

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta lesnická a dřevařská**

**Katedra hospodářské úpravy lesů**

**Bakalářská práce**

**Využití leteckého laserového skenování ke  
stanovení porostní zásoby probírkových lesních  
porostů nad 50 let**

**Vedoucí BP:** prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.

**Vypracoval:** Daniel Nový

**Praha 2020**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Daniel Nový

Lesnictví  
Lesnictví

Název práce

**Využití leteckého laserového skenování ke stanovení porostní zásoby probírkových lesních porostů nad 50 let**

Název anglicky

**Using of air laser scanning to determine stand volume of premature forest stands over 50 years**

---

### Cíle práce

Cílem práce je na vybraném souboru probírkových lesních porostů ve věku 50 let terestrickým způsobem stanovit jejich zásobu a porovnat se zásobou odvozenou z leteckého laserového skenování, obě metody vzájemně statisticky porovnat a odvodit závěry pro praxi.

### Metodika

- Výběr porostů pro měření (probírkové porosty nad 50 let)
- Vlastní založení a měření na kruhových zkusných plochách
- Odvození zásoby na plochách a porovnání se zásobou odvozenou z leteckého laserového skenování
- Vzájemné porovnání a statistické vyhodnocení zásob zjištěných terestrickým způsobem a leteckým laserovým skenováním
- Vzájemné porovnání a statistické vyhodnocení taxačních charakteristik odvozených z terestrického způsobu zjišťování a leteckým laserovým skenováním
- Odvození závěrů pro praxi

**Doporučený rozsah práce**

40 stran

**Klíčová slova**

dendrometrie, porostní zásoba, zkusné plochy

---

**Doporučené zdroje informací**

KANGAS, A. – MALTAMO, M. *Forest inventory : methodology and applications*. Dordrecht: Springer, 2006. ISBN 1402043791.

KUŽELKA, K., MARUŠÁK, R., URBÁNEK, V. *Dendrometrie*. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2016. ISBN 978-80-213-2673-6.

MARUŠÁK, R., URBÁNEK, V., ŠEBEŇ, V. *Dendrometrické prístroje a pomôcky pre efektívne meranie lesa*. NLC Zvolen, 2009

ŠMELKO, Š. *Dendrometria – vysokoškolská učebnica*. Zvolen: TU, 2000.

ŠMELKO, Š. *Meranie lesa a dreva*. Zvolen: ÚVVP LVH, 2003. ISBN 80-89100-14-7.

VAN LAAR, A. – AKÇA, A. *Forest mensuration*. Dordrecht: Springer, 2007. ISBN 978-1-4020-5990-2.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2019/20 LS – FLD

**Vedoucí práce**

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

**Garantující pracoviště**

Katedra hospodářské úpravy lesů

**Konzultant**

Ing. Karel Kuželka, Ph.D.

---

Elektronicky schváleno dne 22. 2. 2020

**Ing. Peter Surový, PhD.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 22. 2. 2020

**prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.**

Děkan

V Praze dne 31. 05. 2020

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „**Využití leteckého laserového skenování ke stanovení porostní zásoby probírkových lesních porostů nad 50 let**“ vypracoval samostatně na základě vlastních zjištění a použil pramenů, které cituji a uvádím v přehledu literárních zdrojů.

V Praze dne 15.6.2020

.....

Daniel Nový

**Poděkování:**

Děkuji prof. Ing. Róbertu Marušákovi, Ph.D., za jeho rady, konzultace a vedení při zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Karlu Kuželkovi Ph.D., Ing. Peterovi Surovému Ph.D., za jejich odbornou pomoc a rady během zpracovávání bakalářské práce, a mé rodině a blízkým za podporu během studia.

## **Souhrn:**

Dendrometrie je důležitý vědecký obor v lesnictví, který se zabývá postupem zjišťování jednotlivých porostních veličin a jejich následným zpracováním formou výpočtů. Náplní práce bylo odvodit zásobu z leteckého skenování. Proto bylo nejdříve potřeba provést sběr hlavních taxačních veličin v terénu. Sběr byl proveden na kruhových zkusných plochách a ze získaných dat byla odvozeny důležité taxační veličiny včetně zásoby. Zároveň s tím probíhalo zpracování dat z leteckého laserového skenování. Data z leteckého laserového skenování byly v rastrovém formátu a byly zpracovávány v ArcMapu pro získání výšek. Z údajů z terénního sběru a rastrového výstupu již bylo možné vytvořit statistické modely, ze kterých byla vymodelovaná střední tloušťka a zásoba. Vymodelovanou střední tloušťku se podařilo určit s rozptylem chyb 4,56 cm, který odpovídal 13 % odchylce od průměrné hodnoty získané ze zkusných ploch v terénu. Vymodelovanou zásobu se podařilo určit s rozptylem chyb 86,54 m<sup>3</sup>, který odpovídal 15 % odchylce od průměrné hodnoty získané ze zkusných ploch v terénu.

## **Klíčová slova:**

Dendrometrie, porostní zásoba, zkusné plochy, letecké laserové skenování

## **Abstract:**

Dendrometry is an important scientific field in forestry which deals with the process of detection of stand quantity and their processing in a form of calculation. The task was to deduce standing volume from aerial scanning. Firstly, collection of main mensurational quantities out in the field had to be done. Collection has been done in plot sampling and out of the received data, the important mensurational quantities were deduced including the standing volume. Meanwhile data from the aerial scanning were processed. The data were in raster format and were processed in ArcMap for acquiring heights. It was possible to make statistic models thanks to the information from terrain collection and raster output, out of which the model of mid diameter and standing volume was done. Mid diameter was determined with scattering of errors 4,56cm, which was equivalent to 13 % deviation of average value acquired out of sample plots in the field. Modeled standing volume was determined with scattering of errors 86,54 m<sup>3</sup>, which was equivalent to 15 % deviation of average value acquired out of sample plots in the field.

**Key words:**

Dendrometry, standing tree volume measurement, sample plots, aerial laser scanning

# Obsah

1. Úvod .....	10
1.1. Cíle práce .....	11
2. Rozbor problematiky .....	12
2.1. Měření tloušťky .....	12
2.2. Pomůcky k měření tloušťky .....	13
2.3. Měření výšky .....	14
2.4. Pomůcky k měření výšky .....	15
2.5. Chyby měření .....	16
2.5.1. Chyby měření tloušťky .....	16
2.5.2. Chyby měření výšky .....	17
2.5.3. Celoplošné průměrkování .....	19
2.5.4. Reprezentativní metody .....	19
2.5.4.1. Kruhové zkusné plochy .....	21
2.5.4.2. Pásové zkusné plochy .....	22
2.5.4.3. Relaskopická metoda .....	22
2.6. Struktura porostu .....	23
2.6.1. Střední tloušťka .....	23
2.6.2. Střední výška .....	24
2.6.3. Horní výška .....	24
2.6.4. Výšková křivka .....	24
2.6.5. Zakmenění .....	25
2.6.6. Zastoupení .....	26
2.7. Zásoba porostu .....	27
2.7.1. Objemové tabulky .....	27
2.7.2. Jednotné hmotové křivky (JHK) .....	27
2.7.3. Taxační tabulky .....	28
2.7.4. Československé objemové tabulky .....	28
2.8. Laserové skenování .....	28
2.8.1. LiDAR .....	28
2.8.2. Letecké laserové skenování .....	29
3. Metodika .....	30
3.1. Popis lokality .....	30
3.2. Přípravné práce .....	31
3.3. Práce v terénu .....	32



3.4.	Kancelářské práce.....	35
4.	Výsledky.....	41
4.1.	Horní výška.....	41
4.2.	Střední výška .....	43
4.3.	Střední tloušťka .....	43
4.3.1.	Jednoduchá lineární regrese – střední tloušťka .....	43
4.3.2.	Vícenásobná lineární regrese – střední tloušťka .....	45
4.4.	Zásoba.....	46
4.4.1.	Jednoduchá lineární regrese – zásoba .....	46
4.4.2.	Vícenásobná lineární regrese – zásoba .....	48
5.	Diskuze .....	50
6.	Závěr.....	52
7.	Bibliografie.....	53
8.	Seznam obrázků, tabulek, grafů a příloh.....	55
9.	Přílohy .....	57

# 1. Úvod

Les je plocha hustě porostlá stromy. Funkce lesa jsou produkční a mimoprodukční. Produkční funkcí lesa rozumíme, že les plní obvykle funkci produkční, z které plyne hlavní ekonomický příjem. Do produkční funkce, ale patří kterákoliv funkce uplatňující se v tržním systému (např. myslivost). Mimoprodukční funkce lesa je bráno, když les poskytuje veřejný užitek.

Lesy jsou děleny do tří kategorií. Lesy hospodářské, u kterých je právě hlavní funkce produkce dřevní hmoty (tvoří největší část lesů u nás zastoupených). Dále máme lesy zvláštního určení, které tvoří národní parky, národních přírodních rezervací a v oblastech vodních zdrojů 1. stupně a minerálních vod. Do poslední kategorie patří lesy ochranné. To jsou lesy, které se nacházejí kolem horní hranice lesa a lesy na nepříznivých stanovištích.

Dendrometrie je nauka zabývající se zjišťováním kvantitativních veličin lesních porostů, jednotlivých stojících stromů, ležícího dříví a vzájemnými vztahy mezi těmito veličinami. Dendrometrie se řadí mezi historicky nejstarší lesní disciplínu. Výstupy z dendrometrie jsou důležité pro správné hospodaření s lesním porostem a je tedy základem v hospodářské úpravě lesa, kde se využívá při řešení produkčních, technických a ekonomických problému.

Inventarizaci lesních porostů je možno provádět hned několika způsoby. Nejpřesnější, ale zároveň nejvíce časově a ekonomicky náročný způsob, je celoplošné průměrkování. U celoplošného průměrkování se měří tloušťka a výška každého stromu na zjišťované ploše zvlášť. Postupem času a za použití nové technologie se lidstvo dopracovalo k metodám, které jsou dostatečně přesné pro účely inventarizace, ekonomicky výhodnější a časově méně náročné.

Bakalářská práce se zabývá právě porovnáváním dvou těchto metod. Jedna z použitých metod je metoda kruhových zkusných ploch, která je již praxí osvědčená a druhá z metod je letecké laserové skenování, která je oproti metodě kruhových zkusných ploch stále nová a prochází pořád vývojem.

## **1.1. Cíle práce**

V této bakalářské práci si klademe za cíl zjišťování porostních veličin terestrickým způsobem za pomoci kruhových zkusných ploch. Jsou zjišťované základní porostní veličiny jako je tloušťka a výška stromů. Z terestricky zjištěných informací se výpočty dostaneme k zásobám jednotlivých zjišťovaných porostů. Vedle toho porostní veličiny budou zjišťovány i za pomoci leteckého skenování, za využití infračerveného paprsku. Tyto veličiny se u leteckého skenování zjišťují z naskenovaných snímků porostů. A obdobně jak u terestrického měření z nich bude vypočítána celková zásoba skenovaných porostů. V obou případech se zaměříme na probírkové porosty nad 50 let. Výsledky z obou metod statisticky porovnáme a odvodíme závěr pro budoucí praxi.

