene posílané z počítače evidujícího druhování do digitální průměrky ke snadnější identifikaci kontrolovaného kmene.
*KTR	Kontrolní měření. Data posílaná z digitální průměrky do počítače harvestoru evidující výrobu dříví a následně do kancelářských systémů.

Tabulka 5.2: Přípony vybraných souborů pro StanForD. (Zdroj: Natov, Dvořák et. al 2018)

Skogforsk ve spolupráci s finským výzkumným ústavem Metsäteho a švédskou společností SDC již v roce 2006 zahájil práce na změně výše uvedeného standardu StanForD Classic na verzi standardu pod názvem StanForD 2010. Nová aktualizovaná verze programu pracuje v otevřeném formátu XML a přináší uživatelům dokonalejší nástroje pro plánování a analýzu výroby dříví harvestorovou technologií. Tento systém umožňuje například kontrolu jednotlivých výrobních operací, včetně následného vyvážení dříví forwarderem a možnost změny nastavení sortimentace v průběhu výroby. Další inovací je přidělení konkrétní identity pro jednotlivé stroje, pracoviště, stromy i sortimenty pomocí klíčů a uživatelského ID. V neposlední řadě umožňuje nový systém monitorování všech pracovních operací a přerušování práce operátora nebo stroje nezávisle na jednotlivém pracovišti. To umožňuje provádění analýz a vyhodnocování konkrétních strojů, operátorů nebo výrobních podmínek a časových období (Natov, Dvořák 2018, Mrňák 2019).



První verze StanForD 2010 byla dokončena v roce 2011 a od té doby je postupně implementována s využíváním fungujících součástí původního standardu, což dokládá i obdobný systém přípon souborů jako u původního standardu, který umožňuje snadné přidružení nových aplikací. Nová verze komunikačního standardu StanForD 2010 tak obsahuje dokonalejší nástroje pro kontrolu a analýzu výroby harvestorem, její kvality a umožňuje dálkovou správu dat (Natov, Dvořák 2018).

## 5.2 Softwarové systémy harvestoru

Při provozu harvestorů jako poměrně složitých strojů je třeba stanovovat a uchovávat velké množství dat. Z tohoto důvodu vybavují výrobci harvestorů tyto stroje specifickým softwarovým vybavením, které obsahuje několik samostatných produktů. Tyto produkty můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin. Jedná se o výrobně-plánovací a výrobně-evidenční softwary (Mrňák 2019).

### 5.2.1 Výrobně-plánovací software

Tento produkt je určen především k přípravě, plánování a monitorování výroby a umožňuje regresivní analýzu získaných výrobních dat a přímou komunikaci během výroby. Tento software lze nainstalovat na další libovolný počítač s operačním systémem Windows pro další například kancelářské využití dat mimo harvestor (Natov, Dvořák 2018).

### 5.2.2 Výrobně-evidenční software

Pro evidenci výroby jsou hlavní výrobně-evidenční softwary. Jedná se o skupinu produktů, která zajišťuje získávání, zpracování a záznam výrobních dat, dále také komunikaci s operátorem a měřicími senzory. Účelem této činnosti je evidence, kontrola a sledování výroby. Mezi hlavní funkce tohoto typu softwaru lze zařadit kontrolu technických funkcí stroje, optimalizaci práce při vysokém objemu výroby a přenos dat. Dále tento software zpracovává a uchovává následující data: registraci porostu, operátora a délku pracovní doby, rozměry (délka, tloušťka) a druh dřeviny, na jejich základě navrhuje optimální druhotání kmene, dále počítá objem těžných stromů, vyrobených sortimentů a registruje jejich počet. V neposlední řadě umožňuje elektronický přenos dat nebo jejich tisk. Tímto systémem musí být vybaveny všechny harvestory z důvodu zajištění jejich správné funkčnosti (Natov a Dvořák 2018, Dvořák et. al 2012).

## 5.3 Kontrolní měření kalibrace

Měřicí systémy současných harvestorů pracují poměrně spolehlivě, ovšem je nutné provádět pravidelná kontrolní měření k ověření správného nastavení měřidel. Správná funkčnost měřicího zařízení a správnost nastavení algoritmu pro výpočet objemu se ověřuje v pravidelných časových nebo objemových intervalech a také při změně pracoviště. Při kontrolním měření je porovnáván objem vypočítaný na základě manuálního měření hodnoty délek a tloušťek s hodnotami naměřenými

Výrobce	Výrobně-plánovací software	Výrobně-evidenční software-harvestor	Výrobně-evidenční software-vyvážecí traktor
JohnDeere	TimberCenter TimberNavi TimberCalc SilviA TimberOffice	TimberMatic	TimberMatic
Komatsu	MaxiA MaxiB MaxiC MaxiD MaxiS MaxiN MaxiP	MaxiExplorer	MaxiForwarder
Ponsse	OptiGIS Office OptiEditor OptiSimu OptiStem OptiPlanner OptiComm OptiRepport OptiAnalysis OptiLogi Office	Opti4G OptiPlan Viewer OptiMap Harvester	OptiControl OptiForwarder OptiMap Forwarder OptiTime Control LoadOptimizer
Rottne	nenabízí, ale využívá programové podpory výrobce DASA	Rottne D5	Rottne D5
DASA	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	Dasa 4 Dasa 5
Motomit		Motomit IT/PC	Motomit IT/PC

Tabulka 5.3: Nejběžnější softwarové produkty výrobců s největším zastoupením v ČR (Dvořák et. al 2012)

harvestorem. Pakliže kontrolní měření vykazuje větší objemové odchylky, než je povoleno (zpravidla 2 – 5%), je nutno provést kalibrace měřících zařízení. Z hlediska časového se doporučuje provádět kontrolní měření vždy při zahájení prací v nových výrobních podmínkách a dále pak minimálně jednou týdně (Ulrich 2002). Doporučený interval z objemového hlediska je v mýtních těžbách po každých 800 m<sup>3</sup>, v předmýtních těžbách nad 40 let po 600 m<sup>3</sup> a v předmýtních těžbách do 40 let po 250 m<sup>3</sup> vyrobeného dříví. Také je třeba zvažovat zastoupení jednotlivých druhů dřevin ve zpracovávaném porostu. Je-li zastoupení jiné dřeviny vyšší než 30%, musí se provést kontrolní měření i pro tuto dřevinu (Natov, Dvořák 2018).

Ke kalibraci je nutno také přistoupit po větších opravách modulů souvisejících s měřením vyráběného dříví. V rámci této operace se na základě výsledků kontrolního měření vybraných vzorníků zadávají hodnoty ve výrobně-evidenčním softwaru tak, aby výsledek měření odpovídal skutečnosti. Kalibraci lze provádět manuálně nebo elektronicky. V případě elektronické kalibrace jsou k opravnému nastavení měřidel používány přednastavené programy nejen v elektronické průměrce pro ruční měření vzorníků, ale také ve výrobně-evidenčním softwaru harvestoru. V tomto případě se jedná o poloautomatický proces, který výrazně snižuje riziko lidské chyby (Natov, Dvořák 2018).

V situaci, kdy není k dispozici elektronická průměrka vybavená softwarem pro komunikaci se systémy harvestorů dle standardu StanForD, lze provést kalibraci manuálně. Postupně se provádí nejprve kalibrace délek nastavením hodnot odečtených z diagramu pro vyrovnání délek, poté se podobně postupuje u měření tloušťek. Při ruční kalibraci tloušťek se z vyrovnávacího diagramu odečítají a vkládají opravné hodnoty pro jednotlivá tloušťková pásma. Existují výrobně-evidenční softwary nabízející poloautomatickou verzi manuální kalibrace, kdy se do počítače harvestoru přímo zadávají naměřené skutečné hodnoty a software sám provede vyhodnocení lineární funkce ve vyrovnávacím diagramu a vypočítá opravné hodnoty (Natov, Dvořák 2018). Je zřejmé, že pro správné nastavení měřících zařízení harvestorů je výhodnější provádění elektronické kalibrace. Ta lze pouze pomocí digitální průměrky s nezbytným softwarovým vybavením a v neposlední řadě je třeba také znalost pracovních postupů s tímto zařízením.

## 5.4 Nadměrek

Jedná se o přídavek ke jmenovité délce některých sortimentů, nejčastěji je používána hodnota 2%. Nadměrek ke jmenovité délce sortimentu je vyžadován odběrateli jako kompenzace technologických ztrát. Je požadován pro sortimenty určené k výrobě řeziva, naopak u sortimentů určených ke zpracování chemickou metodou, popřípadě výrobě dezintegrovaného materiálu (vláknina) není potřeba (Natov a Dvořák 2018).

## 5.5 Řezací okno

V případě řezacího okna, nebo také okna řezu či hranice pro výřezové okénko se jedná o specifický typ přídatku k celkové délce sortimentu určující přesnost a rychlost měření délky na harvestorové hlavici. Je určen ke zvýšení tolerance měřících senzorů k místu požadovaného řezu. Účel tohoto přídatku je zkrácení doby pro zastavení zpracovávaného kmene do přesného místa řezu, čímž dochází ke zvýšení výkonnosti harvestorů při výrobě sortimentů. Řezací okno je nastavováno v harvestoru v doporučeném rozsahu 0-2 cm, ve výjimečných případech až 4 cm ke každému vyráběnému sortimentu a to včetně vlákniny. Rozptyl přesnosti měřícího zařízení délek harvestoru se pohybuje v pásmu  $\pm 2$  cm i přes pravidelnou a správnou kalibraci. Tento fakt je třeba zohlednit při zadávání hodnoty délky vyráběného sortimentu. Tento přírůstek je také možno využít k nahrazení nadměrku, pokud jsou hodnoty nadměrku nastaveny jako nulové (Natov a Dvořák, 2018).

