

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav hospodářské úpravy lesů a aplikované geoinformatiky

Srovnání časové náročnosti a přesnosti měření tloušťek stromů pomocí kontaktní a bezkontaktní průměrky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem práci: „Srovnání časové náročnosti a přesnosti měření tloušťek stromů pomocí kontaktní a bezkontaktní průměrky“ zpracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 11/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně, dne: 2. 5. 2016

.....

Podpis studenta

Poděkování:

Tímto bych rád poděkoval rodičům a příbuzným za morální a materiální podporu v průběhu mého studia na Lesnické a dřevařské fakultě Mendelovy univerzity v Brně. Děkuji také vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Zdeňku Adamcovi, Ph.D. za cenné rady při vzniku této práce. Dále bych rád poděkoval Plánským lesům s.r.o., jmenovitě Ing. Michalu Hruškovi za nezištnou pomoc a poskytnuté zázemí při terénních pracích.

Jiří Otta

Srovnání časové náročnosti a přesnosti měření tloušťek stromů pomocí kontaktní a bezkontaktní průměrky

Abstrakt

Téma bakalářské práce se věnuje zjišťování možnosti praktického využití bezkontaktní laserové průměrky při měření výčetních tloušťek stromů. Pro terénní práce byl vybrán majetek města Planá, v plzeňském kraji. Při terénních pracích byly zjišťovány výčetní tloušťky stromů na kruhových zkusných plochách. Kritériem pro výběr porostů byl jejich věk a převažující sklon svahu. Výsledky byly následně vyhodnocovány pomocí dvoufaktorové ANOVy (faktor času) a Kolmogorov-Smirnovovým testem (faktor přesnosti). Rozdělení četností tloušťek zjištěných bezkontaktní průměrkou se shoduje s rozdělením četností tloušťek zjištěných klasicky, tedy kontaktní průměrkou. Časová náročnost je menší při měření bezkontaktní průměrkou. Z výsledků je patrné, že bezkontaktní průměrka je vhodná pro praktické využití při měření výčetních tloušťek kmenů.

Klíčová slova: průměrkování, sklon svahu, spotřeba času, tloušťkový stupeň, věk porostu

Jiří Otta

Comparison of the time consumption and precision of the tree diameter measurement by
the contactless and contact caliper

Abstract

The topic of the thesis is devoted to identifying a practical use of contactless laser caliper for the measurement of diameter at breast height of a tree. For the field work was selected assets in Planá, pilsen region. During the field work there were investigated tree diameters at breast height on circular sample plots. The criteria for selection of the forest stands were their age and prevailing slope. The results were evaluated using two-way ANOVA (time factor), and Kolmogorov-Smirnov test (precision factor). Diameter distribution detected by contactless caliper is the same as diameter distribution which was detected by contact caliper. The time consumption is less if the measurement is carried out by the contactless caliper. The results show that the contactless caliper is suitable for the practical use in measurement of tree diameter at breast height.

Keywords: callipering, diameter class, slope, stand age, time consumption

OBSAH

1. Úvod	9
2. Cíl práce	10
3. Literární přehled	11
3.1. Měření tloušťek stromů	11
3.1.1. Měření výčetních tloušťek	11
3.1.2. Měření tloušťek pomocí zjištění obvodu kmene stromu	12
3.1.3. Měření tloušťek v nedostupných výškách.....	13
3.1.4. Měření tloušťek za pomoci analýzy obrazu	15
3.2. Modelování tloušťek stromů.....	16
3.3. Pomůcky pro měření tloušťek stojících stromů	17
3.3.1. Průměrky	17
3.3.2. Obvodové pásmo.....	18
3.4. Chyby při měření tloušťek.....	19
3.4.1. Průměrka.....	19
3.4.2. Obvodové pásmo.....	19
4. Metodika	20
4.1. Charakteristika území	20
4.1.1. Obecné informace	20
4.1.2. Přírodní podmínky	20
4.2. Výběr ploch	20
4.3. Postup měření na plochách.....	21
4.4. Zpracování dat	22
5. Výsledky	24
5.1. Přesnost	24
5.2. Časová náročnost.....	28
6. Diskuze	34

6.1. Hodnocení přesnosti měření.....	34
6.2. Hodnocení časové náročnosti.....	35
7. Závěr.....	37
8. Summary.....	38
9. Použitá literatura.....	39
10. Přílohy.....	43

1. Úvod

Měření tlouštěk stromů je disciplínou, která spolu s měřením výšek patří mezi nejtěžejnější v rámci hospodářské úpravy lesů. Výčetní tloušťka je jednou z hodnot, podle které se zjišťuje zásoba porostu. Je to ukazatel toho, jakým způsobem se v lese hospodaří, jaká je produkce a kvalita stromů a porostů. Od tohoto všeho se odvíjí prodejní cena pěstovaných porostů a vlastně celá ekonomika jednotlivých provozů. O materiální hodnotu jde především v hospodářských lesích, kterých je v České republice většina. Podle Ministerstva zemědělství (2014) se jedná o 74,5 % z výměry lesů v ČR. Z tohoto důvodu je důležité mít kvalitní a přesné možnosti zjišťování této veličiny.

V současné době měření tlouštěk nabývá nových směrů se stále se rozvíjejícími a modernizujícími technologiemi. Za prvé je to letecké laserové skenování, které je v současnosti ve velkém rozvoji a to nejen v lesnictví, ale i ve spoustě jiných oborů. Téma leteckého laserového skenování je předmětem mnoha výzkumných činností. V lesnictví jde především o zaměřování ploch porostů, zachycení podkladů pro digitální modely terénu, zjišťování výšek stromů, a také využívání metody pro zjišťování tlouštěk. Poté jsou to nejrůznější metody analýzy obrazu, kdy se tato metoda také dostává na stále vyšší úroveň. Rozvoj této metody je spojen především s tím, že v současné době je prakticky ve většině mobilních telefonů zabudovaný poměrně pokročilý fotoaparát, z jehož snímků jsou analýzy obrazu poměrně dobře proveditelné a celkově technologie digitální fotografie je mnohem dostupnější a výpočetní technika pokročilejší než v začátcích metody v současné podobě, tzn. v 90. letech minulého století.

Přes tyto možnosti je stále nejvíce rozšířeným způsobem zjišťování tlouštěk stromů průměrkování, které až na pár změn především v používaných materiálech k výrobě průměrek, probíhá již od počátku rozvoje lesnictví prakticky neustále v nezměněné podobě. Samotný nápad využití bezkontaktní průměrky pro měření výčetních tlouštěk se zdá být zajímavý, metoda by mohla přispět k modernizaci klasického měření. V době, kdy je stále častěji kladen vyšší důraz na úspory časové a finanční by tato metoda mohla být tou správnou cestou.

2. Cíl práce

Cílem této práce bylo zjistit, zda je možné využívat bezkontaktní průměrku, která je prvotně určena k měření tloušťek v nedostupných výškách, k praktickým úkonům při zjišťování zásob porostů, to znamená při měření výčetních tloušťek. Byla hodnocena přesnost měření a časová náročnost měření ve vybraných lesních porostech. Pro přesnost bylo rozhodující, zda je rozdíl četností změřených hodnot, rozdělených do 2cm tloušťkových stupňů mezi bezkontaktním a kontaktním měřením statisticky významný, či nikoliv. Hodnocení časové náročnosti bylo založeno na porovnávání časů potřebných ke změření jedné zkusné plochy. Jako kritéria, která mohou ovlivnit výslednou přesnost a časovou náročnost měření výčetních tloušťek stromů, byly použity věk porostu a sklon svahu.

3. Literární přehled

Tloušťkový růst je způsoben činností dělivých pletiv, a to kambia a felogenu. Každý rok strom zvětšuje svůj tloušťkový přírůstek tím, že za působení zmíněných dělivých pletiv vzniká nová plášť dřeva a kůry. Na poslední vrstvu dřeva se váže nová vrstva kambia. Ta směrem dovnitř tvoří novou vrstvu dřeva a směrem ven novou vrstvu kůry. V první polovině vegetační doby se tvoří buňky tenkostěnné a široké, tzv. jarní dřevo. V průběhu druhé poloviny vegetačního období se tvoří tzv. letní dřevo, což jsou užší, zploštělé a silnostěnné buňky. Vrstva jarního a letního dřeva vzniká za jedno vegetační období se nazývá letokruh (Drápela a Zach, 2002).

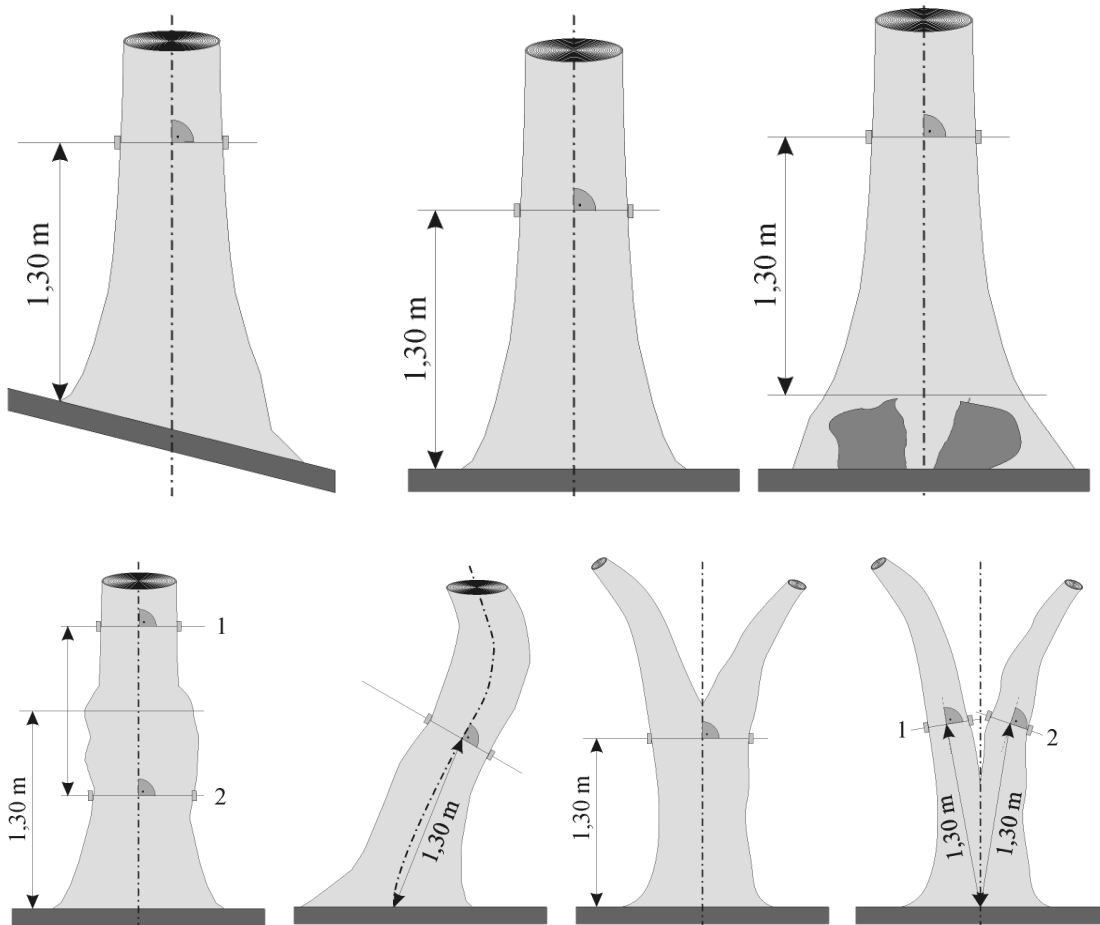
Tloušťka příčného průřezu kmene je základní dendrometrickou veličinou. Šmelko a kol. (2003) uvádí, že obvod příčného průřezu je délka konvexní čáry spojující vypuklé body na křivce r . Oproti tomu tloušťka příčného průřezu kmene je dendrometricky definovaná jako kolmá vzdálenost mezi dvěma tečnami, vedenými rovnoběžně v protilehlých bodech obvodu průřezu (Šmelko a kol., 2003). Podle Kuželky a kol. (2014) je příčný průřez kmene nepravidelný, to znamená, že takto definovaných tloušťek může být po obvodu kmene nalezeno více (nekonečně mnoho); jejich hodnoty se pohybují mezi tloušťkou maximální (d_{\max}) a tloušťkou minimální (d_{\min}). Tloušťka kmene je využívána především jako veličina pro určení plochy příčného průřezu kmene, ze které se odvozuje objem kmene, je nutné vybrat tu, co bude nejlépe reprezentovat plochu průřezu (Kuželka a kol., 2014).

3.1. Měření tloušťek stromů

3.1.1. Měření výčetních tloušťek

Nejčastěji zjišťovanou tloušťkou u stojících stromů je výčetní tloušťka označovaná symbolem $d_{1,3}$, což je tloušťka zjištěná ve výčetní výšce, tedy 1,3 m nad patou kmene (Korf a kol., 1972). Tato výška je závazná pro měření výčetních tloušťek všemi typy průměrek. Pata kmene je ve svahu definována jako nejvyšší místo průniku kořenových náběhů s povrchem půdy. Výčetní nebo také prsní výška je obvykle snadno dostupná, a tak se k jejímu zjištění využívají průměrky různých typů. V případě nestandardních podmínek umístění měřístě, platí pravidla daná obr. 1. Při měřeních (zejména opakovaných) je potřeba dbát na to, aby bylo měřeno vždy ve stejné výšce. Z tohoto důvodu je v případě opakovaných měření vhodné měřící místa označit barvou. V případě používání čelistových průměrek je důležité, aby se průměrka dotýkala kmene

ve třech bodech – obě ramena i pravítko. Důležitá je také kolmost pohyblivého ramene k pravítku a tisknutí průměrky přiměřenou a při všech měřeních konstantní silou (Kuželka a kol., 2014).