## 2. Rozbor problematiky

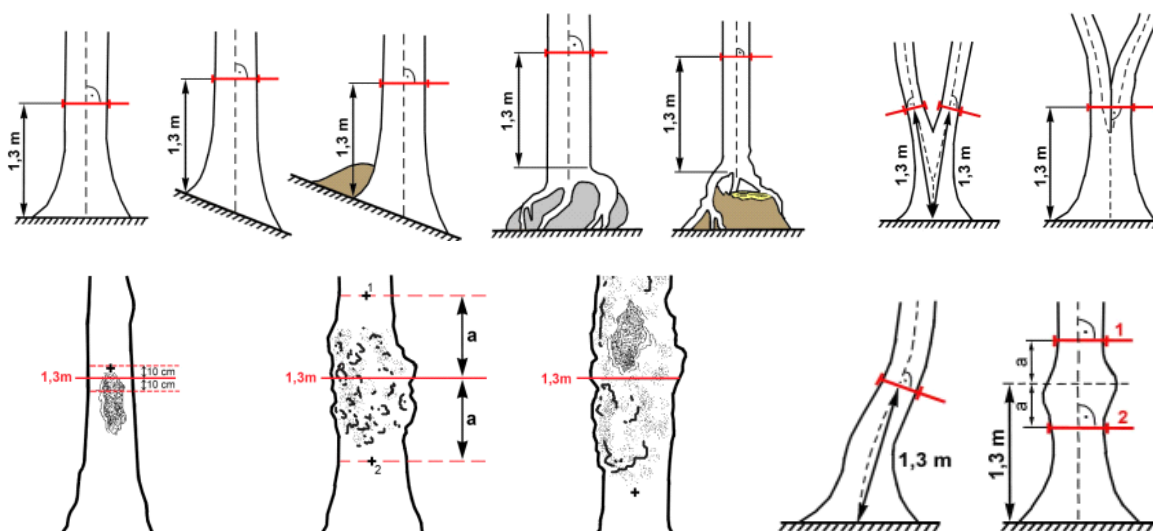
Měření je způsob, kterým zjišťujeme stromové a porostní veličiny co možná nejpřesněji. Při měření je důležité postupovat ve 3 hlavních krocích. První z nich je příprava měření, ve kterém si zjistíme např. informace o místě, na kterém budeme měření provádět. Tato informace nám pomůže při výběru správné metody měření. Do přípravy měření také patří kontrola měřících přístrojů, u které se ujistíme, že měřící přístroje jsou správně nastaveny. Jako další věc provedeme samotné měření zjišťovaných veličin za použití přístrojů a pomůcek. Základními měřícími přístroji jsou průměrka a výškoměr. Nakonec musíme změřené výsledky zpracovat. V průběhu měření jsme výsledky zachytávaly různými způsoby, jako např. v paměti měřících přístrojů, nebo ručně na papír. Tyto zachycené výsledky měření poté dále zpracováváme výpočetními metodami.

### 2.1. Měření tloušťky

Tloušťka je jedna ze základních veličin v dendrometrii a stěžejní údaj pro získání objemu kmene. Tloušťka kmene  $d$  je vzdálenost dvou rovnoběžných tečen, které jsou vedeny protilehlými body na příčném průřezu obvodu kmene. Měříme ji v cm jako úsečku procházející geometrickým středem, která je kolmá na podélnou osu kmene a je měřena za pomoci lesnické průměrky.

Jelikož strom je živý organismus a jeho kmen nikdy nevytváří dokonalý válec, tak i jeho příčný průřez kmene je nepravidelný. Nepravidelný příčný průřez kmene nám způsobuje, že zde najdeme nekonečně mnoho tlouštěk, které se pohybují v intervalu  $d_{min}$  až  $d_{max}$ . Z toho důvodu, je potřeba vybrat takovou tloušťku, která nejlépe reprezentuje plochu příčného průřezu. V dendrometrii využíváme u stojících stromů tloušťku příčného průřezu kmene, která se měří ve výšce 1,3m nad patou kmene  $d_{1,3}$ , říkáme ji výčetní tloušťka (tloušťka v prsní výšce).

Při měření výčetní tloušťky kmene si musíme dát pozor na přiložení průměrky, kdy by průměrka měla být umístěna kolmo na osu kmene ve výšce 1,3m od paty kmene (Obrázek 2.1). Čelist'ové průměrky přikládáme ke stromu konstantní silou, tak aby se dotýkala měřeného stromu rameny. Zároveň ramena průměrky musí být delší než polovina tloušťky kmene a pravítko na průměrce musí mít čitelnou stupnici (Simon, 2014). U stromů, které mají nepravidelný průřez kmene je vhodné měřit tloušťku ve dvou na sebe kolmých směrech a poté z výsledných tlouštěk udělat aritmetický průměr. Výčetní tloušťku obvykle neměříme u stromů, které jsou již odumřelé nebo jejich výčetní tloušťka nedosahuje 7 cm (Purser, 1999).



Obrázek 2.1 Měření tloušťky ve výčetní výšce (ÚHÚL, 2003)

Alternativní možnost zjištění tloušťky je za pomoci obvodu příčného průřezu kmene *o*. „Měření obvodu je preferováno při měření kmenů s výrazně nepravidelným průřezem a při měření velmi silných kmenů, u nichž by změření tloušťky pomocí průměrky vyžadovalo extrémně velký rozsah průměrky“ (Kuželka, 2017). Tloušťku z obvodu získáme ze vzorce pro obvod kruhu.

U ležícího dříví se tloušťka měří v polovině délky výřezu. Pokud tloušťka v polovině délky výřezu není větší jak 19 cm měříme tloušťku pouze jednou, a to rovnoběžně s terénem. Pokud však tloušťka v polovině délky výřezu přesahuje 19 cm musíme provést dvě měření na sebe kolmé a udělat průměr mezi zjištěnými tloušťkami (Sequens, 2007).

## 2.2. Pomůcky k měření tloušťky

Pro měření tloušťky stromu nejčastěji používáme lesnickou průměrku. Lesnická průměrka je pomůcka, která má dvě rovnoběžná ramena, z nichž se jedno pohybuje po stupnici a druhé je na pevno spojeno se stupnicí na jejím konci. Ramena musí svírat úhel  $90^\circ$  se stupnicí průměrky. S posuvným ramenem se po stupnici musí lehce pohybovat, nesmí se viklat a prokluzovat. Na stupnici průměrky nalezneme číselník označující měřené tloušťky.

Rozlišujeme průměrky analogové a digitální. Hlavní rozdíl mezi nimi je v odečítání měřených hodnot. Zatímco u analogové průměrky musíme odečítat hodnoty ze stupnice, tak digitální průměrka disponuje displejem. Displej u digitální průměrky nám umožňuje rychlejší odečítání změřených dat a omezení chyby způsobenou odečítáním hodnot ze stupnice. Digitální průměrky disponují taktéž vnitřní pamětí, kam je možno změřené údaje ukládat a následně hodnoty z průměrky přetáhnout do jiného zařízení, kde se dále s daty může pracovat.

Označování dat, jako dřevina a výška, je prováděno v numerickém kódu. Díky práci s jednoduchými daty má průměrka malou spotřebu elektrické energie.

Pro komplexnější práci s daty se používá programovatelná průměrka. Programovatelná průměrka umožňuje editování dat, vlastní výpočty či volbu různých programů. Průměrka také umožňuje přístup k zjednodušené formě dat přímo v porostu, což umožňuje operativní plánování. Při měření tloušťky v nepřístupném terénu nebo ve výšce nedosažitelné ze země, můžeme použít laserové ukazovače upevněné na ramenech průměrky.

U stromů, kde není možné tloušťku změřit průměrkou, tak volíme lesnické pásmo, pomocí kterého změříme obvod příčného průřezu kmene. Pásmo je nejčastěji vyrobeno z lehce ohybné oceli a navinuto v kovovém pouzdře. Na začátku pásma je přidělán ostrý hrot, který slouží k upevnění navité stupnice do kůry stromu.

### **2.3. Měření výšky**

*„Výška stromu je definována jako svislá vzdálenost mezi horizontální rovinou protínající nejvyšší vegetační orgán stromu a horizontální rovinu protínající patu kmene“ (ÚHÚL, 2003).* Výšky stromů měříme v metrech s přesností na desetiny a můžeme je určovat kvalifikovaným odhadem, nepřímou a přímou metodou měření. Přímá metoda měření lze aplikovat pouze u stromů malé výšky, proto se ve většině případech používá metoda nepřímá.

V metodě nepřímé se využívá ke zjištění výšky jiných veličin, které jsou měřené za pomoci výškoměru, a v některých případech i dálkoměru. Výšku stromu měříme z místa, které je dostatečně vzdálené od měřeného stromu a zároveň je dobře vidět na patu a vrcholek stromu.

Přístroje používané k nepřímému měření výšek využívají geometrického, nebo trigonometrického principu. Geometrický princip využívá stejnoolehlosti trojúhelníků. Při použití výškoměrů využívající geometrický princip se neměří vzdálenost od měřeného stromu, ale musíme ke stromu umístit lať o námi známé velikosti.

*„Trigonometrické měření výšky stromu spočívá v určení výškových úhlů  $\alpha_1$  a  $\alpha_2$  mezi vodorovnou rovinou procházející výškou očí měřiče a vrcholem, resp. patou stromu z určité horizontální odstupové vzdálenosti od stromu  $L$ “ (Šmelko, 2000).* Proto se při měření výšky snažíme od stromu postupovat po vrstevnici, aby se co nejvíce zabránilo zkreslení výšek. Pouze v ojedinělých případech výšky měříme proti svahu právě z toho důvodu, že může dojít ke zkreslení výšky.

Při měření výšek narazíme i na stromy, u kterých využíváme specifický postup při jejich měření. Jeden z takových případů je nakloněný strom. U nakloněného stromu měříme výšku kolmo na směr naklonění. Často se také setkáme se stromy se zlomeným vrcholem, u kterých může nastat problém s větvemi, které jsou ještě nad místem zlomu. Zaměření na tyto větve, místo na vrchol stromu, může vést k velké chybě. Proto musíme nejdříve prohlédnout měřený strom, a poté strom s dostatečným odstupem změřit. Po změření takového stromu by měla proběhnout rekonstrukce chybějící části za pomoci stromů v jeho blízkém okolí (DeYoung, 2016). Další takové měření je měření výšky listnatých stromů, u kterých musíme dodržet odstupovou vzdálenost alespoň přibližně jednu výšku stromu a vyhledat místo, kde se horizontální rovina dotýká špičky stromu (ÚHÚL, 2003).

Můžeme se setkat i s potřebou znalosti výšky nasazení živé koruny. Ta je definována jako vzdálenost mezi dvěma horizontálními rovinami, kdy jedna z rovin prochází patou kmene a druhá místem, kde vyrůstá první živá větev, která je součástí živé koruny. Při měření se využívá stejných metod a přístrojů jako při měření výšky stromů. Výšku nasazení živé koruny měříme v metrech s přesností na jednu desetinu metru.

#### **2.4. Pomůcky k měření výšky**

Měření výšky se provádí za pomoci výškoměru. Výškoměry jsou založené buď na geometrickém nebo trigonometrickém principu. Geometricky princip využívají stejnoolehlosti trojúhelníků. Nejznámější výškoměr využívající tohoto principu je Christenův výškoměr. Christenův výškoměr je pravítko převážně z lehkého kovu, dřeva nebo plastu, na kterém je vynesena výškoměrná stupnice. Výhoda výškoměru je v jeho jednoduchosti, ceně a není potřeba měřit odstupovou vzdálenost od stromu. Zatímco nevýhoda je v přenášení latě a jeho menší přesnost.

Dále máme výškoměry využívající trigonometrického principu. Mezi ně patří analogový výškoměr Blume-Leiss a digitální výškoměry jako jsou Haglöf a Vertex IV. Blume-Leiss je zařízení sloužící na měření úhlů mezi měřičem a měřenými body. Výškoměr má dvě kukátka, kde jedno slouží na měření odstupové vzdálenosti a druhé k zaměření paty a vrcholu stromu. Na výškoměru je také 5 kruhových stupnic, z nichž 4 jsou stupnice na měření výšky při konstantní odstupové vzdálenosti 15, 20, 30 a 40 metrů. Pomocí páté stupnice odečítáme sklon terénu.

