

MENDELOVA ZEMĚDĚLSKÁ A LESNICKÁ UNIVERZITA V BRNĚ

Lesnická a dřevařská fakulta



Aplikace metodiky výpočtu převodních koeficientů objemu rovnaného dříví pomocí počítačové analýzy obrazu a její verifikace prostřednictvím elektronické přejímky a stanovení koeficientů podle dřevin a sortimentů pro harvestorovou technologii

(projekt řešený v rámci GS LČR č. 4/2003)
(číslo zakázky 4230/1005 4GT 423)

Závěrečná zpráva projektu
(verze pro připomínkové řízení)

kolektiv autorů

Brno, 2005

Autoři:

Prof. Ing. Radomír Ulrich, CSc.

Ing. Michal Kneifl, Ph.D.

Dr. Ing. Jan Kadavý

RNDr. Pavel Mazal, Ph.D.

Obsah:

1	ÚVOD, ROZBOR PROBLEMATIKY	5
2	CÍL PRÁCE	6
3	MATERIÁL A METODIKA.....	7
3.1	METODIKA ODBĚRU SNÍMKŮ ČEL HRÁNÍ A POČÍTAČOVÉ ANALÝZY OBRAZU	7
3.2	METODIKA STATISTICKÉHO ZPRACOVÁNÍ DAT	9
3.3	MNOŽSTVÍ A STRUKTURA SNÍMANÝCH DIGITÁLNÍCH SNÍMKŮ.....	9
4	VÝSLEDKY	12
4.1	ZÁKLADNÍ STATISTICKÉ PŘEDPOKLADY VÝBĚROVÝCH SOUBORŮ.....	12
4.1.1	<i>Normalita souboru</i>	<i>12</i>
4.2	ANALÝZA ROZDÍLU HODNOT KOEFICIENTŮ PŘI SNÍMÁNÍ OBOU STRAN HRÁNĚ.....	12
4.3	VLIV OBLASTI NA VÝŠI KOEFICIENTU.....	16
4.4	VLIV PRŮMĚRNÉ TLOUŠTKY POLEN NA VÝŠI KOEFICIENTU	17
4.5	VÝSLEDNÉ PŘEPOČTOVÉ KOEFICIENTY	18
4.5.1	<i>Výsledky v členění podle Pokynu LČR s.p. 04/2001: Těžba dřeva sortimentní metodou s využitím harvesterů a vyvážecích traktorů.....</i>	<i>18</i>
4.5.2	<i>Výsledky v členění podle dřeviny a sortimentu.....</i>	<i>18</i>
4.5.2.1	Smrkové agregátní výřezy	18
4.5.2.2	Smrková kulatina.....	20
4.5.2.3	Smrková vláknina.....	21
4.5.2.4	Smrkové palivo	22
4.5.2.5	Borové agregátní výřezy.....	23
4.5.2.6	Borová kulatina	24
4.5.2.7	Borová vláknina	25
4.5.2.8	Modřínové agregátní výřezy.....	26
4.5.2.9	Modřínová kulatina	26
4.5.2.10	Modřínová vláknina	27
4.5.3	<i>Souhrnné výsledky.....</i>	<i>28</i>
4.5.4	<i>Možnosti generalizace v rámci dřevin.....</i>	<i>28</i>
4.5.4.1	Smrkové sortimenty	28
4.5.4.2	Borové sortimenty	28
4.5.4.3	Modřínové sortimenty	29
4.5.5	<i>Možnosti generalizace napříč dřevinami</i>	<i>30</i>
4.6	POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ S ELEKTRONICKOU PŘEJÍMKOU A MĚŘENÍM HARVESTORU	31
5	ZÁVĚR.....	32
6	DISKUSE	34
7	LITERATURA	36
8	PŘÍLOHY	37

Přehled obrázků:

Obrázek č. 1: Ukázka čelního snímku hráně	7
Obrázek č. 2: Ukázka vložení masky do snímku čela hráně	7
Obrázek č. 3: Binární obraz v masce snímku	8
Obrázek č. 4: Příklad finálního binárního obrazu	8
Obrázek č. 5: Mapa rozmístění lokalit	10
Obrázek č. 6: Histogram odchylek párových koeficientů a kumulativní relativní četností	13
Obrázek č. 7: Porovnání párových koeficientů (řazeno vzestupně podle koeficientů „A“) ...	15
Obrázek č. 8: Srovnání kumulativního průběhu řad koeficientů „A“ a „B“	15
Obrázek č. 9: Závislost hodnoty koeficientu na průměrné tloušťce polen.....	17

Přehled tabulek:

Tabulka č. 1: Přehled analyzovaného materiálu – počty snímků podle PLO a lokality	9
Tabulka č. 2: Přehled analyzovaného materiálu – počty snímků podle dřeviny a sortimentu	11
Tabulka č. 3: Výsledek testování normality u výběrových souborů	12
Tabulka č. 4: Přehled párových snímků podle dřeviny, sortimentu a délky	12
Tabulka č. 5: Přehled párových koeficientů	14
Tabulka č. 6: Výsledek Tukey-HSD testu vzájemného porovnání PLO (dle koeficientu)	16
Tabulka č. 7: Výsledek analýzy rozptylu pro zjištění vlivu PLO na koeficient.....	16
Tabulka č. 8: Výsledné koeficienty v třídění podle metodiky LČR.....	18
Tabulka č. 9: Vliv délky SM agregátních výřezů na koeficient (Tukeyho-HSD test)	18
Tabulka č. 10: Popisné charakteristiky souboru dat koeficientů a tloušťek	19
Tabulka č. 11: Vliv délky SM kulatiny na koeficient (Tukeyho-HSD test)	20
Tabulka č. 12: Popisné charakteristiky souboru dat koeficientů a tloušťek	20
Tabulka č. 13: Vliv délky SM vlákniny na koeficient (Tukeyho-HSD test).....	21
Tabulka č. 14: Popisné charakteristiky souboru dat koeficientů a tloušťek	21
Tabulka č. 15: Vliv délky SM paliva na koeficient (Tukeyho-HSD test).....	22
Tabulka č. 16: Popisné charakteristiky souboru dat koeficientů a tloušťek	22
Tabulka č. 17: Vliv délky BO agreg. výřezů na koeficient (Tukeyho-HSD test)	23
Tabulka č. 18: Popisné charakteristiky souboru dat koeficientů a tloušťek	23
Tabulka č. 19: Vliv délky BO kulatiny na koeficient (Tukeyho-HSD test).....	24
Tabulka č. 20: Popisné charakteristiky souboru dat koeficientů a tloušťek	24
Tabulka č. 21: Vliv délky BO vlákniny na koeficient (Tukeyho-HSD test).....	25
Tabulka č. 22: Popisné charakteristiky souboru dat koeficientů a tloušťek	25
Tabulka č. 23: Popisné charakteristiky souboru dat koeficientů a tloušťek	26
Tabulka č. 24: Vliv délky MD kulatiny na koeficient (Tukeyho-HSD test).....	26
Tabulka č. 25: Popisné charakteristiky souboru dat koeficientů a tloušťek	27
Tabulka č. 26: Vliv délky MD vlákniny na koeficient (Tukeyho-HSD test).....	27
Tabulka č. 27: Popisné charakteristiky souboru dat koeficientů a tloušťek	27
Tabulka č. 28: Výsledné neupravené koeficienty podle dřeviny a sortimentu	28
Tabulka č. 29: Výsledek Tukey-HSD testu pro smrk	28
Tabulka č. 30: Výsledek Tukey-HSD testu pro borovici	28
Tabulka č. 31: Výsledek Tukey-HSD testu pro modřín.....	29
Tabulka č. 32: Výsledek Tukey-HSD testu pro výše sloučené sortimenty	30
Tabulka č. 33: Upravené koeficienty podle dřeviny a sortimentu	30
Tabulka č. 34: Přehled výsledků jednotlivých metod	31

1 ÚVOD, ROZBOR PROBLEMATIKY

Stanovení převodních koeficientů objemu rovnaného dříví z prostorových metrů (prm) na metry (m^3 b.k.) tvoří stěžejní část procesu zjišťování objemu výřezů dřeva, kdy za základ výpočtu je nutno považovat hráň dříví. Hráň představuje množství vyrovnaného dříví v prostoru, včetně mezer mezi jednotlivými poleny. Objem dříví odvozený z prostorových metrů je proto nutno následně pomocí tzv. převodních koeficientů přepočítat na metry krychlové. Z literatury i z praktického používání doložených postupů pro odvození převodních koeficientů vyplývají i možná řešení daného problému. Jedná se například o postup, při kterém je nutno rozebrat reprezentativní hráň a následně zjistit objem jednotlivých polen některým ze známých kubírovacích vzorců. Nebo je k danému účelu použito tzv. xylometrického postupu, kdy je hráň ponořena do kapaliny o známém objemu a na základě množství vytlačené kapaliny je vypočten objem výřezů dřeva, či postupy další, provozní povahy, kdy je převodní koeficient určen například některým z výše popsanych postupů, či jinak, a je provozně používán bez následných korekcí v terénu. Ve většině případů se však jedná o postupy pracné a časově velmi náročné, provozně neaplikovatelné.

Nové pozitivní, ale i negativní změny do oblasti lesnictví a zpracování dřeva přinesly harvestorové technologie. Jednou z činností, která velice ovlivňuje nejen konečný efekt výroby, ale zároveň mění známé postupy, je měření zpracovávaného dřeva. Způsob elektronické přejímky, která je odběrateli stále více využívána, je v konečné fázi s kontrolou harvestorového výstupu rozdílná. Proto se stále více pracuje na různých možnostech nastavení operačního systému jednotlivých harvestorů. Kritérií je několik. Od parametrů kůry až po různé přepočtové koeficienty vkládané do sortimentace. Další z možností je nalezení optimálního nadměrku spolu s řezacím oknem.

Podle dostupných zkušeností s touto problematikou se předpokládá, že největší podíl na rozdílu měření mezi harvestorem a pak následným kontrolním měřením je způsobený nedostatečnou kalibrací měřicího systému stroje. Princip kalibrace spočívá v převedení naměřených hodnot těžební hlavicí na reálná čísla v délkové soustavě. Platí pro ni doporučené zásady, např. délku je třeba kalibrovat u každé dřeviny zvlášť, neboť měřicí kolečko se pohybuje po každém druhu kůry jinak. Průměr stačí ve většině případů kalibrovat pro všechny dřeviny jeden. Je ale třeba přeměřit průměr na všech vyráběných sortimentech. Kalibraci je potřeba provádět každou směnu. Podmínky za kterých stroj pracuje a měří, se také každou směnu mění, například podle povětrnostních vlivů (teplota), nebo různých částí zpracovávaného porostu (okraj, střed). Existují dva typy kalibrace podle software příslušného stroje. První typ nastavení se týká vzájemných rozdílů mezi měřením stroje a měřením fyzickým. Je vytvořeno na principu dosazování hodnot. Například se určí pět kusů, na kterých se kalibrace bude provádět. Změří se jednotlivé kusy při zpracování harvestorem a odloží se na stranu, podle pořadí zpracování. Naměřené hodnoty se vytisknou. Pak se každý kus změří fyzicky. Výsledné rozdíly se zprůměrují a výsledné číslo (průměr i délku) se dosadí do kalibrace. Systém se sám přednastaví na tyto hodnoty.