Obr. 1: Určení místa měřiče v různých podmínkách (Kuželka a kol., 2014)

3.1.2. Měření tloušťek pomocí zjištění obvodu kmene stromu

Určení tloušťek pomocí změření obvodu kmene je typické používáním tzv. obvodového pásma. Jedná se o pásmo (ocelové nebo sklolaminátové), jehož stupnice je z jedné strany milimetrová a z druhé je kalibrována dle matematické konstanty π , což je poměr obvodu kruhu k jeho průměru (West, 2009).

Při měření pásmem je důležité dodržet podobné podmínky jako při měření průměrkami a také přiměřené napnutí pásma. Nepravidelností příčného průřezu kmene je způsobeno, že tloušťka, změřená obvodovým pásmem je vždy o zhruba 1 až 2 % větší než tloušťka zjištěná průměrkou. Opakovanými měřeními pro zjištění přírůstu se tato systematická chyba ovšem ruší, z čehož vyplývá, že přírůst obvodový i tloušťkový, měřený v čase t_1 a t_2 je určen správně. Mimo to při srovnání měření tloušťky stromu o stejném obvodu

pomocí pásma a průměrkou je rozptyl hodnot při měření pásmem 2x menší než při měření průměrkou. Proto je na výzkumných plochách, kde probíhá opakované měření tlouštěk doporučeno měření obvodovým pásmem (Šmelko a kol., 2003).

3.1.3. Měření tlouštěk v nedostupných výškách

Měření tlouštěk ve vyšších, nedostupných výškách, je problémem, který je potřeba řešit v případě potřeby přesnějšího zachycení tvaru a objemu stojícího stromu. Pro tento účel byly vyvinuty složitější přístroje, umožňující nejen měření samotné tloušťky, ale i zjištění příslušné výšky měření (Šmelko, 2000).

Podle Korfa a kol. (1972) se k měření těchto tlouštěk v nedostupných výškách používají tzv. dendrometry (Wimmenauerův, Guttentbergův, Woderův). Tato měření probíhají v našich podmínkách zpravidla jen pro výzkumné účely. Dendrometry jsou přístroje, obvykle vybavené speciální optikou a svým charakterem jsou řazeny většinou do skupiny tzv. univerzálních geodetických přístrojů. Přístroje umožňují vcelku přesné měření horizontálních i vertikálních úhlů a obvykle také optické měření vzdálenosti (Korf a kol., 1972). V současnosti se využívají také tzv. mechanické dendrometry, neboli přírůstoměry. Jsou to kovové pásky s milimetrovou stupnicí objímající kmen, jištěné pružinou s přiměřenou silou (Kuželka a kol., 2014). Slouží především k dlouhodobému a opakovanému měření tlouštěk, či ke zjišťování přírůstků.

Dalšími v současnosti nejmodernějšími dendrometry jsou elektronické optické přístroje jako je např. TruPulse 360, což je dálkoměr se sklonoměrem a volitelnou funkcí dendroskop pro vzdálené měření tlouštěk a relaskopování. Přístroj je schopen přesně zaměřit azimuty, díky čemuž je schopen měřit horizontální vzdálenost mezi dvěma body. Pracuje s přesností ± 30 cm v měření vzdálenosti, $\pm 0,25^\circ$ pro sklon a $\pm 1^\circ$ pro azimut. Dalším přístrojem je např. Relaskop Criterion RD 1000, který je vhodný pro situace vyžadující velkou přesnost měření. Přesnost tlouštěk je ± 6 mm (vzdálenost 24 m), přesnost sklonu $\pm 0,1^\circ$ a přesnost výšky ± 3 cm (FieldMap, 2016).

Podle Šmelka (2000) je teletop dalším univerzálním topografickým geodetickým přístrojem. Račko (1969) přezkoumal jeho použitelnost u nás a zjistil intervaly chyb (při 95% hladině spolehlivosti) pro tloušťku $\pm 0,3$ cm a pro výšku $\pm 0,12$ m.

Další možností měření nedostupných tlouštěk je optická průměrka. Princip měření s touto průměrkou je založen na současném pozorování levého a pravého okraje stromu

ve zvolené výšce a na splývavosti jejich obrazů pomocí dvou pětibokých hranolů. Levý hranol je pevný, pravým pohybuje měřič. Měření tloušťky přístroj umožňuje do vzdálenosti 15 m, se střední chybou ± 2 mm. Výška změřené tloušťky se zjistí výškoměrem, který je součástí optické průměrky (Šmelko a kol., 2003).

Finská parabolická průměrka se používá k měření především ve Finsku a Švýcarsku. Tato průměrka je upevněná na lehké kovové tyči, dlouhé 5 nebo 7 m. Pro správné určení tloušťky je důležité postavení měřiče. To znamená, že musí stát tak, aby při pohledu zdola probíhala obrysová čára kmene s centimetrovou stupnicí vyobrazenou na průměrce. Při správném provedení nepřekračuje chyba zjištěné tloušťky zpravidla 1 cm. Měření touto průměrkou je také znázorněno na obr. 2 (Šmelko, 2000).



Obr. 2: Měření finskou parabolickou průměrkou (Šmelko, 2000)

Šmelko a kol. (2003) uvádí ještě jeden způsob měření tlouštěk v nedostupných výškách. Jde o zrcadlový relaskop. Tento přístroj vyvinutý prof. Bitterlichem umožňuje optické měření vzdáleností, výšky stromu, kruhové základny porostu, sklonu terénu apod. Podle Parkera (1997) je tento přístroj stativem podpíraný dendrometr s osminásobným zvětšením objektivu. Měření je možné z maximální vzdálenosti 1,5 násobku výšky stromu. Vertikální i horizontální stupnice přístroje jsou udávány v relativním vyjádření vodorovné vzdálenosti mezi ohniskem telereleaskopu a měřeným objektem (osou měřeného stromu). Podle Zacha a kol. (1994) jsou relativní měřické jednotky, neboli TU (Tele-Units, také tachymetrické jednotky), výpočtem převedeny na uživatelem definované jednotky (cm, m). Jedna tachymetrická jednotka TU představuje 1 % vzdálenosti od ohniska telereleaskopu po měřený objekt. Z tohoto vyplývá, že vzdálenost

od objektu, který má šířku 1 TU, se rovná 100 násobku jeho skutečné šířky. V České republice se měřením tlouštěk tímto přístrojem zabýval např. Kinkor (2013).

Hlavním předmětem zájmu pro tuto práci je pak laserová průměrka s tzv. Gator eyes (příloha 16 a 17), která umožňuje bezkontaktní měření v nedostupných výškách kmene. Tato průměrka je vybavena seřízenými laserovými ukazovátky, které jsou připevněny na spodní části čelistí průměrky. Tyto lasery slouží jako prodloužená ramena průměrky. Toto zařízení sice nedosahuje přesnosti optických přístrojů, ale oproti tomu klade daleko menší nároky na kvalifikaci uživatele (Kuželka a kol., 2014).

3.1.4. Měření tlouštěk za pomoci analýzy obrazu

3.1.4.1. Fotogrammetrie

Dálkové zkoumání nejrůznějších veličin je součástí lesnictví již mnohá desetiletí. Hlavním důvodem je nedestruktivnost, menší časová náročnost a také větší ekonomická efektivnost. V současnosti je hlavním využívaným způsobem snímání nejrůznějších porostních charakteristik, údajů o jednotlivých stromech a podkladů pro LHP pomocí nejrůznějších senzorů z leteckých nosičů (u nás např. Kadavý a kol., 2011). Dalším typem dat získaných z leteckých nosičů jsou data laserového skenování země. Tato metoda je však více využívána ve výzkumné než v provozní fázi (Kuželka a kol., 2014).

Technologie dálkového průzkumu země je možné použít i při pozemním sběru dat. Mimo pozemního laserového skenování (např. Yu a kol., 2013) se pro měření dendrometrických veličin využívá také pozemní fotogrammetrie. Využití fotogrammetrie v ČR má dlouhou historii. Důvodem stoupajícího využívání těchto metod je zpřesnění údajů a nižší finanční a časová náročnost. Doposud využívané tabulkové metody jsou mnohem méně přesné, jelikož nejsou schopny se přizpůsobit konkrétním situacím a podmínkám, dobrým příkladem je např. průběh tvarové křivky kmene, který je na přesném měření závislá (Kuželka a kol., 2014). Využití fotografie je zaznamenáno již z počátku 20. století (Weber, 1902), avšak v té době se jednalo o technicky náročnou a nákladnou analýzu. Svoji nedůvěru v rozšíření používání metody vyjadřuje např. Marsch (1952), který se ve své práci věnoval i složitějším metodám včetně odstranění distorze (zkreslení objektivu). Vizuální nejasnost, nákladnost i technickou náročnost prezentuje ve svém díle ještě i Grosenbaugh (1963). S rozvojem výpočetní techniky se ale stala metoda zajímavější, v 80. letech minulého století (Dehn, 1987). Opravdový rozvoj zaznamenala metoda analýzy obrazu

až v 90. letech, kdy došlo k nástupu digitální fotografie (Kuželka a kol., 2014). Celý proces se zjednodušil a přinesl mnohé možnosti využití (Clark a kol., 1998). Využitím analýzy obrazu v lesnictví se u nás zabýval např. Adamec (2010), který se věnoval hodnocení různých tříd kvality digitálních fotoaparátů při výpočtu přepočtového koeficientu rovnajícího dříví z digitálních fotografií; dále např. Mandínek (2012), který se zabýval porovnáním podílu letního dřeva zjištěného standardní metodou a metodou analýzy obrazu.

3.1.4.2. DendroScanner

Podle Kinkora (2013) nástrojem využívání fotogrammetrických postupů pro stanovení dendrometrických veličin je DendroScanner. Jde o komplexní technologii, která slouží k získání prvotních dat měřením, ale také k odvození a aplikaci modelů za účelem získání finálních informací. DendroScanner využívá jednosnímkové pozemní fotogrammetrie. Autorem aplikace pro tvorbu modelu kmene je Ing. René Tauber.

Pořízení fotografie je následovné. Výčetní výšku je vhodné označit kontrastní barvou. Výčetní tloušťka je totiž pro metodu jednou z kalibračních veličin, a je tedy nutné, aby její zjištění bylo přesné a snadné. Kontrastní barva snadno odliší hrany stromu a umožňuje identifikaci hran při kalibraci měřítka fotografie. Pro přehlednost je vhodné stromy označit před vyfotografováním pořadovým číslem, a to kvůli přehlednosti získaných fotografií. Použitý digitální fotoaparát by měl mít rozlišení alespoň 5 Mpx a je vhodné použít objektiv střední ohniskové vzdálenosti (cca 35 – 50 mm) (Kuželka a kol., 2014).

Před měřením ve fotografii je nutná tzv. kalibrace použitého fotoaparátu. To znamená získat model geometrického zkreslení (distorze). Následuje definice měřítka fotografie, což znamená, že ke každé fotografii je potřeba pořídit kalibrační veličiny (výčetní tloušťku a výšku). Uživatel DendroScanneru interaktivně označí hrany stromu ve výčetní výšce a následně patu a vrchol kmene. Sejmутými profily kmene je následně proložena morfologická křivka kmene. Na základě morfologických křivek jednotlivých stromů pak aplikace umožňuje výpočet typické morfologické funkce souboru stromů. Následuje případné měření větví, rozšíření DendroScanner Biomasa (Tauber, 2008).

3.2. Modelování tlouštěk stromů

Modelování tloušťkové struktury je významné pro generování struktury porostu z průměrných a plošných porostních charakteristik. V těchto případech je nutné

modelovat frekvenční tloušťkové funkce pomocí vhodného matematického tvaru. Tloušťková struktura porostu je též důležitá v některých frekvenčních populačních modelech. Ty jsou založené na modelování dynamiky tloušťkové struktury pomocí regresních modelů, diferenciálních rovnic nebo stochastických evolučních algoritmů (Fabrika a Pretzsch, 2011).

Tloušťkovou strukturu definuje frekvenční tloušťková funkce. Funkce vyjadřuje počty stromů s proměnlivou tloušťkou. Je definována svou variabilitou, polohou a tvarem. Tvar funkce závisí na charakteru lesního porostu. Nejčastějším typem v homogenních porostech od mladých až po dospělé věkové třídy je levostranné asymetrické rozdělení. S postupujícím věkem se ale může měnit na symetrické a v některých případech se může přeformovat až do pravostranně nesouměrného. Ve víceetážových porostech se objevuje křivka o více vrcholech četností. Klesající rozdělení je specifické pro lesní porosty s charakterem výběrného lesa. Všeobecně lze konstatovat, že se v lesních porostech s přibývajícím věkem frekvenční funkce posouvá směrem doprava, zvyšuje se její variační rozpětí a více se zaobluje. Podobné chování se projevuje i při zlepšování bonity porostu (Fabrika a Pretzsch, 2011).