Digitální výškoměr Haglöf je zařízení, kterým je možné v terénu měřit výšky a sklony různých objektů. Výškoměr nám na základě změřeného sklonu a zadané odstupové vzdálenosti

od objektu vypočítá výšku. Odstupovou vzdálenost musíme zjistit jiným přístrojem než výškoměrem, jako např. dálkoměrem. Výhodou těchto výškoměrů je jednoduchost, přesnost, spolehlivost a libovolná odstupová vzdálenost od měřeného objektu.

Vertex IV obdobně jak Haglöf slouží jako výškoměr a sklonoměr, ale na rozdíl od Haglöf, nepotřebujeme další přístroj na měření odstupové vzdálenosti a je vybaven displejem, kde vidíme naměřené výšky. Výškoměr Vertex využívá k měření vzdálenosti vestavěný ultrazvukový dálkoměr. Umožňuje nám měřit libovolný počet výšek, které lze pomocí IR portu přenést do digitálních průměrek podporující tuto funkci (Haglöf Sweden AB, 2007).

## **2.5. Chyby měření**

Chyba měření je rozdíl mezi naměřenou a skutečnou hodnotou. Při každém měření dochází k chybě a velikost chyby nám ukazuje, jak jsme se ke správné hodnotě přiblížili. Chyby měření nabývají kladných nebo záporných hodnot a nastávají při poruše měřicího přístroje, nebo nedodržení zásad správného měření. Rozlišujeme tři charaktery chyb: hrubé, systematické a nahodilé.

Chyby hrubé vznikají nejčastěji z nepozornosti měřiče, výběrem nevhodné metody, poruchou měřicího přístroje apod. Hrubé chyby z výsledků měření musíme vyloučit, nebo opakovat měření.

Systematickou chybou rozumíme chybu, která se za stálých podmínek opakuje, má stále stejné znaménko a stejnou absolutní hodnotu. Nejčastěji chyba systematická bývá zapříčiněná osobními chybami, nedokonalostmi měřících přístrojů a metod. Chybu systematickou lze dohledat a posléze minimalizovat.

Chybě nahodilé nedokážeme předejít a nabývají kladných i záporných znamének. Při větším počtu měření se chyby vzájemně odstraňují. Mezi chyby nahodilé se řadí např. nepravidelnost příčného průřezu kmene.

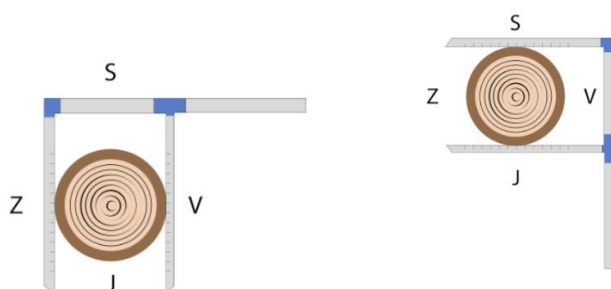
### **2.5.1. Chyby měření tloušťky**

Chyby při měření tloušťky jsou způsobené měřícím přístrojem (průměrky), nebo měřičem. Pokud se nejdříve zaměříme na měřicí přístroj, tak u měřicího přístroje si musíme dát pozor, aby se ramena při pohybování po stupnici neviklala.

Analogové měřicí přístroje musí mít čitelnou stupnici, z které čteme naměřené hodnoty. V obou případech nám vzniká chyba jak s kladným, tak záporným znaménkem.



Další chyby mohou nastat při samotném měření. Šikmé přikládání měřicího přístroje k ose stromu nám způsobí, že bude vždy naměřená hodnota větší a vzniká nám tak chyba s kladným znaménkem. Pokud při měření výčetní tloušťky příčného průřezu kmene nedodržíme výšku měření 1,3 m od paty kmene vzniká nám jak chyba s kladným znaménkem, tak záporným. Chyba s kladným znaménkem vznikne při přiložení měřicího přístroje ke kmenu pod prsní výškou a se záporným naopak při přiložení nad prsní výškou. Chyby měření tloušťky nám nastávají i z nepravidelnosti tvaru příčného průřezu kmene. Těmto chybám se snažíme předcházet zvětšením počtu a změnou pozice měření (Obrázek 2.2).



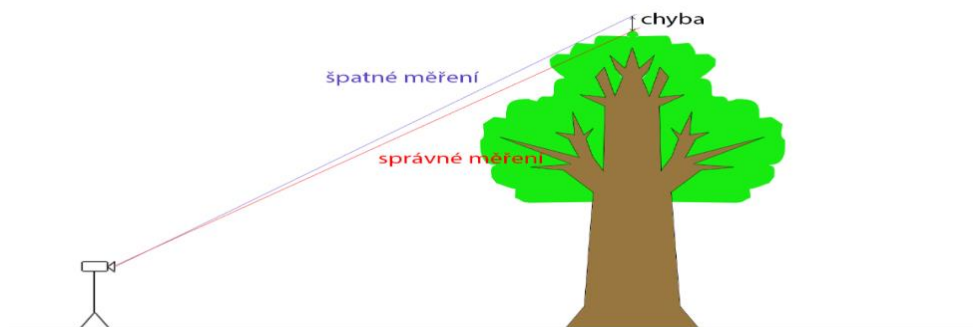
Obrázek 2.2 Dvojité měření tloušťky

### 2.5.2. Chyby měření výšky

Při měření výšek nám stejně jak u měření tlouštěk dochází k chybě způsobené měřicím přístroj, tak lidským faktorem. V dnešní době se využívají převážně digitální výškoměry, tudíž když chyba nastane, je především v kalibraci těchto přístrojů.

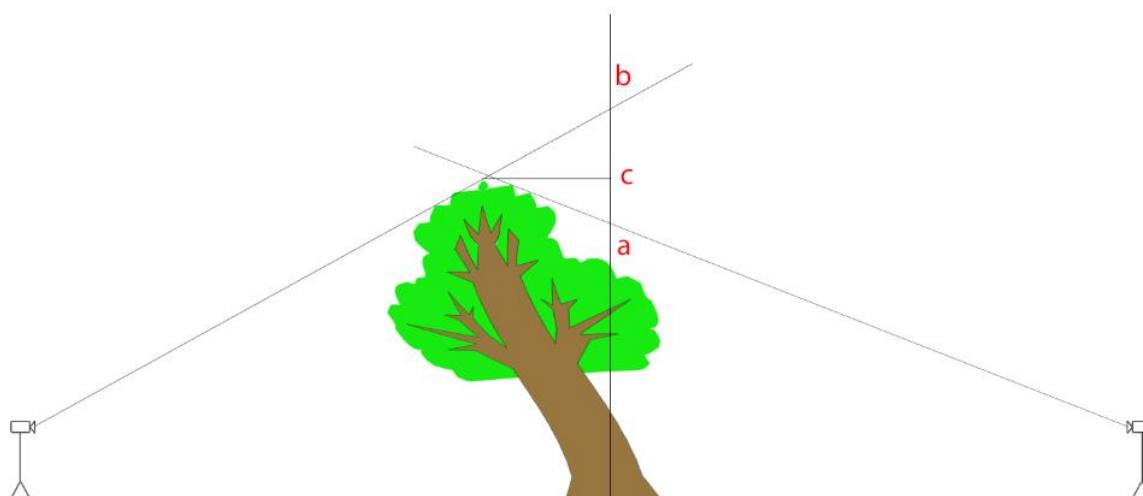
Digitální výškoměry využívají trigonometrického principu. Jak už je zmíněno v kapitole „Měření výšky“ tento princip využívá úhly k vrcholu a patě stromu a zároveň odstupovou vzdálenost od měřeného stromu. Právě při měření odstupové vzdálenosti nám může nastat chyba. Ta může být způsobena špatně změřenou vzdáleností nebo změřením vzdálenosti ke špatnému stromu v porostu. Tuto chybu řadíme mezi chyby hrubé a nastává především při použití laserových dálkoměrů, kdy může vzniknout při zaměření se na list, kterého se měřič nevěšiml.

Při použití starších výškoměru musíme rozlišovat mezi vodorovnou a šikmou vzdáleností, kterou nám moderní měřicí přístroje automaticky převádějí. Chyba nám může také nastat při zaměření se na špatný vrchol stromu nebo na špatně určený vrchol u stromu listnatých dřevin, kdy není vrchol vidět (Obrázek 2.3).



Obrázek 2.3 Měření výšky

Důležité je dodržovat odstup od měřených stromů, protože čím blíže ke stromu budeme stát tím více záleží na přesnosti měření a již malá odchylka způsobí velkou chybu. V porostu se setkáme i se stromy nakloněnými, kde je potřeba strom měřit kolmo na směr vychýlení (Obrázek 2.4). Pokud strom budeme měřit ve směru kdy bude nakloněný k nám nastane kladná chyba, výšku tím tedy nadhodnotíme (b). V opačném případě ve směru, kdy je strom vychýlen od nás vzniká záporná chyba, výšku tedy podhodnotíme (a). Chybu nám ale také může zapříčinit špatná kalibrace přístroje.



Obrázek 2.4 Měření nakloněného stromu

Porostní veličiny zjišťujeme několika způsoby. První z nich je zjišťování přímé. U přímého zjišťování pracovník pozoruje, počítá, měří a váží měřený objekt. U pozorování se jedná o kvalitativní znaky, kde výstup je např. druh dřeviny. Počítání se používá jak pro kvalitativní, tak i pro kvantitativní znaky. Využijeme ho např. pro zjištění počtu stromů, které jsou poškozené zvěří. Měření a vážení při zjišťování dendrometrických veličin převládají. Jedná se o zjišťování základních veličin jako jsou tloušťka, objem, věk apod.

Další je metoda nepřímého zjišťování. Při nepřímém zjišťování měřič nebo měřící zařízení nepřichází do přímého kontaktu s měřeným objektem. Nepřímou metodou zjišťujeme např. výšku stromu, kterou by přímou metodou zjišťování velice obtížné změřit. Používají se tu nové principy jako je optika, elektronika, laserová a ultrazvuková technika, obrazové záznamy (pozemní, letecké a kosmické) a jejich analýza a zhodnocení pomocí nových informačních technologií (Sequens, 2007). Často se v praxi setkáme se zjišťováním odhadem. Toto zjišťování je časově nenáročné, ale značně nepřesné. U zjišťování odhadem hrají velkou roli zkušenosti měřiče. K zjišťováním veličin také patří zjišťování výpočtem. Používá se převážně na zjištění veličin, které by byly finančně, časově náročné a někdy i nemožné na zjištění, jako např. objem. Veličiny můžeme také přebírat z existujících zdrojů (lesní hospodářský plán).

### 2.5.3. Celoplošné průměrkování

Celoplošné průměrkování je metoda, u které se měří tloušťka v prsní výšce u všech stromů ve zkoumaném porostu. Její použití je velice časově a finančně náročné, ale kompenzuje se to přesností této metody. Chyba, která nastává u této metody je přibližně 4-5 %.

Metoda celoplošného měření se používá u měření, kde potřebujeme přesné výstupy, jako je např. aukce dříví na stojato, mýtní porosty, nebo měření na malých plochách. Metoda taktéž umožňuje zachytit veškeré zastoupené dřeviny a vzácné sortimenty ve zkoumaném porostu. Při zjišťování porostní zásoby za pomoci celoplošné metody měříme tloušťky stromů, u kterých výčetní tloušťka přesáhne velikost 7 cm. „Pro každou dřevinu je změřeno 3-7 výšek v každém tloušťkovém stupni; 3 výšky pro okrajové tloušťkové stupně, 5-7 pro tloušťkové stupně nejpočetnější“ (Kuželka, 2017).