# 6. Metodika diplomové práce

Měření probíhalo na smrkovém dříví, přičemž každý kmen byl měřený v kůře, čemuž odpovídají níže uvedené výrazy.

Základní vzorec, který byl použit na výpočet objemu jednotlivých sortimentů měřeného dříví je Huberův vzorec (Wojnar, 2007). Tento vztah byl následně modifikován pro nadměrek, příčný řez a řezací okno v závislosti na symetriích a realistických zanedbáních.

Základem pro stanovení chyby určení objemů byla zvolena chyba nepřímého měření (Taylor, 2018). Chyby určení měřených veličin jsou udány u jednotlivých výpočtů. Chyby zaokrouhlování jsou komentovány u relevantních výpočtových vzorců. Hrubé chyby do výpočtů nezasáhly a byly automaticky vyloučeny při ručním měření zpracovaného dříví.

## 6.1 Měření dříví

### 6.1.1 Výpočet objemu

Ke stanovení objemu jednotlivých sortimentů byl použit Huberův vzorec v následujícím tvaru<sup>1</sup> (Wojnar, 2007):

$$V_{Dříví} = \frac{\pi}{4} l 10^{-4} (d - 2k)^2, \quad (6.1)$$

kde  $l$  je délka měřeného dříví v  $m$ ,  $d$  je středová tloušťka sortimentu vyjádřená v  $cm$  a  $k$  je tloušťka kůry. Tuto tloušťku kůry je možné vyjádřit fitovaným vztahem pro středovou tloušťku vyráběného dříví jako (Wojnar, 2007):

$$2k = p_0 + p_1 \cdot d^{p_2}, \quad (6.2)$$

kde  $p_0 = 0,57723$ ,  $p_1 = 0,006847$  a  $p_2 = 1,3123$  jsou tabulkové hodnoty pro smrk (Wojnar, 2007).

### 6.1.2 Výpočet chyby

Chyba určení objemu je zatížena dvěma parametry, a to  $l$  a  $d$  jako (6.1):

$$\sigma_{V_{Dříví}}(d, l) = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial d}\right)^2 (\sigma_d)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial l}\right)^2 (\sigma_l)^2} \quad (6.3)$$

Po integraci byl stanoven finální předpis pro chybu určení objemu měřeného dříví jako:

$$\sigma_{V_{Dříví}}(d, l) = \sqrt{(A)^2 (\sigma_d)^2 + (B)^2 (\sigma_l)^2} \quad (6.4)$$

---

<sup>1</sup>V závislosti na stavu dříví rozlišujeme 2 typy Huberova vzorce a to při měření sortimentů v kůře nebo bez kůry. V tomto případě byly všechny sortimenty měřeny v kůře, proto nemá smysl uvažovat analogii Huberova vzorce výpočtu objemu bez kůry.

kde

$$\begin{aligned} A &= \frac{\pi l 10^{-4} (d - 2k) (1 - p_1 p_2 d^{p_2 - 1})}{4} \\ B &= \frac{\pi 10^{-4} (d - 2k)^2}{4} \end{aligned} \quad (6.5)$$

Chyba  $\sigma_d$  se skládá ze dvou dílčích chyb a to chyby měřidla  $\sigma_m$  a chyby zaokrouhlování  $\sigma_z$ . Chyba měřidla  $\sigma_m$  je stanovena na polovinu nejmenšího dílku měřidla, tedy na 5 mm. Chyba zaokrouhlování  $\sigma_z$  způsobuje změnu určení dané středové tloušťky až o 9 mm, vzhledem ke stanovenému pravidlu zaokrouhlování směrem dolů.

Chyba  $\sigma_l$  je určena přesně jako v případě výše popsaného stanovení chyby  $\sigma_d$ .

## 6.2 Nadměrek

Nadměrkem se myslí požadované zvětšení délky kulatiny o doporučené 2%, jedná se tedy o 8 cm v případě sortimentu o délce 4 m.

### 6.2.1 Výpočet objemu

V prvním přiblížení lze objem nadměrku počítat pomocí výše uváděného Huberova výrazu (6.1). Je však dobré si uvědomit, že takto získaný objem nadměrku bude vždy nadhodnocen, jelikož středová tloušťka sortimentu  $d$  je vždy větší než největší průměr nadměrku.

Nadměrek je považován za symetricky seříznutý kužel, jehož řez je dokonale kolmý na osu symetrie ve vzdálenosti 8 cm od základny. Huberův vzorec (6.1) je reorganizován tak, aby bylo možno dokázat vyjádřit předpis pro poloměr  $r$ , tedy:

$$V_{Dříví} = \pi \cdot l \cdot \left( \underbrace{\frac{x - 0,57723 - 0,006847 \cdot x^{1,3123}}{200}}_r \right)^2, \quad (6.6)$$

kde  $x$  reprezentuje středovou tloušťku  $d$ , přesně tak, jako je popsáno v Huberově rovnici (6.1). Jelikož se však tato středová tloušťka stane proměnnou, tak je jen přejmenována z  $d$  na  $x$ .

---

<sup>2</sup>Je zřejmé, že při jiném úhlu pohledu bude středová tloušťka  $d$  odlišná. Tento fakt závisí na poloze nadměrku, buď je možné nadměrek počítat z levé strany sortimentu (silnější), nebo z pravé strany sortimentu (tenší). V celé práci bude uvažován nadměrek z pravé strany měřeného sortimentu, tedy z tenší strany.

Je dobré poznamenat, že  $r$  je reálně měřitelná veličina<sup>3</sup> udaná v  $m$ . Novou středovou tloušťku označíme jako  $x$  a vyjádříme ze vzorce (6.2) jako:

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{x - p_0 - p_1 \cdot x^{p_2}}{200} \\
 200r &= x - p_0 - p_1 \cdot x^{p_2} \\
 200r + p_0 &= x - p_1 \cdot x^{p_2} \\
 200r + p_0 &= e^{\ln(x)} - p_1 \cdot e^{\ln(x)^{1,3123}} \\
 200r + p_0 &= e^{\ln(x)} - p_1 \cdot e^{p_2 \cdot \ln(x)} \\
 200r + p_0 &= e^{\ln(x)} - p_1 \cdot e^{p_2} \cdot e^{\ln(x)} \\
 200r + p_0 &= e^{\ln(x)} \left[ 1 - p_1 \cdot e^{1,3123} \right] \\
 x &= \frac{200r + p_0}{1 - p_1 \cdot e^{p_2}}.
 \end{aligned} \tag{6.7}$$

Spočítali jsme závislost nové proměnné  $x$  na měřeném poloměru  $r$ , tedy čepové tloušťky<sup>4</sup>. Výsledek (6.7) dosadíme do Huberova vzorce (6.1) a získáme tak výraz pro výpočet objemu nadměrku.

$$V_{Nadmerek} = \frac{\pi}{4} \cdot l \cdot 10^{-8} \left( \left[ \frac{200r + p_0}{1 - p_1 \cdot e^{p_2}} \right] - p_0 - p_1 \cdot \left[ \frac{200r + p_0}{1 - p_1 \cdot e^{p_2}} \right]^{p_2} \right)^2, \tag{6.8}$$

kde za délku  $l$  dosadíme přesně 2% z jmenovité délky, tedy 8 cm, čímž získáme finální vztah pro výpočet objemu skutečného nadměrku.

$$V_{Nadmerek} = \frac{\pi}{4} \cdot 8 \cdot 10^{-10} \left( \left[ \frac{200r + p_0}{1 - p_1 \cdot e^{p_2}} \right] - p_0 - p_1 \cdot \left[ \frac{200r + p_0}{1 - p_1 \cdot e^{p_2}} \right]^{p_2} \right)^2, \tag{6.9}$$

kde řádové korekce  $10^{-10}$  zabezpečují správné převodní vztahy mezi použitými jednotkami v Huberově vztahu a vyjádřením  $r$  a  $x$  veličin.

## 6.2.2 Výpočet chyby

Chyba určení nadměrku je jen na jedné proměnné, a to čepové tloušťce  $2r$ . Pokud by se měnila délka<sup>5</sup> tak i na délce nadměrku  $l$ .

<sup>3</sup>Poloměr válce, jehož objem je shodný s objemem počítaným Huberovým vzorcem o stejné výšce.

<sup>4</sup>Z logiky odvození a zavedení Huberova vztahu je zřejmé, že dochází k drobné nekonzistenci mezi reálně měřenou čepovou tloušťkou a poloměrem ve výrazu (6.6). Tento nesoulad se markatně projeví při velkých délkách  $l$ , avšak při délce nadměrku je chyba několik řádů pod úrovní relevance, protože chyba měřidla a zaokrouhlení jsou dominantní na takto malých vzdálenostech.