Modelování tlouštěk stromu je v současné době možné také pomocí leteckého laserového skenování (LLS). Je založeno na analýze mračna bodů získaného pomocí této metody. LLS je využíváno především k tvorbě digitálních modelů terénu a zjišťování výšek a poloh jednotlivých stromů (Bařa, 2014). Výčetní tloušťky, ale i objem biomasy nebo hroubí je stanovován pomocí empirických vzorců (Vazirabad a Karslioglu, 2011). Možností odvození výčetních tlouštěk z výšek zjištěných pomocí leteckého laserového skenování se u nás zabývali např. Carbol (2013) nebo Carbol a Klimánek (2015).

3.3. Pomůcky pro měření tlouštěk stojících stromů

3.3.1. Průměrky

Průměrky jsou klasická měřidla, v lesnictví nejčastěji používaná při zjišťování tlouštěk stromů. Toto měřidlo má dvě ramena (nejčastěji jedno pevné a jedno pohyblivé), mezi kterými je pravítka se stupnicí. Při měření tloušťky příčného průřezu kmene mají být ramena průměrky rovnoběžná a mají realizovat tečny, které „svírají“ daný průřez v protilehlých bodech jeho obvodu. Tloušťka průřezu je definována vzdáleností těchto

tečen. V okamžiku měření se má tedy průměrka dotýkat obvodu průřezu ve třech bodech (ramena a pro přesnost i pravítko) (Korf a kol., 1972).

Podle Zacha a kol. (1994) průměrky dělíme podle účelu na pravé (k měření tloušťek) a nepravé (ke stanovení odvozených veličin např. kruhových základů, objemu); podle konstrukce pak na průměrky s jedním pohyblivým ramenem (taxační, tyrolská, Šindelářova), bez pohyblivého ramene („kosa“) a průměrky registrační (s mechanickou registrací nebo s elektronickou registrací).

Jednoramenná průměrka tzv. kosa byla používána především v 80. letech minulého století. Tato průměrka byla jednoduchá na používání, ovšem přesnost byla značně ovlivněna schopnostmi obsluhy odečítat hodnoty ze stupnice. Dalším příkladem je sektorová průměrka prof. Bitterlicha. Ani tato průměrka nedosáhla v praxi většího uplatnění, a to nejen kvůli vyšším pořizovacím nákladům, ale také kvůli vyšším požadavkům na kvalifikaci měřiče. Zajímavá je alternativa sklopných ramen, vhodná především u průměrek o celkové délce obou ramen nad 80 cm kvůli transportu. Tuto průměrku reprezentuje např. švédský produkt Mantax Black (Kuželka a kol., 2014).

Současný materiál, ze kterého jsou průměrky vyráběny jsou především lehké slitiny s odolnými plasty, které nahrazují staré dřevěné průměrky. Navzdory změnám v konstrukčních materiálech je průměrka mechanické zařízení. Je potřeba dbát na to, aby ramena byla po celé své délce rovnoběžná a zároveň kolmá k odečítací stupnici. Nesmí mít boční výkyv, který umožňuje případnou nerovnoběžnost ramen a znehodnotil by měřené hodnoty. Nastavení správné funkčnosti průměrky je možné pomocí tzv. rektifikačních šroubů (Kuželka a kol., 2014).

3.3.2. Obvodové pásmo

Jedním z nejběžnějších způsobů, jak zjistit tloušťku kmene, je změřit obvod jednoduchým měřicím pásmem, známým jako obvodové pásmo. Obvodová pásma jsou vyráběna z oceli nebo sklolaminátu. Tyto materiály se používají z důvodu dlouhodobé nepoddajnosti a tím i přesnosti měření. Jsou kalibrovány v hodnotách matematické konstanty π , což je poměr obvodu jakéhokoliv kruhu k jeho průměru a má hodnotu přibližně 3,142. To znamená, že jednotka průměru znázorněná jako 1 cm je na pásku dlouhá 3,142 cm. Při správném používání by mělo být pásmo pevně obtaženo okolo kmene a zároveň kolmo k jeho ose. Před provedením měření by měla být volná kůra lehce očištěna z kmene. Obvodová pásma jsou obvykle kalibrována v intervalu 0,1 cm

průměru (to znamená, že kalibrační značky jsou 3,142 mm od sebe) a tloušťky stromů jsou obvykle zaznamenávány s přesností na 0,1 cm. Dlouholeté zkušenosti lesnických vědců prokázaly, že tato přesnost je pro běžné úkony v lesnictví dostačující (West, 2009).

3.4. Chyby při měření tlouštěk

3.4.1. Průměrka

Při měření dvouramennou průměrkou mohou vzniknout čtyři druhy chyb. Za první je to chyba z nesprávné průměrky. Ta nastává, když je pohyblivé rameno vychýlené od kolmého směru. Hodnoty chyb v určení tloušťky nabývají hodnoty -1 % na každý 1 cm. Druhou chybou je chyba ze šikmého přiložení průměrky k ose kmene. Tato chyba je vždy kladná (tloušťku nadhodnocuje). Při vychýlení od osy o 3° je míra chyby 0,15 %, při vychýlení o 10° je chyba již 1,50 %. Třetí možností je chyba z nedodržení stanoveného místa měření. Tato chyba může být buď kladná, nebo záporná. Záleží na směru posunu (nahoru či dolů od místa měření) a její velikost je daná sbíhavostí kmene. Poslední čtvrtou možností je chyba z různě silného přitlačení průměrky ke kmenu. Na rozdíl od předchozích chyb, které jsou systematické a tedy odstranitelné, je tato náhodná. Projeví se při vícenásobném měření tloušťky stejného stromu. Různě silné přitlačení čelistí průměrky ke kmeni způsobuje náhodnou subjektivní chybu $\pm 1,5$ % (Šmelko, 2000).

3.4.2. Obvodové pásmo

Při měření obvodovým pásmem jsou chyby obdobné jako u měření průměrkou. Chyba z nesprávné průměrky logicky odpadá. Chyba ze šikmého umístění pásma k ose kmene je dvojnásobná oproti šikmému přiložení průměrky, protože šikmý obvod představuje obvod elipsy o dvou poloosách (Loetsch a kol., 1973). Chyba z nedodržení stejného místa měření je přibližně shodná s průměrkou. Chyba z různě silného přitlačení je naopak menší než stejná chyba vytvořená průměrkou. Z experimentů Kennela (1959) je patrné, že chyba nepřekračuje s pravděpodobností 68 % hodnotu 0,1 % při měření jednou osobou (Šmelko, 2000).

4. Metodika

V této kapitole bude uvedena charakteristika území, na kterém bylo prováděno měření, způsob výběru ploch k měření, popis samotných měřících prací v terénu a v neposlední řadě také popis zpracování výsledků pomocí statistických metod.

4.1. Charakteristika území

Veškeré informace v této kapitole jsou převzaté z textové části lesního hospodářského plánu pro daný LHC na období 2007 – 2016 (Plzeňský lesprojekt a.s., 2007).

4.1.1. Obecné informace

Vybranou oblastí k provádění terénních prací této bakalářské práce byl majetek ve správě společnosti Plánské lesy s.r.o. Jedná se o území o velikosti 1 059,26 ha, nacházející se v plzeňském kraji, v obvodu obce s rozšířenou působností Tachov. Je rozdělen na dva lesnické úseky. První je tvořen souvislým komplexem lesa mezi obcemi Broumov a Ždár v Českém lese. Tento úsek nese název Jalový Dvůr. Druhý úsek tvoří rozptýlené větší, či menší lesní komplexy převážně v okolí města Planá, jehož názvem je tento úsek také označen.

4.1.2. Přírodní podmínky

4.1.2.1. Přírodní lesní oblast a lesní vegetační stupňovitost

Majetek je součástí přírodních lesních oblastí 6 – Západočeská pahorkatina a 11 – Český les. V lesnickém úseku Jalový Dvůr jsou nejvíce zastoupeny lesní vegetační stupně 5 – jedlobukový a 6 – smrkobukový. V druhém úseku Planá je hlavním lesním vegetačním stupněm 3. – dubobukový. Nadmořská výška se v celém lesním hospodářském celku pohybuje od 430 m n. m. do 735 m n. m.

4.1.2.2. Dřevinná skladba

V dřevinné skladbě jednoznačně dominují jehličnaté dřeviny (smrk ztepilý 72,9 % a borovice lesní 16,7 %, modřín opadavý 1,2 %), z listnatých dřevin je to pak buk lesní s břízou bělokorou shodně 2,2 %, dub zimní 1,2 %, zbytek dřevinné skladby (3,6 %) je tvořen především keřovitými dřevinami, olší lepkavou a javorem klenem.

4.2. Výběr ploch

K provedení měření bylo vybráno 60 kruhových zkusných ploch ve 30 porostech. Každá plocha měla velikost 0,05 ha, což odpovídá poloměru 12,62 m. Tato velikost

plochy byla zvolena z důvodu optimálního počtu stromů, Optimálním počtem stromů se, podle Šmelka (2000), rozumí průměrně 15 – 25 stromů na ploše. V každém z porostů byly tedy umístěny reprezentativně 2 plochy. Každá z ploch byla měřena dvakrát, jednou bezkontaktně a následně kontaktně. Celkem tedy proběhlo 120 měření.

Porosty byly vybrány podle hodnocených faktorů. Hodnocen byl sklon svahu (rovina – do 5 °, mírný svah – do 20 ° a prudký svah – nad 20 °) a věk porostu. Věkové kategorie byly dvě. První kategorie od 60 do 80 let, která je věkovým obdobím předmytních těžeb a zároveň obdobím, kdy se s průměrkováním porostů v praxi začíná. Druhá kategorie byla ve věku mytních těžeb, tedy od 80 do 120 let. V porostech starších 120 let se neměřilo, protože smrkové a borové porosty přesahující tuto věkovou hodnotu jsou ponechávány jen velmi omezeně a pokud tomu tak je, tak je to z důvodu přirozené obnovy a zakmenění těchto porostu je většinou snižené. Snižené zakmenění znamená menší počet stromů, což by znamenalo zvětšení zkusné plochy a tedy neporovnatelnost výsledků. Charakteristika vybraných porostů je uvedena v příloze 13.

4.3. Postup měření na plochách

K měření byla používána digitální průměrka Haglöf s tzv. Gator eyes. Podle Kuželky a kol. (2014) se jedná o doplněk, kterým jsou dvě precizně seřízená laserová ukazovátka, připevněná k ramenům průměrky, jež mají funkci prodloužení ramen až do vzdálenosti několika desítek metrů. Tento doplněk však neomezuje používání průměrky jako klasické, tedy kontaktní. Druhou pomůckou pak byl laserový dálkoměr Nikon 550 AS.

Samotné měření na plochách probíhalo podle níže uvedeného postupu. Nejprve proběhlo měření způsobem bezkontaktním, aby výsledky nebyly zkresleny informacemi o znalosti hranice zkusné plochy. Pokud by nejprve probíhalo měření kontaktní, byla by hranice plochy vyznačena křídou a při bezkontaktním měření by nebylo potřebné ověřovat hraniční stromy a výsledky metod by se nemohly mezi sebou porovnávat. Postup byl tedy takový, že do středu reprezentativně umístěné plochy byl umístěn kolík. Z pozice nad kolíkem byly zaměřovány výčetní tloušťky jednotlivých stromů. Pokud se některý ze stromů nacházel v zákrytu, odstupovalo se od kolíku tak, aby byla zachována stejná vzdálenost jako mezi stromem a kolíkem. V případě pochyb, zda měřený jedinec patří nebo nepatří na plochu, se tato skutečnost ověřovala

dálkoměrem. Čas byl měřen stopkami, konkrétně zapnuty byly před změřením prvního a zastaveny po změření posledního stromu.

Metoda kontaktního měření probíhala tak, že nejprve se vytyčila kruhová zkusná plocha. Křídou se označovaly hraniční stromy, které ještě patřily do plochy, a poloměr plochy byl zaměřován směrem ke kolíku. Po vytyčení plochy byly měřeny výčetní tloušťky klasicky, tedy stejnou digitální průměrkou, ale již s vypnutými lasery pomocí kontaktních čelistí. Důležité bylo dodržet stejný směr při kontaktním měření jako bezkontaktním, tzn. prostor mezi čelistmi průměrky musel směřovat směrem ke kolíku. Čas byl měřen opět stopkami s tím, že zapnuty byly před zahájením vytyčování plochy (bez zatlučení středového kolíku) a vypnuty po změření posledního stromu.

4.4. Zpracování dat

Zpracování dat probíhalo pomocí počítačových programů DigiCom V1.4, Microsoft Excel 2010 a Statistica 12 (StatSoft, Inc., 2013). Nejprve byla získána data z průměrky pomocí programu DigiCom, který slouží jednak k přenosu dat z průměrky, a také i k drobným úpravám dat z průměrky. Výsledné statistické výstupy byly zjišťovány s hladinou spolehlivosti 95 %.