Druhý typ nastavení je na základě kalibrační křivky. To znamená, že rozdílné hodnoty měření se nastavují ihned u každého měřeného sortimentu a tak se přeměří celý zpracovávaný strom od paty až ke špičce. I v tomto případě se musí vždy nastavit délku a průměr zvlášť.

V biometrické laboratoři ústavu HÚL se již od roku 1999 zabýváme možnostmi využití počítačové analýzy obrazu pro zjištění objemu rovnaného dříví. Naše zkušenosti jsme mimo jiné úspěšně aplikovali i v rámci pravidelných měsíčních inventarizací skladových zásob vlákniny u firmy Frantschach Pulp&Paper a.s. Štětí v letech 1999 – 2001. Podle našeho názoru je využití počítačové analýzy obrazu efektivní cestou kontroly příjmu rovnaného dříví.

2 CÍL PRÁCE

Cílem předkládané studie je aplikace, verifikace a případná korekce vytvořené metodiky, stanovení koeficientů pro zjištění objemu výřezů dříví uloženého v hráních, s důrazem na použití při harvestorové technologii, počítačovou analýzou obrazu, vytvoření aktualizovaného souboru převodních koeficientů pro vybrané sortimenty a dřeviny. Srovnání výsledků získaných vypracovanou metodikou zjišťování převodních koeficientů s výsledky kontrolního zjišťování objemu dříví elektronickou přejímkou na stanovených MES v ČR.

V rámci tohoto cíle je nutno ověřit několik pracovních hypotéz, kterými jsou:

- a) Délka sortimentu nemá vliv na hodnotu přepočetniho koeficientu.
- b) Existuje závislost hodnoty přepočetniho koeficientu na průměrné tloušťce polen v hrání.
- c) Koeficient lze zjišťovat ze snímků snímaných vždy jen na jedné straně hráně.
- d) Hodnoty zjištěné analýzou obrazu korespondují s hodnotami elektronické přejímky.

3 MATERIÁL A METODIKA

3.1 Metodika odběru snímků čel hrání a počítačové analýzy obrazu

Vybrané vhodné výseky hrání (o rozměrech cca 1 x 1 m až 1,5 x 1,5 m) jsou snímány digitálním fotoaparátem umístěným na stativu. Daný výsek hrání je fotografován vždy z přední strany, pokud je hráň přístupná z obou stran, pak i ze strany odvrácené. Pro zjištění rozměrových parametrů v analyzovaném výseku hrání je přikládáno k hráni měřítko (50 cm).

Obrázek č. 1: Ukázka čelního snímku hrání

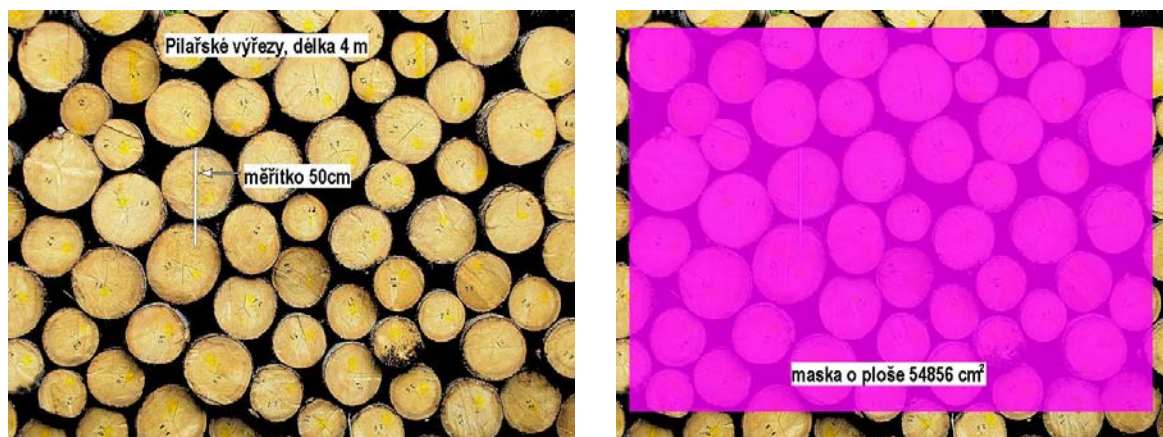


Digitální snímky jsou zpracovávány v biometrické laboratoři ÚHÚL LDF MZLU v Brně. Princip vyhodnocování (analýzy obrazu) spočívá ve zjišťování plochy dle četnosti pixelů vybraných barev ve sledovaném výseku obrazu pomocí speciálního softwaru LUCIA- G (výhodou je přitom dobrá barevná odlišitelnost světlých čel výřezů od tmavých ploch mezi výřezy).

Analýza snímků výřezů ve výsecích hrání sestává z několika kroků:

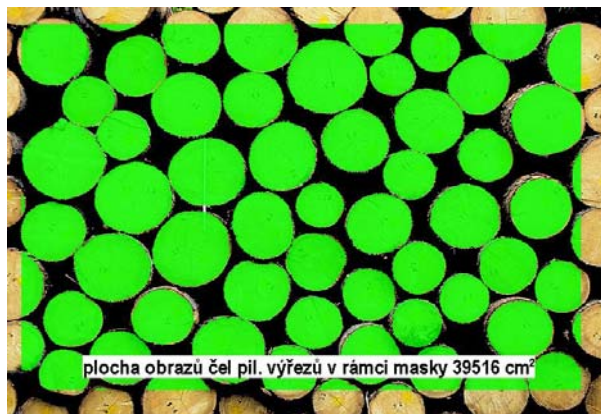
- kalibrace snímku /vložení tzv. kalibrační konstanty a uložení snímku ve formátu *.lim)
- vložení masky známých rozměrů do snímku výseku hrání

Obrázek č. 2: Ukázka vložení masky do snímku čela hrání



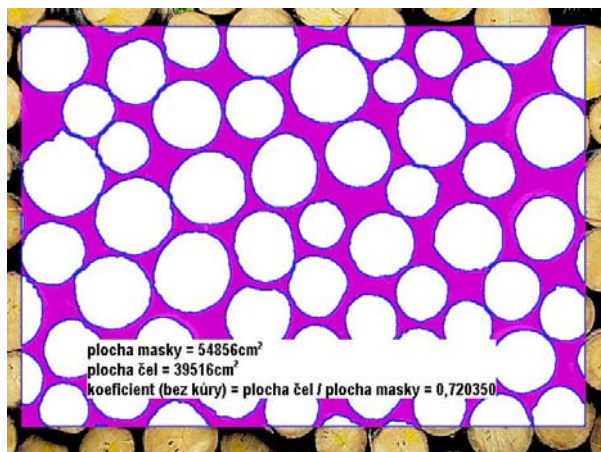
- c) prahování snímku – vytvoření hrubého binárního obrazu v masce (výběr pixelů v určitém barevném rozmezí)

Obrázek č. 3: Binární obraz v masce snímku



- d) zhotovení finálního binárního obrazu ruční úpravou

Obrázek č. 4: Příklad finálního binárního obrazu



- e) automatické odečtení ploch čel (částí čel) výřezů nacházejících se v masce

Při tomto postupu může dojít ke vzniku chyb, které by znehodnotily výsledky celého šetření a proto jim musíme předejít přímo v lese při pořizování dat dodržáním předem stanovených pravidel. Jedná se o tyto možné chyby:

- záměna barvy dřeva napadeného hnilobou, či barvy čel znečištěných zeminou s barvou kůry, nebo barvou prostor mezi výřezy
- nemožnost posoudit čela všech výřezů vlivem jejich zasunutí do vnitra hráně
- enormní zkreslení a jakýkoliv překryv výřezů na analyzované části záběru vzniklé prostorovým zobrazením ovlivnění měření nadměrným výskytem oddenkových kusů
- snížení zaplnění hráně z důvodů obalení výřezů sněhem

3.2 Metodika statistického zpracování dat

V průběhu statistického zpracování dat bylo využito statistických funkcí programu MS Excel 2003, dále statistického software Unistat 5.0. Pro analýzu párových koeficientů bylo použito dvouvýběrového párového t-testu na střední hodnotu. U ostatních testů shody byl využit buď dvouvýběrový t-test, nebo, u více výběrů, Tukey-HSD test pro analýzu rozptylu.

Pro ověření závislosti koeficientů na tloušťce bylo využito regresní a korelační analýzy. Detailní teorie testů a analýz nebude zmiňována pro její obecnou známost a použití. Odkazujeme na autory DRÁPELA (2000) a MILITKÝ, MELOUN (1996).

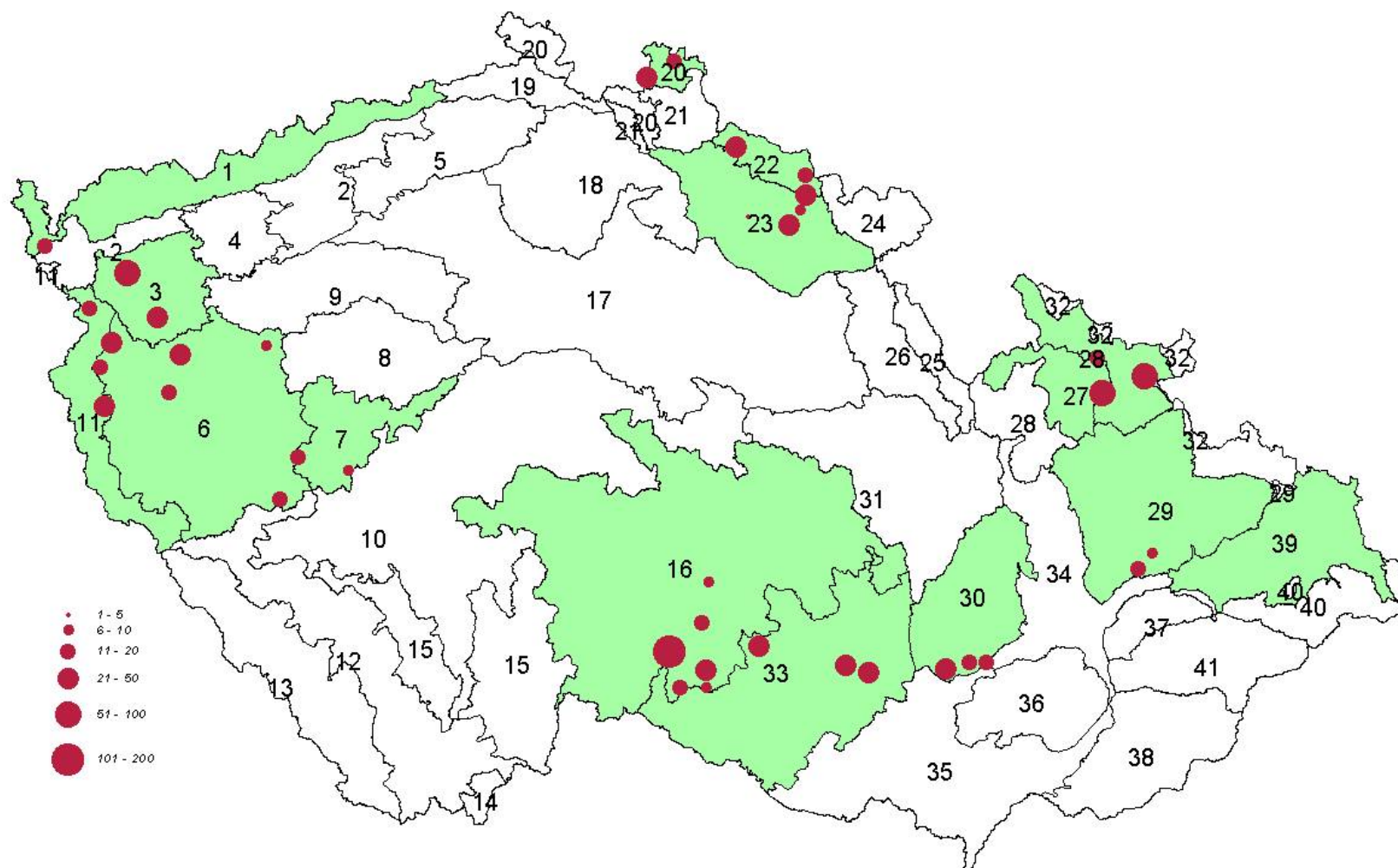
3.3 Množství a struktura snímaných digitálních snímků

V rámci prací na projektu bylo nasnímáno celkem 1176 snímků. Následující tabulka uvádí přehled fotografií podle přírodních lesních oblastí (PLO) a lokality odběru snímků. Snímky byly odebírány celkem na 39 lokalitách v závislosti na výskytu úložišť dříví v hraních a nasazení harvestorů. Tyto lokality se nacházejí po území celé ČR, jejich přehled uvádí tabulka č. 1 a obrázek č. 5.