<sup>5</sup>Je jasné, že v tomto případě je to irelevantní, ale pro účely stanovení chyby měřicího okna se nám sejde určení chyby závislé na obou proměnných.

$$\sigma_{V_{Nadměrek}}(r, l) = \sqrt{(C)^2 (\sigma_d)^2 + (D)^2 (\sigma_l)^2}, \quad (6.10)$$

kde

$$\begin{aligned} C &= \frac{\pi}{4} \cdot 10^{-4} ([x] - p_0 - p_1 \cdot [x]^{p_2})^2 \\ D &= \frac{\pi}{2} \cdot l \cdot 10^{-4} (x - p_0 - p_1 \cdot x^{p_2}) \cdot \\ &\quad \cdot \left( \left[ \frac{200}{1 - p_1 e^{p_2}} \right] - p_1 p_2 \left[ \frac{200r + p_0}{1 - p_1 e^{p_2}} \right]^{p_2-1} \cdot \left[ \frac{200}{1 - p_1 e^{p_2}} \right] \right) \end{aligned} \quad (6.11)$$

V případě skutečného nadměrku je hodnota  $C$  nulová a výsledná chyba určení objemu je rovna:

$$\sigma_{V_{Nadměrek}}(r, l) = \sqrt{(D)^2 (\sigma_l)^2}, \quad (6.12)$$

kde hodnota  $D$  je popsána vztahem (6.21).

Proměnná  $x$  je vyjádřena v rovnici(6.18). Chyba  $\sigma_r$  a chyba  $\sigma_l$  mají totožnou diskuzi jako  $\sigma_d$  resp. chyba  $\sigma_l$ .

## 6.3 Řez

Zvoleny byly obecné vzorce pro výpočet řezu jako specificky popsaného tělesa, vzhledem na jeho specificky malou tloušťku.

### 6.3.1 Výpočet objemu

Za předpokladu dokonalé rovnoběžnosti obou podstav řezu můžeme popsat obecně objem v závislosti na výšce<sup>6</sup>  $h$  a na funkci poloměru  $r = f(r)$  jako<sup>7</sup>:

$$V_{\text{Řez}} = \int_0^H \int_0^R 2\pi f(r) dr dh, \quad (6.13)$$

kde  $H$  je celková výška řezu po integraci a  $R$  je maximální poloměr řezu po integraci.

Předpoklad dokonalé rovnoběžnosti zabezpečuje konstantní hodnotu výšky  $h$ , což umožní rychlou integraci, tedy:

$$V_{\text{Řez}} = 2\pi \cdot 10^{-7} \int_0^R f(r) [h + c_1]_0^H dr. \quad (6.14)$$

Pila použitá při sortimentaci kmene byla široká 7 mm, tedy  $H = 0,007$  m. Vzhledem na tuto šířku je možné považovat poloměr  $r$  současně za polovinu

<sup>6</sup>Výška  $h$  je vzdálenost mezi rovnoběžnými podstavami řezu s tím, že není součástí délky měřeného dříví  $l$  (ponecháváme k jednoduchému zamyšlení se čtenáře).

<sup>7</sup>Plyne z definice infinitezimálního objemu  $dV_{\text{Řez}} = 2\pi f(r) dr dh$ .



středové tloušťky řezu  $d$ , a teda funkci poloměru  $f(r)$  vyjádřenou z Huberova vzorce popsat jako:

$$f(r) = (r - p_0 - p_1 \cdot r^{p_2}). \quad (6.15)$$

Výraz (6.15) dosadíme do integrální rovnice (6.14), tedy:

$$\begin{aligned} V_{\check{R}ez} &= 2\pi H \cdot 10^{-4} \int_0^R (r - p_0 - p_1 \cdot r^{p_2}) dr \\ &= 2\pi H \cdot 10^{-4} \left[ \frac{r^2}{2} - p_0 r - \frac{p_1 r^{p_2+1}}{p_2+1} + c_2 \right]_0^R \\ &= 2\pi H \cdot 10^{-4} \left[ \frac{R^2}{2} - p_0 R - \frac{p_1 R^{p_2+1}}{p_2+1} \right]. \end{aligned} \quad (6.16)$$

Objem řezu tedy budeme počítat jako:

$$V_{\check{R}ez} = 14\pi \cdot 10^{-7} \left[ \frac{R^2}{2} - p_0 R - \frac{p_1 R^{p_2+1}}{p_2+1} \right] \quad (6.17)$$

### 6.3.2 Výpočet chyby

Chybu určení objemu řezu stanovíme opět na základě vady nepřímého měření, která závisí na jediné proměnné  $R$  (Taylor, 2018):

$$\begin{aligned} \sigma_{V_{\check{R}ez}}(R) &= \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial R}\right)^2 (\sigma_R)^2} \\ &= \sqrt{(14\pi \cdot 10^{-3} [R - p_0 - p_1 R^{p_2}])^2 (\sigma_R)^2}, \end{aligned} \quad (6.18)$$

kde  $\sigma_R$  podléhá stejné diskusi jako to bylo u výše popsaných chyb určení středové tloušťky  $\sigma_d$  a délky  $\sigma_l$ .

## 6.4 Řezací okno

Za řezací okno budeme považovat u kulatiny vše, co přesahuje délku 4,08 m. Ve skutečnosti by se mělo jednat maximálně o délku 0 – 4 cm, ale pro zjednodušení budeme do řezacího okna zahrnovat i délku větší<sup>8</sup> než 4 cm. U dalšího sortimentu je řezací okno počítáno vždy jako nadbytek k dané délce.

### 6.4.1 Objem řezacího okna

Vzhledem na charakter řezacího okna, je možné jeho objem spočítat totožně jako objem výše popsaného nadměrku, tedy:

$$V_{\check{R}. okno} = \frac{\pi}{4} \cdot l \cdot 10^{-8} \left( \left[ \frac{200r + p_0}{1 - p_1 \cdot e^{p_2}} \right] - p_0 - p_1 \cdot \left[ \frac{200r + p_0}{1 - p_1 \cdot e^{p_2}} \right]^{p_2} \right)^2. \quad (6.19)$$

V tomto případě se už jedná o finální tvar nakolik délka  $l$  není konstanta jako při skutečném nadměrku.

<sup>8</sup>Tedy řezací okno představuje rozdíl měřené délky a požadované délky, u kulatiny je to měřená délka - 4,08.

## 6.4.2 Chyba objemu

Chybu určení řezacího okna jsme spočítali přesně jako v případě skutečného nadměrku s rozdílem nekonstantní hodnoty délky řezacího okna  $l$  jako:

$$\sigma_{V_{\check{R} \text{ okno}}}(r, l) = \sqrt{(C)^2 (\sigma_d)^2 + (D)^2 (\sigma_l)^2}, \quad (6.20)$$

kde

$$\begin{aligned} C &= \frac{\pi}{4} \cdot 10^{-8} ([x] - p_0 - p_1 \cdot [x]^{p_2})^2 \\ D &= \frac{\pi}{2} \cdot l \cdot 10^{-8} (x - p_0 - p_1 \cdot x^{p_2}) \cdot \\ &\cdot \left( \left[ \frac{200}{1 - p_1 e^{p_2}} \right] - p_1 p_2 \left[ \frac{200r + p_0}{1 - p_1 e^{p_2}} \right]^{p_2 - 1} \cdot \left[ \frac{200}{1 - p_1 e^{p_2}} \right] \right) \end{aligned} \quad (6.21)$$

Chyby  $\sigma_l$  a  $\sigma_d$  podléhají stejné diskusi jako už bylo výše o nich napsáno.

## 6.5 Příklad

Za přídavek budeme považovat všechno, co je nad rámec délky požadovaného sortimentu, tedy jmenovitě vše nad 4 m, 2,5 m a 2 m.

### 6.5.1 Objem přídavku

Objem přídavku spočítáme jako součet všech objemů, které jsme výše uvedli, tedy:

$$V_{\text{Příklad}} = V_{\text{Nadměrek}} + V_{\check{R} \text{ okno}} \quad (6.22)$$

### 6.5.2 Chyba určení přídavku

Z analýzy chyby nepřímého měření se dá jednoduše dokázat, že veličina, která je závislá na parametrech lineárně a to dokonce tak, že  $f(x) = x$  má chybu rovnou součtu chyb jednotlivých parametrů<sup>9</sup>. V našem případě poté:

$$\sigma_{V_{\text{Příklad}}} = \sigma_{V_{\text{Nadměrek}}} + \sigma_{V_{\check{R} \text{ okno}}} \quad (6.23)$$

---

<sup>9</sup>Ponecháváme na promyšlení znalého čtenáře.

## 7. Výsledky měření

Celkově byly provedeny tři rozsáhlá měření rozdělená na částečná měření jednotlivých stromů a sortimentů z nich vyrobených. Změřeno bylo celkem 72 stromů, z nichž bylo harvestorem vyrobeno 297 jednotlivých sortimentů.

Do výsledných analýz jsou však zahrnuté pouze ty stromy, z kterých byli všechny vyrobené sortimenty v souladu se stanovenými normami. Tedy pokud z jednoho stromu byla změřena například délka kulatiny na 4,07 m, tak byl automaticky strom vyřazen z dalšího postupu zpracování, aby těmito chybami nebyli ovlivněny zkoumané závislosti.

### 7.1 Postup měření

U výřezů byly změřeny následující hodnoty: celková délka (nejkratší vzdálenost mezi čelem a čepem sortimentu), středová tloušťka (měřena v polovině jmenovité délky sortimentu), čepová tloušťka (měřená na tenčím konci sortimentu), tato hodnota odpovídala tloušťce čela sortimentu následujícího.

Celková délka výřezu byla změřena v metrech s přesností na 0,01 m. Jmenovitá délka výřezu ( $L_j$ ), tj. stanovená délka bez přídavek na délce byla 400, 250, 200 cm. Pouze sortiment 400 byl včetně přídávku k délce ve výši 2%, ostatní sortimenty byly vyráběny bez přídávku.