### 2.5.4. Reprezentativní metody

Myšlenka reprezentativních metod je v měření stromů na menší ploše (zkusné ploše), které jsou v měřeném porostu rozmístěny tak, aby svým zastoupením a velikostí, patřičně reprezentovali měřený porost. Díky tomu je použití těchto metod finančně a časově méně náročné než použití celoplošného měření, ale je vykoupena menší přesností. Většinou se zkusné plochy využívají v porostech ve věku 61-80 let (Roček, 2000). Stanovení zásoby, počtu stromů apod. za pomoci zkusných ploch se provádí ze zjištěných údajů na zkusné ploše, tak že naměřené hodnoty (např. zásobu na zkusné ploše, velikost zkusné plochy, dřeviny atd.) přepočítáme na celý porost podle vzorce (2.1):

$$X = x \cdot \frac{P}{p} \quad (2.1)$$

kde X – taxační veličina pro celý porost

x – veličina zjištěná na zkusné ploše

P – výměra celého porostu

p – výměra zkusné plochy

Pro každý porost, na který chceme použít některou z reprezentativních metod, je důležité individuálně stanovit počet, hustotu, intenzitu a velikost zkusných ploch. To je možné provést odhadem nebo matematicko-statistickým postupy. U odhadu není známá dosáhnutá přesnost a je ovlivňována subjektivními rozhodnutími měřiče.

Matematicko-statistické postupy nám na základě požadované přesnosti umožňují určit přesnou intenzitu výběru, minimální počet, velikost, a rozmístění zkusných ploch v porostu.

Minimální potřebný počet zkusných ploch zjistíme ze vzorce (2.2):

$$n = \frac{t_{\alpha}^2 * \sigma_x \%^2}{\Delta_{\bar{x}} \%^2} \quad (2.2)$$

kde  $t_{\alpha}$  – je koeficient spolehlivosti (pro zjištění zásoby se používá 95% spolehlivost),

$\sigma_x$  – variační koeficient rozrůzněnosti porostu,

$\Delta_{\bar{x}}$  – požadovaná přesnost ( $\pm 10$  %,  $\pm 15$  %) (Šmelko, 2000)

Dále je potřeba znát intenzitu výběru. Ta nám slouží jako ukazatel, kolik procent porostu je zaujato zkusnými plochy a ekonomické výhodnosti. Pokud intenzita překročí hranici 25 %, není daný způsob výhodný (Šmelko, 2003).

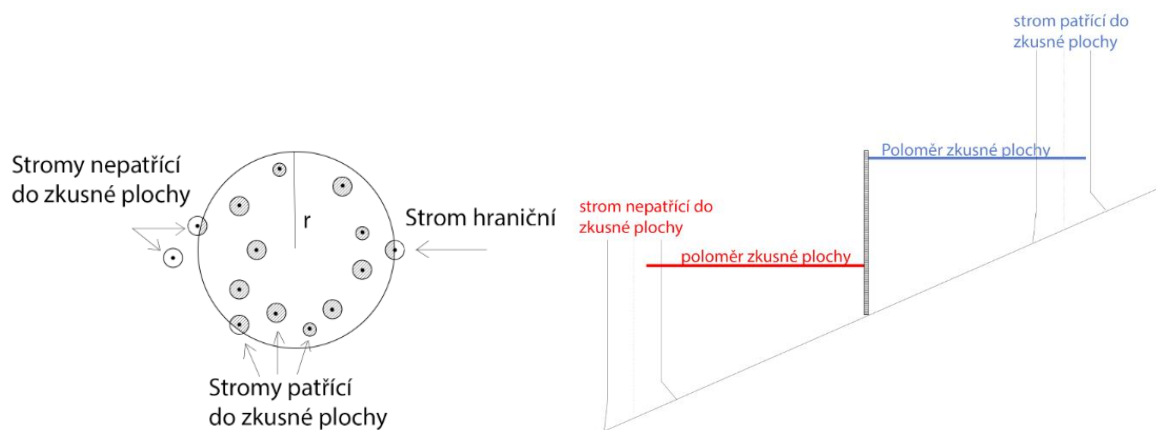
Nakonec je potřeba určit odstupovou vzdálenost zkusných ploch. Odstupová vzdálenost musí být vybrána objektivně, tak aby zkusné plochy byly rovnoměrně rozloženy po celém porostu a nebyly ovlivněny systematickými změny v porostu. Odstupová vzdálenost tedy může být vybrána rovnoměrně nebo nerovnoměrně. U rovnoměrné odstupové vzdálenosti jsou plochy ve čtvercové síti a rozestupy mezi nimi jsou stejné v obou směrech. Nerovnoměrné odstupové vzdálenosti mají v jednom směru větší rozstup než ve směru druhém a vytvářejí nám tak obdélníkovou síť. Pokud nám u takto rozmístěných ploch vyjde umístění plochy např. v holině, je z objektivní hlediska důležité neposouvat zkusnou plochu. Na zkusné ploše měříme všechny stromy, které se nacházejí uvnitř plochy a stromy, které jsou hraniční (leží na pomyslné ose výběru) se berou polovinu naměřených hodnot (např. polovinu objemu stromu).

### 2.5.4.1. Kruhové zkusné plochy

Kruhové zkusné plochy jsou nejpoužívanější způsob reprezentativní metody. Jejich výhoda spočívá v lehkém vytyčování v terénu a v nejkratším obvodu. Díky tomu je na zkusné ploše menší počet hraničních stromů. V praxi se používají častěji menší výměry kruhů, kterých se v porostu používá větší počet. Zkusné plochy s menší výměrou lépe vystihují rozdíly v struktuře porostu.

I kruhové zkusné plochy mají svoje nevýhody. Ty spočívají v obtížném vytyčování zkusných ploch ve svahu, kde se z toho důvodu používají pásové zkusné plochy, a v porostech s hustým podrostem, kde je vytyčení obtížné a časově zdlouhavé.

Dnešní doba umožňuje v lesnictví využívat modernější technologie než v minulosti. Umístění kruhových zkusných ploch je možné provádět v kanceláři během přípravných prací a v terénu se pomocí GPS hledají středy ploch. Samotné vytyčování zkusných ploch se postupuje po obvodu kruhu a provádí s přesností na centimetry. Jednou z efektivních možností právě pro toto vytyčování je ultrazvuková vytyčovací souprava. Soupravu může tvořit kombinace výškoměru Vertex s elektronickým transpondérem a vytyčovacího adaptéru (Urbánek, 2011). Na vytyčené ploše se vně kruhu nachází zaujaté stromy, které do výpočtů vstupují celou naměřenou hodnotou a na ose kruhu stromy hraniční, které vstupují do výpočtu pouze polovinou hodnoty (např. naměřená výčetní tloušťka) (Obrázek 2.5). Stromy nepatřící do zkusné plochy se viditelně označí, aby nedošlo k jejich změření a zapsání do výsledků měření. Při měření tloušťky zaujatých a hraničních stromů musí stupnice průměrky směřovat do středu zkusné plochy. Tímto postupem je odstraněna systematická chyba z nepravdelnosti tvaru kmene.



Obrázek 2.5 Měření na kruhové zkusné ploše

#### **2.5.4.2. Pásové zkusné plochy**

Pásové zkusné plochy jsou pásy o konstantní šířce umístěných v určitých vzdálenostech rovnoběžně vedle sebe skrze celý porost. I přes to, že v dnešní době převládá používání kruhových zkusných ploch, ne všude je jejich použití rozumné, nebo vůbec možné.

Pásové zkusné plochy tudíž díky svým výhodám naleznou uplatnění při měření ve svahu a v porostech s velmi hustým podrostem. Výhody tkví v jejich rychlejším a jednodušším vytyčení v terénu (např. 100 aru plochy pásů je rychleji vytyčeno než 100 aru plochy kruhu). Oproti tomu, ale disponují spousty nevýhody, díky kterým není rozumné pásové zkusné plochy používat při měření v obvyklých podmínkách. Jejich nevýhody jsou hlavně zapříčiněny z matematicko-statického hlediska. Mezi nevýhody právě patří jejich malý počet, optimální rozmístění výběru v terénu je obtížné a délka pásů je závislá na geometrickém tvaru porostu.

#### **2.5.4.3. Relaskopická metoda**

Princip relaskopické metody objevil v roce 1948 rakouský profesor W. Bitterlich. Relaskopická metoda je velice podobná metodě kruhových zkusných ploch, ale na rozdíl od kruhových zkusných ploch, kde vytyčujeme kruhovou plochu za pomoci dálkoměru, se u relaskopické metody využívá úhlového sčítání stromů. Vytyčení relaskopické zkusné plochy tedy probíhá tak, že si měřič nalezne střed zkusné plochy, na který se postaví a za využití relaskopické pomůcky zaměřuje stromy okolo sebe. Stromy jsou zaměřovány ve výčetní tloušťce a u stromu, kde výčetní tloušťka přesahuje záměrnou úsečku použité relaskopické pomůcky, považujeme strom za zaujatý. Při praktickém použití této metody je potřeba určit vytyčovací údaje: počet, velikost, odstupová vzdálenost zkusných ploch a jejich intenzita výběru.

Záměrné úsečky  $c$  u relaskopických pomůcek jsou např. 1, 2 nebo 4, to znamená, že zaujatý strom, který přesahuje použitou záměrnou úsečku, má 1 m<sup>2</sup>, 2 m<sup>2</sup> nebo 4 m<sup>2</sup> kruhové základny na 1 ha. Stromy, které jsou ve výčetní tloušťce stejně velké jako záměrná úsečka, jsou stromy hraniční a bereme je jen jednou polovinou. Nejčastěji se doporučuje používání záměrné úsečky  $c = 1$ , ve starých a středně starých porostech 2 nebo 4 (Šmelko, 2000). Při nesprávném zvolení záměrné úsečky se zkusná plocha bude zvětšovat nebo zmenšovat. Problém poté nastává, když zvolíme malou záměrnou úsečku a zkusná plocha bude příliš velká. Na velké zkusné ploše se bude nacházet velký počet stromů, u kterého se zvyšuje šance špatného posouzení zaujatých, hraničních stromů a zhoršená viditelnost po zkusné ploše. Naopak při volbě velké záměrné úsečky se může stát, že zkusná plocha bude příliš malá. To zapříčiní malý počet zaujatých stromů a tím se sníží reprezentativnost a přesnost měření. Kruhová základna na 1 ha porostu se

potom získává ze znalosti počtů stromů na zkusné ploše a jejím vynásobením faktorem záměrné úsečky.

Na vytyčení relaskopické zkusné plochy se využívají pomůcky jako jsou optický relaskopický klínek, relaskopická záměrná destička nebo zrcadlový relaskop.

## 2.6. Struktura porostu

### 2.6.1. Střední tloušťka

Střední tloušťka je taková tloušťka, která svým objemem nebo kruhovou základnou reprezentuje všechny stromy dané dřeviny. Střední tloušťka se nejčastěji používá ke zjištění porostních charakteristik. Podle preferované stromové veličiny, používáme více druhů střední tloušťky.

První z nich je průměrná tloušťka  $\bar{d}$ , která se vypočítá buďto jednoduše aritmetickým průměrem všech změřených tlouštěk vzorcem (2.3 nebo váženým aritmetickým průměrem tloušťkových stupňů, kde váha je počet stromů v jednotlivých tloušťkových stupních za pomoci vzorce (2.4). Jelikož do výpočtu vstupují tloušťky lineárně, tak se pro taxační účely používají méně (Šmelko, 2000).