Tabulka č. 1: Přehled analyzovaného materiálu – počty snímků podle PLO a lokality

PLO	Lokalita	Počet	PLO	Lokalita	Počet
1	Fr.Lázně-Vysoká	20	22	Horní Maršov	18
3	Kladská	104		KRNAP	28
	Teplá	46		Mladé Buky	28
6	Konstantinovy Lázně	21	23	Dvůr Králové-Vlčice	7
	Nepomuk	15		Horka u Staré Paky	4
	Planá	41		M.L. Chotěvice	29
	Plasy	10	27	Rejvíz	20
	Stříbro	19	28	Karlovice - Ludvíkov	53
	Tachov	12		Město Albrechtice	99
7	Rožmitál pod Třemšínem	7	29	Lipník	12
	Spálené Poříčí	17		Potštát	10
11	Přimda	76	30	Luleč	13
	Stará Voda	13		Mokrá	33
16	Jihlava	10		Olšany	11
	Jindřichovice	31	33	Budíškovice	14
	Stonařov	16		Náměšť	26
	Štěpkov	9		Rosice	48
	Telč	180		Třebíč	38
20	Frýdl.vrchovina-Bulovka	13	39	Paskov	3
	Frýdlant	22	Celkem		1176

Obrázek č. 5: Mapa rozmístění lokalit



*zeleně vybarveny dotčené PLO, velikost červených koleček odpovídá množství odebraných snímků

Tabulka č. 2: Přehled analyzovaného materiálu – počty snímků podle dřeviny a sortimentu

Dřevina	Sortiment	Počet	%
SM	Celkem	919	78.1
	Agregát	258	21.9
	Kulatina	358	30.4
	Vláknina	36	3.1
	Palivo	267	22.7
BO	Celkem	203	17.3
	Agregát	105	8.9
	Kulatina	46	3.9
	Vláknina	52	4.4
	Palivo	0	0
MD	Celkem	54	4.6
	Agregát	11	0.9
	Kulatina	20	1.7
	Vláknina	23	2.0
	Palivo	0	0
Celkový součet		1176	100

Z přehledu v tabulce č. 2 je patrné, že nejvíce snímků bylo vyfotografováno v rámci dřeviny smrk (919 snímků – 78,1 %), u borovice to bylo 203 snímků, což představuje 17,3 % celkového počtu. Nejméně (54 snímků – 4,6%) u modřínu. Co se týče počtů snímků vzhledem k hodnoceným sortimentům rovného dříví, nejvíce snímků bylo odebráno v rámci sortimentu kulatina (424 snímků – 36,1%), dále následují agregátní výřezy (374 – 31,8 % , vláknina (342 – 29,1 %) a nakonec palivo (36 snímků – 3,1%).

4 VÝSLEDKY

4.1 Základní statistické předpoklady výběrových souborů

4.1.1 Normalita souboru

Tzv. normalita statistického souboru je vlastnost, kdy sledovaná veličina resp. její rozdělení odpovídá tzv. normálnímu rozdělení pravděpodobností podle tzv. Gauss – Laplaceova zákona. Normalita je základním předpokladem pro použití parametrických veličin a testů, například i aritmetického průměru, směrodatné odchylky a podobně.

Tabulka č. 3 uvádí výsledek testování normality. U všech dřevin je normalita potvrzena u všech výběrových souborů jednotlivých sortimentů, kromě hodnot u sortimentu palivo u dřevin borovice a smrk, kde nebyla naměřena žádná data.

Tabulka č. 3: Výsledek testování normality u výběrových souborů

	Dřevina	
	SM	BO, MD
Kulatina	Potvrzena	Potvrzena
Agr. výřezy	Potvrzena	Potvrzena
Vláknina	Potvrzena	Potvrzena
Palivo	Potvrzena	Žádná data

4.2 Analýza rozdílu hodnot koeficientů při snímání obou stran hráně

I přes obtížnost oboustranného snímání hrání se podařilo odebrat statisticky významné množství párů fotografií. Celkem se jedná o 41 párů fotografií obou čel hrání. Snímky, které byly pořízeny z přístupnější strany hrání, tedy vždy z přístupné strany od cesty, jsou v databázi označeny jako strana „A“. Snímky z odvrácené strany jsou označeny jako strana „B“. Jedná se především o hráně smrkové kulatiny, v menším měřítku je zastoupena i smrková vláknina, borová kulatina a modřínová vláknina. Domníváme se však, že dřevina ani sortiment nemají z pohledu zaměření této dílčí analýzy význam, jelikož se zjišťuje vliv uložení a sbíhavosti na přepočtní koeficient.

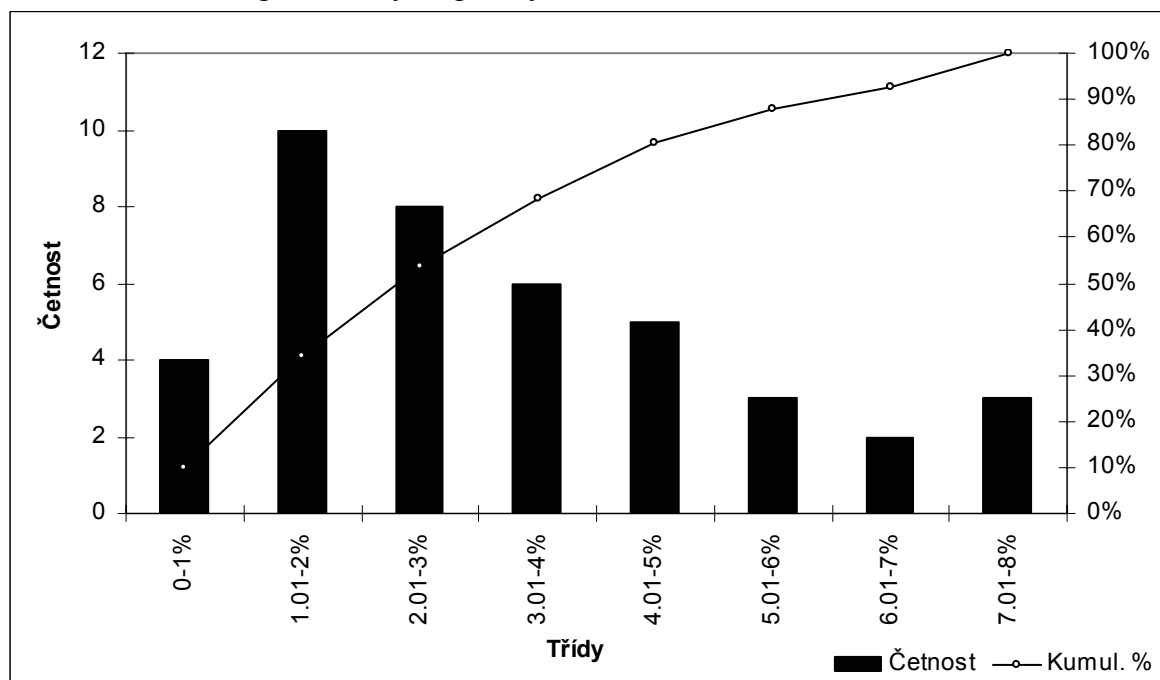
Tabulka č. 4 uvádí přehled párových snímků podle dřeviny, sortimentu a délky. Je patrné, že maximum dat se nachází v oblasti smrkové kulatiny (29 snímků), smrk obecně je páteří celé dílčí databáze.

Tabulka č. 4: Přehled párových snímků podle dřeviny, sortimentu a délky

Sortiment	Délka [m]	Dřevina			Celkem
		BO	MD	SM	
Agregát	4			6	6
Kulatina	4	2		11	13
	5			15	15
	6			3	3
Vláknina	2		1	3	4
	2.5		2	1	3
Celkem		2	3	39	44

Jestliže u jednotlivých párů fotografií vypočítáme absolutní rozdíly koeficientů na stranách „A“ a „B“, zjistíme, že rozdělení pravděpodobnosti této řady nemá charakter normálního rozdělení, ale rozdělení levostranného. Laicky řečeno, případů, kdy se strana „A“ liší od strany „B“ jen nepatrně, je daleko více než případů s rozdílem velkým. S narůstajícím rozdílem klesá četnost případů. Tuto skutečnost ukazuje obrázek č. 6.

Obrázek č. 6: Histogram odchylek párových koeficientů a kumulativní relativní četnosti



Jak je patrné z grafu, chyby do 3% jsou zastoupeny v 54% případů a chyby do 5% zaujímají 80% procent všech případů párových fotografií.

Pro testování rozdílů mezi koeficienty ze snímků „A“ a ze snímků „B“ byl použit dvouvýběrový párový t-test na střední hodnotu. Hodnota vypočítané oboustranné pravděpodobnosti činí **0,377**, tedy více než zvolená hladina významnosti $\alpha = 0,05$. Hypotézu tedy na základě tohoto výsledku přijímáme. Mezi soubory koeficientů zjištěných na straně „A“ a na straně „B“ tedy není statisticky významný rozdíl. Je tedy možno v dalších analýzách pracovat pouze s koeficienty pořízenými pouze z fotografií jedné strany hraně. Tato skutečnost má zásadní význam, neboť obě strany hraní jsou v praxi jen zřídka kdy přístupné.