Středová tloušťka byla měřena ve středu jmenovité délky sortimentů. Sortimenty se středovou tloušťkou do 20 cm byly měřeny jedenkrát v horizontálním směru, sortimenty se středovou tloušťkou nad 20 cm byly měřeny ve dvou na sebe kolmých rovinách, z nichž se vypočítal aritmetický průměr. Hodnoty byly uváděny v celých centimetrech. Čepová tloušťka byla měřena na slabším konci výřezu (čepu). Tato hodnota byla použita pro výpočet objemu nadměrků. Tloušťka čela byla použita k výpočtu objemu příčného řezu. Hodnoty byly uváděny v celých centimetrech (údaje za desetinnou čárkou se neuvažují).

### 7.2 Výrobní lokalita

#### 7.2.1 Měření I. - Pracoviště č. 1

Těžba probíhala v katastrálním území obce Drahňovice, LS Český Šternberk v LHC 106704, oddělení 16, dílec B, v porostní skupině 5 na ploše 2,25 ha o stáří 53 let. Obnovní doba je stanovena na 30 let, doba obmýtlí 100 let. Pracoviště se nacházelo na lesním typu 3S2, Smrk ztepilý (*Picea abies*) byl dle LHP zastoupen 80%, Bříza bělokorá (*Betula pendula*), Modřín opadavý (*Larix decidua*), Borovice lesní (*Pinus sylvestris*) a Buk lesní (*Fagus sylvatica*) po 5%. Probíhající těžba byla nahodilá, hmyzová, v důsledku kůrovcové kalamity. Používána byla sortimentní metoda, přičemž pouze jeden sortiment byl vyráběn dle přesného požadavku odběratele. Celý porost smrku ztepilého (*Picea abies*) byl napaden škůdci a byl určen k vytěžení. Průměrná výčetní tloušťka u smrku ztepilého (*Picea abies*) je

uváděna 21 cm, průměrná výška stromu 20 m. Celková porostní zásoba smrku ztepilého (*Picea abies*) byla vyčíslena na  $245 \text{ m}^3/\text{ha}$ , zásoba těžného porostu tedy  $551 \text{ m}^3$ . Sortimentní těžební metodou byly vyráběny následující 2 sortimenty: kulatina 400 a agregát 250 (cm).

### 7.2.2 Měření II., III. - Pracoviště č. 2

Těžba probíhala opět v katastrálním území obce Drahňovice, LS Český Šternberk v LHC 106704, oddělení 15, dílec F, v porostní skupině 6b na ploše 0,56 ha o stáří 67 let. Obnovní doba je stanovena na 30 let, doba obmýtlí 110 let. Pracoviště se nacházelo na lesním typu 3S3. Smrk ztepilý (*Picea abies*) byl dle LHP zastoupen 100%. I zde probíhala těžba nahodilá, hmyzová v důsledku kůrovcové kalamity. Celková porostní zásoba smrku ztepilého (*Picea abies*) byla vyčíslena na  $375 \text{ m}^3/\text{ha}$ , zásoba těžného porostu tedy  $210 \text{ m}^3$ . Průměrná výčetní tloušťka u smrku ztepilého (*Picea abies*) je uváděna 23 cm, průměrná výška stromu 23 m. Těžba probíhala sortimentní těžební metodou a vyráběny byly sortimenty kulatina 400, agregát 250, vláknina 200 (cm).

## 7.3 Analýza dat

Analýza dat je rozdělena na dvě části. Každou vybranou závislost budeme zkoumat nejdříve vzhledem k jednotlivým kmenům, které byli rozřezány na určitý počet sortimentů. V druhé části budeme zkoumat kumulativně vztahy vybraných objemů na zvyšujícím se počtu kmenů.

Při analýze bylo dále uvažováno, že daný kmen byl v danou chvíli harvestorem vydruhován na neoptimálnější sortimenty. Jinými slovy byl uvažován dokonalý případ práce harvestoru.

Níže uvedené tabulky (7.3), (7.3) a (7.3) zaznamenávají všechny potřebné objemy, které jsou dále graficky znázorněny. Vyskytující se veličiny jsou počítané na základě výše uvedené metodiky diplomové práce. Zaokrouhlování objemů proběhlo vždy na dvě platná desetinná čísla. Tabulky neobsahují hodnoty vypočítaných chyb měření, které jsou specificky rozebrány v metodice diplomové práce, nakolik pro nás podstatným ukazatelem je analýza požadovaných závislostí. Chybu bylo potřebné spočítat jako vodítko správného odvození vztahů pro výpočty požadovaných objemů.

Kmen	$V_{Dříví_h}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{Dříví_s}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{Nadměrek}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{Ř. okno}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{Řez}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{přídavek}$ [m <sup>3</sup> ]
1.	0.988	0.984	0.0166	0.0090	0.00142	0.027
2.	1.281	1.274	0.0201	0.0116	0.00183	0.033
3.	0.225	0.223	0.0026	0.0008	0.00028	0.004
4.	0.233	0.231	0.0036	0.0031	0.00030	0.007
5.	0.243	0.241	0.0036	0.0022	0.00031	0.006
6.	0.054	0.039	0.0006	0.0003	0.00006	0.001
7.	0.022	0.022	0.0000	0.0002	0.00005	0.000
8.	0.090	0.090	0.0008	0.0003	0.00012	0.001
9.	0.087	0.086	0.0006	0.0003	0.00008	0.001
10.	0.079	0.079	0.0010	0.0002	0.00013	0.001
11.	0.056	0.055	0.0006	0.0001	0.00005	0.001
12.	0.051	0.051	0.0006	0.0002	0.00005	0.001
13.	0.051	0.053	0.0019	0.0009	0.00016	0.003
14.	0.070	0.069	0.0007	0.0003	0.00008	0.001
15.	0.113	0.112	0.0011	0.0006	0.00016	0.002
16.	0.038	0.038	0.0000	0.0001	0.00008	0.000
17.	0.034	0.034	0.0000	0.0001	0.00006	0.000
18.	0.038	0.038	0.0000	0.0006	0.00007	0.001
19.	0.038	0.038	0.0000	0.0004	0.00008	0.000
20.	0.035	0.035	0.0000	0.0004	0.00006	0.000
Suma	3.825	3.794	0.054	0.032	0.005	0.091

Tabulka 7.1: Vypočítané objemy pro první měření.

Kmen	$V_{Dříví_h}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{Dříví_s}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{Nadměrek}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{Ř. okno}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{Řez}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{přídavek}$ [m <sup>3</sup> ]
1.	0.988	0.984	0.0166	0.0090	0.00142	0.027
1.	0.193	0.191	0.0000	0.0016	0.00055	0.002
2.	0.053	0.053	0.0000	0.0006	0.00009	0.001
3.	0.047	0.047	0.0000	0.0005	0.00008	0.001
4.	1.115	1.110	0.0170	0.0072	0.00175	0.026
5.	1.118	1.112	0.0145	0.0086	0.00187	0.025
6.	2.513	2.501	0.0390	0.0157	0.00378	0.058
7.	0.979	0.974	0.0000	0.0302	0.00284	0.033
8.	0.810	0.806	0.0111	0.0047	0.00120	0.017
suma	6.827	6.794	0.0815	0.069	0.012	0.163

Tabulka 7.2: Vypočítané objemy pro druhé měření.

Kmen	$V_{Dříví_h}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{Dříví_s}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{Nadměrek}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{Ř. okno}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{Řez}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{přídavek}$ [m <sup>3</sup> ]
1.	0.988	0.984	0.0166	0.0090	0.00142	0.027
1.	0.344	0.343	0.0046	0.0037	0.00060	0.009
2.	0.377	0.377	0.0064	0.0031	0.00058	0.010
3.	0.366	0.365	0.0045	0.0043	0.00074	0.010
4.	0.405	0.405	0.0071	0.0028	0.00071	0.011
5.	0.323	0.296	0.0023	0.0056	0.00076	0.009
6.	0.452	0.451	0.0071	0.0030	0.00064	0.011
7.	0.325	0.324	0.0040	0.0035	0.00059	0.008
8.	0.289	0.287	0.0039	0.0010	0.00031	0.005
9.	0.370	0.369	0.0045	0.0039	0.00072	0.009
10.	0.251	0.250	0.0026	0.0020	0.00049	0.005
11.	0.342	0.341	0.0057	0.0015	0.00052	0.008
12.	0.336	0.334	0.0051	0.0019	0.00051	0.007
13.	0.416	0.415	0.0055	0.0040	0.00075	0.010
14.	0.346	0.345	0.0028	0.0065	0.00075	0.010
15.	0.454	0.453	0.0074	0.0019	0.00066	0.010
16.	0.278	0.278	0.0000	0.0042	0.00084	0.005
17.	0.468	0.466	0.0075	0.0010	0.00067	0.009
18.	0.418	0.417	0.0068	0.0018	0.00061	0.009
Suma	6.562	6.517	0.088	0.056	0.011	0.155

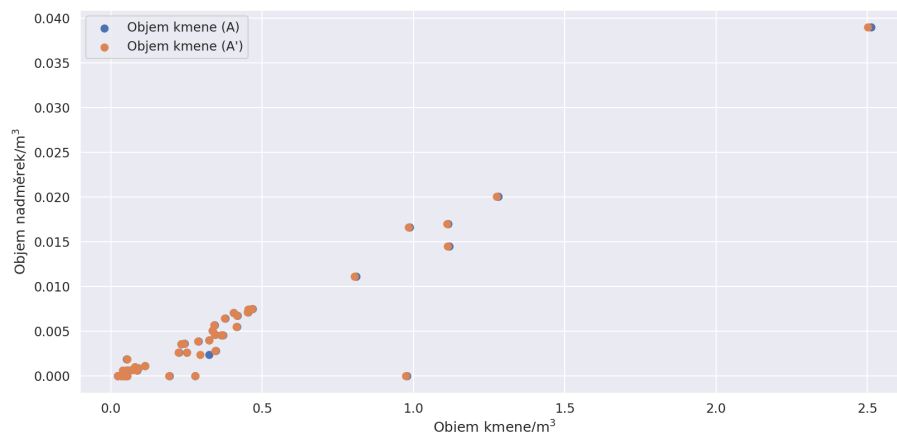
Tabulka 7.3: Vypočítané objemy pro druhé měření.