Při vyhodnocování přesnosti měření nebyla tato vlastnost uvažována doslovně podle jejího statistického vyjádření - tedy variabilita skutečných chyb (Fabrika a Pretzsch, 2011), ale celková správnost měření, která v sobě zahrnuje jak průměrnou chybu (tzv. bias) tak i směrodatnou odchylku chyb (tzv. přesnost), (Fabrika a Pretzsch, 2011). Pro ověření správnosti bylo tedy nutné otestovat, jestli rozdělení tlouštěk změřených kontaktně i bezkontaktně je shodné, to znamená, jestli mají stejnou střední hodnotu a směrodatnou odchylku.

Před samotným vyhodnocením přesnosti měření byla naměřená data uspořádána do 2cm tloušťkových stupňů v programu Microsoft Excel. Vyhodnocení bylo provedeno v programu Statistica, za použití neparametrického Kolmogorov-Smirnovova testu pro dva výběry. Tento test patří do testů shody. Tímto názvem se rozumí testy hypotéz o shodě rozdělení četností. Dvouvýběrový test se používá v případě, že se porovnávají dvě výběrová rozdělení (nikoli výběrové a teoretické rozdělení jako v případě jednovýběrového testu). Testuje se nulová hypotéza, kterou je v tomto případě H_0 : Četnosti stromů v tloušťkových stupních zjištěných pomocí bezkontaktního a kontaktního měření se významně statisticky neliší. V opačném případě

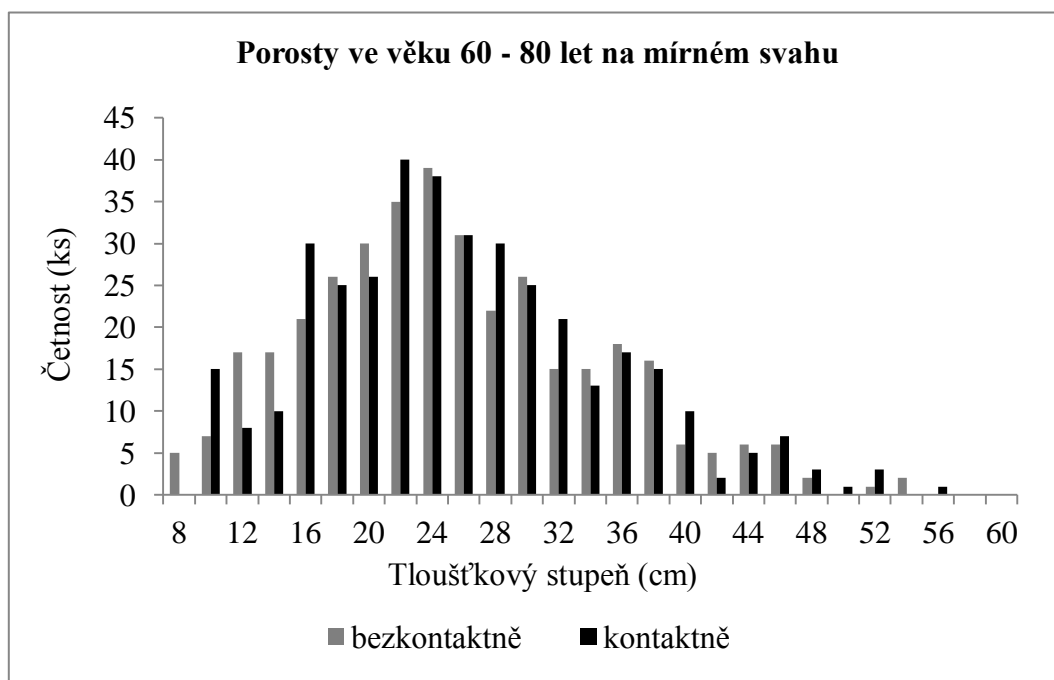
platí alternativní hypotéza H_1 . Používá se testové kritérium $D_2 = \max|W_{1,i} - W_{2,i}|$, kde $W_{1,i}$, $W_{2,i}$ jsou relativní kumulativní třídň četnosti 1. a 2. souboru. Hypotézu přijímáme, když $D_2 < D_{2,\alpha}$ (Drápela a Zach, 2002).

Vyhodnocení časové náročnosti proběhlo za využití programu Microsoft Excel, ve kterém byly zjištěné časy uspořádány a převedeny na sekundy. Převedení času na sekundy bylo nutné, kvůli tomu, aby byl vytvořen formát, přijatelný pro další použití v programu Statistica. Ve Statistice byla použita k vyhodnocení časové náročnosti dvoufaktorová ANOVA s opakováním a následně Tukeyho test mnohonásobného porovnání. Drápela (2002) uvádí, že ANOVA je statistický test, který testuje nulovou hypotézu o shodě středních hodnot pro více výběrů. Nulová hypotéza je v tomto případě H_0 : Aritmetický průměr časů zjištěných bezkontaktní metodou se statisticky významně neliší od času získaného kontaktním měřením. Testy mnohonásobného porovnání se pak provádějí v případě, že je nulová hypotéza zamítnuta. Tyto testy pak podle Drápely (2002) zodpoví otázku – mezi kterými skupinami je statisticky významný rozdíl průměrů?

5. Výsledky

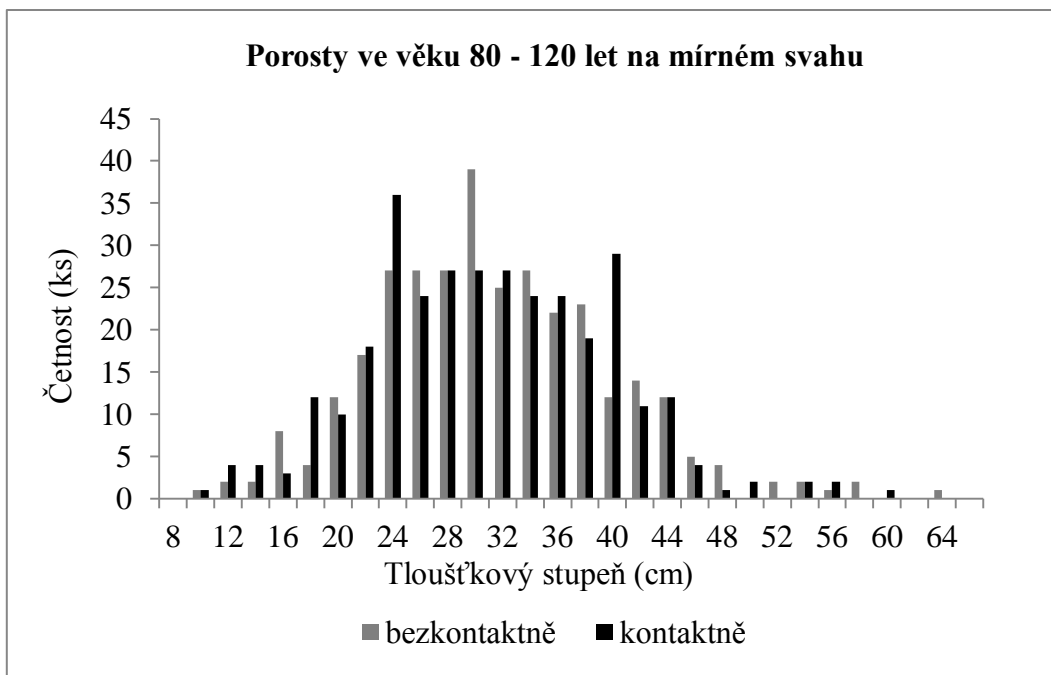
5.1. Přesnost

Z výsledku Kolmogorov-Smirnovova testu (příloha 1) je patrné, že rozdělení četností tloušťek získaných kontaktním a bezkontaktním měřením v porostech na mírném svahu ve věku 60 – 80 let lze považovat za shodné (p -hodnota $> 0,10$). Lze tedy konstatovat, že bezkontaktní měření je stejně přesné jako klasické kontaktní měření. Toto je dobře patrné také z obr. 3.



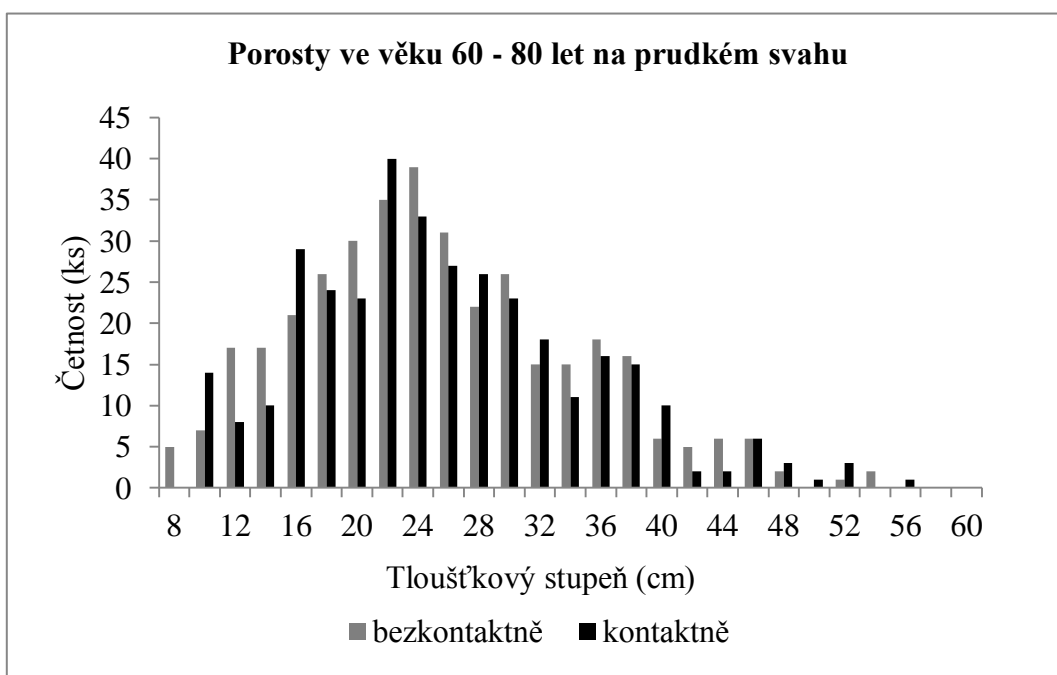
Obr. 3: Vyhodnocení mírného svahu ve věkové kategorii 60 – 80 let

V porostech ve věkové kategorii 80 – 120 let a na mírném svahu je podle Kolmogorov-Smirnovova testu (příloha 2) zřejmé, že rozdělení četností tloušťek získaných z kontaktního a bezkontaktního měření je možné považovat za shodné. P -hodnota nabývá hodnot vyšších než 0,10. Tento výsledek tedy znamená, že lze bezkontaktní metodu měření považovat za stejně přesnou jako metodu kontaktního měření. Dobře viditelné je to též na obr. 4.



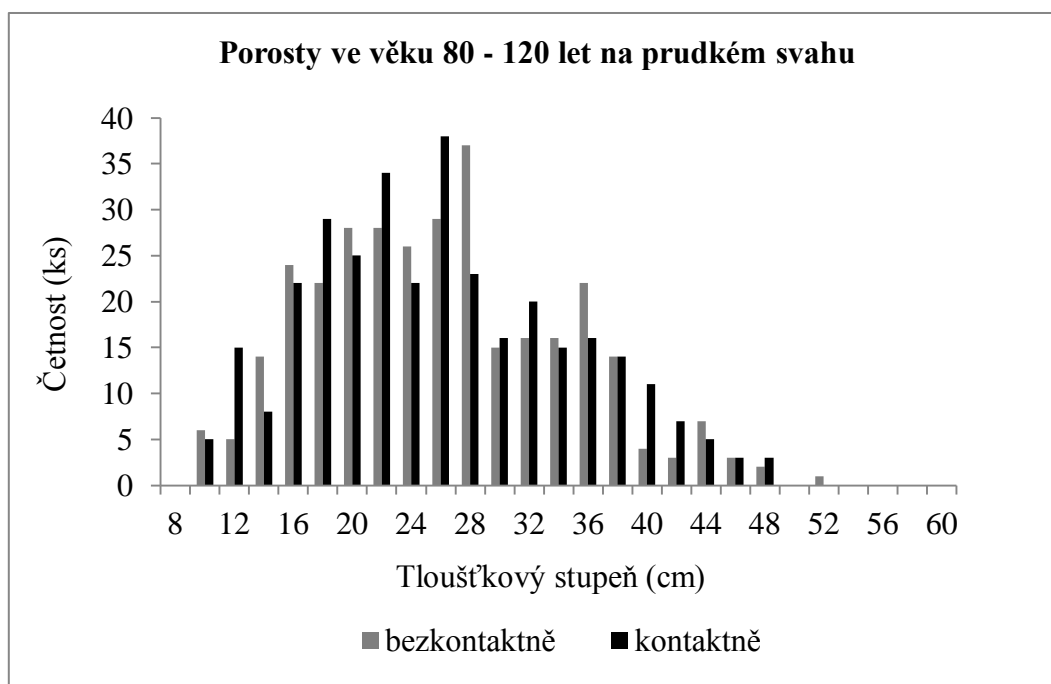
Obr. 4: Vyhodnocení mírného svahu ve věkové kategorii 80 – 120 let

V porostech na prudkém svahu ve věku 60 – 80 let poukazuje výsledek Kolmogorov-Smirnovova testu (příloha 3) na srovnatelnost rozdělení četností tloušťek v jednotlivých tloušťkových stupních, p-hodnota přesahuje 0,10. Při měření za výše zmíněných podmínek je tedy metoda bezkontaktního měření stejně přesná jako metoda kontaktní. Dobře patrné je to i z grafu na obr. 5.