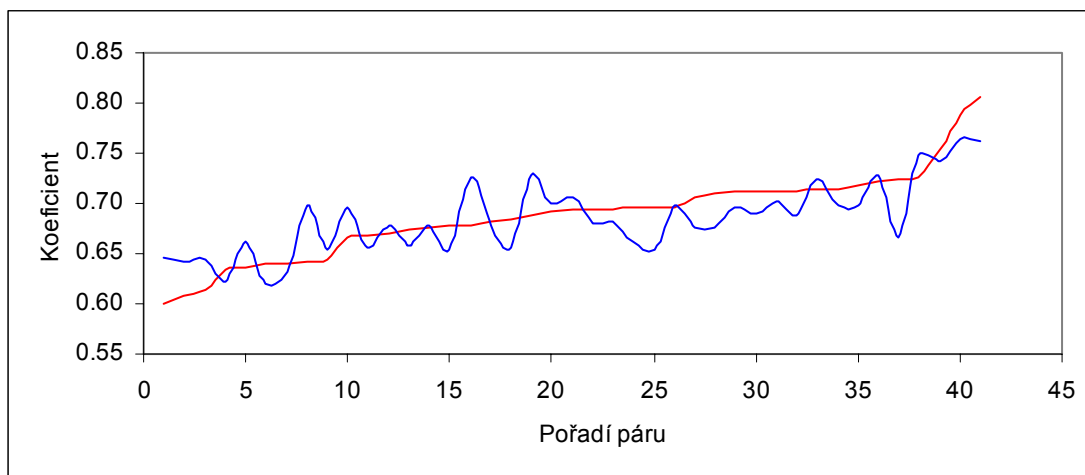
Následující tabulka uvádí přehled párových koeficientů podle dřevin, sortimentů a délek s uvedením průměrných hodnot na konci.

Tabulka č. 5: Přehled párových koeficientů

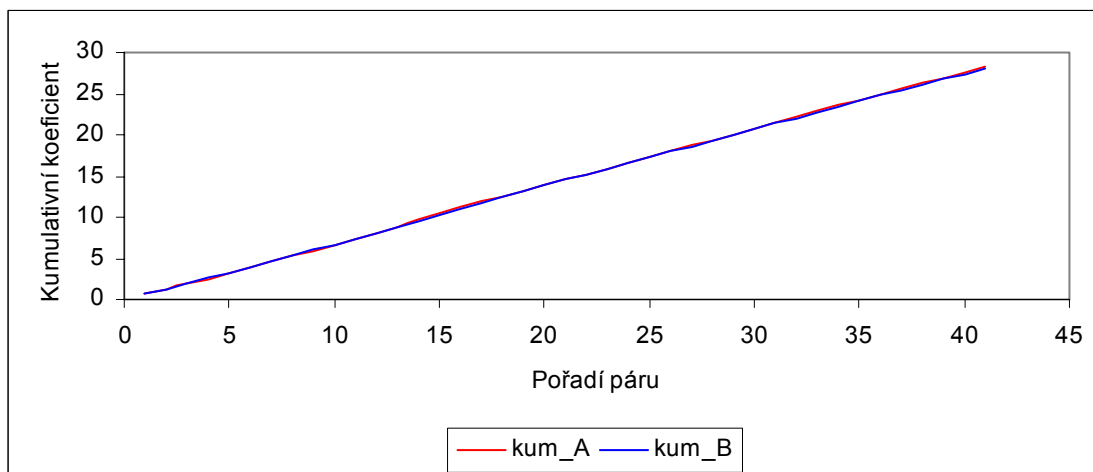
Číslo	„A“ koef.	„B“ koef.	L	Dřevina	Sortiment	Rozdíl [%]
1	0.6401	0.6314	4	SM	agregát	1.37
2	0.6421	0.6974	4	SM	agregát	7.94
3	0.6083	0.6423	4	SM	agregát	5.29
4	0.6339	0.6214	4	SM	agregát	1.97
5	0.6144	0.6433	4	SM	agregát	4.49
6	0.6886	0.7277	4	SM	kulatina	5.36
7	0.7103	0.6756	4	SM	kulatina	4.89
8	0.7120	0.6966	4	SM	kulatina	2.16
9	0.6950	0.6810	4	SM	kulatina	2.00
10	0.6955	0.6628	4	SM	kulatina	4.70
11	0.6829	0.6779	4	SM	kulatina	0.74
12	0.7539	0.7418	4	SM	kulatina	1.60
13	0.8065	0.7626	4	SM	kulatina	5.45
14	0.7887	0.7646	4	SM	kulatina	3.05
15	0.7136	0.7233	4	SM	kulatina	1.34
16	0.7215	0.7271	5	SM	kulatina	0.76
17	0.7244	0.6667	5	SM	kulatina	7.97
18	0.7181	0.6988	5	SM	kulatina	2.69
19	0.6782	0.7258	5	SM	kulatina	6.56
20	0.6364	0.6615	5	SM	kulatina	3.79
21	0.6657	0.6959	5	SM	kulatina	4.34
22	0.7121	0.6871	5	SM	kulatina	3.52
23	0.6762	0.6781	5	SM	kulatina	0.29
24	0.6930	0.7006	5	SM	kulatina	1.09
25	0.6967	0.6974	5	SM	kulatina	0.09
26	0.6779	0.6543	5	SM	kulatina	3.49
27	0.6935	0.7066	5	SM	kulatina	1.85
28	0.7061	0.6760	5	SM	kulatina	4.26
29	0.7138	0.6983	5	SM	kulatina	2.17
30	0.6967	0.6548	6	SM	kulatina	6.00
31	0.6700	0.6770	6	SM	kulatina	1.03
32	0.6949	0.6810	6	SM	kulatina	2.00
33	0.7121	0.7018	2	SM	vláknina	1.44
34	0.7268	0.7485	2	SM	vláknina	2.90
35	0.6394	0.6205	2	SM	vláknina	2.96
36	0.7121	0.6899	2.5	SM	vláknina	3.11
37	0.6680	0.6558	4	BO	kulatina	1.82
38	0.6834	0.6566	4	BO	kulatina	3.92
39	0.6440	0.6531	2	MD	vláknina	1.39
40	0.5993	0.6467	2.5	MD	vláknina	7.33
41	0.6739	0.6574	2.5	MD	vláknina	2.45
Průměr	0.6883	0.6846	-	-	-	0.54

Pro dokreslení situace je na obrázku č. 7 zobrazeno porovnání jednotlivých rozdílů mezi párovými koeficienty. Datová řada byla seřazena vzestupně podle hodnot koeficientů „A“, takže se zdá, že hodnoty „B“ oscilují kolem hodnot „A“. Jednotlivé lokální odchylky dosahují až 8%, v celkovém pohledu je však rozdíl zanedbatelný. Dokumentuje to graf kumulativních koeficientů v obrázku č. 8.

Obrázek č. 7: Porovnání párových koeficientů (řazeno vzestupně podle koeficientů „A“)



Obrázek č. 8: Srovnání kumulativního průběhu řad koeficientů „A“ a „B“



4.3 Vliv oblasti na výši koeficientu

Jednou z připomínek II. oponentury byla absence evidence a vyhodnocení rozdílů mezi koeficienty odebíranými v různých přírodních lesních oblastech. Provedli jsme tedy analýzu vlivu přírodní lesní oblasti na hodnotu koeficientu. Tuto analýzu nebylo možno provést napříč spektrem všech sortimentů, protože hodnoty počtu snímků se oblast od oblasti liší a v některých případech nedosahují reprezentativních hodnot. Představu o těchto počtech je možno si udělat z tabulky č. 1. Analýza byla provedena pouze u jediného sortimentu, který má nejvyšší celkovou četnost odebraných snímků a tím je smrková kulatina. Četnost snímků je zde 358. Bylo tedy zkoumáno, zda se koeficienty smrkové kulatiny liší podle oblastí. Zároveň byla vzata do interakce průměrná tloušťka hrání, tedy faktor, který by mohl koeficienty ovlivňovat zprostředkovaně.

Tabulka č. 6: Výsledek Tukey-HSD testu vzájemného porovnání PLO (dle koeficientu)

PLO	n	Průměr	22	20	11	33	28	6	1	7	30	3	16	23	27	29	Porovnání
22	41	0.6613				*	*	*	*	*		*	*	*	*		
20	8	0.6938															
11	10	0.6969															
33	55	0.6983	*									*					
28	78	0.7009	*									*					
6	28	0.7077	*														
1	10	0.7109	*														
7	12	0.7152	*														
30	6	0.7161															
3	49	0.7259	*			*	*										
16	36	0.7260	*														
23	7	0.7266	*														
27	16	0.7285	*														
29	2	0.7341															

Tabulka č. 7: Výsledek analýzy rozptylu pro zjištění vlivu PLO na koeficient

Zdroj variability	Součet čtverců	Stupně volnosti	Průměrný čtverec	Statistika F	Významnost
Hlavní efekty	0.543	213	0.003	3.114	0.0000
d _{prům}	0.406	200	0.002	2.478	0.0003
PLO	0.073	13	0.006	6.863	0.0000
Interakce 2. řádu	0.108	101	0.001	1.306	0.1642
d _{prům} × PLO	0.108	101	0.001	1.306	0.1642
Chyba	0.035	43	0.001		
Celkem	0.686	357	0.002		

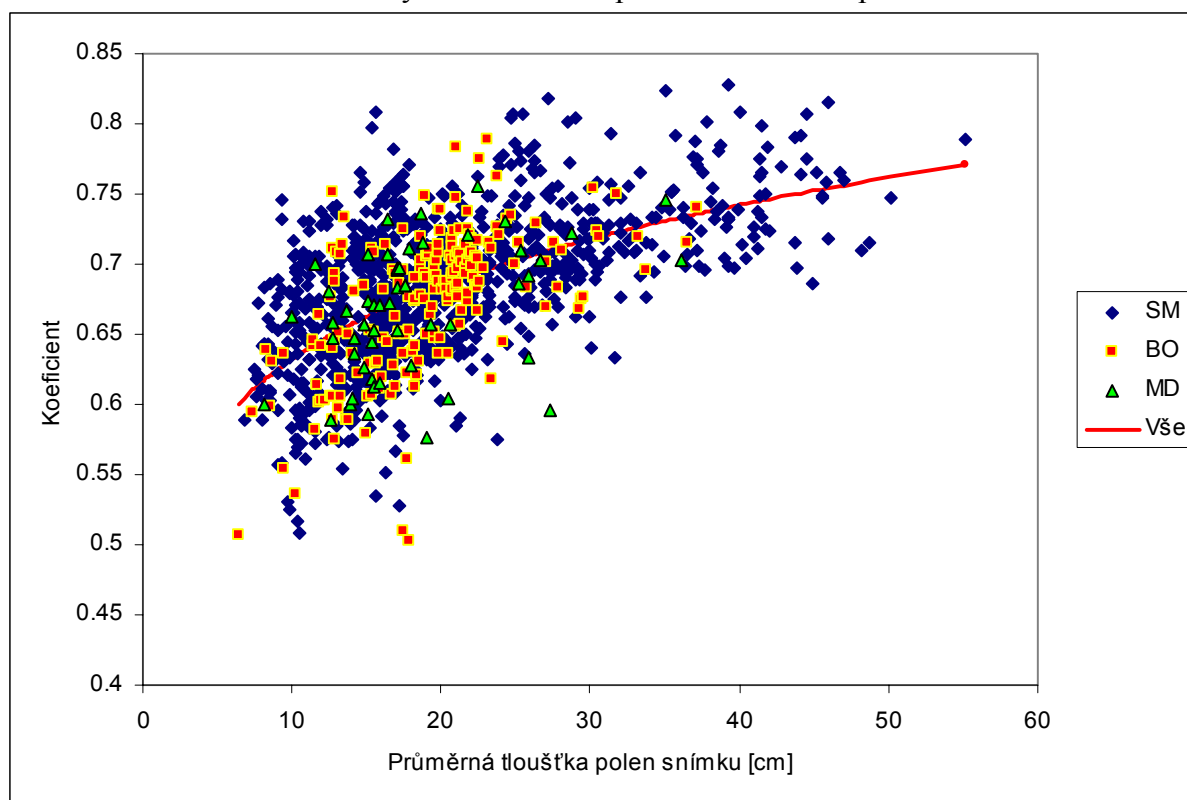
Z tabulky č. 6 vyplývá, že v rámci některých dvojic PLO jsou statisticky významné rozdíly mezi hodnotami koeficientů. Tento rozdíl existuje u dvojice PLO, u které je ve střední části tabulky v políčku hvězdička. Podle sloupce „Porovnání“ lze dále konstatovat, že v rámci souboru PLO nelze jednoznačně vylíčit homogenní skupiny. Tabulka č. 7 ukazuje fakt, že

mezi hodnotami koeficientů napříč PLO jsou sice významné rozdíly, ale že tyto rozdíly nejsou způsobeny různou tloušťkou smrkové kulatiny v různých oblastech. Na hodnoty koeficientů musí tedy mít vliv ještě jiný, námi nesledovaný faktor, např. různý podíl kůry, geneticky podmíněná sbíhavost výřezů apod.