Kde u všech tabulek zleva  $V_{Dříví_h}$  představuje objem kmene počítaného standardním Huberovým vztahem (6.1) v  $m^3$ ,  $V_{Dříví_s}$  představuje objem kmene počítaného jako součet objemů čistého dříví<sup>1</sup>, řezacího okna a nadměrku v  $m^3$ ,  $V_{Nadměrek}$  je počítaný podle vztahu (6.9) v  $m^3$ ,  $V_{Ř. okno}$  je objem počítaný na základě vztahu (6.19) v  $m^3$ ,  $V_{Řez}$  je objem počítaný podle rovnice (6.17) v  $m^3$  a  $V_{přídavek}$  je objem počítaný dle (6.22) v  $m^3$ .

V této fázi je dobré poznamenat rozdíl mezi objemy  $V_{Dříví_h}$  a  $V_{Dříví_s}$ , které představují objem identického sortimentu, ale počítaného dvěma odlišnými způsoby. Vždy budeme vykreslovat oba objemy současně, abychom ukázali nadhodnocení objemu počítaného přímo přes Huberův vztah (6.1). Tento objem je vždy o něco větší než objem  $V_{Dříví_s}$ , protože středová tloušťka  $d$  použitá k výpočtu daného objemu  $V_{Dříví_h}$  je vždy měřena v polovině požadovaného rozměru sortimentu<sup>2</sup>. Téměř každý sortiment však obsahuje nenulový objem přídavku, což způsobí, že by středová tloušťka neměla být měřena ve vzdálenosti polovině délky požadovaného sortimentu, ale ve vzdálenosti posunuté od původní středové tloušťky  $d$  k čepu již nařezaného sortimentu. Tyto rozdíly posunu středové tloušťky jsou maximálně řádů  $cm$ , tedy změny jsou řádově  $mm$ , přesto je tento rozdíl na úrovni faktických ztrát zapříčiněných řezem. V našem případě je rozdíl objemu  $V_{Dříví_h}$  a  $V_{Dříví_s}$  0,7%.

### 7.3.1 Objemové závislosti vybraných veličin

V první části analýzy dat budeme zkoumat objemové závislosti nadměrku, řezacího okna, řezu a přídavku na celkovém objemu kmene.



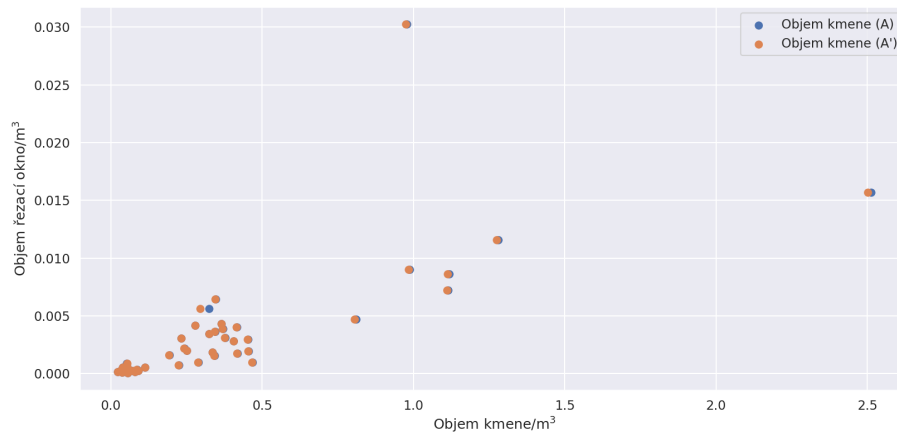
Graf 7.1: Závislost celkového objemu nadměrku kmene na celkovém objemu kmene.

Graf (7.1) vykresluje závislost celkového objemu nadměrku kmene na celkovém objemu kmene v  $m^3$ . Legenda v grafu (7.1) popisuje modrými tečkami objem

<sup>1</sup>Čistým dřívím se myslí čistá délka požadovaného sortimentu například 4  $m$ , anebo 2,5  $m$  a podobně.

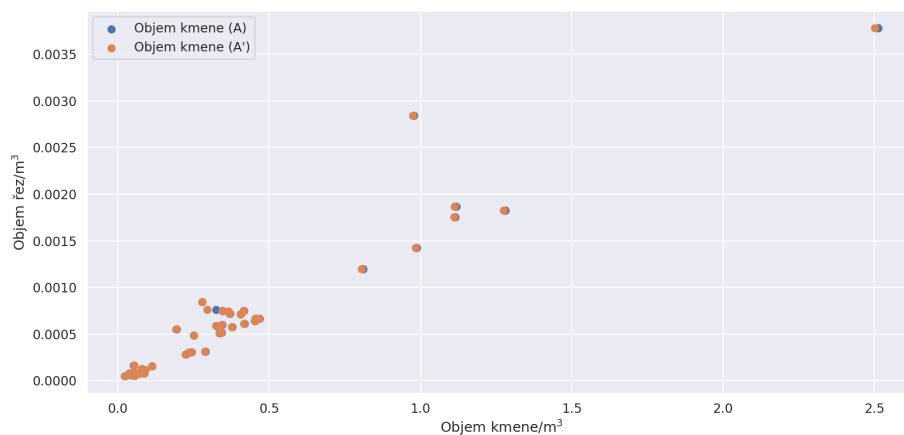
<sup>2</sup>Pokud požadujeme 4  $m$  kulatinu pak středovou tloušťku  $d$  měříme ve vzdálenosti 2  $m$  od čela sortimentu

$V_{Dříví_h}$  a oranžovými tečkami objem  $V_{Dříví_s}$ . Z tohoto grafu je zřetelná korelace mezi objemem nadměrku a objemem celého kmene. Dokonce lze říci, že tuto korelaci lze fitovat silně lineární závislostí, tedy z rostoucím objemem kmene lineárně narůstá i objem celkového nadměrku.



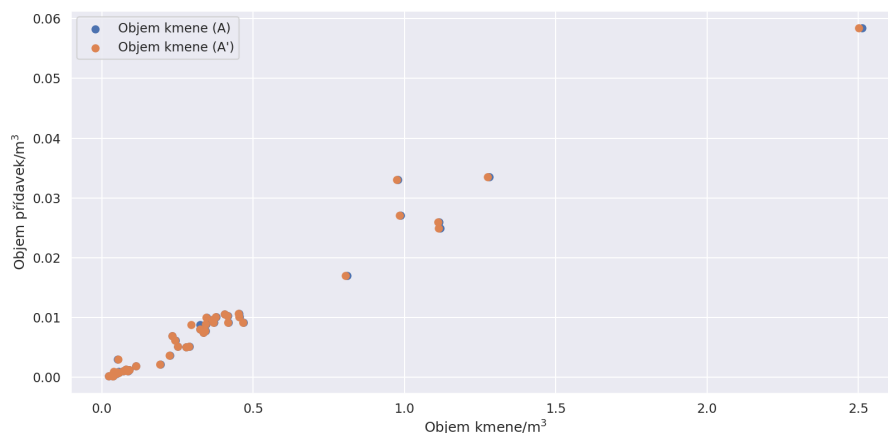
Graf 7.2: Závislost celkového objemu řezacího okna na celkovém objemu kmene.

Graf (7.2) vykresluje závislost celkového objemu řezacího okna kmene na celkovém objemu kmene. Z grafu je vidět o něco slabší korelace obou objemů. Závislost lze také přeložit lineární křivkou, avšak oproti výše uvedenému grafu (7.1) má tato křivka menší směrnici, čímž tedy závislost roste pomaleji, než v případě nadměrku. Lineární fit by měl také větší rozptyl vzhledem k poloze jednotlivých bodů.



Graf 7.3: Závislost celkového objemu řezu kmene na celkovém objemu kmene.