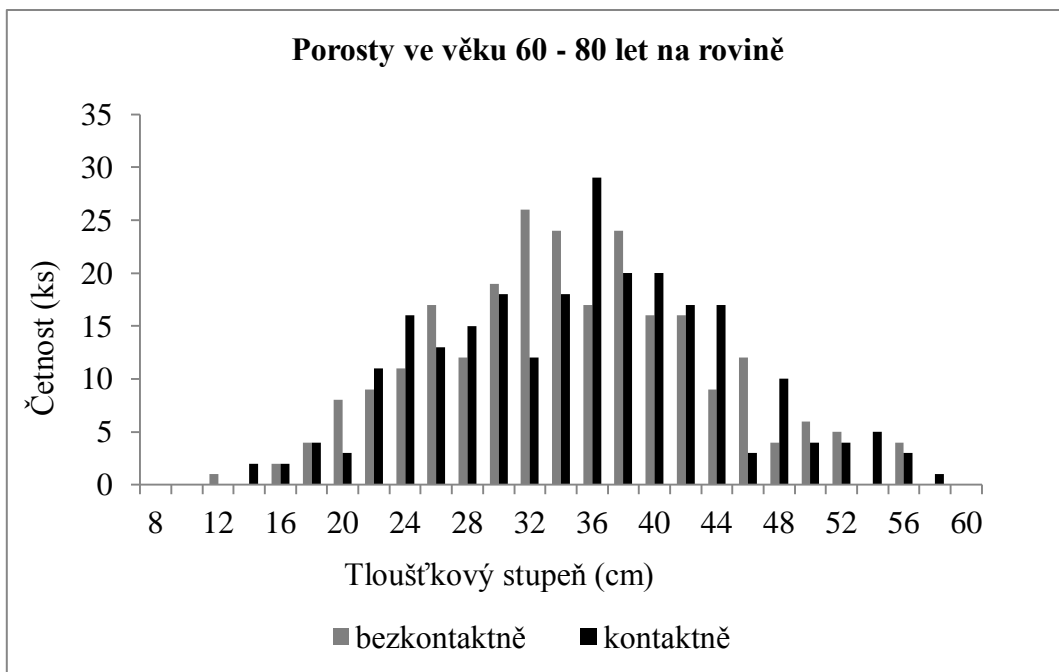
Obr. 5: Vyhodnocení prudkého svahu ve věkové kategorii 60 – 80 let

Kolmogorov-Smirnovův test ve věkové kategorii 80 – 120 let a na prudkém svahu (příloha 4), jehož vyhodnocením byla zjištěna shodnost rozdělení četností tlouštěk podle p -hodnoty $> 0,10$ dokazuje, že přesnost bezkontaktního způsobu měření je na stejné úrovni jako přesnost kontaktního způsobu měření. Výsledek je rovněž patrný z obr. 6.



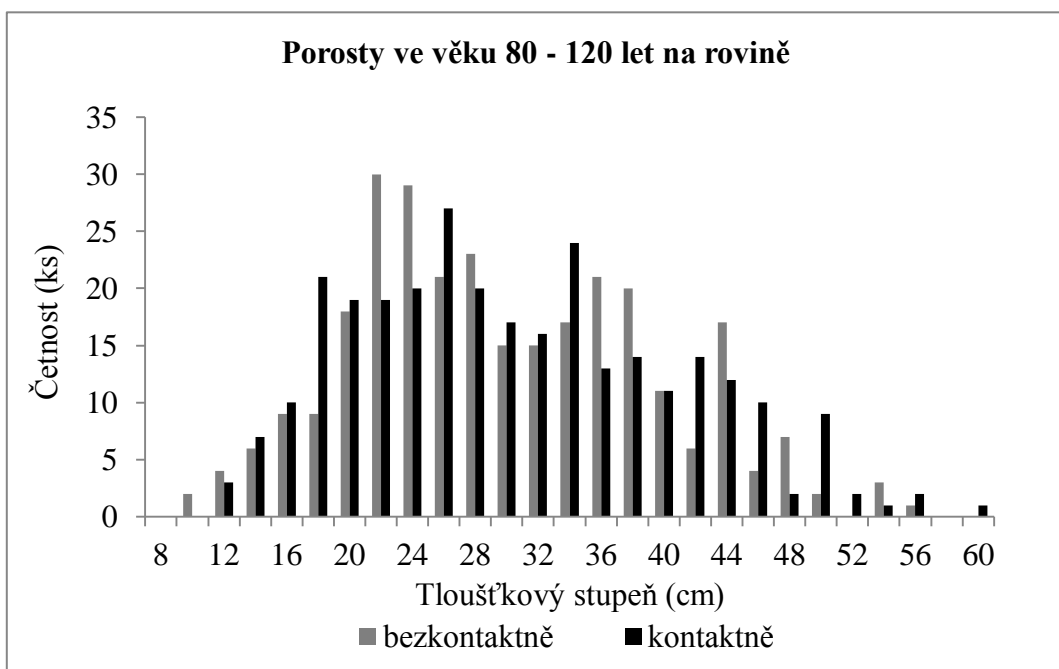
Obr. 6: Vyhodnocení prudkého svahu ve věkové kategorii 80 – 120 let

Na obr. 7, stejně jako z výsledku Kolmogorov-Smirnovova testu (příloha 5) je zřejmé, že rozdělení četností tlouštěk získaných z měření kontaktním a bezkontaktním způsobem je srovnatelné, p -hodnota přesahuje 0,10. Toto bylo zjištěno i v porostech na rovině ve věkové kategorii 60 – 80 let. V těchto podmínkách lze považovat bezkontaktní způsob měření za stejně přesný jako kontaktní způsob měření.



Obr. 7: Vyhodnocení roviny ve věkové kategorii 60 – 80 let

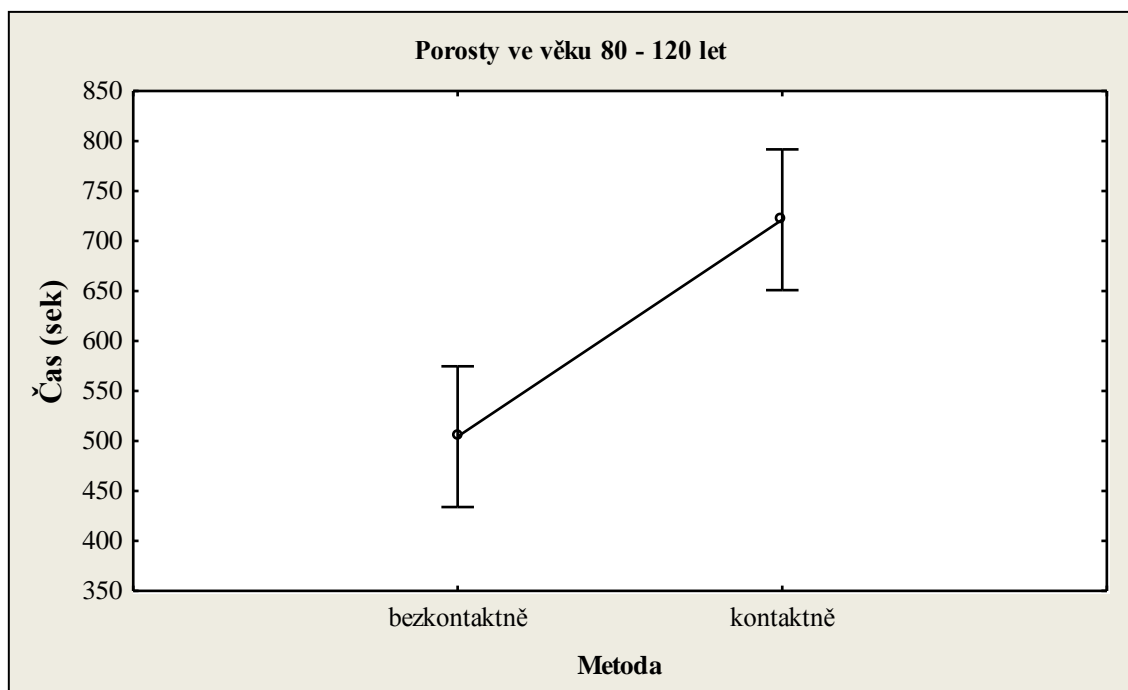
V porostech na rovině ve věkové kategorii 80 – 120 let je přesnost bezkontaktního měření shodná s přesností kontaktního měření. Toto prokazuje p-hodnota větší než 0,10, získaná z Kolmogorov-Smirnovova testu (příloha 6) a rozdělení četností hodnot v tloušťkových stupních zobrazené na obr. 8.



Obr. 8: Vyhodnocení roviny ve věkové kategorii 80 – 120 let

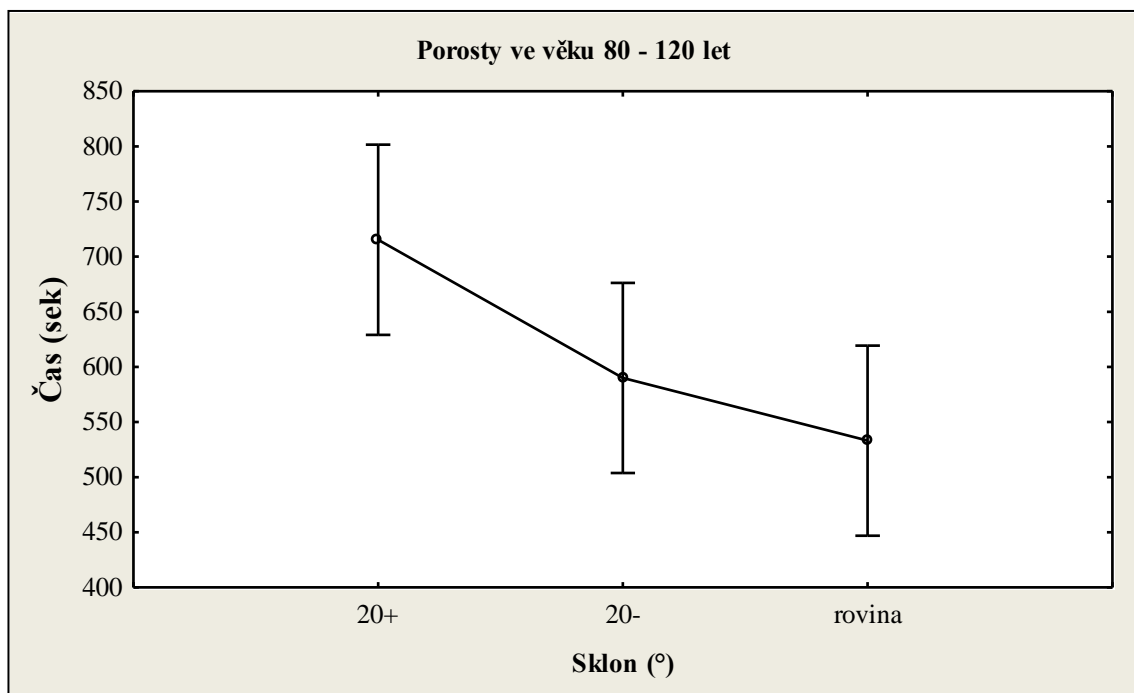
5.2. Časová náročnost

Z výsledku dvoufaktorové ANOVy s opakováním (příloha 7) je zřejmé, že rozdíl v časové náročnosti mezi jednotlivými metodami měření v porostech věkové kategorie 80 – 120 let je statisticky významný (p -hodnota $< 0,0001$). V testu mnohonásobného porovnávání se potvrdilo, že časová náročnost při kontaktním měření je vyšší než při bezkontaktním (příloha 8). Dobře patrné je to také z obr. 9. Použitá metoda má tedy vliv na časovou náročnost měření tlouštěk. Časová úspora bezkontaktního měření na 1 plochu průměrně dosahovala 43 % (příloha 14).