4.4 Vliv průměrné tloušťky polen na výši koeficientu

Jak již bylo zmíněno v 1. oponentní zprávě, má tloušťková struktura polen hráně podstatný vliv na výsledný přepočtový koeficient. Obecně, se zvětšující se průměrnou tloušťkou jednotlivých polen hráně se zvětšuje hodnota koeficientu. Tato závislost není lineární, její průběh se blíží logaritmické, nebo mocninné závislosti.

Obrázek č. 9: Závislost hodnoty koeficientu na průměrné tloušťce polen



V grafu na obrázku č. 9 se nachází bodové pole závislosti koeficientu na průměrné tloušťce polen na snímku. Jsou vyobrazeny všechny tři dotčené dřeviny a křivka logaritmického tvaru prokládající bodové pole jako celek. Největší patrný nárůst hodnoty koeficientu s nárůstem tloušťky je u borovice, následuje smrk a jako poslední je modřín. V oblasti do tloušťky 38 cm však rozdíl průběhu není u různých dřevin významný. Oblast větších tlouštěk nelze hodnotit, protože jich ani borovice, ani modřín nedosahují.

Hodnota korelační závislosti koeficientu na tloušťce dosahuje hodnoty 0,6, jedná se tedy o poměrně spolehlivou závislost.

Dále obecně platí, že pokud srovnáváme koeficient dvou hrán se stejnou průměrnou tloušťkou, hrán s menší variabilitou tlouštěk polen bude mít nižší přepočtový koeficient, než hrán s variabilitou vysokou. Tato skutečnost však nebyla předmětem analýzy, rovněž ji není možno v provozních podmínkách jednoduše evaluovat a aplikovat. Proto na ni dále nebude kladen zřetel.

4.5 Výsledné přepočtové koeficienty

4.5.1 Výsledky v členění podle Pokynu LČR s.p. 04/2001: Těžba dřeva sortimentní metodou s využitím harvestorů a vyvážecích traktorů

Tabulka č. 8: Výsledné koeficienty v třídění podle metodiky LČR

Sortiment	Dřevina	MZLU	LČR	LČR/MZLU [%]
do 19 cm tloušťky do 2m délky	SM	0.657	0.66	100.46
	BO	0.620	0.63	101.61
	MD	0.650	0.63	96.92
do 19 cm tloušťky 2-5m délky	SM	0.664	0.62	93.37
	BO	0.658	0.62	94.22
	MD	0.662	0.62	93.66
nad 19 cm tloušťky	SM	0.709	0.68	95.91
	BO	0.700	0.63	90.00
	MD	0.688	0.63	91.57

Tabulka č. 8 prezentuje výsledné koeficienty v členění podle současně platné metodiky LČR. Tato metodika nezohledňuje typ sortimentu, ale pouze dřevinu, střední tloušťku a délku sortimentu. Z tabulky je patrné, že koeficienty používané v současné době u LČR jsou u tlouštěk do 19 cm nadhodnocené (kromě modřinu, kde je koeficient podhodnocen o 3,08%).

U všech dalších sortimentů je již koeficient používaný LČR podhodnocen a to až o 10% u borového rovnaného dříví nad tloušťku 19 cm.

4.5.2 Výsledky v členění podle dřeviny a sortimentu

Následující výstupy jsou členěny podle sortimentů, jejichž přesná specifikace je součástí doporučených pravidel pro druhování a třídění dříví (2002).

4.5.2.1 Smrkové agregátní výřezy

Tabulka č. 9: Vliv délky SM agregátních výřezů na koeficient (Tukeyho-HSD test)

Délka [m]	n	Průměr	2.45	3.5	3	4	2.5	Podobnost
2.45	14	0.6238				*	*	
3.5	2	0.6427						
3	97	0.6575				*	*	
4	101	0.6777	*		*			
2.5	44	0.6940	*		*			

Tabulka č. 9 prezentuje výsledek statistického testování závislosti koeficientu na délce sortimentu, v tomto případě smrkových agregátních výřezů. Hvězdičky ve střední části tabulky představují statisticky významné rozdíly mezi příslušnými dvojicemi délek sortimentů. Existuje významný rozdíl mezi délkami 2,45 a 4m, mezi 2,45 a 2,5m, mezi 3 a 4m, mezi 3 a 2,5m. Výsledky analýzy ale nesplňují předpoklad, že hodnota koeficientu klesá s rostoucí délkou sortimentu. Výsledek je tedy pravděpodobně ovlivněn jinou náhodnou veličinou, jež nebyla sledována. Výsledný závěr tedy zní, že mezi délkou smrkových

agregátních výřezů a velikostí jejich redukčního koeficientu není stochastická závislost. Proto vliv délky sortimentu na koeficient nebude uvažován.

Tabulka č. 10: Popisné charakteristiky souboru dat koeficientů a tloušťek

Charakteristika	Koeficient	Prům. tloušťka
Rozsah	258	258
Průměr	0.6697	16.4
Medián	0.6678	16.3
Minimum	0.5346	6.8
Maximum	0.8089	37.5
Rozpětí	0.2744	30.7
Směrodatná odchylka	0.0463	4.61
Variační koeficient	6.92%	28.12%
Aktuální přesnost (+/-)	0.85	3.45

Popisné charakteristiky souboru koeficientů a průměrných tloušťek smrkových agregátních výřezů prezentuje tabulka č. 10. Soubor má poměrně vysoký rozsah – 258 hodnot. Výsledný průměrný koeficient je při variabilitě souboru 7% velice spolehlivý. Soubor tloušťek má variabilitu mnohem vyšší, dosahuje 28%. Výsledná pravděpodobná chyba dosahuje u koeficientu hodnoty $\pm 0,85\%$, u souboru tloušťek $\pm 3,45\%$. Soubor má tedy v rámci stanovené přesnosti dostatečný rozsah a jeho výsledné průměrné hodnoty jsou reprezentativní.

4.5.2.2 Smrková kulatina

Tabulka č. 11: Vliv délky SM kulatiny na koeficient (Tukeyho-HSD test)

Délka [m]	n	Průměr	3.5	6	5	4	3	4.5	Podobnost
3.5	4	0.6414				*	*	*	
6	7	0.6803						*	
5	91	0.6939						*	
4	206	0.7089	*						
3	39	0.7110	*						
4.5	11	0.7441	*	*	*				

Tabulka č. 11 uvádí výsledek statistického testování závislosti koeficientu na délce sortimentu smrkové kulatiny. Existuje statisticky významný rozdíl mezi délkami 3,5 a 4m, 3,5 a 3m, 3,5 a 4,5m, 4,5 a 5m a 4,5 a 6m. Výsledky analýzy částečně splňují předpoklad, že hodnota koeficientu klesá s rostoucí délkou sortimentu. Lze to pozorovat na hodnotách koeficientů pro délky 4, 5 a 6m. Z této řady však nelogicky vystupují hodnoty pro délky 3,5 a 4,5m. I zde je výsledek pravděpodobně ovlivněn jinou náhodnou veličinou, jež nebyla sledována. Výsledný závěr tedy zní, že mezi délkou smrkových kulatinových výřezů a velikostí jejich redukčního koeficientu není spolehlivě identifikovatelná stochastická závislost. Proto tento vliv nebude uvažován.

Tabulka č. 12: Popisné charakteristiky souboru dat koeficientů a tloušťek

Charakteristika	Koeficient	Prům. tloušťka
Rozsah	358	358
Průměr	0.7051	26.0
Medián	0.7046	24.4
Minimum	0.5278	12.4
Maximum	0.8179	55.2
Rozpětí	0.2900	42.8
Směrodatná odchylka	0.0438	7.83
Variační koeficient	6.21%	30.08%
Aktuální přesnost (+/-)	0.65	3.13

Popisné charakteristiky souboru koeficientů a průměrných tloušťek smrkové kulatiny prezentuje tabulka č. 12. Soubor má poměrně velký rozsah výběru 358 hodnot. Výsledný průměrný koeficient je při variabilitě souboru 6% velice spolehlivý. U souboru tloušťek dosahuje variabilita 30%. Výsledná pravděpodobná chyba dosahuje u koeficientu hodnoty $\pm 0,65\%$, u souboru tloušťek $\pm 3,45\%$. Soubor má tedy v rámci stanovené přesnosti dostatečný rozsah a jeho výsledné průměrné hodnoty jsou reprezentativní.

4.5.2.3 Smrková vláknina

Tabulka č. 13: Vliv délky SM vlákniny na koeficient (Tukeyho-HSD test)

Délka [m]	n	Průměr	4	2,5	2	Podobnost
4	5	0.6452				
2.5	64	0.6672				
2	198	0.6758				

Jak ukazují výsledky Tukeyho HSD testu, mnohonásobné porovnání jednotlivých kombinací délek sortimentu smrkové vlákniny neprokázalo rozdíly mezi hodnotami koeficientů. U smrkové vlákniny neexistuje závislost mezi délkou a hodnotou koeficientu.

Tabulka č. 14: Popisné charakteristiky souboru dat koeficientů a tloušťek

Charakteristika	Koeficient	Prům. tloušťka
Rozsah	267	267
Průměr	0.6732	17.8
Medián	0.6762	15.3
Minimum	0.5171	7.7
Maximum	0.8279	47.0
Rozpětí	0.3108	39.3
Směrodatná odchylka	0.0558	8.61
Variační koeficient	8.28%	48.48%
Aktuální přesnost (+/-)	1.00	5.84

Soubor smrkové vlákniny má ve srovnání s předchozími sortimenty velice vysokou variabilitu průměrných tloušťek hrání. Dovolené rozpětí tloušťek tohoto sortimentu je i v normách zakotveno poměrně vysoké. Jeho rozpětí ještě zvyšují dohody mezi odběratelem a dodavatelem, kdy je do sortimentu zařazena např. podstatně tlustší hmota. Přesnost stanovení celkové průměrné tloušťky je tím ovlivněna a dostává se nad hodnotu $\pm 5\%$. Přesnost zjištěného průměrného koeficientu je $\pm 1\%$. Soubor má dostatečný rozsah výběru a jeho průměrné hodnoty jsou reprezentativní.