Graf (7.3) vykresluje závislost celkového objemu řezu kmene na celkovém objemu kmene. Korelace je značně úzká a fitovaná lineární křivka bude cca pod  $45^\circ$  úhlem vůči  $x$ -ové ose, což představuje podobnou závislost jako v případě nadměrku. Graf (7.4) vykresluje závislost celkového objemu přídatku kmene na celkovém objemu kmene. Je zřejmé, že daná závislost je v silné korelaci s lineárním fitem,

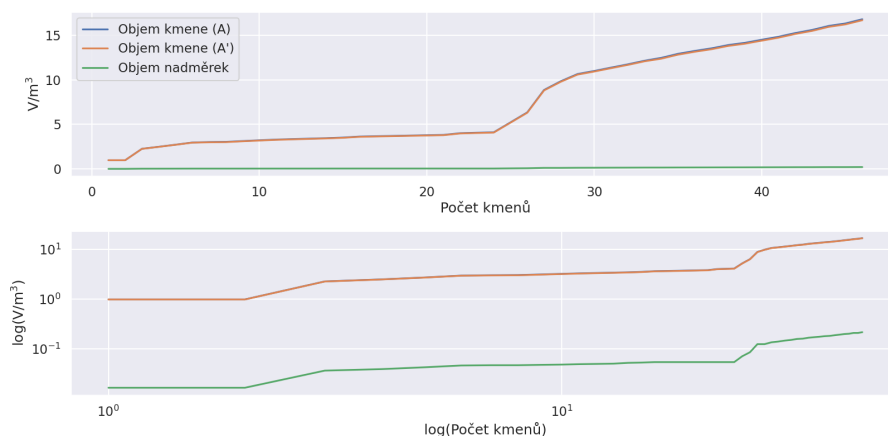


Graf 7.4: Závislost celkového objemu přídavek kmene na celkovém objemu kmene.

jehož rozptyl by nebyl příliš velký. Vidíme, že objem přídavek skutečně narůstá vzhledem k zvyšujícímu se objemu kmene, což je logickým vyústěním charakteru počítání přídavek (viz. vzorec (6.22)).

### 7.3.2 Kumulativní objemové závislosti

Tato sekce bude poukazovat na vztah narůstajícího objemu nadměrku, řezacího okna, řezu a přídavek na objemu kmene vzhledem k narůstajícímu počtu kmenů. Povaha jednotlivých veličin, které jsou navzájem porovnávány, je rozdílná o několik řádů v jednotkách  $m^3$ , proto každý graf bude obsahovat vždy i logaritmické měřítko, aby bylo možné kvalitativně sledovat změny všech zkoumaných objemů.

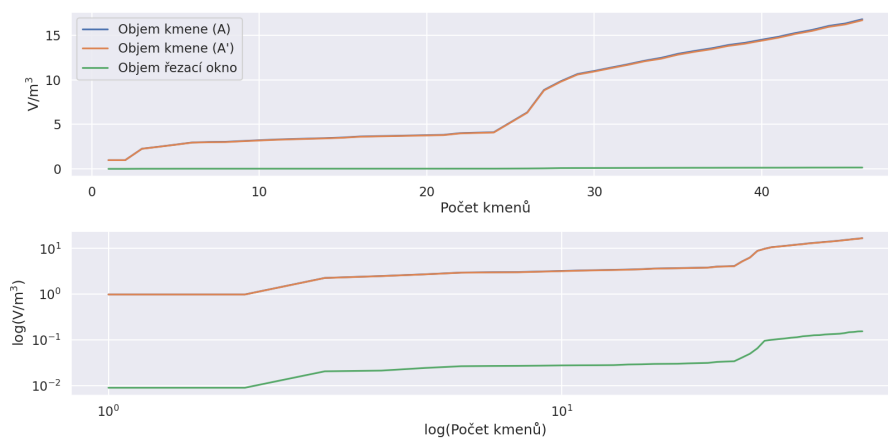


Graf 7.5: Kumulativní závislost objemu nadměrku kmene a objemu kmene na zvyšujícím se počtu kmenů.

Graf (7.5) vykresluje kumulativní závislost objemu nadměrku kmene a objemu kmene v  $m^3$  na zvyšujícím se počtu kmenů. Legenda v grafu (7.5) popisuje modrými tečkami objem  $V_{Dříví_h}$  a oranžovými tečkami objem  $V_{Dříví_s}$ . Z grafu

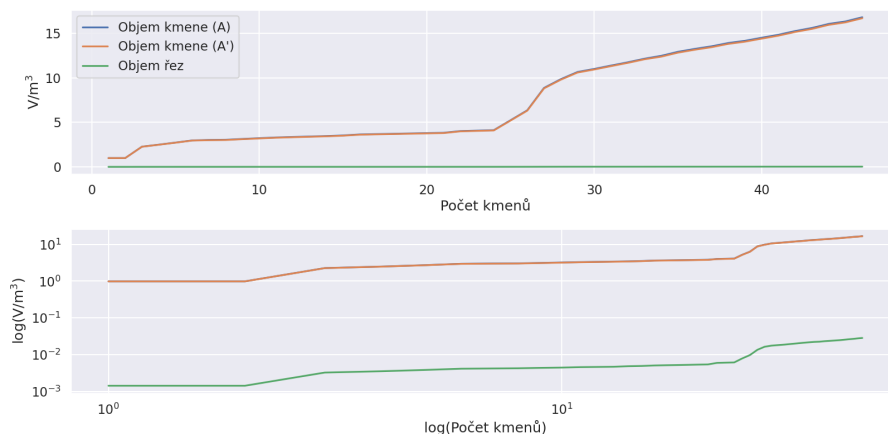


je jasně patrná rostoucí závislost všech vnesených objemů na počtu kmenů. Charakter křivek je téměř totožný, co vidíme v logaritmičsky škálovaném grafu.



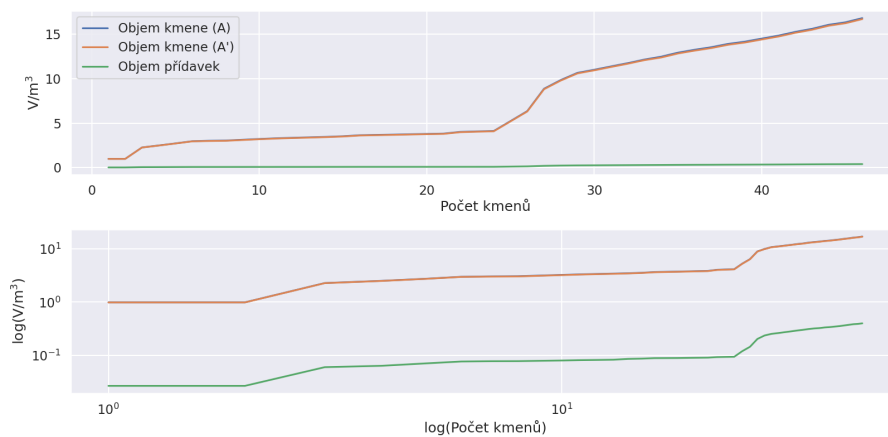
Graf 7.6: Kumulativní závislost objemu řezacího okna kmene a celkovího objemu kmene na zvyšujícím se počtu kmenů.

Graf (7.6) vykresluje kumulativní závislost objemu řezacího okna kmene a objemu kmene v  $m^3$  na zvyšujícím se počtu kmenů. Legenda v grafu (7.6) popisuje modrými tečkami objem  $V_{Dříví_h}$  a oranžovými tečkami objem  $V_{Dříví_s}$ . Z grafu je jasně patrná rostoucí závislost všech vnesených objemů na počtu kmenů. Vykreslené křivky jsou stejného charakteru jako ve výše uvedeném grafu (6.8).



Graf 7.7: Kumulativní závislost objemu řezacího okna kmene a celkovího objemu kmene na zvyšujícím se počtu kmenů.

Graf (7.7) vykresluje kumulativní závislost objemu řezu kmene a objemu kmene v  $m^3$  na zvyšujícím se počtu kmenů. Legenda v grafu (7.7) popisuje modrými tečkami objem  $V_{Dříví_h}$  a oranžovými tečkami objem  $V_{Dříví_s}$ . Z grafu je jasně patrná rostoucí závislost všech vnesených objemů na počtu kmenů. Vykreslené křivky jsou stejného charakteru jako ve výše uvedených grafech (6.8) a (6.13).



Graf 7.8: Kumulativní závislost objemu řezacího okna kmene a celkovího objemu kmene na zvyšujícím se počtu kmenů.

Graf (7.8) vykresluje kumulativní závislost objemu řezu kmene a objemu kmene v  $m^3$  na zvyšujícím se počtu kmenů. Legenda v grafu (7.8) popisuje modrými tečkami objem  $V_{Dříví_h}$  a oranžovými tečkami objem  $V_{Dříví_s}$ . Z grafu je jasně patrná rostoucí závislost všech vynesných objemů na počtu kmenů. Vykreslené křivky jsou stejného charakteru jako ve výše uvedených grafech (6.8), (6.13) a (6.14) .

## 8. Diskuse výsledků

Je dobré ještě jednou připomenout, že jak do výsledné analýzy a výpočtů tak i do grafické interpretace výsledků byly zahrnuty pouze kmeny, které byly nařezány na sortimenty splňující všechny požadavky, tedy když byl kmen vydruhován na 7 sortimentů a jeden z nich byl délky např. 4,07 cm, tak tento sortiment byl vyřazen z výpočtů.

### 8.1 Objemové závislosti

Vzhledem ke grafickému zobrazení není na první pohled zřejmá skutečná korelace mezi vybranými objemy. Je zřejmé, že závislosti objemu přídatku na objemu kmene a závislosti objemu kmene a objemu řezacího okna jsou zatíženy výběrovým efektem. Je to jasně vidět v souhrnném grafu závislosti objemu kmene na objemu přídatku.