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \quad (2.3)$$

kde  $d_i$  – jsou jednotlivé tloušťky,  
 $n$  – je počet tlouštěk

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^q n_j * d_j \quad (2.4)$$

kde  $d_j$  – jsou středové hodnoty tloušťkových stupňů,  
 $n_j$  – jsou četnosti v jednotlivých tloušťkových stupních,  
 $q$  – je počet tloušťkových stupňů

Dále existuje střední tloušťka z kruhové základny  $d_g$ . Tato střední tloušťka odpovídá tloušťkou takovému stromu, který má průměrnou kruhovou základnu, a tudíž svoji kruhovou základnou reprezentuje všechny stromy v porostu. Střední tloušťku z kruhové základny určíme tak, že si vypočteme kruhové základny pro jednotlivé stromy dané dřeviny, jednotlivé kruhové základny sečteme a uděláme z nich aritmetický průměr. Aritmetickým průměrem dozjistíme

střední kruhovou základnu, ze které si odvodíme za pomoci vzorce (2.5) výčetní tloušťku středního kmene.

$$d_g = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^q n_j * d_j^2} \quad (2.5)$$

kde  $n_j$  – jsou četnosti jednotlivých tloušťkových stupňů,

$n$  – je počet stromů,

$q$  – je počet tloušťkových stupňů,

$d_j$  – jsou středové hodnoty tloušťkových stupňů (Kuželka, 2017)

Weiseho střední tloušťku  $d_w$  lze odhadnout za pomoci Weiseho pravidla, které popisuje pozici středního kmene. „Weiseho pravidlo tvrdí, že přibližně střední tloušťku má strom, který se nachází ve vzdálenosti 60 % z celkového počtu stromů od nejmenších tlouštěk“ (Kuželka, 2017). Přesná pozice středního stromu se nedá zcela generalizovat. Ta se odvíjí od tloušťkové struktury porostu, pro kterou jsou vytvořeny čtyři obecné tvary rozdělení. Tvary rozdělení jsou: levostranné, pravostranné, klesající a souměrné. Pro každý z těchto tvarů je odvozeno specifické Weiseho procento, které označuje pozici středního kmenu v porostu (Simon, 2008).

### 2.6.2. Střední výška

Střední výška je výška stromu, který svojí tloušťkou, kruhovou základnou nebo objemem reprezentuje všechny stromy v porostu. Obvykle se vypočte tak, že do regresivní výškové funkce se dosadí střední tloušťka nebo odečtením z grafu výškové křivky (Kuželka, 2017). Střední výška patří mezi základní taxační veličiny, které se dále využívají pro výpočet zásoby porostu.

### 2.6.3. Horní výška

Horní výška je průměrná výška nejvyšších stromů v porostu a může být užitečná při měření stavu porostu. Horní výšku nejčastěji měříme dvěma způsoby. Za prvé výšku můžeme měřit jako výběr předem definovaného počtu jedinců, kteří ve výčetní tloušťce nabývají největších dimenzí nebo za druhé jako průměrnou výšku předem definovaného počtu nejvyšších jedinců (P.W. West, 2004) Nejčastěji tedy probíhá buď to relativní výběr, kde bereme např. 10 % nebo 20 % jedinců, nebo absolutního výběr, u kterého bereme např. 10, 20, 100 jedinců.

### 2.6.4. Výšková křivka

Výšková křivka vyjadřuje vztah mezi výškou a výčetní tloušťkou stromů v porostu v určitém věku. Výšková křivka je zobrazována graficky nebo v tabulce pro jednotlivé dřeviny zvlášť.



Při vložení naměřených výšek do grafu, vznikne shluk bodů, který lze vyrovnat výškovou křivkou. Vyrovnanou výškovou křivku lze vytvořit buďto graficko-počítařským nebo matematickým vyrovnáním.

Graficko-počítařské vyrovnání je rychlé a jednoduché. Abychom vyrovnání mohli provést, musíme znát aritmetické průměry jednotlivých výškových stupňů. Ty se zanesou do grafu a mezi těmito body se vede spojnicová křivka podle metody nejmenších čtverců. Dnes pro vytváření vyrovnané výšky tímto způsobem využíváme počítačových programů jako je např. Microsoft Office Excel.

Matematické vyrovnání je prováděno na základě výpočtu regresní rovnice, z které se přímo zjišťují vyrovnané výšky pro dané tloušťky. Tento způsob je složitější, ale objektivnější než graficko-počítařské vyrovnání.

### 2.6.5. Zakmenění

Zakmenění udává míru využití produkční plochy porostu stromy na ní rostoucí. Je definován jako poměr skutečné a normované hodnoty porostní veličiny. Zakmenění je bezrozměrná veličina a můžeme ji určovat z porostních veličin jako jsou: porostní zásoba, kruhová základna nebo počet stromů. Zakmenění zjišťujeme pro každou dřevinu zvlášť.

Zakmenění můžeme vyjadřovat dvěma způsoby. Vyjadřuje se buď jako desetinné číslo, kde plné zakmenění označuje hodnota 1,0. To je takový porost, ve kterém stromy využívají všechnen růstový prostor. Nebo zakmenění vyjadřuje celé číslo, které se pohybuje v rozmezí 0-10. Plné zakmenění pak znázorňuje hodnota 10.

Stejně jak u vyjadřování, tak i u zjišťování zakmenění existují dva způsoby – odhadem a výpočtem. Odhad zakmenění se provádí za pomoci okulárního posouzení. Posuzuje se volná plocha mezi korunami stromů. Vezme se 10 stromů a snažíme se odhadnout, kolik stromů by se zde za normálního vývoje ještě vešlo.

Výpočet zakmenění se provádí ze znalosti skutečné hodnoty (porostní zásoby, kruhové základny nebo počtu stromu), kterou vložíme do poměru s tabulkovou hodnotou. Samotný výpočet se lehce liší, zdali známe hektarové veličiny nebo porostní veličiny. Pokud pracujeme s hektarovými veličinami, jednoduše je dáme do poměru skutečná hodnota k tabulkové (vzorec (2.6)).

$$\rho_N = \frac{N_{SK}(ha)}{N_{TT}}, \quad \rho_G = \frac{G_{SK}(ha)}{G_{TT}}, \quad \rho_V = \frac{V_{SK}(ha)}{V_{TT}} \quad (2.6)$$

Pokud jsou nám známy porostní veličiny, tak řešení probíhá skrze redukovanou plochu. Redukovaná plocha vyjadřuje plochu, která by byla při plném zakmenění obsazena stromy. Výpočet redukované plochy je proveden ze znalosti celkové zásoby dané dřeviny v porostu ku tabulkové zásobě (vzorec (2.7)).

$$P_{RED} = \frac{V_{SK}}{V_{TAB}(ha)} \quad (2.7)$$

kde  $V_{SK}$  – je skutečná zásoba,

$V_{TAB}$  – je zásoba z taxačních tabulek

Výslednou plochu poté vložíme do poměru s celkovou výměrou porostu a výsledkem nám je zakmenění (vzorec (2.8)).

$$\rho_{POROST} = \frac{P_{RED}}{P} \quad (2.8)$$

kde  $P_{RED}$  – je redukovaná plocha,

$P$  – je skutečná plocha

### 2.6.6. Zastoupení

Zastoupení dřeviny je procentuální plošný podíl, kterým se daná dřevina svoji redukovanou plochou podílí na celkové redukované ploše porostu (vzorec (2.9)). Zastoupení dřeviny můžeme taktéž zjistit za pomoci zakmenění, a to přesněji podílem zakmenění dřeviny ku zakmenění celkovému (vzorec (2.10)). Jednotlivé dřeviny ve výsledku musí být rovny 100 %. Často se také setkáme s tím, že zastoupení dřevin určujeme odhadem. V tomto případě se tedy odhad bude provádět alespoň na pěti pravidelně rozmístěných místech. Pokud je porost víceetážový, tak odhad musíme pro každou etáž provést zvlášť (Štipl, 2000).

$$zast = \frac{P_{RED(dřevina)}}{P_{RED}} * 100\% \quad (2.9)$$

kde  $P_{RED(dřevina)}$  – je redukovaná plocha dřeviny,

$P_{RED}$  – je celková redukovaná plocha

$$zast = \frac{\rho_{(dřevina)}}{\rho_{porost}} \quad (2.10)$$

kde  $\rho_{(dřevina)}$  – je zakmenění jednotlivé dřeviny,

$\rho_{porost}$  – je zakmenění celého porostu

## 2.7. Zásoba porostu

Zásoba porostu představuje objem všech stromů nacházejících se v daném porostu. Zásobu je možno zjistit hned několika metody. Mezi ty nejčastější patří metoda objemových tabulek, metoda jednotných hmotových křivek JHK nebo zjištění zásoby odhadem za pomoci taxačních tabulek. Každá ze zmíněných metod je zaměřena na jiné přednosti. Metoda objemových tabulek si klade za cíl vyšší přesnost určení zásoby, zatímco metoda JHK se snaží zjednodušit samostatný proces a redukovat potřebný rozsah měření. Obě tyto metody lze využívat jak při celoplošném průměrkování, tak i při použití reprezentativních metod. Co se týče odhadu za pomoci taxačních tabulek, jsou výsledky značně ovlivňovány zkušenostmi měřiče a využívají se na místech, kde tolik nezáleží na přesnosti např. velmi mladé porosty.

### 2.7.1. Objemové tabulky

Objemové tabulky slouží ke zjištění objemu průměrného kmene ze znalosti vyrovnané výšky a tloušťkového stupně. Objemové tabulky jsou téměř vždy vytvořeny pro určitou dřevinu zvlášť. Jejich použití je možné využívat ve všech věkových strukturách porostů. V lesnické praxi je tato metoda hojně využívána, a to hlavně díky její snadnosti použití a relativně vysoké přesnosti.

Při použití této metody je důležitá znalost tloušťky, výšky a počtu měřených stromů. „Pro každou dřevinu je zaměřeno 3-7 výšek v každém tloušťkovém stupni; 3 výšky pro okrajové tloušťkové stupně, 5-7 pro tloušťkové stupně nejpočetnější“ (Kuželka, 2017). Poté jsou za pomoci výškové křivky odvozeny vyrovnané výšky a tloušťky rozděleny do tloušťkových stupňů. Ze znalosti vyrovnané výšky a tloušťkového stupně, můžeme z tabulek vyčíst objem pro jednotlivé dřeviny, které vynásobíme jejich počtem. U celoplošného průměrkování je výsledná zásoba spočítána sečtením objemů jednotlivých dřevin, zatímco u zkusných ploch je odvozena za pomoci statických výpočtů.

### 2.7.2. Jednotné hmotové křivky (JHK)

Metoda jednotné hmotové křivky má využití u určování porostní zásoby u stejnověkových porostů. Klade si za cíl zefektivnit metodu objemových tabulek. To dosahuje menším potřebným počtem změřených výšek a zjednodušením výpočtů. Využívá tzv. systém výškových křivek, který vytváří modely, jaké by měli mít výšky jednotlivé dřeviny na daném území. Místo toho, aby se pro daný porost vytvářela specifická výšková křivka je na základě znalosti střední výšky a tloušťky je vybrána vhodná křivka z modelových výškových křivek. Z modelové výškové křivky pak vyčteme vyrovnané výšky pro jednotlivé tloušťkové stupně. Ta se dále použije v systému jednotných hmotových křivek (JHK). V systému JHK vyčteme objemy pro jednotlivé tloušťkové stupně.