4.5.2.4 Smrkové palivo

Tabulka č. 15: Vliv délky SM paliva na koeficient (Tukeyho-HSD test)

Délka [m]	n	Průměr	2,5	2	Podobnost
2.5	19	0.6492			
2	17	0.6533			

Rovněž u smrkového paliva se neprokázala závislost výše koeficientu na délce sortimentu. Délka tedy nebude nadále uvažována a soubor bude analyzován jako homogenní.

Tabulka č. 16: Popisné charakteristiky souboru dat koeficientů a tloušťek

Charakteristika	Koeficient	Prům. tloušťka
Rozsah	36	36
Průměr	0.6511	11.5
Medián	0.6573	10.6
Minimum	0.5078	8.0
Maximum	0.7516	19.2
Rozpětí	0.2438	11.2
Směrodatná odchylka	0.0504	2.76
Variační koeficient	7.74%	24.06%
Aktuální přesnost (+-)	2.62	8.14

U smrkového paliva, jak ukazuje tabulka č. 16, je třetí nejnižší přesnost zjištěné střední hodnoty koeficientu, dosahuje $\pm 2,62\%$. Přesnost zjištěné průměrné tloušťky je $\pm 8,14\%$. Soubor hodnot koeficientů má dostatečný rozsah výběru a jeho průměrné hodnoty jsou reprezentativní.

4.5.2.5 Borové agregátní výřezy

Tabulka č. 17: Vliv délky BO agreg. výřezů na koeficient (Tukeyho-HSD test)

Délka [m]	n	Průměr	3	2.45	2.5	Podobnost
3	5	0.5848		*	*	
2.45	32	0.6786	*			
2.5	68	0.6915	*			

Soubor hodnot koeficientů borových agregátních výřezů rovněž vykazuje rozdíly mezi různými délkami. Jinak řečeno, hodnoty hrání o délce 3m se významně liší od hodnoty hrání kratších (2,45 a 2,5m). Soubor hrání o délce 3m však obsahuje pouze 5 hodnot koeficientů a je pro jednoznačné vyčlenění pro samostatnou analýzu nedostatečný.

Tabulka č. 18: Popisné charakteristiky souboru dat koeficientů a tloušťek

Charakteristika	Koeficient	Prům. tloušťka
Rozsah	105	105
Průměr	0.6825	19.8
Medián	0.6906	20.2
Minimum	0.5022	9.5
Maximum	0.7482	27.6
Rozpětí	0.2460	18.1
Směrodatná odchylka	0.0404	2.72
Variační koeficient	5.91%	13.72%
Aktuální přesnost (+-)	1.14	2.65

Tabulka č. 18 ukazuje, že rozsah výběru 105 snímků u sortimentu borové agregátní výřezy je dostatečný a výsledné průměrné hodnoty reprezentativní. Přesnost výsledného koeficientu je $\pm 1,14\%$, přesnost výsledné průměrné tloušťky $\pm 2,65\%$.

4.5.2.6 Borová kulatina

Tabulka č. 19: Vliv délky BO kulatiny na koeficient (Tukeyho-HSD test)

Délka [m]	n	Průměr	4,5	3	4	5	Podobnost
4.5	1	0.6752					
3	7	0.6928					
4	29	0.7013					
5	9	0.7115					

U borové kulatiny nebyl prokázán statistický významný rozdíl v hodnotách koeficientů podle délkových tříd. V rámci sortimentu byly zaznamenány 4 délkové třídy, mezi žádnou libovolnou dvojicí těchto tříd neexistuje významný rozdíl v hodnotách koeficientů. Na soubor bude dále pohlíženo jako na homogenní.

Tabulka č. 20: Popisné charakteristiky souboru dat koeficientů a tloušťek

Charakteristika	Koeficient	Prům. tloušťka
Rozsah	46	46
Průměr	0.7014	22.0
Medián	0.7077	21.0
Minimum	0.6181	12.6
Maximum	0.7835	37.1
Rozpětí	0.1654	24.5
Směrodatná odchylka	0.0355	7.14
Variační koeficient	5.06%	32.49%
Aktuální přesnost (+-)	1.50	9.65

Soubor borové kulatiny vykazuje poměrně vysokou variabilitu tloušťek, variační koeficient souboru je 32,5% a výsledná přesnost $\pm 9,65\%$. Hodnota koeficientu má však hodnotu variability nízkou a výsledná průměrná hodnota 0,701 dosahuje přesnosti $\pm 1,5\%$. V tomto směru je rozsah výběru 46 snímků dostatečný a výsledná hodnota reprezentativní.

4.5.2.7 Borová vlákna

Tabulka č. 21: Vliv délky BO vlákny na koeficient (Tukeyho-HSD test)

Délka [m]	n	Průměr	2	2.5	Podobnost
2	41	0.6278			
2.5	11	0.6355			

U borové vlákniny, jak prezentuje tabulka č. 21, nebyl prokázán statistický významný rozdíl v hodnotách koeficientů podle délkových tříd. V rámci sortimentu byly evidovány dvě délkové třídy, mezi žádnou z dvojic tříd neexistuje významný rozdíl v hodnotách koeficientů. Soubor je tedy homogenní.

Tabulka č. 22: Popisné charakteristiky souboru dat koeficientů a tloušťek

Charakteristika	Koeficient	Prům. tloušťka
Rozsah	52	52
Průměr	0.6295	14.9
Medián	0.6212	13.7
Minimum	0.5070	6.4
Maximum	0.7893	27.0
Rozpětí	0.2823	20.6
Směrodatná odchylka	0.0503	4.48
Variační koeficient	7.99%	30.08%
Aktuální přesnost (+-)	2.22	8.38

Soubor borové vlákniny rovněž vykazuje poměrně vysokou variabilitu tloušťek, variační koeficient souboru je 30,08% a výsledná přesnost $\pm 8,38\%$. Hodnota koeficientu má však hodnotu variability nižší, výsledek dosahuje přesnosti $\pm 2,22\%$. V tomto směru je rozsah výběru 52 snímků dostatečný a výsledná hodnota je rovněž reprezentativní.

4.5.2.8 Modřínové agregátní výřezy

Tabulka č. 23: Popisné charakteristiky souboru dat koeficientů a tloušťek

Charakteristika	Koeficient	Prům. tloušťka
Rozsah	11	11
Průměr	0.6762	15.2
Medián	0.6800	15.5
Minimum	0.6125	10.0
Maximum	0.7363	18.6
Rozpětí	0.1238	8.6
Směrodatná odchylka	0.0298	2.55
Variační koeficient	4.41%	16.75%
Aktuální přesnost (+-)	2.96	11.25

U modřínových agregátních výřezů se vyskytovala pouze jedna délková třída a sice 2,5m. Nebylo tedy nutné testovat vliv délky na hodnotu sortimentu. Tabulka č. 23 obsahuje popisné charakteristiky souboru koeficientů a tloušťek u snímků modřínových agregátních výřezů. Soubor má poměrně nízký rozsah, který nestačí na spolehlivé určení střední hodnoty tloušťek. Přesnost zde dosahuje $\pm 11,25\%$. Soubor koeficientů však má variabilitu nízkou a výsledná přesnost dosahuje druhé nejnížší $\pm 2,96\%$. Soubor je tedy homogenní a reprezentativní.

4.5.2.9 Modřínová kulatina

Tabulka č. 24: Vliv délky MD kulatiny na koeficient (Tukeyho-HSD test)

Délka [m]	n	Průměr	5	4	Podobnost
5	4	0.6794			
4	16	0.6877			

U modřínové kulatiny existují dvě třídy délek, a sice 4 a 5m. Nebyl mezi nimi zjištěn statisticky významný rozdíl, co se hodnoty koeficientu týče.

Tabulka č. 25: Popisné charakteristiky souboru dat koeficientů a tloušťek

Charakteristika	Koeficient	Prům. tloušťka
Rozsah	20	20
Průměr	0.6860	22.6
Medián	0.7046	22.2
Minimum	0.5769	14.0
Maximum	0.7551	36.1
Rozpětí	0.1782	22.1
Směrodatná odchylka	0.0520	6.16
Variační koeficient	7.58%	27.23%
Aktuální přesnost (+-)	3.55	12.74

U modřínové kulatiny je podobná situace, jako u agregátních výřezů. Soubor tloušťek má vysokou variabilitu a výsledná přesnost je $\pm 12,74\%$. Soubor koeficientů dosahuje největší variability ze všech sortimentů rovného dříví ($\pm 3,55\%$), přesto je jeho výsledná přesnost pod hranicí 5% a výsledná hodnota 0,686 je tedy reprezentativní.

4.5.2.10 Modřínová vláknina

Tabulka č. 26: Vliv délky MD vlákniny na koeficient (Tukeyho-HSD test)

Délka [m]	n	Průměr	2.5	2	Podobnost
2.5	14	0.6412			
2	9	0.6539			

Modřínová vláknina se vyskytovala v délkách 2 a 2,5 m. Nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi hodnotami koeficientu.

Tabulka č. 27: Popisné charakteristiky souboru dat koeficientů a tloušťek

Charakteristika	Koeficient	Prům. tloušťka
Rozsah	23	23
Průměr	0.6462	15.7
Medián	0.6527	15.3
Minimum	0.5882	8.2
Maximum	0.7158	25.2
Rozpětí	0.1276	17.0
Směrodatná odchylka	0.0335	3.29
Variační koeficient	5.18%	20.91%
Aktuální přesnost (+-)	2.24	9.04

U modřínové vlákniny s rozsahem výběru 23 hodnot dosahuje průměrná hodnota koeficientu přesnosti $\pm 2,24\%$ a u tloušťky 9,04%. Soubor je z pohledu variability hodnot koeficientů homogenní a výsledná střední hodnota 0,646 je reprezentativní.

4.5.3 Souhrnné výsledky

Tabulka 28 prezentuje výsledné přepočtové koeficienty pro jednotlivé sortimenty a dřeviny tak, jak vyplynuly ze souboru dat na základě skutečností uvedených v kapitolách 4.5.2.1 až 4.5.2.10. Jsou uvedeny koeficienty pro všechny dřeviny a sortimenty kromě borové a modřínové vlákniny, která nebyla na žádné ze sledovaných lokalit v roce 2004 zaznamenána. Průměrně nejvyšších hodnot dosahuje kulatina, dále agregátní výřezy, vláknina a nakonec smrkové palivo.

Tabulka č. 28: Výsledné neupravené koeficienty podle dřeviny a sortimentu

Sortiment	SM	BO	MD
Agregát	0.6697	0.6825	0.6762
Kulatina	0.7051	0.7014	0.6860
Palivo	0.6511	-	-
Vláknina	0.6732	0.6295	0.6462

4.5.4 Možnosti generalizace v rámci dřevin

Na tomto místě chtějí autoři prezentovat výsledky analýzy rozptylu jednotlivých skupin dřevin a sortimentů za účelem jejich možného sloučení a tím zjednodušení aplikace výsledků v praxi. Bylo zkoumáno, zda je možno v rámci výsledků uvedených v tabulce 28 generalizovat. Domníváme se, že cesta slučování vede, po logické úvaze, nejprve mezi sortimenty v rámci jedné dřeviny a následně pak mezi jednotlivými dřevinami.