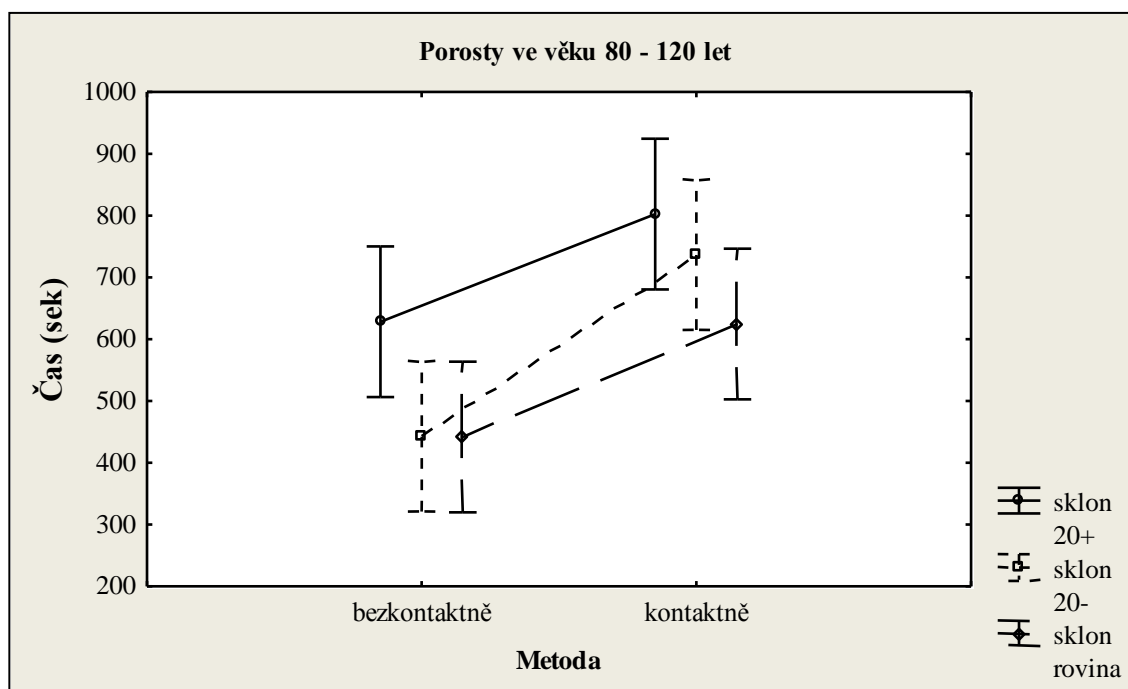
Obr. 9: Vyhodnocení časové náročnosti podle použité metody ve věkové kategorii 80 – 120 let

Po vyhodnocení vlivu sklonu svahu v porostech ve výše zmíněné věkové kategorii na časovou náročnost byl rovněž potvrzen statisticky významný rozdíl. P-hodnota vyšla 0,0132 (příloha 7). Testem mnohonásobného porovnávání (příloha 9) bylo následně zjištěno, že statistický významný rozdíl je v průměrném čase mezi měřeními v porostech na prudkém svahu a na rovině. Výsledek je rovněž vyobrazen na obr. 10.



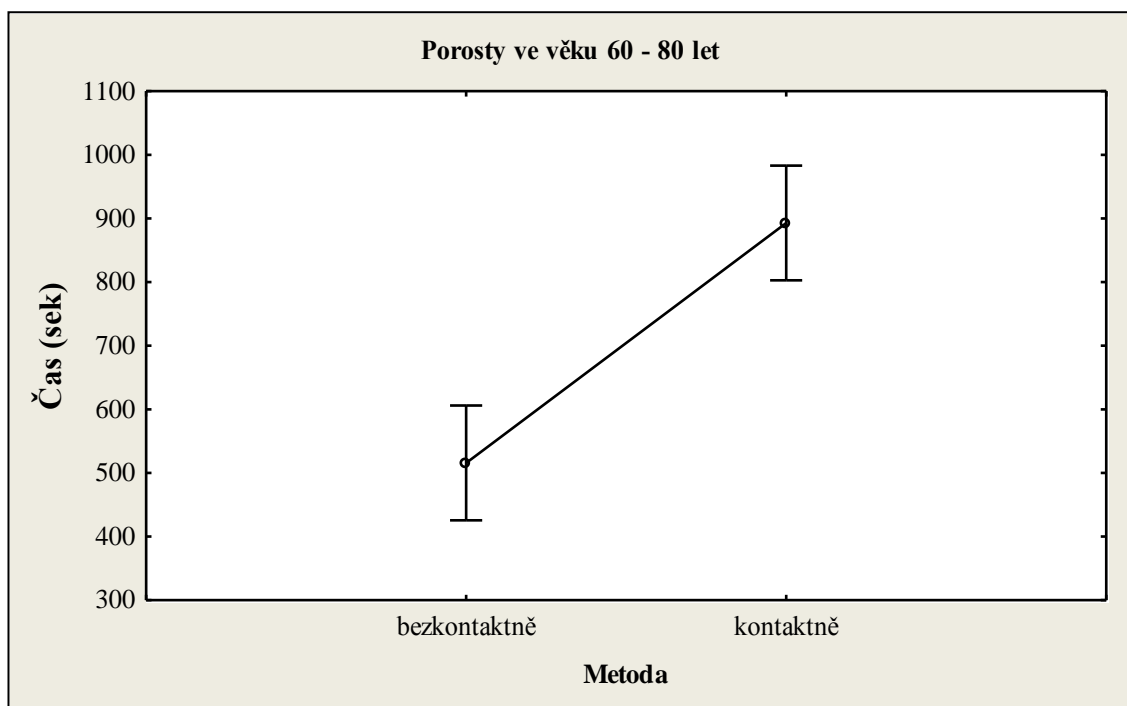
Obr. 10: Vyhodnocení časové náročnosti podle sklonu svahu ve věkové kategorii 80 – 120 let

Na obr. 11 je vyobrazena interakce metody a sklonu. Bylo zjištěno (příloha 7), že rozdíly v interakci mezi sklonem a metodami jsou statisticky nevýznamné (p-hodnota 0,5519). Trend vztahu mezi kontaktní a bezkontaktní metodou je stejný ve všech třech kategoriích svahu. Nejvyšší úspora času bezkontaktní metodou byla na mírném svahu, kde dosahovala hodnoty 40 %, následovala rovina s 29 % a prudký svah s 22 % (příloha 15).



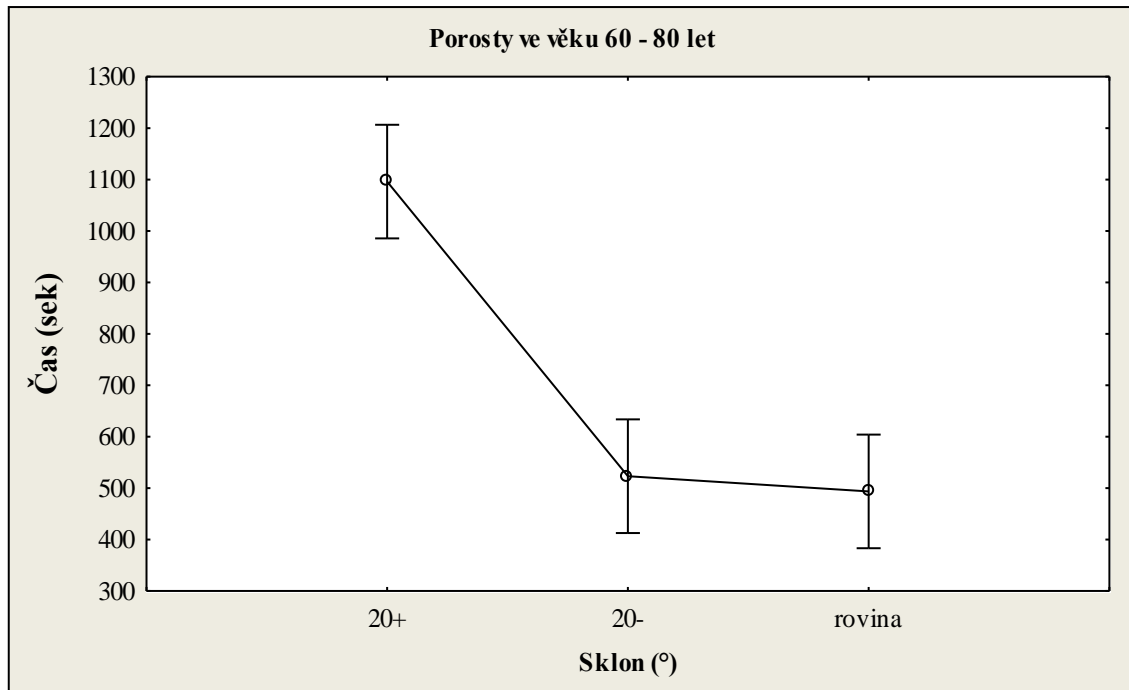
Obr. 11: Interakce mezi metodou a sklonem ve věkové kategorii 80 – 120 let

V porostech věkové kategorie 60 – 80 let je z výsledků dvoufaktorové ANOVy s opakováním (příloha 10) zjevné, že průměrná spotřeba času k měření bezkontaktní metodou je statisticky významně odlišná od průměrného času, potřebného k měření metodou kontaktní. P-hodnota dosahuje hodnoty $<0,0001$. Testem mnohonásobného porovnání se potvrdila vyšší časová náročnost kontaktní metody oproti bezkontaktní metodě (příloha 11). Z grafu na obr. 12 je toto dobře patrné. Časová úspora bezkontaktní metody v tomto případě byla průměrně o 42 % nižší než kontaktní (příloha 14).



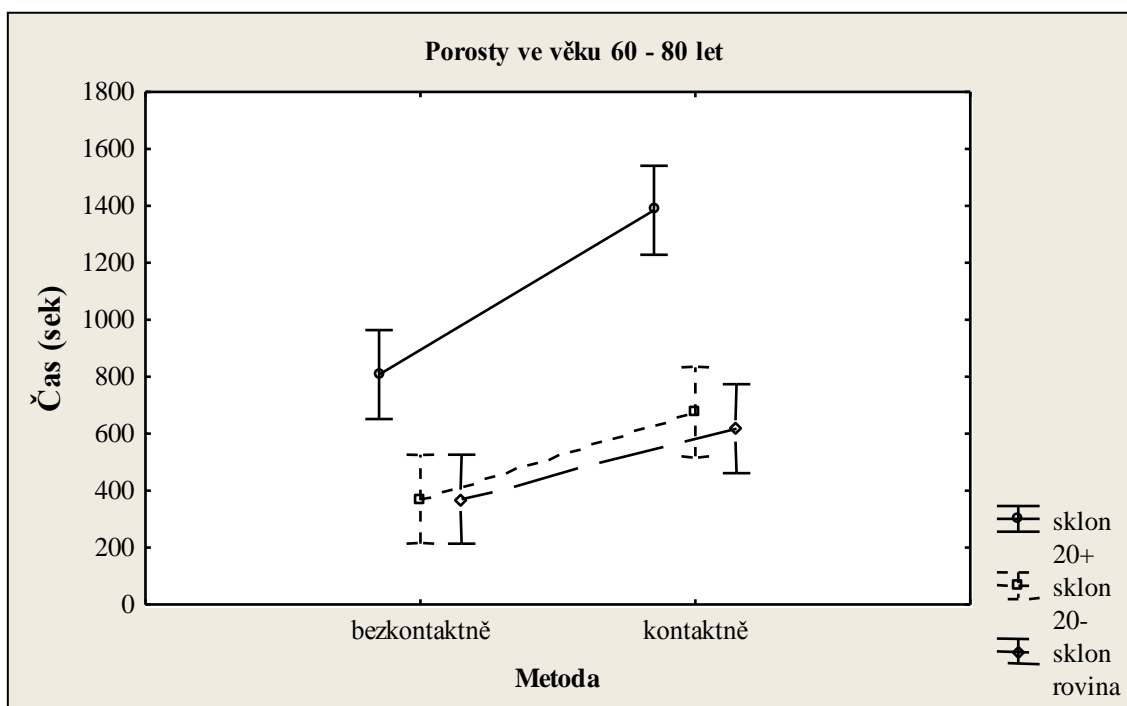
Obr. 12: Vyhodnocení časové náročnosti podle použité metody ve věkové kategorii 60 – 80 let.

Z vyhodnocení vlivu sklonu svahu v porostech ve věkové kategorii 60 – 80 let jsou interpretovatelné tyto výsledky. Rozdíly v průměrné spotřebě času mezi jednotlivými svahovými kategoriemi jsou statisticky významné, p -hodnota $< 0,0001$ (příloha 10). Časová náročnost při měření v porostech na prudkém svahu je vyšší než na mírném svahu a rovině, což potvrdil Tukeyho test mnohonásobného porovnávání (příloha 12). Toto také prezentuje obr. 13.



Obr. 13: Vyhodnocení časové náročnosti podle sklonu svahu ve věkové kategorii 60 – 80 let

Srovnání interakce mezi metodou a sklonem znázorňuje graf na obr. 14. Statistická významnost interakce obou zkoumaných faktorů na zjištěnou časovou náročnost měření v porostech ve věkové kategorii 60 – 80 let nebyla potvrzena. Výsledná p-hodnota je 0,0888 (příloha 10). Trend vztahu mezi kontaktní a bezkontaktní metodou je stejný ve všech třech kategoriích svahu. Časová úspora bezkontaktní metodou v mírném svahu byla zjištěna jako nejvyšší – 45 %, následoval prudký svah – 42 %, poté rovina – 40 % (příloha 15).



Obr. 14: Interakce mezi sklonem a metodou ve věkové kategorii 60 – 80 let

6. Diskuze

6.1. Hodnocení přesnosti měření

Pro zjišťování přesnosti byla naměřená data roztríděna do 2cm tloušťkových stupňů a následně došlo k porovnávání četností hodnot mezi daty zjištěnými bezkontaktní metodou a kontaktní metodou v jednotlivých tloušťkových stupních. Pro vyhodnocení byl zvolen Kolmogorov-Smirnovův test, který je, jak uvádí Drápela a Zach (2002), vhodný pro porovnání četností dvou základních souborů. Metoda porovnávání četností tloušťkových stupňů byla vybrána jako nejschůdnější a nejvhodnější, vzhledem k praktickému využití.