Střední tloušťka potřebná k zjištění modelové výškové křivky je odvozena z průměrné kmenové základny a střední výška z aritmetického průměru změřených výšek 20-25 náhodně vybraných stromů, které se výčetní tloušťkou přibližují ke střední tloušťce ( $\pm 3$  cm) (Kuželka, 2017).

### **2.7.3. Taxační tabulky**

Odhad porostní zásoby za pomoci taxačních tabulek se používá díky svým přednostem, které jsou rychlost a nízké náklady. Je to jednoduchá metoda, která se využívá na místech, kde není potřeba vysoká přesnost výstupů. Metoda nalezne uplatnění např. při tvoření lesního hospodářského plánu.

Taxační tabulky byly vytvořené pro typické růstové oblasti České republiky a jako ostatní tabulky jsou tvořeny pro jednotlivé dřeviny zvlášť. Popisují vztahy mezi porostními veličinami v plně zakmeněných stejnověkových nesmíšených porostech. Veličiny potřebné na práci s taxačními tabulkami jsou střední tloušťka, střední výška a věk. Z tabulek je pak možné zjistit absolutní, relativní bonitu dřeviny, počet kmenů na hektar, hektarovou zásobu hroubí s kůrou a hektarovou kruhovou základnu.

### **2.7.4. Československé objemové tabulky**

Československé objemové tabulky (ČSOT) nejsou veřejnosti tolik známe jako zbylé metody na výpočet objemu, a přesto jsou již téměř třicet let staré. Jedná se o soustavu rovnic pro výpočet objemu stromu. Jejich výhody oproti ostatním metodám tkví právě v tom, že je to soustava rovnic, a díky tomu nemusíme výšky a výčetní tloušťky nikterak zaokrouhlovat a umožňují nám orientační dopočet veličin jako objem nehroubí nebo objem hroubí u listnatých stromů. Jsme schopni přesněji určit objem hroubí bez kůry, protože je tato veličina sledována přímo na vzorcích (Valenta, 2015)

## **2.8. Laserové skenování**

### **2.8.1. LiDAR**

Lidar je technologie využívající laserových pulzů odrážejících se od povrchu objektu, u kterých měří čas, za který se pulz vrátí. Na základě doby trvání vrácení pulzu je schopný vypočítat vzdálenost mezi senzorem a povrhu objektu na zemském povrchu.

Moderní lidar senzory jsou nesené letadly vybaveny přesným GPS systémem, IMU (zařízení měřící rotace a sklony letadla), rychle pulzujícím laserem, přesnými hodinami, počítačovou podporou a s dostatečnou paměťovou kapacitou. Samotné letecké měření probíhá většinou v noci a jednotlivé linie se překrývají, aby nedošlo k mezerám, které nastávají

ve strmém terénu. Při skenování s potřebnou vysokou přesností se využívá více senzorů na palubě letadla.

Moderní systémy jsou schopny vrátit mnoho výsledků z jednoho laserového pulzu. Z toho důvodu je lidar schopný snímat jak povrch korun stromů a země, tak i vegetace nacházející se mezi stromy (Lillesand, 2015)

### **2.8.2. Letecké laserové skenování**

Laserové skenování je metoda, která za pomoci odrazu tenkého a soustředěného paprsku, vytváří 3D modely skenovaných objektů. Používaný paprsek se obvykle pohybuje ve vlnové délce 900-1064 nanometru, u které je vysoký odraz skenované vegetace (Lefsky, 2002).

Nevýhoda u této vlnové délky je pohlcování paprsku mraky, které znemožňuje využívání skenování za nepříznivého počasí (Lefsky, 2002).

Vytváření 3D modelů se provádí ze znalosti vzdálenosti odraženého paprsku a jeho směru. Vzdálenost odraženého paprsku se zjišťuje dvěma způsoby. Jeden ze způsobů využívá krátkého pulzu světla, u kterého se zjišťuje rozdíl mezi časy vyslání a přijetí paprsku. Jelikož světlo urazí jeden metr přibližně za 3 nanosekundy, tak i malá chyba v měření vytváří velkou chybu ve zjišťované vzdálenosti.

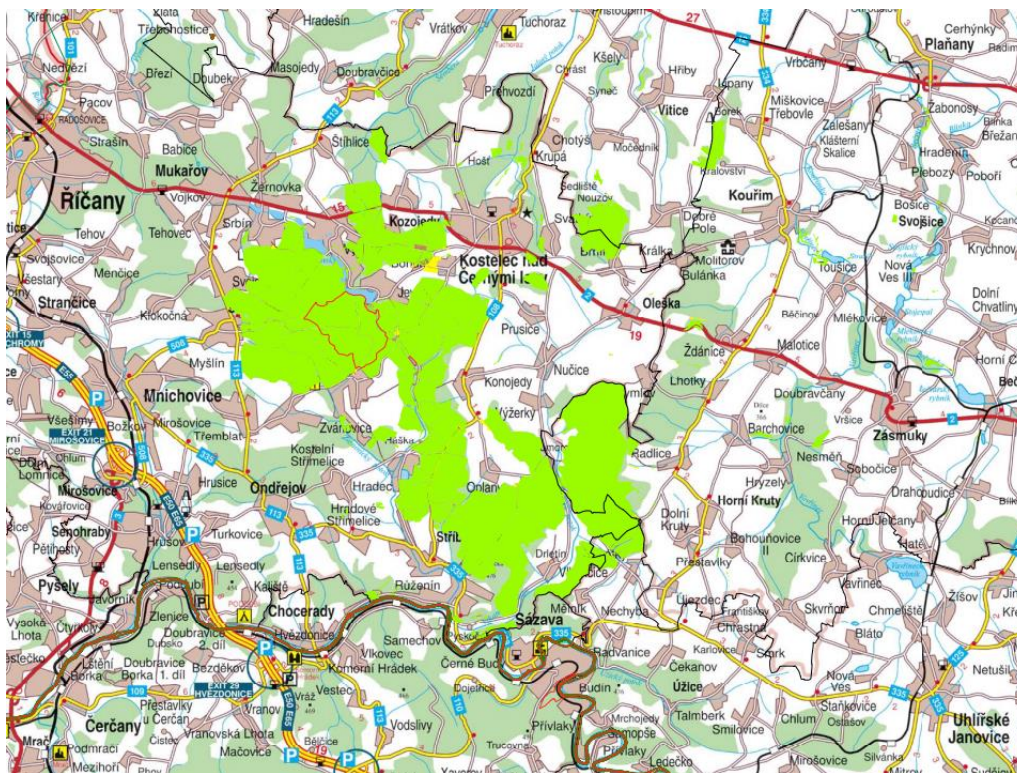
Druhý způsob, který je přesnější než předchozí, využívá fázového posunu. Při stále trvajícím světelném paprsku je známá vlnová délka vysílaného paprsku a ta se poté porovnává s vlnovou délkou přijatého paprsku. V obou způsobech je zaznamenáván horizontální a vertikální úhel vyslaného paprsku. Současně s každým pulsem je zaznamenávána pozice skeneru. Laserové paprsky jsou do prostoru vychylovány za pomoci rotujícího hranolu nebo zrcadla. Nejčastěji jsou paprsky vychylovány do roviny, kolmo na pohyb skeneru, který je nesen letadlem (Surový a Kuželka, 2019). Jeden z dodavatelů tvrdí, že 1000 km<sup>2</sup> hornatého zalesněného terénu může být zmapováno za méně než 12 hodin. (Kavanagh, 2014)

### 3. Metodika

#### 3.1. Popis lokality

Terestriální výzkum probíhal v lesích spravující školní lesní podnik (ŠLP) Kostelec nad Černými lesy, které se nacházejí v okolí města Kostelec nad Černými lesy. Kostelec nad černými lesy je město ležící 30 km východně od Prahy v nadmořské výšce kolem 400 m n. m. V blízkosti se nachází NPR Voděradské bučiny, které mají rozlohu 678,56 ha pozemek určený k plnění funkce lesa (PUPFL) a předmětem ochrany je rozlehlý bukový porost (LHP, 2011).

ŠLP má ve své správě 5756,78 ha PUPFL (Obrázek 3.1), z kterého je 4725 ha ve vlastnictví ČZU v Praze a zbývající část 989 ha je ve vlastnictví ČR, se kterými má ČZU v Praze právo hospodařit. Lesy ve správě ŠLP se rozdělují do 8 lesních úseků: Svojetice, Truba, Ostrák, Bohumile, Penčice, Skalice, Kachní louže a Vlkančice. Drtivá většina spadá do PLO 10 – Středočeská pahorkatina (99,4 %, 5723,06 ha) a zbytek tvoří PLO 17 – Polabí (0,6 %, 33,72 ha). Středočeská pahorkatina se zde dělí na 3 podoblasti: 10a – Středočeský pluton, 10b – Předhoří Brd a Hřebenů a 10c – Železné hory. Převažující část Středočeské pahorkatiny zaujímá Středočeský pluton, který kopíruje intruzivní středočeský masiv lemovaný z jihovýchodu rulami krystalinika Českomoravské vrchoviny a ze severozápadu algonkickými břidlicemi (LHP, 2011).



Obrázek 3.1 Přehledová mapa ŠLP Kostelec nad Černými lesy (LHP, 2011)

Téměř na polovině plochy se nachází 3. vegetační stupeň (dubobukový), menší část (okolo 20 %) zaujímají 2. (bukodubový) a 4. (bukový) vegetační stupně, které mají převážný výskyt na kyselých a živných stanovištích. 4. vegetační stupeň má výskyt také na podmáčených a oglejených stanovištích. V nejmenších polohách je zde zastoupen 1. vegetační stupeň (dubový) a naopak v nejvyšších polohách je zde 5. vegetační stupeň (jedlobukový). 0. vegetační stupeň (borů) je zde zastoupen jen výjimečně např. na skalních výchozech (LHP, 2011).

Co se týče dřevin, tak jehličnaté dřeviny jsou zde nejvíce zastoupeny smrkem, a to na pomálu na 50 % plochy, další nejpočetnější jehličnaté dřeviny jsou zde borovice a modřín, které jsou zastoupeny kolem 16 % a 4 %. U listnatých dřevin je zde nejvíce zastoupen buk 14 %, následuje dub 9 % a habr 1 % (LHP, 2011).

### **3.2. Přípravné práce**

Nejdříve, z důvodu velkého počtu kruhových zkusných ploch, bylo potřeba vytvořit na mapovém podkladu jejich umístění. Tento krok byl hlavně vytvořen z důvodu, aby následná práce v terénu byla jednodušší a plochy byly i zpětně dohledatelné. Při vytváření se vycházelo z aktuálního lesního hospodářského plánu (LHP), a to hlavně za použití dřeviny nacházející na ploše, jejího věku a zastoupení. Podle dřeviny byly plochy rozděleny na plochy s převažující dřevinou smrk, borovice, modřín, buk a dub. Podle věku byly zkusné plochy rozděleny do intervalu 0-29 let, 30-59 let, 60-89 let a porosty starší 90 let. Nakonec byly rozděleny podle zastoupení převažující dřeviny, a to do zastoupení 50-80 % a 80+ %. Ve finále kombinací všech uvedených kritérií nám vyšlo 40 možných kombinací zadání (např. SM, ve věku 0-29 a zastoupením 80+ %). Pro zjištění počtu kruhových zkusných ploch v jednotlivých kombinacích, bylo zapotřebí zjistit z LHP plošné zastoupení jednotlivých dřevin v určitých věkových kategoriích a přiložení jim určité váhy. Váhu jsme přidělovali plochám na základě věku dřevin, které se zde nacházeli. Zjednodušeně starší porosty měli větší váhu než porosty mladší. V praxi to pak vypadalo, že porosty ve věkovém intervalu 0-29 měli váhu 1, porosty ve věku 30-59 měli váhu 2, porosty ve věku 60-89 měli váhu 3 a nakonec porosty starší 90 let měli váhu 4. Díky tomuto postupu nám tedy nejvíce kruhových zkusných ploch vzniklo ve smrkových porostech starších 90 let a vytvořili jsme celkově 418 zkusných ploch.