4.5.4.1 Smrkové sortimenty

Tabulka č. 29: Výsledek Tukey-HSD testu pro smrk

Sortiment	n	Průměr	Palivo	Agregát	Vláknina	Kulatina	Podobnost
Palivo	36	0.6511				*	
Agregát	258	0.6697				*	
Vláknina	267	0.6732				*	
Kulatina	358	0.7051	*	*	*		

Jak je patrné z tabulky č. 29, lze v rámci sortimentů dřeviny smrk vylišit dvě homogenní skupiny sortimentů. Je to jako první kulatina, jejíž hodnoty se významně liší od všech ostatních smrkových sortimentů a jsou zároveň nejvyšší (0,7051). Všechny ostatní sortimenty lze sloučit do jedné skupiny. Jinak řečeno, u smrku není nutno rozlišovat mezi palivem, vlákninou a agregátními výřezy. Pro tyto tři sortimenty lze použít společný koeficient 0,670. Pro kulatinu lze použít původní koeficient 0,705.

4.5.4.2 Borové sortimenty

Tabulka č. 30: Výsledek Tukey-HSD testu pro borovici

Sortiment	n	Průměr	Vláknina	Agregát	Kulatina	Podobnost
Vláknina	52	0.6295		*	*	
Agregát	105	0.6825	*		*	
Kulatina	46	0.7014	*	*		

Jiná situace je u borovice. Zde je nutno vzhledem k výsledkům statistického testu zachovat původní koeficienty odděleně pro kulatinu, vlákninu a agregátní výřezy. Všechny tři hodnoty koeficientů se od sebe navzájem statisticky významně liší.

4.5.4.3 Modřínové sortimenty

Tabulka č. 31: Výsledek Tukey-HSD testu pro modřín

Sortiment	n	Průměr	Vláknina	Agregát	Kulatina	Podobnost
Vláknina	23	0.6462			*	
Agregát	11	0.6762				
Kulatina	20	0.6860	*			

Dle výsledků uvedených v tabulce č. 31 pro modřín sice existují statisticky významné rozdíly mezi sortimenty, jednoznačnou hranici generalizace však nelze najít. Vláknina se sice neliší od agregátních výřezů, ale od kulatiny ano. Agregátní výřezy se už ale od kulatiny neliší. Jelikož ale u kulatiny je předpoklad vyšších tloušťek, přikláníme se ke sloučení vlákniny a agregátních výřezů (0,656) a ponechání samostatného koeficientu pro kulatinu (0,686).

4.5.5 Možnosti generalizace napříč dřevinami

Tabulka č. 32: Výsledek Tukey-HSD testu pro výše sloučené sortimenty

Sort.	n	Prům.	BO_vl	MD_ost	SM_ost	BO_agr	MD_kul	BO_kul	SM_kul	Podob.
BO_vl	52	0.6295			*	*	*	*	*	
MD_ost	34	0.6559						*	*	
SM_ost	561	0.6702	*					*	*	
BO_agr	105	0.6825	*						*	
MD_kul	20	0.6860	*							
BO_kul	46	0.7014	*	*	*					
SM_kul	358	0.7051	*	*	*	*				

Tabulka č. 32 ukazuje výsledek testování odlišností výše sloučených sortimentů. Sortimenty jsou v tabulce seřazeny vzestupně podle velikosti koeficientu následovně: borová vláknina (BO_vl), modřínová vláknina a agregátní výřezy (MD_ost), smrkové agregátní výřezy, vláknina a palivo (SM_ost), borové agregátní výřezy (BO_agr), modřínová kulatina (MD_kul), borová kulatina (BO_kul) a jako nejvyšší smrková kulatina (SM_kul). Hvězdičky v kolonkách střední části tabulky zobrazují statisticky významné rozdíly mezi dvojicemi sortimentů. Řádky tabulky jsou barevně odlišeny tak, aby bylo patrné, které sortimenty lze, dle našeho návrhu a výsledku testování, sloučit do společných skupin. Žlutě je označená skupina sortimentů zahrnující borovou vlákninu, modřínové agregátní výřezy a vlákninu. Hnědá skupina zahrnuje smrkovou vlákninu, palivo a agregátní výřezy spolu s borovými agregátními výřezy. Jako poslední skupina je vylišena kulatina všech tří dřevin. Následující tabulka prezentuje koeficienty po navrhovaném sloučení.

Tabulka č. 33: Upravené koeficienty podle dřeviny a sortimentu

Sortiment	SM	BO	MD
Kulatina	0.704		
Agregát			
Vláknina	0.672	0.640	
Palivo			

Byly tedy, dle našeho návrhu a na základě provedených statistických analýz, vylišeny tři koeficienty. Pro kulatinu bez ohledu na dřevinu navrhujeme koeficient 0,704. Pro smrkové a borové agregátní výřezy a dále smrkové palivo a vlákninu koeficient 0,672. Pro borovou a modřínovou vlákninu a modřínové agregátní výřezy navrhujeme koeficient 0,640. Pokud provedeme tuto agregaci, dostaneme tři statisticky homogenní skupiny, které se při testech shody významně liší jedna od druhé.

4.6 Porovnání výsledků s elektronickou přejímkou a měřením harvestoru

V rámci ověření výsledků různých metod přepočtu z prostorových metrů (PRM) na m³ b.k. bylo provedeno srovnání námi používané metody (analýza obrazu – MZLU), měření harvestoru při zpracování dříví, využití smluvního přepočtového koeficientu využívaného LČR (0,63) a metody elektronické přejímky **Stora Enso** v Plané. Tyto různé metody přepočtu byly aplikovány na celkem 3 hráně borových agregátních výřezů o délce 2,45 m o celkovém objemu 466,63 PRM. Výsledky přehledně zobrazuje následující tabulka.

Tabulka č. 34: Přehled výsledků jednotlivých metod

	ČSN 480050	LČR	Harvestor	El. přejímka	MZLU neupravené	MZLU Upravené (tab. 33)
PRM	467	467	467	467	467	467
koeficient	0.63	0.630	0.613	0.581	0.692	0.672
m ³ s.k.	-	-	315	-	-	-
m ³ b.k.	294	294	286	271	323	314
Srovnání [%]	93.6	93.6	91.1	86.3	102.9	100.0

Z výsledků je patrné, že dochází k disproporci mezi všemi používanými metodami. Paradoxem je, že předpokládaná „přesná“ elektronická přejímka je se svou hodnotou přepočteního koeficientu (0,581) nejnižší ze všech srovnaných metod. Nejvyšší hodnotu vykazuje neupravený koeficient 0,692 jako výsledek analýzy obrazu hrání, jež byly předmětem srovnání. O něco nižší je výsledná navržená hodnota koeficientu pro sortiment borové agregátní výřezy z tabulky č. 33. Rozpětí nejnižší a nejvyšší hodnoty činí 13,7%.

5 ZÁVĚR

V průběhu roku 2004 byl v rámci projektu z podpory GS LČR, s.p. Hradec Králové zpracován projekt aplikace metodiky výpočtu převodních koeficientů objemu rovnaného dříví pomocí počítačové analýzy obrazu a její verifikace prostřednictvím elektronické přejímky a stanovení koeficientů podle dřevin a sortimentů pro harvestorovou technologii. V rámci projektu bylo analyzováno více než 1200 snímků smrkových, borových a modřínových sortimentů rovnaného dříví. Tyto snímky byly snímány na velké části území České republiky, v patnácti přírodních lesních oblastech na 29 lokalitách, kde v průběhu roku pracovaly harvestory.

Snímky byly zpracovány v Biometrické laboratoři ústavu hospodářské úpravy lesů LDF MZLU Brno. Z výsledků analýz vyplynulo, že přepočtový koeficient z prostorových metrů na m^3 b.k. je statisticky velice homogenní veličina s nízkou variabilitou, která je přímo nezprostředkovaně měřitelná z digitálních snímků čel hrání. Po rozčlenění celé databáze na výběrové soubory, tedy v členění podle dřeviny a sortimentů, vykazaly všechny výběrové soubory normální charakter rozdělení pravděpodobnosti a tím možnost jejich běžného statistického zpracování s použitím parametrických charakteristik a testů.

Byla ověřena skutečnost, že pro danou hráň je možno zjistit koeficient dostatečně přesně analýzou snímků jen z její čelní strany. Mezi soubory dat párových snímků, tedy snímků vždy z čelní a odvrácené strany hráně, nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl při hladině významnosti $\alpha=0,05$. Tento soubor obsahoval 44 párů fotografií. Prokázalo se rovněž, že rozdělení pravděpodobnosti odchylek koeficientů odvrácené strany („B“) od čelní („A“) má silně levostranný charakter, tedy odchylky malé jsou více četnější než odchylky větší, s velikostí odchylky klesala i jejich četnost.

Bylo otestováno, zda existuje závislost hodnot přepočtených koeficientů na oblasti původu. Byly sice potvrzeny významné rozdíly mezi některými lesními oblastmi co do hodnot koeficientů, nebylo však možno identifikovat homogenní skupiny lesních oblastí. Nebyla prokázána interakce mezi PLO a průměrnou tloušťkou polen v hráních.

Naopak byl prokázán silný vliv průměrné tloušťky polen hráně na hodnotu přepočteného koeficientu. Závislost má charakter mocninný, nebo logaritmický, míra korelační závislosti se pohybuje okolo 0,6. Závislost má stejný charakter u všech tří sledovaných dřevin.

Bylo provedeno srovnání námi vyčíslených koeficientů a koeficientů v současné době používaných a to ve dvou členěních, či normách. První normou byl *Pokyn LČR s.p. 04/2001: Těžba dřeva sortimentní metodou s využitím harvestorů a vyvážecích traktorů*, který nerozlišuje mezi sortimenty, nýbrž člení sortimenty rovnaného dříví podle tloušťky a délky na sortimenty do 19 cm a 2 m délky, dále na sortimenty do 19 cm tloušťky a délky 2-5 m a sortimenty nad 19 cm tloušťky. U většiny takto roztříděných sortimentů je doposud používaný koeficient, podle našeho názoru a našich výsledků, podhodnocený. Nadhodnocený byl pouze u SM a BO sortimentů do 19cm tloušťky a 2m délky.

V další fázi byla provedena analýza sortimentů v členění podle publikace *Doporučená pravidla pro měření a třídění dříví v České republice* vydané v roce 2002. U všech sortimentů rovnaného dříví včetně kulatiny byla otestována závislost hodnoty koeficientu na délce sortimentu. Tato závislost nebyla u žádného sortimentu uspokojivě potvrzena. Po evaluaci koeficientů pro jednotlivé dřeviny a sortimenty byla provedena jejich agregace pomocí analýzy rozptylu a testu Tukey-HSD (mnohonásobná porovnávání). Na základě výsledků doporučujeme použití tří koeficientů: **0,704** (společně pro smrkovou, borovou i modřínovou kulatinu), **0,672** (společně pro smrkové agregátní výřezy, vláknu a palivo a pro borové agregátní výřezy) a **0,640** (společně pro borovou a modřínovou vláknu a modřínové agregátní výřezy).