Při samotném hodnocení přesnosti bylo z výsledků statistických testů nabyto názoru, že bezkontaktní průměrkou lze měřit výčetní tloušťky stromů stejně jako s kontaktní, tzn. klasickým průměrkováním. Oproti klasickému měření při bezkontaktním měření odpadá ale chyba z různě silného přitlačení průměrky a chyba z uvolněného pohyblivého ramene, které uvádí jako časté chyby při měření tlouštěk průměrkou Šmelko (2000) a Kuželka a kol. (2014).

Při srovnání s jinými metodami je možné říct, že zajímavých výsledků bylo dosaženo také při testování pozemního leteckého skenování. Zde se pohybovalo podhodnocení při měření smrku kolem 4,85 mm a při měření borovice kolem 5,04 mm (Pretzsch a kol., 2009). Dobrých výsledků při stanovování dendrometrických veličin dosahuje i metoda DendroScanneru. Kinkor (2013) zjistil, že rozdíly při stanovení objemu pomocí DendroScanneru a měření skáceného stromu jsou statisticky nevýznamné. Objemy zjištěné DendroScannerem byly podhodnoceny pouze o 0,96 % oproti objemu zjištěnému po skácení stromu. Na základě tohoto zjištění Kinkor (2013) srovnával i metodu telerelaskopu s DendroScannerem. Zde bylo zjištěno, že tyto přístroje neměří stejně (byl zjištěn statisticky významný rozdíl). Průměrně bylo zjištěno, že telerelaskop nadhodnocuje objem kmene o 2,38 % oproti DendroScanneru. Výhodou telerelaskopu ale je, že tímto přístrojem je možné oproti DendroScanneru zjistit tloušťku v různých částech kmene. Další možností zjišťování výčetních tlouštěk, a to pomocí leteckého laserového skenování se zabývali Carbol a Klimánek (2015). Tito se zabývali myšlenkou možnosti odvození výčetních tlouštěk z výšek stromů. Porovnávali zjištěná data s hodnotami manuálně zjištěných parametrů stromů, které byly naměřeny na zkusných plochách. Celkem provedli 8 variant nastavení modelu a při optimálním

nastavení regresních vztahů bylo dosaženo velmi dobrých výsledků s průměrnou chybou střední hodnoty při odvozování výčetních tloušťek $\pm 4 - 20 \%$. Bylo také zjištěno, že metoda je nejpřesnější při zjišťování charakteristik hlavní porostní úrovně. Při porovnávání všech stromů (tzn. včetně podrostu) chyba narůstala.

Podle všeho se zdá, že metody leteckého laserového skenování a analýzy obrazu jsou poměrně rychlé, ekonomicky dostupné a i relativně přesné (Pretzsch a kol., 2009). Avšak nevýhodami oproti klasickému měření jsou především to, že jsou to metody (zejména LLS), které najdou své uplatnění zejména při zjišťování velkého množství dat a také to, že jsou velmi náročné na kvalifikaci uživatelů. Naopak bezkontaktní průměrka je v tomto ohledu lepší, protože neklade žádné speciální nároky na měřiče (Kuželka a kol., 2014), což se potvrdilo i v této práci.

6.2. Hodnocení časové náročnosti

Při vyhodnocování časové náročnosti se porovnávaly časy zjištěné při měření každé plochy, a to bezkontaktní metodou s metodou kontaktního měření. K vyhodnocení bylo použito statistického testu dvoufaktorová ANOVA s opakováním, následně Tukeyho test mnohonásobného porovnávání. Toto testování bylo vybráno pro účely této práce jako nejvhodnější pro testování nulové hypotézy o shodě středních hodnot pro více výběrů (Drápela, 2002).

Statistické rozdíly mezi metodou měření bezkontaktní průměrkou a kontaktní průměrkou ve spotřebě času byly shledány jako významné. V praxi to znamená, že čas potřebný k měření bezkontaktní průměrkou je v rozsahu hodnocených faktorů nižší než čas pro vykonání stejného měření klasickým způsobem. Co se týká srovnání s ostatními možnostmi měření dendrometrických veličin, tak jako první bych uvedl telereleaskop. Kinkor (2013) ve své práci uvádí, že tato metoda je velice zdlouhavá a v současné době již představuje překonaný přístup k měření objemu stromů, navíc je zde také otázkou možnost pořízení tohoto přístroje. Časovou náročnost dalších metod, jako je letecké laserové skenování nebo analýza obrazu, je možné zhodnotit takto. Autoři věnující se této problematice (např. Pretzsch a kol., 2009) uvádí, že tyto metody velice zkracují potřebný čas a zvyšují efektivnost provedené práce.

Tato úspora ovšem platí pro zjišťování velkého objemu dat, kdy jsou data pomocí softwarů vyhodnocována automaticky. Pro zjišťování malého objemu dat např.

na úrovni inventarizace jednotlivých porostů je stále nepřekonatelnou metodou klasické měření. O to více, bude-li v budoucnu využívána metoda bezkontaktního průměrkování, která časové nároky klasického měření ještě více snižuje.

7. Závěr

V práci bylo zjišťováno, zda je možné využívat bezkontaktní laserovou průměrku při zjišťování výčetních tlouštěk. Byla porovnáována přesnost a časová náročnost měření pomocí bezkontaktní průměrky s měřením pomocí kontaktní průměrky. Při terénních pracích proběhlo 120 měření na 60 zkusných plochách ve 30 porostech. Porosty byly vybrány podle tří kategorií sklonu svahu a dvou kategorií věku.

Vyhodnocení přesnosti proběhlo formou srovnávání četností naměřených tlouštěk rozdělených do 2cm tloušťkových stupňů. Výsledky Kolmogorov-Smirnovova testu prokázaly, že rozdělení četností tlouštěk naměřených bezkontaktní a kontaktní průměrkou je shodné. Vyhodnocení časové náročnosti proběhlo porovnáním zjištěných průměrných časových intervalů, potřebných ke každému ze 120 měření. Z výsledků testování dvoufaktorovou ANOVou s opakováním (případně testy mnohonásobného porovnávání) je možné konstatovat, že metoda měření bezkontaktní průměrkou je ve všech testovaných kritériích méně časově náročná než metoda klasická, neboli kontaktní.

Z výsledků práce jednoznačně vyplývá, že bezkontaktní průměrka je vhodná pro použití k měření výčetních tlouštěk stejně jako kontaktní a navíc z hlediska časové náročnosti je bezkontaktní průměrka úspornější. Při plánování prací s průměrkou je vhodné brát v úvahu vliv počasí, především mlhu, která ovlivňuje umístění laserových paprsků, a přílišné oslnění sluncem, které rovněž znesnadňuje viditelnost světelných bodů na kmenech. Celkově je možné konstatovat, že bezkontaktní průměrka vykazuje dobrý potenciál pro rozšíření v praktickém lesnictví.

Další výzkum v tomto tématu by se mohl ubírat směrem ke zjišťování vlivu rozdílů mezi bezkontaktním a kontaktním měřením, rozšířeném o další faktory jako je např. druh dřeviny, rozdíl vegetační/mimovegetační doby, odstupová vzdálenost od stromu a jiné.

8. Summary

In this thesis it was investigated if it is possible to use contactless laser caliper for measurement of diameter at breast height of a tree. There was compared the precision and time consumption of measurement by using contactless caliper and contact caliper. During the field work it was carried out 120 measurements on 60 sample plots in 30 forest stands. Stands were selected according to three slope categories and two age categories.

Measured diameters were divided into 2cm intervals. The diameter distributions were compared. The results of Kolmogorov-Smirnov test showed that the diameter distributions measured by contactless and contact caliper were statistically identical. Evaluation of the time consumption was carried out by comparing the recorded average time intervals required for each of the 120 measurements. The results of two-way ANOVA with interaction (in combination with multiple comparison tests), showed that the method of measuring by contactless caliper is in all tested factors less time-consuming than the classical contact method.

The results clearly show that contactless caliper is suitable for use in measurement of diameter at breast height as well as contact caliper. Additionally, according to the time consumption, the contactless caliper is more economically effective. When the callipering is planning it is appropriate to take into account the impact of weather, particularly fog, which affects the distribution of laser rays and excessive sunlight, which also complicates visibility points of light on the stem. Overall the contactless caliper has a good potential for expansion in practical forestry.

Further research on this topic could go towards to determine the effect of differences between contactless and contact measurement, extended by other factors such as the tree species, a difference of vegetation and non-vegetation period, the distance from the tree and others.

9. Použitá literatura

ADAMEC, Z., 2010. Možnosti použití digitálních fotoaparátů různé třídy kvality pro stanovení přepočteného koeficientu rovnání dříví metodou počítačové analýzy obrazu. Diplomová práce. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta. 71 s.

BAŤA, D., 2014. Hodnocení softwarů pro stanovení porostních charakteristik na základě dat leteckého laserového skenování. Bakalářská práce. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta. 50 s.

CARBOL, S. Využití multispektrálních snímků a dat leteckého laserového skenování pro modelování vybraných taxačních parametrů lesních porostů. In SilvaNet - WoodNet 2013. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2013, s. 29–30. ISBN 978-80-7375-903-2.

CARBOL, S., KLIMÁNEK, M. Využití dat leteckého laserového skenování pro určování výšek a odvozování výčetních tloušťek v lesních porostech. In ŽDÍMAL, V. Praktické využití GIS v lesnictví a zemědělství 2015. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015, s. 1–10. ISBN 978-80-7509-250-2.

CLARK, N., WYNNE, R. H., SCHMOLDT, DANIEL L., ARAMAN, P. A., WINN, M. F., 1998. Use of a non-metric digital camera for tree stems evaluation. In Annual Conference of American Society for Photogrammetry and Remote Sensing March 30 - April 3. 1998, Bethesda, Maryland. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

DEHN, R., 1987. Eine integrierte rechnergestützte Methode zur Aufstellung lokaler Sortenmodelle am Beispiel der Baumart Fichte. Goettingen: Georg-August-Universitaet, 129 s.

DRÁPELA, K., ZACH, J., 2000. Dendrometrie (Dendrochronologie). Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 152 s. ISBN 80-7157-178-4.

DRÁPELA, K., ZACH, J., 2002. Statistické metody I (pro obory lesního, dřevařského a krajinného inženýrství). Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 160 s. ISBN 80-7157-416-3.

DRÁPELA, K., 2002. Statistické metody II (pro obory lesního, dřevařského a krajinářského inženýrství). Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 152 s. ISBN 80-7157-474-0.

FABRIKA, M., PRETZSCH, H., 2011. Analýza modelovanie lesných ekosystémov. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene, 599 s. ISBN 978-80-228-2181-0.

FIELDMAP. Dendrometry [online] citováno 25. 4. 2016. Dostupné na World Wide Web: <<http://fieldmap.cz>>

GROSENBAUGH, L. R., 1963. Optical dendrometers for out-of-reach diameters: A conspectus and some new theory. Forest Science, 9(2):1–47.

KADAVÝ, J., MAZAL, P., SIMON, J., 2011. Technologie zpracování lesních hospodářských plánů na základě počítačové analýzy obrazu [CD-ROM]. Brno, Mendelova univerzita, 70 s. ISBN 978-80-7375-505-8.

KENNEL, R., 1959. Die Genauigkeit von Klappung und Umfangmessung nach einem Vergleichsversuch. Fw. CBL. H. 7/8, s. 243-231.

KINKOR., L., 2013. Objemové rovnice douglasky tisolisté na Písecku. Diplomová práce. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta. 106 s.

KORF, V., HUBAČ, K., ŠMELKO, Š., WOLF, J., 1972. Dendrometrie. Praha, Státní zemědělské nakladatelství, 371 s.

KUŽELKA, K., BROŽKOVÁ, H., MARUŠÁK, R., SUROVÝ, P., TAUBER, R., URBÁNEK, V., VOPĚNKA, P., 2014. MĚŘENÍ LESA Moderní metody sběru a zpracování dat. Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze, 164 s. ISBN 978-80-213-2498-5.

LOETSCH, F., ZÖHLER, F., HALLER, K. E., 1973. Forest Inventory. BLV Verlagsgesellschaft München-Bern-Wien, 469 s.

MANDINEC, J., 2012. Porovnání dvou metod měření podílu letního dřeva – standardní metoda vs. metody zpracování obrazu. Bakalářská práce. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta. 51 s.

MARSH, E. K., 1952. The measurement of standing sample trees. In 6th British Commonwealth Forestry Conference, Pretoria, South Africa. Department of Forestry.

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2014. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství v České republice v roce 2014. Praha, Ministerstvo zemědělství, 196 s.

PARKER, R. C., 1997. Nondestructive Sampling Applications of the Tele-Relaskop in Forest Inventory. Southern Journal of Applied Forestry, Vol. 21, No. 2, p. 75 – 83.

PLZEŇSKÝ LESPROJEKT, a.s., 2007. TEXTOVÁ ČÁST LHP LHC Městské lesy Planá. Platnost 1. 1. 2007 – 31. 12. 2016. 129 s.

PRETZSCH, H., KLEMMT, J. H., TAUBER, R., STARÝ, M., MACHÁČEK, P., MANSFELD, V., 2009. 3D a 2D technologie pro snímání inventarizačních parametrů. Lesnická práce [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-88-2009/lesnicka-prace-c-3-09/3d-a-2d-technologie-pro-snimani-inventarizacnich-parametru>> citováno dne 28. 4. 2016.