Dále následovalo vyhledat skutečné umístění ploch v terénu. Tato část probíhala v programu ArcMap a to tak, že byla vytvořena vrstva, do které byly náhodně umístěny kruhové zkusné plochy. Ty následně museli splňovat minimální vzdálenost mezi jednotlivými plochami a podmínku, že nebudou umístěny na okraji porostu. Tato podmínka byla dosažena tak, že

porost byl po celém obvodu zmenšen o lehce větší hodnotu, než byla hodnota průměru velikosti zkusné plochy. Pro lepší představu: Pokud plocha měla velikost 10 arů (její poloměr je tedy 17,84m), vzali jsme tuto hodnotu a lehce ji zvětšili na 20 m. O tuto hodnotu jsme poté porost po celém obvodu zmenšili. Tento princip jsme aplikovali u všech ploch. Výslednou mapu jsme si poté stáhli do svého chytrého telefonu a pracovali jsme s ní v terénu za pomoci aplikace Mapit GIS, která nám za pomoci GPS usnadní vyhledávání ploch v terénu.

Po dokončení umístění ploch, bylo zapotřebí vytvořit společnou metodiku postupu práce v terénu a zanást plochy do Google map. Metodika byla vytvořena z toho důvodu, neboť měření se účastnilo více měřičských skupin a bylo zapotřebí, aby byl zachován stejný postup práce. Ze stejného důvodu byly vytvořeny i Google mapy, do kterých zase různé měřičské skupiny zapisovaly již změřené zkusné plochy.

Následně byly vytvořeny zápisníky, do kterých se v terénu údaje zaznamenávaly a proběhla kontrola funkčnosti a přesnosti použitých měřících přístrojů. Nakonec bylo potřeba zajistit železné roxory, které se využívaly na označování středu zkusných ploch, a prostředky k nedestruktivnímu označování směru středu zkusné plochy.

### **3.3. Práce v terénu**

Před samotným měřením v terénu jsme vždy provedli výběr ploch, které budeme měřit, abychom se samotným výběrem nezdržovali po příjezdu na místo měření a aby nedocházelo k duplikátnímu měření. Hned poté co jsme dorazili, provedli jsme kontrolu měřících přístrojů. Převážně se jednalo o používaný výškoměr Haglof Vertex III, který je náchylný na podmínky prostředí. Kontrola a následná konfigurace probíhala tak, že jsme si pásmem změřili určitý úsek a poté jsme tento úsek změřili i výškoměrem (potažmo dálkoměrem v něm zabudovaném). Pokud tato vzdálenost neodpovídala vzdálenosti změřeného pásmem, provedli jsme konfiguraci výškoměru.

Poté jsme za pomoci aplikace Mapit GIS našli umístění předem vybrané zkusné plochy v terénu. Po dosažení místa, na které nás aplikace dovedla, jsme se snažili objektivně určit, kde zkusnou plochu vytyčíme. Místo muselo splňovat tu podmínku, aby bylo reprezentativní a zároveň, aby ho bylo možno metodou kruhových zkusných ploch správně změřit. Zároveň s tím jsme vyplnili hlavičku předpřipravených zápisníků (kód plochy, měřiči a datum měření).

Na takto nalezeném místě jsme konečně mohli začít vytyčovat kruhovou zkusnou plochu. Z předem stanovené metodiky jsme vybrali velikost zkusné plochy, která byla vybíraná na základě věku porostu. Nastali ale i takové případy, kdy bylo plochu potřeba zvětšit nebo



zmenšit. To bylo zapříčiněno velkým nebo naopak nedostatečným počtem stromů nacházejících se ve zkusné ploše. Do středu zkusné plochy jsme umístili stabilizační značku. V našem případě se jednalo o železné roxory, které je možné zpětně za pomoci detektoru kovu nalézt. Na toto místo jsme umístili rovnou i ultrazvukový transpondér na monopodu. Značkovacím sprejem jsme označili nejbližší strom ke středu zkusné plochy šikmou elipsou, u které nejnižší bod směřoval ke středu plochy. Označený strom tedy musel splňovat ty kritéria, že byl nejbližší středu zkusné plochy, zároveň jeho tloušťka byla větší než 10 cm a ze subjektivního hlediska byl vybírán strom, který měl potenciál, že zde vydrží minimálně dalších 10 let. Od tohoto stromu se změřila vzdálenost do středu plochy a ta se zapsala nad nejnižší bod elipsy. Současně s tím jsme změřili azimut. Ten se rovněž měřil od nejbližšího stromu směrem na střed. Následně jsme na ploše popsali zmlazení dřevin, a to tím způsobem, že jsme odhadem učili kolik % plochy je ve zkusné ploše pokryto zmlazením a pokud se zde vyskytovalo více dřevin ve zmlazení, tak toto % zastoupení jsme rozdělili poměrem jednotlivých zastoupených dřevin (např. na ploše se zmlazením 40 % je na  $\frac{1}{4}$  zastoupen modřín a na  $\frac{3}{4}$  smrk, tak procentuální zmlazení modřínu bude 10 %, zatímco smrku 30 %). Zastoupení dřevin může být od 0-100 %. Oba tyto údaje, jak azimut, tak zmlazení jsme zapsali do zápisníku.

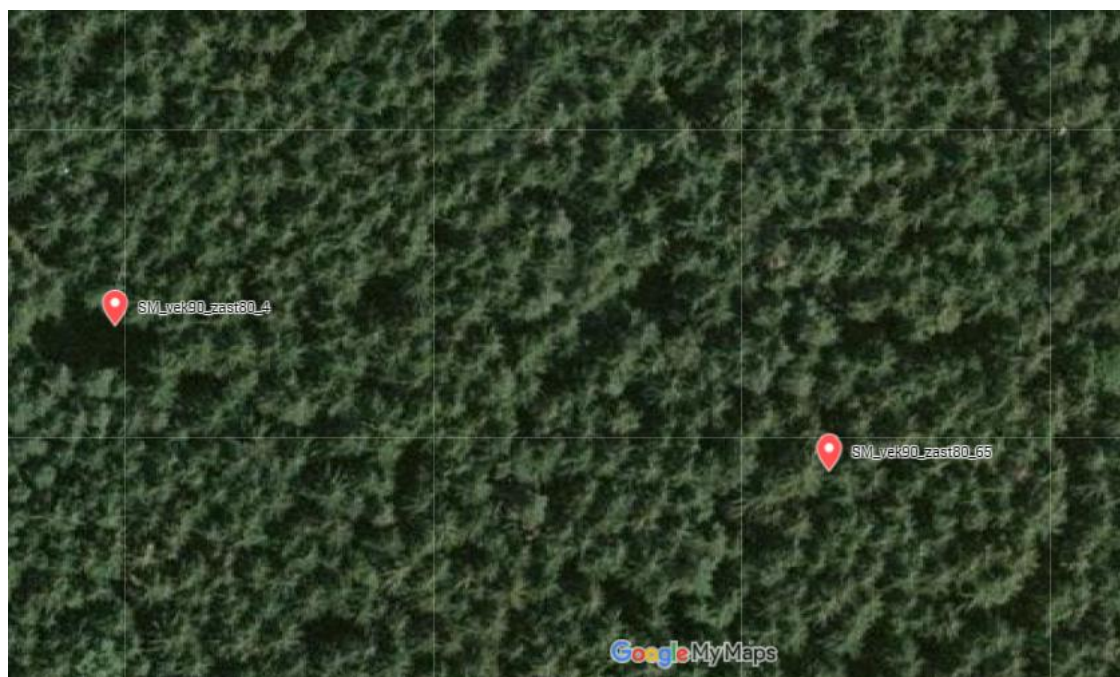
V tento moment již můžeme začít s vytyčováním samostatné zkusné plochy. To probíhá tak, že si od středu plochy najdeme sever, kterým se vydáme do vzdálenosti poloměru zkusné plochy (např. u 10arove zkusné plochy se vydáme 17,84m daleko). Při vytyčování postupujeme po směru hodinových ručiček. Stromy, které se nacházejí ve zkusné ploše nedestruktivně číselně označujeme (např. křídou) a označují se tak, že strom, který je při pohledu ze středu plochy první vpravo od severu je označen číslem 1. Pokud se nám stane, že stromy při pohledu ze středu plochy budou za sebou, tak číslování začneme od vzdálenějšího stromu k tomu nejbližšímu.

Takto vyznačenou plochu můžeme začít měřit. Měření tloušťky a výšky probíhá podle obecných postupů, které jsou zmíněné již teoretické části v této práci. V metodice jsme si stanovili, že při měření tloušťky bude vždy rameno průměrky směřovat do středu zkusné plochy a při měření výšky nás zajímá výška samotného stromu a výška nasazení koruny. Takto změřené stromy jsme mohli zapsat do zápisníku. Zapisování probíhalo tak, že jsme vyplnili k patřičné číslovce nejdříve dvoupísmenný kód měřené dřeviny, tloušťku, výšku a nasazení koruny. Někdy se stalo, že měřené stromy byly zlomené, suché nebo zřetelně nakloněné. Tuto informaci jsme uváděli do poznámek v zápisníku (Obrázek 3.2).

1	Kód plochy	Datum								1	Kód plochy	Datum											
2	SM_vek90_zast80_65	19.09.2019								2	SM_vek90_zast80_4	19.09.2019											
3	Výměra plochy (ar)	Vzdálenost od středového stromu (m)	Azimut (°)							3	Výměra plochy (ar)	Vzdálenost od středového stromu (m)	Azimut (°)										
4	5	3	153							4	5	2	240										
5	Zmlazení	Dřevina	Výška (m)	Pokryvnost (%)						5	Zmlazení	Dřevina	Výška (m)	Pokryvnost (%)									
6	1									6	1												
7	2									7	2												
8	3									8	3												
9	Číslo stromu	Dřevina	Tloušťka (cm)	Výška (m)	Nasazení koruny (m)	Poznámka				9	Číslo stromu	Dřevina	Tloušťka (cm)	Výška (m)	Nasazení koruny (m)	Poznámka							
10	1	SM	33	33	21					10	1	SM	35	34	23								
11	2	SM	24	30	20					11	2	SM	27	30	19								
12	3	SM	27	32	18					12	3	SM	44	36	20								
13	4	SM	33	31	18					13	4	SM	24	27	18								
14	5	SM	36	35	22					14	5	SM	27	30	14								
15	6	SM	34	32	17					15	6	SM	35	34	18								
16	7	SM	35	33	18					16	7	SM	31	32	19								
17	8	SM	58	38	18					17	8	SM	29	33	21								
18	9	BO	41	33	25					18	9	SM	41	35	23								
19	10	SM	46	36	18					19	10	SM	26	28	16								
20	11	SM	49	37	19					20	11	BO	34	34	28								
21	12	SM	44	36	18					21	12	SM	49	37	10								
22	13	SM	33	36	21					22	13	SM	35	34	19								
23	14	SM	40	28	19	zlomená špička				23	14	SM	39	34	15								
24	15	SM	36	34	19					24	15	SM	35	35	21								
25	16	SM	31	33	21					25	16	SM	43	34	14								
26	17	SM	30	32	20					26	17	SM	39	34	17								
27	18	SM	42	36	20					27	18	BO	39	35	27								
28	19	SM	48	33	18					28	19	SM	43	37	20								
29	20	SM	47	34	18					29	20	SM	31	31	21								
30	21	SM	29	31	19					30	21	SM	17	21	14								
31	22	SM	44	35	19					31	22	SM	50	37	19								
32	23	SM	30	33	20					32	23	SM	23	30	19								
33										33													

Obrázek 3.2 Ukázka zápisníku ze zkusných ploch SM\_vek90\_zast80\_65 a SM\_vek90\_zast80\_4

Setkali jsme se i s plochami, které v terénu neodpovídali svým umístěním (např. plocha se měla nacházet v bukovém porostu, ale bukový porost zde nikde nebyl), tak u těchto ploch měření neprobíhalo. Pokud ale jsme narazili na plochy, které se nacházeli ve vykácené části lesa, tak jsme se plochu snažili přesunout do místa, který odpovídal svým věkem, zastoupením a dřevinou. U této plochy jsme pak změnil GPS souřadnice na odpovídající souřadnice kam plocha byla přesunuta. Změřené plochy jsme označili do Google map, popřípadě upravili souřadnice plochy (Obrázek 3.3).