Z logiky věci plyne, že pokud by byl kmen vydruhován na určitý počet sortimentů, tak aby sortimenty obsahovaly nenulový přídatok v podobě řezacího okna a nadměrku, potom v závislosti na šířce kmene by z jeho objemem narůstal také objem přídatku. Charakter korelace<sup>1</sup> v tomto případě bude kladný a bude růst zleva doprava. Tento předpoklad obecně však není zaručen, protože řezací okno<sup>2</sup> může mít šířku  $0 - x$  cm ( $x$  je libovolné kladné číslo, které v reálných případech odpovídá hodnotě 2 – 6 cm). Právě spodní hodnota 0 cm způsobí, že celý kmen by mohl být vydruhován s 100% přesností a tím by vznikl nulový objem řezacího okna, přičemž tento závěr v žádném případě nezávisí na objemu kmene. Na druhou stranu může být řezací okno větší než doporučený rozsah do 4 cm, což způsobí nemalé procentuální zastoupení z celkového objemu kmene (klidně 3% – 4%). V našem případě objem řezacího okna představuje v průměru 0,9% z objemu celého kmene, přičemž rozptyl je od 0,1% až po 1,8%. Naproti tomu je jasně viditelná korelace mezi objemem kmene a objemem řezacího okna, což ukazuje výše přiložený graf (7.2). Pokud bychom jsme sa drželi striktně teoretické roviny, tak z výše napsaného je zřejmé, že není jasně dokazatelná závislost objemu řezacího okna na objemu kmene. V reálném případě jsme však změřili, že přibližně 98% sortimentů obsahovalo řezací okno. Při takto markantním zastoupení nenulových objemů řezacích oken je dominantní první předpoklad nenulovosti řezacích oken. Tento reálný předpoklad způsobí jasnou korelaci a tedy narůstající objem celkového řezacího okna v závislosti na celkovém objemu kmene.

V případě závislosti objemu nadměrku na objemu kmene, je třeba uvažovat fakt, že narozdíl od řezacího okna se nadměrek vyskytuje poze v případě 4 m kulatiny. Taktéž když daný sortiment obsahuje nadměrek, tak jeho tloušťka má být rovna 8 cm. V teoretickém případě (viz. výše popsany úsek závislosti řezacího okna na

---

<sup>1</sup>Pokud by jsme například použili metodu nejmenších čtverců a danou korelaci v prvním přiblížení fitovali lineární křivkou, potom by její derivace byla vždy kladná a teda funkce by na celém svém definičním oboru byla rostoucí.

<sup>2</sup>Zamysleme se nad tím, že řezací okno je relevantní pojem při každém sortimentu, protože toto okno je defaultně nastavené během celého kubírování.

objemu kmene) není jasně definována korelace mezi těmito dvěma objemy. Avšak v reálném případě se tlačí na to aby kmen byl vydruhovaný na maximální počet sortimentů (kulatina). V našem případě nadměrek obsahovalo až 56% sortimentů. Tento fakt opět zabezpečil jasnou korelaci a vztah mezi objemem celkového nadměrku kmene na objemu příslušného kmene, což je jasně ukázáno v grafu (7.1). V porovnání s objemem řezacího okna má objem nadměrku celkové zastoupení na úrovni 1,3% z celkového objemu kmene s rozptylem od 0% do 2,1%. Je dobré poznamenat, že rozdíl od korelace mezi objemem celkového řezacího okna kmene a objemu kmene a korelace mezi objemem celkového nadměrku kmene a objemu kmene je daná korelace o mnoho menší<sup>3</sup>. Je to způsobené změnou charakteru stupněm volnosti, protože při rezacom okne bol pozorovaný stupeň volnosti a to jeho šířka, rozdiel od nadmerku, kde bol pozorovaný stupeň volnosti na základe veľkosti sortimentu.

Závislost objemu řezu na objemu kmene vyžaduje poněkud odlišnější přístup, jelikož řez je vždy přítomná fiktivní ztráta u každého sortimentu a vždy se stejnou tloušťkou. V tomto případě tedy nebude hrát roli rozdíl mezi teoretickým přístupem a reálným přístupem, jelikož je zřejmé, že při každém dalším výrobném sortimentu se zvýší objem řezu vzhledem k tloušťce prořezu. Očekáváme jasnou kladnou korelaci mezi celkovým objemem řezu v závislosti na objemu celkového kmene, což potvrzuje i příložený graf (7.3). Celkem lze stanovit procentuální zastoupení objemu řezu na celkovém objemu kmene na cca 0,2%.

Výše popsané závislosti byly spojeny do celkového přídatku kmene. Zkoumaná závislost celkového objemu přídatku kmene na celkovém objemu kmene byla vykreslena v grafu (7.4). Je zjevné, že daná korelace je kladná a je závislá na dílčích závislostech objemu nadměrku a objemu řezacího okna a objemu řezu. Chyba lineárního fitu grafu (7.4) je mezi výbavami lineárních fitů grafu (7.1) a grafu (7.2). Celkové procentuální zastoupení objemu přídatku na objemu kmene je přibližně 2,4%.

## 8.2 Kumulativní objemové závislosti

Obecně kumulativní závislost objemu řezacího okna na zvyšujícím se počtu kmenů nemůže mít klesající charakter. Tak jak již bylo výše popsáno, mohla být mít konstatní charakter totožný s osou  $x$ , ale jen v teoretické rovině, která se však v praxi nerealizuje. Vzhledem k tomu, že všechna naše měření objemů kmenů obsahovala nenulový objem řezacího okna, pak závislost je ryze rostoucí na celém svém definičním oboru.

Téměř stejná diskuse by byla vztažena i pro kumulativní závislost objemu nadměrku na zvyšujícím se počtu kmenů, s tím rozdílem, že některé kmeny obsahovaly celkově nulový objem nadměrku, což však interpretaci grafu (7.5). Tento fakt maximálně způsobil, že křivka kumulativního objemu nadměrku není ryze rostoucí na celém svém definičním oboru, ale jen rostoucí, protože existují úseky, pro které změna v ose  $x$  nezpůsobí žádnou změnu na ose  $y$ . Tento závěr obdobně jako

---

<sup>3</sup>Jinak řečeno s menší chybou fitované křivky.

u sekci objemových závislostí je v rozporu s teoretickými předpoklady.

Jelikož kumulativní objem řezu je kvalitativně identický kumulativnímu objemu řezacího okna, je možné pro tento případ vztáhnout totožnou diskusi průběhu daných křivek, s tím rozdílem, že tato křivka je jak s teoretickými předpoklady, tak s reálným měřením.

Kumulativní objem přídatku je jen součtem všech výše uvedených objemů, z čehož vyplývá že to je ryze rostoucí funkce, která je také v souladu s teoretickými předpoklady a také s praktickými předpoklady, i když tato veličina nebyla přímo měřena, ale pouze odvozena z výše uvedených dat na základě rovnice (6.22).

## 9. Závěr

V této diplomové práci byl sepsán ucelený přehled dosud nabytých poznatků harvestorové technologie od které se odvíjí celková vědní disciplína druhování dříví pomocí této technologie.

Ukázali jsme, že z teoretických základů nelze získat žádnou korelaci ani žádnou výraznou objemovou závislost mezi celkovým objemem nadměřku kmene a celkovým objemem řezacího okna kmene na celkovém objemu kmene. Dále jsme potvrdili teoretické předpoklady silné korelace mezi celkovým objemem řezu kmene a celkovým objemem kmene.

Navzdory teoretickým předpokladům reálná měření ukázala, že všechny objemové závislosti vykazují jasnou silnou korelaci s podobným sklonem fitované křivky.

Povrdili jsme rostoucí charakter závislostí objemu jednotlivých měřených veličin vzhledem ke zvyšujícímu se počtu kmenů, kde jsme současně ukázali, že kumulativní objemy nadměřků, řezacích oken a příčného řezu kopírují kumulativně celkové objemy kmeny.

V poslední řadě jsme spočítali procentuální zastoupení objemu nadměřku vůči celkovému objemu kmene na úrovni 1,3%, procentuální zastoupení objemu řezacího okna vůči celkovému objemu kmene na úrovni 0,9%, procentuální zastoupení objemu řezu vůči celkovému objemu kmene na úrovni 0,2% a procentuální zastoupení objemu přířívku vůči celkovému objemu kmeny na úrovni 2,2%. Kromě procentuálního zastoupení objemu řezu na celkovém objemu kmene jsou všechna ostatní procentuální zastoupení udána z vysokým rozptylem, což je způsobeno nesouladem mezi teoretickým a praktickým přístupem.

# Seznam použité literatury

- Kabeš A. *Produktivita práce malých vyvážecích traktorů v regionálních lesích Žluticka. Bakalářská práce. Praha. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, 2010.*
- Kabeš A. *Metodika pro kalibraci těžebních strojů a analýza výstupů dat dle StanForD. Disertační práce. Praha. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, 2015.*
- Oliva J. Hošková P. Malkovský Z. Dvořák J., Gross J. *Sestavení výkonových norem pro harvestory a vyvážecí traktory podle výkonových tříd strojů a výrobních podmínek (Závěrečná zpráva). Praha. Česká zemědělská univerzita, 2010.*
- Dvořák J. ; et al. *Využití harvesterových technologií v hospodářských lesích = The use of harvester technology in production forests. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, s.r.o., 2012. 2012. ISBN 978-80-7458-028-4.*
- Löwe R.; et al. Differences in timber volume estimates using various algorithms available in the control and information systems of harvesters. 10(5):388, 2018. doi: 10.3390/f10050388.
- Löwe R.; et al. Analýza nevidovaného objemu dříví v přídavcích k délce výřezů při výrobě smrkového dříví harvesterovou technologií. 64(4):207–216, 2019. URL <https://www.vulhm.cz/files/uploads/2020/01/577.pdf>.
- Neruda J. ;et al. *Harvesterové technologie lesní těžby. 1. vydání Brno. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. ISBN 978-80-7375-146-3.*
- Tuháček F. Rozbor modelů technologické typizace a dopady transformace lesního hospodářství na těžebně-dopravní proces. *Bulletin Národního lesnického komitétu, Praha, pages 8–13, 1997.*
- Brezina T. Schreiber J. Gemballa J. Flechsig B., Winkler B. *Holzerntetechnologien – Richtlinie zur Anwendung im Staatswald des Freistaates Sachsen. Pirna. Staatsbetrieb Sachsenforst, 2006.*
- Dvořák J. Gross J., Olova J. *Posouzení nasazení technologií a rozsahu poškození lesní půdy při zpracování kalamity u Vojenských lesů a statků, s.p., divize Horní Planá (Studie). Praha. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008.*
- Brožek J. *Analýza technologií těžebních prací v lesním hospodářství. Bakalářská práce. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Zemědělská fakulta., 2009.*
- Dvořák J. Optimalizace hodnot těžebně-technologických faktorů ovlivňujících měrné škody ve výchovných těžbách při nasazení těžebně-dopravních strojů. pages 47–53, 2000.
- Dvořák J. Rozvoj harvesterových technologií v lh, lesnická práce 8/2002, kostelec nad Černými lesy,. *Lesnická práce, 81(8):364–365, 2002.*