RAČKO, J., 1969. Použitie teletopu pri dendrometrickom meraní. Zvolen, Zborník vedeckých prác LF VŠLD vo Zvolene, 87 – 98 s.

STATSOFT, INC., 2013. STATISTICA (data analysis software system) version 12, Tulsa.

ŠMELKO, Š., SCHEER, L., PETRÁŠ, R., ĎURSKÝ, J., FABRIKA, M., 2003. Meranie lesa a dreva. Zvolen, Ústav pre výchovu a vzdelávanie pracovníkov LVH SR, 239 s. ISBN 80-89100-14-7.

ŠMELKO, Š., 2000. Dendrometria: vysokoškolská učebnica. Zvolen, Technická univerzita, 399 s. ISBN 978-80-228-1828-5.

TAUBER, R., 2008. Pracovní postup: Pořízení údajů v terénu pro výpočet funkce tvaru kmene pomocí aplikace DendroScanner. Velké Karlovice, 15 s. [elektronická verze]

VAZIRABAD, Y. F., KARSLIOGLU, M. O., 2011. Lidar for Biomass Estimation [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.intechopen.com/books/biomass-detection-and-usage/lidarfor-biomass-estimation>> citováno dne 26. 4. 2014.

WEBER, J., 1902. Holzmassenermittlungen am stehenden Stamm auf Grund photographischer Aufnahmen unter Beifügung von 8 Tabellen, 4 Tafeln u. 2 Figuren. Gießen.

WEST, P., W., 2009. Tree and Forest Measurements. Berlin, Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 191 s. ISBN 978-3-540-95965-6.

YU, X., LIANG, X., HYYPPA, J., KANKARE, V., VASTARANTA, M., HOLOPAINEN, M., 2013. Stem biomass estimation based on stem reconstruction from terrestrial laser scanning point clouds. Remote Sensing Letters, 344-353.

ZACH, J., DRÁPELA, K., SIMON, J., 1994. Dendrometrie – cvičení. Brno, Vysoká škola zemědělská, 174 s. ISBN 80-7157-121-0.

10. Přílohy

Příloha 1: Výsledky Kolmogorov-Smirnovova testu pro mírný svah ve věku 60 – 80 let

Kolmogorov-Smirnovův test (Tabulka1)							
Dle proměn. způsob							
Označené testy jsou významné na hladině $p < ,05000$							
Proměnná	Max zápní rozdíl	Max kladný rozdíl	p-hodn.	Průměr bezkontaktně	Průměr kontaktně	Sm.odch. bezkontaktně	Sm.odch. kontaktně
tloušťky	-0,065527	0,102564	$p > .10$	14,15385	13,92593	11,83112	12,71863

Příloha 2: Výsledky Kolmogorov-Smirnovova testu pro mírný svah ve věku 80 – 120 let

Kolmogorov-Smirnovův test (Tabulka1)							
Dle proměn. způsob							
Označené testy jsou významné na hladině $p < ,05000$							
Proměnná	Max zápní rozdíl	Max kladný rozdíl	p-hodn.	Průměr bezkontaktně	Průměr kontaktně	Sm.odch. bezkontaktně	Sm.odch. kontaktně
tloušťky	-0,059770	0,062069	$p > .10$	10,96552	10,80000	11,41579	11,47531

Příloha 3: Výsledky Kolmogorov-Smirnovova testu pro prudký svah ve věku 60 – 80 let

Kolmogorov-Smirnovův test (60-80_20+ sta)							
Dle proměn. způsob							
Označené testy jsou významné na hladině $p < ,05000$							
Proměnná	Max zápní rozdíl	Max kladný rozdíl	p-hodn.	Průměr bezkontaktně	Průměr kontaktně	Sm.odch. bezkontaktně	Sm.odch. kontaktně
tloušťky	-0,063492	0,133598	$p > .10$	13,62963	12,32143	11,91685	11,81353

Příloha 4: Výsledky Kolmogorov-Smirnovova testu pro prudký svah ve věku 80 – 120 let

Kolmogorov-Smirnovův test (Tabulka1)							
Dle proměn. způsob							
Označené testy jsou významné na hladině $p < ,05000$							
Proměnná	Max zápní rozdíl	Max kladný rozdíl	p-hodn.	Průměr bezkontaktně	Průměr kontaktně	Sm.odch. bezkontaktně	Sm.odch. kontaktně
tloušťky	-0,190016	0,054750	$p > .10$	11,92593	14,39130	11,49557	10,99479

Příloha 5: Výsledky Kolmogorov-Smirnovova testu pro rovinnu ve věku 60 – 80 let

Kolmogorov-Smirnovův test (Tabulka1)							
Dle proměn. způsob							
Označené testy jsou významné na hladině $p < ,05000$							
Proměnná	Max záporný rozdíl	Max kladný rozdíl	p-hodn.	Průměr bezkontaktně	Průměr kontaktně	Sm.odch. bezkontaktně	Sm.odch. kontaktně
tloušťky	-0,062678	0,101140	$p > ,10$	9,461538	9,148148	8,247331	8,160428

Příloha 6: Výsledky Kolmogorov-Smirnovova testu pro rovinnu ve věku 80 – 120 let

Kolmogorov-Smirnovův test (Tabulka1)							
Dle proměn. způsob							
Označené testy jsou významné na hladině $p < ,05000$							
Proměnná	Max záporný rozdíl	Max kladný rozdíl	p-hodn.	Průměr bezkontaktně	Průměr kontaktně	Sm.odch. bezkontaktně	Sm.odch. kontaktně
tloušťky	-0,131054	0,089744	$p > ,10$	11,15385	10,88889	9,216040	8,298903

Příloha 7: Výsledky ANOVy v porostech ve věku 80 – 120 let

Jednorozměrné testy významnosti pro čas (sek) (čas 80 - 120.sta)					
Sigma-omezená parametrizace					
Dekompozice efektivní hypotézy					
Efekt	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	22532656	1	22532656	609,1900	0,00000
metoda	706118	1	706118	19,0905	0,00006
sklon	347404	2	173702	4,6962	0,01317
metoda*sklon	44464	2	22232	0,6011	0,55185
Chyba	1997346	54	36988		

Příloha 8: Tukeyho test v porostech ve věku 80 – 120 let podle metody

Tukeyův HSD test; proměnná čas (sek) (čas 80 - 120.sta)				
Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy				
Chyba: meziskup. PČ = 36988,, sv = 54,000				
Č. buňky	metoda	{1}	{2}	
1	bezkontaktně	504,33	721,30	0,000165
2	kontaktně	0,000165		

Příloha 9: Tukeyho test v porostech ve věku 80 – 120 let podle sklonu svahu

Tukeyův HSD test; proměnná čas (sek) (čas 80 - 120.sta) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 36988,, sv = 54,000					
Č. buňky	sklon	{1}	{2}	{3}	
		715,30	590,00	533,15	
1	20+		0,107962	0,011448	
2	20-	0,107962		0,620960	
3	rovina	0,011448	0,620960		

Příloha 10: Výsledky ANOVy v porostech ve věku 60 – 80 let

Jednorozměrné testy významnosti pro čas (sek) (čas 60 - 80.sta) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy					
Efekt	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	29763718	1	29763718	490,1244	0,0000000000
metoda	2133820	1	2133820	35,1380	0,00000022263
sklon	4611207	2	2305604	37,9668	0,00000000005
metoda*sklon	307633	2	153817	2,5329	0,08882753077
Chyba	3279250	54	60727		

Příloha 11: Tukeyho test v porostech ve věku 60 – 80 let podle metody

Tukeyův HSD test; proměnná čas (sek) (čas 60 - 80.sta) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 60727,, sv = 54,000					
Č. buňky	metoda	{1}	{2}		
		515,73	892,90		
1	bezkontaktně		0,000113		
2	kontaktně	0,000113			

Příloha 12: Tukeyho test v porostech ve věku 60 – 80 let podle sklonu svahu

Tukeyův HSD test; proměnná čas (sek) (čas 60 - 80.sta) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 60727,, sv = 54,000					
Č. buňky	sklon	{1}	{2}	{3}	
		1096,0	523,25	493,70	
1	20+		0,000121	0,000121	
2	20-	0,000121		0,923990	
3	rovina	0,000121	0,923990		

Příloha 13: Charakteristika vybraných porostů (Plzeňský lesprojekt a.s., 2007)

Označení porostu	Výměra (ha)	Lesní typ	Terénní typ	Hosp. soubor	Věk (roky)	Zakmenění	Zastoupení dřevin (%)	Výčetní tloušťka (cm)	Výška (m)	Bonita absolutní	Zásoba celkem (m ³)
21F9	4,72	3K3	14	433	83	9	BO 60, SM 40	27	25,27	26; 28	1913
21F12	1,53	3N2	16	411	112	10	SM 100	29	29	28	906
20A10	0,9	3K3	13	411	114	10	BO 100	25	21	20	279
22A10	4,37	3K3	13	433	98	9	BO 60; SM 40	29; 35	26; 32	26; 32	2073
12A11	4,44	3S1	13	451	105	9	SM 90; BO 10	33; 32	30; 28	30; 28	2432
20A12	0,9	3K3	13	433	114	10	BO 100	25	21	20	279
26A11b	4,78	3S1	13	451	110	9	SM 85; BO 10; MD 5	30; 32; 38	28; 27; 30	28; 26; 30	2366
12C9	3,69	3K3	12	431	86	9	SM 95; BO 5	31; 32	29	30	1953
12D12	2,95	3K3	13	431	120	9	SM 95; BO 5	31; 35	30; 28	28	1637
7G9	5,83	5K7	12	1551	89	10	SM 100	35	30	32	3646
26A11a	6,14	3K3	12	433	108	10	BO 55; SM 45	30; 31	27; 28	26, 28	3044
26C11	3,31	3S1	13	451	107	9	SM 100	33	29	28	1769
12D9a	2,25	3K3	13	431	89	9	SM 95; MD 5	27; 35	26; 30	28; 32	1023
12B9	3,43	3K3	13	431	90	9	SM 90; BO 10	30	29; 27	30; 28	1783
22A7a	1,15	3K3	13	431	61	10	SM 70; BO 30	20; 24	21; 23	26; 28	414
21E8b	1,02	3N2	15	411	74	10	SM 80; BO 20	20; 23	21; 22	24	363
20B8	1,87	3K9	14	411	75	9	SM 60; BO 35; BR 5	25; 28; 26	24; 24; 23	26; 26; 24	693
20A7	1,82	3N2	14	411	67	10	SM 90; BO 10	23; 27	23	28; 26	749
8D8	7,33	5K7	12	531	77	10	SM 97; MD 1; JV 1; BR 1	30; 45; 39; 33	28; 30; 24; 27	32; 32; 26; 28	4090

Příloha 13 pokračování: Charakteristika vybraných porostů (Plzeňský lesprojekt a.s., 2007)

Označení porostu	Výměra (ha)	Lesní typ	Terénní typ	Hosp. soubor	Věk (roky)	Zakmenění	Zastoupení dřevin (%)	Výčetní tloušťka (cm)	Výška (m)	Bonita absolutní	Zásoba celkem (m ³)
7G7	5,53	5K7	12	531	70	10	SM 100	28	26	30	2782
7E8	2,29	5P1	11	571	71	10	SM 95; BR 3; OL 2	29; 32; 24	27; 27; 23	32; 28; 26	1191
7F8	3,32	5P1	21	571	71	9	SM 90; OL 5; JS 5	25; 23; 25	24; 21; 22	28; 24; 26	1262
5G8	8,01	5P2	21	571	72	10	SM 100	26	26	30	4022
26A7	1,7	3S1	13	451	70	10	SM 70; BO 30	28; 30	28; 25	32; 28	871
26C7	1	3N2	13	411	63	10	SM 70; BO 30	21; 24	21; 22	26	354
12B7	1,76	3K3	13	431	64	10	SM 100	19	21	26	637
12A8	5,05	3K3	14	431	74	10	SM 100	25	25	28	2390
13C8	0,78	3K3	13	431	72	10	SM 85; BO 10; BR 5	24; 29; 30	24; 25; 25	28; 28; 26	337

Příloha 14: Výpočet časové úspory podle metody

Věk (roky)	Metoda (°)	Průměrný čas (sek)	Úspora (sek)	Úspora (%)
60 - 80	bezkontaktně	515,73	377,17	42
	kontaktně	892,9		
80 - 120	bezkontaktně	504,33	216,97	43
	kontaktně	721,3		

Příloha 15: Výpočet časové úspory v interakci metody a svahu

Věk (roky)	Svah (°)	Metoda	Průměrný čas (sek)	Úspora (sek)	Úspora (%)
60 - 80	20+	kontaktně	1384,4	576,8	42
		bezkontaktně	807,6		
	20-	kontaktně	676,7	306,9	45
		bezkontaktně	369,8		
	rovina	kontaktně	617,6	247,8	40
		bezkontaktně	369,8		
80 - 120	20+	kontaktně	802,4	174,2	22
		bezkontaktně	628,2		
	20-	kontaktně	736,9	293,8	40
		bezkontaktně	443,1		
	rovina	kontaktně	624,6	182,9	29
		bezkontaktně	441,7		

Příloha 16: Laserová digitální průměrka Haglöf, včetně Gator eyes (autor: Jiří Otta, 2016)



Příloha 17: Ukázka měření s bezkontaktní průměrkou (autor: Jiří Otta, 2016)