V poslední řadě bylo provedeno srovnání různých metod příjmu rovnaného dříví na modelovém objemu 467 PRM borových agregátních výřezů na skladu Stora Enso v Plané. Byla zjištěna disproporce mezi různými metodami, která byla takového charakteru, že již v rámci II. oponentního řízení bylo ustoupeno od verifikace výsledků studie pomocí elektronické přejímky. Právě výsledek elektronické přejímky vykázal od našich výsledků největší odchylku ze všech metod a sice -13,7%.

6 DISKUSE

Přesto, že v rámci projektu byl shromážděn objemný datový materiál a výsledky jeho analýz mají vysokou statistickou spolehlivost, je nutno konstatovat, že vzorky nepokrývají reprezentativně celé území ČR. Důvodem je skutečnost, že harvestory je možno nasadit pouze v oblastech s určitým stupněm lesnatosti a na lesních majetcích dostatečné velikosti, aby jejich využití bylo ekonomické a smysluplné. Při aplikaci námi navržených koeficientů v jiných oblastech může proto dojít k systematickým odchylkám od skutečných hodnot a proto i ke ztrátám. Dá se však s relativně velkou pravděpodobností očekávat, že tyto odchylky budou, vzhledem k povaze a struktuře změřených dat, spíše zanedbatelného charakteru.

Práce prokázala, že přepočtový koeficient je poměrně silně ovlivněn průměrnou tloušťkou polen hráně, ať už se jedná o sortiment kulatina, nebo palivo. Pokud je tedy námi navržený koeficient aplikován na jednu konkrétní hráň, může, díky např. nad-, nebo podprůměrné tloušťce polen v hráni, dojít k poměrně velké nepřesnosti ve výsledném objemu. Je nutno si uvědomit, že navržené koeficienty jsou průměrné hodnoty a jsou koncipovány pro velké objemy dat.

Při příjmu rovnaného dříví je rovněž nutno s velkou pečlivostí měřit rozměry hráně. Nepřesným změřením délky hráně vznikne na výsledku často chyba o jeden řád větší, než je chyba vzniklá použitím nepřesného převodního koeficientu.

Další skutečností je, že koeficient není ovlivněn jen průměrnou tloušťkou polen v hráni, ale také variabilitou tlouštěk jednotlivých polen. Pokud tedy bude hráň složena z polen, které budou všechny mít stejnou tloušťku, bude koeficient nižší, než když budou v hráni zastoupena jak tenká, tak i tlustá polena. Tato skutečnost je již zohledňována v některých skandinávských zemích, kde se při příjmu dříví odhaduje nejen průměrná tloušťka, ale také variabilita, byť jednoduchým, provozním způsobem. Tento způsob je jedinou cestou, jak zpřesnit výpočet objemu v rámci malých dodávek dříví.

Zjištění, že neexistuje smysluplný vztah mezi hodnotami koeficientů a přírodní lesní oblastí, je podle nás způsoben skutečností, že náhodné rozdíly mezi oblastmi jsou způsobeny jiným, námi nesledovaným vlivem, např. rozdílnou křivostí polen, tloušťkou kůry a např. variabilitou tlouštěk jednotlivých ukládaných polen. Přírodní lesní oblast jako plošná jednotka je příliš velká a variabilní co do možných vlivů, které mohou hodnoty koeficientů ovlivnit.

V průběhu zpracovávání dílčích výsledků práce jsme dospěli k poznatku, že verifikace naší metody pomocí elektronické přejímky je velmi problematická. Zásadním momentem se proto jeví skutečnost, že v České republice není v současné době legislativní norma, která by stanovovala technické parametry snímacích zařízení, způsob zpracování naměřených hodnot a způsob výpočtu objemu kulatiny. Dnes užívaná zařízení se buď snaží výsledky měření co nejvíce přiblížit klasické Huberově metodě (bez ohledu na dosažitelnou přesnost) nebo upřednostňují technologické požadavky zpracovatele suroviny a nutí dodavatele se jim přizpůsobit. Způsoby zpracování údajů se liší přesností snímání, způsobem filtrace údajů, zaokrouhlováním i způsobem výpočtu objemu (Janák, 2003).

Jinými slovy, v oblasti používání elektronických přejímek existuje velká variabilita v možnostech zjišťování vstupních údajů a dokonce v metodách výpočtu samotného objemu. Objem kulatiny, stanovený při elektronickém snímání rozměrů se liší od objemu, stanoveného z ručně změřených rozměrů. Rozdíly vznikají v samotných hodnotách rozměrů při jejich snímání a následně při jejich zpracování i vlastním výpočtu. Podle Janáka (2003) je způsobuje:

a) při měření

- tvar kmene
- parametry snímacího zařízení

- mechanické provedení dopravní trasy
- b) při zpracování údajů
 - filtrace hodnot
 - způsob zaokrouhlování
 - způsob odpočtu kůry
 - způsob výpočtu objemu

O tomto problému řešitel předkládané práce informoval zadavatele na 2. kontrolním dnu, který se konal 1. 11. 2004 na LDF MZLU v Brně. Z výše uvedených důvodů se proto od verifikace metody s využitím elektronické přejímky upustilo. Uvedené srovnání převodních koeficientů podle různých metod a elektronické přejímky sice je uveden v práci v kapitole 4.6, není však možné je brát jako zásadní a má proto pouze informační charakter.

Disproporce mezi měřením harvestoru a našimi výsledky podle našich zkušeností spočívá v nedostatečně pečlivé kalibraci měřicího zařízení na hlavici. Podle našich zkušeností v praxi přejímka probíhá dvěma způsoby:

- měřením pomocí prostorové míry a přepočtu na m^3 prostřednictvím daných koeficientů. Výstup z počítače harvestoru není požadován, tedy ani kalibraci není věnována operátory potřebná pozornost, nadměrek délky ve většině případů převyšuje požadovanou hranici.
- podle zkušeností a spolupráce s operátory na harvestorech spočívá přejímka podle výstupních dat počítače harvestoru. Kalibraci je věnována větší pozornost, ale nepodléhá kontrole.

Cílem kalibrace, jak na měřících dopravnících u odběratelů dřeva, tak na harvestorech, má být odstranění systematických chyb měření. Správnou kalibrací lze dosáhnout snížení rizika velkého nadměrku (každý centimetr nadměrku navíc znamená 0,2 až 0,25% ztráty na hodnotě dřeva) a přesné vytrídění sortimentu, zvláště u minimálních průměrů, kde různé sortimenty mohou způsobit velké rozdíly ve zpeněžení. Jednoznačně se však nelze při přejímce dřeva bez kontroly spoléhat na výstupy jakkoliv přesného zařízení, které pracuje v režii smluvního partnera.

7 LITERATURA

ČSN 48 0050. Surové dříví. Základní a společná ustanovení.

ČSN 480055. Jehličnaté sortimenty surového dříví. Technické požadavky.

DRÁPELA, K. Statistické metody I. (pro obory lesního, dřevařského a krajinného inženýrství). MZLU Brno. 2000. s. 79

DRÁPELA, K. Statistické metody II. (pro obory lesního, dřevařského a krajinného inženýrství). MZLU Brno. 2000. s. 79

GROSS, M. u. Kol. (1997) Stickprobenverfahren zur Rundholzvermessung. Merkblätter FVA Nr. 49/1997, 30s.

JANÁK, K., PETER, B., 2003: Elektronická přejímka suroviny. MZLU LDF BRNO. Studie pro ŠLP „Masarykův les“ Křtiny. Oponováno. 10 s.

KADAVÝ, J. KNEIFL, M. MAZAL. P (2000): Metodický postup inventurního měření zásob dřevní hmoty (Studie pro Norske Skog Štětí, a.s.), 7 s.

KADAVÝ, J. KNEIFL, M. MAZAL. P (2000): Podíl kůry smrku a borovice na dřevní hmotě (vlákninové dříví). Studie pro AssiDomän Sepap, a.s. Štětí, 13s.

KADAVÝ, J. KNEIFL, M. MAZAL. P. (1999): Metodika měření skladových zásob vlákniny a dřevěné štěpky pro Assi Domän Sepap Štětí- Prezentace pro „Steering Committee“.

KADAVÝ, J. KNEIFL, M. MAZAL. P., KOLÁŘ, C. (2000): Hmotnostní a objemový podíl kůry smrku a borovice na dřevní hmotě (vlákninové dříví). Zpráva pro Frantschach Pulp & Paper, a.s., 12s.

KADAVÝ, J. KNEIFL, M. MAZAL. P.: Zprávy měsíčních inventarizací skladových zásob vlákniny a dřevěné štěpky pro Assi Domän Sepap Štětí a Frantschach Pulp & Paper, a.s. v letech 1999-2001

MILITKÝ, J., MELOUN, M., 1996: Statistické zpracování experimentálních dat. Praha 1996. 380 s.

NERUDA, J. VALENTA, J. (2002): Methode der Bestimmung der Volumenkoeffizienten für Schichtholz durch eine Bildanalyse. Tagungsbericht Sektion Forsttechnik des Verbandes Deutscher Forstlicher Versuchsanstalten Sopron 6-8. 3. 2002, 8s.

Pokyn LČR s.p. 04/2001: Těžba dřeva sortimentní metodou s využitím harvestorů a vyvážecích traktorů

RYBNÍČEK, P., SRBA, V. a kol., 2002: Doporučená pravidla pro měření a třídění dříví v České republice. Trutnov. 2002. 54 s.

ULRICH, R a kol. (2002): Stanovení převodního koeficientu pro rovinané dříví na OM počítačovou analýzou obrazu. Studie pro MZe-oponováno, 53s.

VALENTA, J. NERUDA, J. (2002): Využití analýzy obrazu pro zjišťování převodních koeficientů objemu rovinaného dříví. Forest magazín, Podzim-zima 2002, s. 26-27.

8 PŘÍLOHY

Příloha č. 1: Smrková kulatina, převodní koeficient 0,705	38
Příloha č. 2: Smrkové agregátní výřezy, převodní koeficient 0,670	38
Příloha č. 3: Smrková vláknina, převodní koeficient 0,673	39
Příloha č. 4: Smrkové palivo, převodní koeficient 0,651	39
Příloha č. 5: Borové agregátní výřezy, převodní koeficient 0,682	40
Příloha č. 6: Borová kulatina, převodní koeficient 0,701	40
Příloha č. 7: Borová vláknina, převodní koeficient 0,630	41
Příloha č. 8: Modřínové agregátní výřezy, převodní koeficient 0,676	41
Příloha č. 9: Modřínová kulatina, převodní koeficient 0,686	42
Příloha č. 10: Modřínová vláknina, převodní koeficient 0,656	42

Příloha č. 1: Smrková kulatina, převodní koeficient 0,705



Příloha č. 2: Smrkové agregátní výřezy, převodní koeficient 0,670



Příloha č. 3: Smrková vláknina, převodní koeficient 0,673



Příloha č. 4: Smrkové palivo, převodní koeficient 0,651



Příloha č. 5: Borové agregátní výřezy, převodní koeficient 0,682



Příloha č. 6: Borová kulatina, převodní koeficient 0,701



Příloha č. 7: Borová vláknina, převodní koeficient 0,630



Příloha č. 8: Modřínové agregátní výřezy, převodní koeficient 0,676



Příloha č. 9: Modřínová kulatina, převodní koeficient 0,686



Příloha č. 10: Modřínová vlákna, převodní koeficient 0,656