- Dvořák J. Poškození porostů krušných hor po nasazení harvesterových technologií. pages 1–19, 2004.
- Johansson J. Excavators as base machines in logging operations. *Journal of Forest engineering, Technical Release*, 13(4):1–5, 1995.
- Malík V.; Dvořák J. *Harvesterové technologie a vliv na lesní porosty = Harvester technologies and impact on forest stands. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, s.r.o.* 2007. ISBN 978-80-86386-92-8.
- Pitor J. *Rozbor vlastností harvesterových technologií lesní těžby v podmínkách LČR s.p. LS Janovice. (Bakalářská práce). Brno.* Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008.
- Wildeman J. *The Technological and Managerial History of Innovation in British Columbias Forest Industry.* FRST 497, 2011.
- Staempfer K. Influence of terrain conditins and thinning regimes on productivity of a track-bades steep slope harvester. in proceedings of the international mountain logging and 10th pacific northwest skyline symposium. session and chung (editors). *Corvallis, Oregon*, pages 78–87, 1999.
- Jobágy J. Dvořák J. Kováč J., Krilek J. *Technika a mechanizácia v lesníctve. Zvolen.* Technická univerzita vo Zvolene, 2017.
- Nordfjell T. Lundbäck M., Häggström C. Worldwide trends in the methods and systems for harvesting, extraction and transportation of roundwood. 2018. URL <http://www.foresteng.canterbury.ac.nz/FEC2018.shtml>.
- Mrňák M. *Kontrolní měření a analýza odchylek objemu vyrobeného dříví harvesterem vedeného ve výrobně-evidenčním softwaru DASA. Diplomová práce. Praha:.* Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, 2019.
- Mrňák M. *Stanovení odchylek přesnosti objemu výroby při pni komparací mezi manuálním a elektronickým měřením objemu dříví harvestory ve vybraných výrobních podmínkách. Bakalářská práce. Praha:.* Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, 2017.
- Pivoňka M. *Analýza výkonnosti práce harvesterové technologie v nahodilých těžbách a vybraných výrobních podmínkách. Diplomová práce. Praha.* Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, 2012.
- MZe. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství v r. 2002. page 116, 2003.
- MZe. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství v r. 2020. page 128, 2021.
- Dvořák J. Natov P. *Doporučená pravidla pro elektronický příjem dříví harvestory v ČR 2018. 1. vydání Praha:.* Produkce BPP s.r.o., 2018. ISBN 978-80-906874-7-9.
- Simanov V. Nneruda J. *Technika a technologie v lesnictví. 1. vydání, Brno.* Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, LDF, 2006. ISBN 80-7157-988-2.



- Lasák K.; Němec O. Víceoperační těžebně-dopravní stroje (tds) v ČR.
- Lasák K.; Němec O. Víceoperační těžebně-dopravní stroje (tds) v ČR. *Lesnická práce*, 75(12):447–449, 1996.
- Bambuškár P. *Posouzení vhodnosti použití harvesterové technologie lesní těžby na lesním majetku Orlík nad Vltavou, s.r.o. (Bakalářská práce)*. Brno. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2016a.
- Dvořák J.; Natov P. *Aktuální a strategické možnosti trvale udržitelného poskytování funkcí lesa a služeb polyfunkčního lesního hospodářství veřejnosti z hlediska sociálně-ekonomického, politického a právního v České republice*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2016b.
- Dvořák J.; Natov P. Plošný výrobní potenciál pro harvesterovou technologii v ČR k 31.12.2015.(specializované mapy s odborným obsahem). page 32, 2016c.
- Horek P. Následky poškození probírkových porostů těžební a dopravní technikou. pages 329–331, 1991.
- Mrenica P. *Rozbor a analýza konštrukčných riešení rezacích mechanizmov harvesterových hlavíc (Bakalárska práca)*. Zvolen. Technická univerzita vo Zvolene, 2005.
- Pulkki R. Cut-to-length, tree-length or full tree harvesting? 1:22–27, 1997.
- Ulrich R. Možnosti ochrany půdy před mechanickým poškozením. *Lesnická práce*, 77(11):413, 1998.
- Berg S. Terrain classification system for forestry work. uppsala: Forestry research institute of sweden. page 28, 1992a.
- Coombie S. Delimiting knives for tree processors and harvesters. *Agricultural Engineer*,, 47:60–62, 1992b.
- Forest S. *Code of Best Forest Practice – Ireland*. Dublin. Department of the Marine and Natural Resources, Ireland, 2000a.
- Forest S. Code of best forest practice – ireland. *Dublin: Forest Service, Department of the Marine and Natural Resources, Ireland*,, page 198, 2000b.
- Bushmann CHr. Sauter U.H. Bestandesschaden bei der durchforstung von fichtenbeständen mit kranvollerntern unter berucksichtigung unterschiedlicher ruckegassenabstande. pages 137–141, 1994.
- Popelka J. Simanov V., Macků J. Nový návrh terénní klasifikace a technologické typizace. *Lesnictví – Forestry*, 39(10):422–428, 1993.
- Lukáč T. Viacoperačné stroje vlesnom hospodárstve. zvolen: Technická univerzita ve zvolenu, page 137, 2005.
- Slodičák M. Neruda J. Ulrich R., Kůpčák V. *Uplatnění sortimentních technologií*. Praha: Vojenské lesy a statky ČR, 2007.

Zeman V. Zemánek T. Ulrich R., Neruda J. *Harvestorové technologie a jejich optimální využití v praxi. 1. vydání. Brno.* Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2006.

Šimanov V. Rozdíly v evidovaném objemu dříví. 82(2):32–34, 2003.

ÚHUL. *Užívání k přírodě šetrných technologií při hospodaření v lesních porostech (Pracovní metodika pro privátní poradce v lesnictví). Brandýs nad Labem: Ústav pro hospodářskou úpravu lesa Brandýs nad Labem,, 2007.*

# Seznam obrázků

3.1	Plošný výrobní potenciál pro harvestorovou technologii v ČR v závislosti na výrobních podmínkách. . . . .	23
7.1	Závislost celkového objemu nadměrku kmene na celkovém objemu kmene. . . . .	41
7.2	Závislost celkového objemu řezacího okna na celkovém objemu kmene. . . . .	42
7.3	Závislost celkového objemu řezu kmene na celkovém objemu kmene.	42
7.4	Závislost celkového objemu přídatku kmene na celkovém objemu kmene. . . . .	43
7.5	Kumulativní závislost objemu nadměrku kmene a objemu kmene na zvyšujícím se počtu kmenů. . . . .	43
7.6	Kumulativní závislost objemu řezacího okna kmene a celkovího objemu kmene na zvyšujícím se počtu kmenů. . . . .	44
7.7	Kumulativní závislost objemu řezacího okna kmene a celkovího objemu kmene na zvyšujícím se počtu kmenů. . . . .	44
7.8	Kumulativní závislost objemu řezacího okna kmene a celkovího objemu kmene na zvyšujícím se počtu kmenů. . . . .	45

# Seznam tabulek

3.1	Rozdělení harvestorů podle rozměrů a výkonu (Ulrich et al, 2006)	8
3.2	Harvestory podle velikosti a roku výroby . . . . .	11
3.3	Charakteristiky terénních typů v terénní klasifikaci "Lesoprojekt 1980"(Zdroj ÚHUL 2007) . . . . .	14
3.4	Charakteristika (vyjádřená za pomoci edafické kategorií sklonu terénu) terénních typů terénní klasifikace" Macků, Popelka, Simanov 1992"(Zdroj: ÚHUL 2007) . . . . .	15
3.5	Podíl sortimentní těžební metody na výrobě dříví 2005 – 2020 . .	22
5.1	Metody stanovení objemu dle standardu StanForD . . . . .	27
5.2	Přípony vybraných souborů pro StanForD. (Zdroj: Natov, Dvořák et. al 2018) . . . . .	27
5.3	Nejběžnější softwarové produkty výrobců s největším zastoupením v ČR (Dvořák et. al 2012) . . . . .	29
7.1	Vypočítané objemy pro první měření. . . . .	40
7.2	Vypočítané objemy pro druhé měření. . . . .	40
7.3	Vypočítané objemy pro druhé měření. . . . .	40

# Seznam zkratk

**LS** - Lesní správa

**JMP** - Jednomužná pila

**LDZ** - Lanové dopravní zařízení