Obrázek 3.3 Zanesení změřených zkusných ploch SM\_vek90\_zast80\_65 a SM\_vek90\_zast80\_4 do Google map

### 3.4. Kancelářské práce

Po návratu ze sběru dat v terénu se začalo s prací na výběru zkusných ploch z mapy všech zkusných ploch vytvořené v ArcMap. Tato část se podstupuje z důvodu, že se jedná o větší projekt v rámci katedry a data měřilo více měřičských skupin. Pro tuto práci je tedy potřeba vybrat všechny změřené plochy, které splňují kritéria zadaného věku. To je provedeno v ArcMap za pomoci Select By Attributes v tabulce vrstvy všech lesních ploch v LHP. V příkaz je postaven tak, aby zvýraznil všechny plochy, kde jsou porosty starší 50 let a zároveň mladší porosty 90 let. Tímto se nám zvýrazní plochy, ze kterých si vytvoříme novou dočasnou vrstvu. Dočasnou vrstvu vytvoříme tak, že když máme vybrané plochy klikneme pravým tlačítkem myši na vrstvu, ze které provádíme výběr, a v rozbalovacím menu vybereme Data a Export Data. Na dočasně vytvořené vrstvě si zobrazíme všechny zkusné plochy, kde ručně označíme všechny plochy, které leží na dočasně vytvořené vrstvě a zároveň jsou změřeny. Z takto označených zkusných ploch můžeme stejným postupem, jako u ploch z LHP, vytvořit novou vrstvu. S takto získanými zkusnými plochami poté pracujeme po zbytek práce. Nakonec vybereme pouze plochy, ve kterých leží vybrané zkusné plochy, a vytvoříme z nich obdobným způsobem novou vrstvu (Obrázek 3.4).



Obrázek 3.4 Vybrané zkusné plochy

Pro další postup je potřeba vypočítat číselníky pro vybrané zkusné plochy. V každém číselníku proběhl výpočet střední výšky, horní výšky, střední tloušťky a zásoby. Střední výška a tloušťka se vypočítala jednoduše za použití aritmetického průměru naměřených hodnot. Co se týče horní výšky, tak její výpočet probíhal jako aritmetický průměr 10 % nejvyšších

stromů na kruhové zkusné ploše bez ohledu na dřevinu. Nakonec proběhl výpočet zásoby. Pro výpočet zásoby je využito rovnic z Československých objemových tabulek. Jelikož nás zajímá zásoba na hektar, je potřeba výslednou zásobu z kruhové zkusné plochy ještě pronásobit takovou hodnotou, aby byla velikost zkusné plochy 1 ha (např. Výslednou zásobu 5 arové zkusné plochy musíme vynásobit 20 ary, abychom zjistili hektarovou zásobu). Veškeré výpočty proběhly v excelu s číselníky (Obrázek 3.5).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Kód plochy	Datum					Poznámka							
2	SM_vek60_zast50_18	07.08.2019												
3	Výměra plochy (ar)	Vzdálenost od středového stromu (m)		Azimut (°)										
4	5	2		15										
5	Zmlazení	Dřevina	Výška (m)	Pokryvnost (%)										
6	1													
7	2													
8	3													
9	Číslo stromu	Dřevina	Tloušťka (cm)	Výška (m)	Nasazení koruny (m)	Poznámka	střední tlč	střední výška		lp	md			
10	1	LP	21	28	13		30,2	29,343		0,42374	0,42374			
11	2	LP	28	29	8		horní výška			0,797228	0,797228			
12	3	SM	24	24	14		34			0,462325				
13	4	SM	21	21	13					0,311467				
14	5	LP	13	14	9					0,081863	0,081863			
15	6	MD	45	34	19	x	y			1,844079		1,844079		
16	7	SM	26	25	11					0,559813				
17	8	MD	26	30	27					0,605802		0,605802		
18	9	MD	36	33	27					1,204856		1,204856		
19	10	MD	40	33	28	x				1,447568		1,447568		

Obrázek 3.5 Ukázka vypočteného číselníku

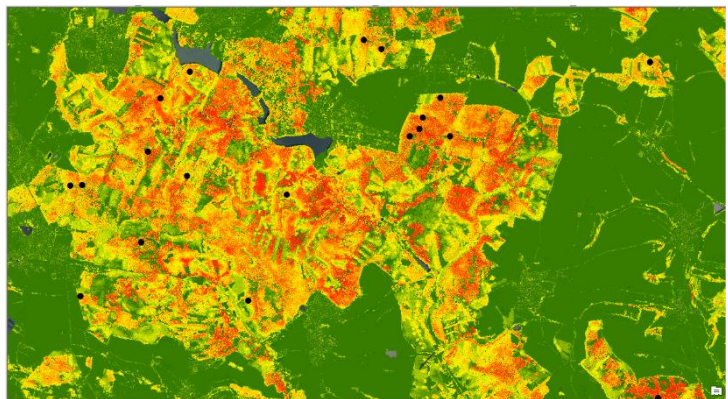
Dále práce pokračuje v programu ArcMap, kde musíme vytvořit tabulku s výsledky z kruhových zkusných ploch a daty z LHP. Tvorba tabulky v ArcMap probíhá tak, že v katalogu pravým kliknutím myši klikneme na náš adresář, kde máme potřebné mapové podklady pro ArcMap, a vybereme z menu New. Po kliknutí na tuto záložku se nám otevře rozbalovací menu, kde vybereme dBase Table. Tímto postupem vytvoříme novou prázdnou databázovou tabulku.

Do prázdné databázové tabulky je v tento moment potřeba vyplnit data. V tabulce tedy vytvoříme 8 nových sloupců: name (kod kruhové zkusné plochy), kod (kod z LHP), vyskaMS (vypočtená střední výška), vyskaMH (vypočtená horní výška), tloustkaMS (vypočtená střední tloušťka), zasobaMS (vypočtená zásoba), vyskaLHP a tloustkLHP (výška a tloušťka z LHP). Do takto předpřipravené tabulky můžeme začít umísťovat již námi vypočtené a známá data. Data do tabulky začneme zapisovat za pomoci Editoru. V rozbalovacím menu Editoru klikneme na Start Editing a můžeme začít zapisovat hodnoty do tabulky. Po zapsání všech potřebných údajů znovu klikneme na Editor a zvolíme Save Edits a následně Stop Editing. Tímto vznikne potřebná tabulka (Obrázek 3.6).

plochy_Novy								
name	kod	VyskaMS	VyskaMH	TloustkaMS	ZasobaM	VyskaLHP	TloustkaLHP	
SM_vek90_zast80_4	116201_629_B_b_9	32,7	37	34,6	638,14	32	40	
SM_vek90_zast80_7	116201_624_E_e_9	34,1	38,5	41,1	634,13	36	47	
SM_vek90_zast80_64	116201_629_A_a_9	34,8	38	43,6	533,02	32	40	
SM_vek90_zast80_65	116201_629_B_b_9	33,5	37,5	37,8	749,46	32	40	
SM_vek90_zast80_66	116201_629_B_b_9	34,4	37,5	35,6	634,95	32	40	
SM_vek90_zast50_10	116201_407_D_d_9	35	38	47,7	664,07	34	54	
SM_vek90_zast50_35	116201_429_F_f_9	26	32	33,6	606,7	25	31	
SM_vek90_zast50_39	116201_423_B_b_8	32	36,5	42,6	448,27	28	40	
SM_vek90_zast50_77	116201_408_A_a_9	26	35,2	31,4	562,84	28	34	
SM_vek90_zast50_89	116201_418_A_a_9	34,7	40	48,7	658,09	26	44	
SM_vek60_zast80_2	116201_627_A_a_7	33,7	36,3	35,9	751,78	25	27	
SM_vek60_zast50_4	116201_123_E_e_8	28	30	30,7	334,23	26	30	
SM_vek60_zast50_7	116201_124_B_b_8	33,1	38	38,9	652,93	28	35	
SM_vek60_zast50_8	116201_443_A_a_8	28,1	33	35,1	512,71	29	36	
SM_vek60_zast50_9	116201_424_A_a_7	24,3	34,3	29,1	527,64	27	33	
SM_vek60_zast50_10	116201_421_B_b_8	29,7	36,7	36,4	723,46	26	33	
SM_vek60_zast50_12	116201_626_F_f_8	33,4	36	42,8	539,21	28	32	
SM_vek60_zast50_15	116201_421_B_b_8	28,2	33,5	31,9	429,54	26	33	
SM_vek60_zast50_16	116201_124_B_b_8	34,3	37	41,3	684,75	28	35	
SM_vek60_zast50_17	116201_443_D_d_8	33	36,5	38	684,75	27	38	
SM_vek60_zast50_18	116201_444_F_f_7b	29,3	34	30,2	650,37	25	27	
SM_vek60_zast50_19	116201_443_D_d_8	32,9	36,5	38	724,48	27	38	
SM_vek60_zast50_27	116201_443_D_d_8	35,3	40,5	44,3	686,39	27	38	
BK_vek90_zast50_7	116201_412_B_b_9	22,2	32,3	23,3	480	22	24	
BK_vek90_zast50_9	116201_402_D_d_9	30	36,8	37,2	566,2	30	37	
BK_vek60_zast80_1	116201_434_F_f_6	23,8	32,2	20,5	528,08	21	21	
BK_vek60_zast50_5	116201_412_F_f_8b	22,8	33	23,7	507,09	24	24	
BO_vek60_zast50_2	116201_408_B_b_8	24,1	34	29,6	638,17	29	37	
BO_vek30_zast80_6	116201_125_E_e_8	19,1	22	17,6	316,42	22	26	
MD_vek60_zast50_1	116201_420_B_b_8	31,2	34	46,5	730,68	24	29	

Obrázek 3.6 Tabulka z ArcMap

V tento moment začneme pracovat i s daty získané leteckým měřením. Do ArcMap si importujeme mapu z leteckého měření, na které jednotlivé pixely znázorňují výšky stromů, které byly získány za pomoci LiDARu neseného letadlem (Obrázek 3.7). Na importované vrstvě si zapneme vrstvu s námi vytvořenými



Obrázek 3.7 Rastr z leteckého skenování



Obrázek 3.8 Buffer kolem zkusných ploch

zkusnými plochami. Kolem vrstvy zkusných ploch vytvoříme v ArcMap buffer za pomocí stejnojmenné funkce. V bufferu vytvoříme kolem zkusných ploch plochy o poloměru 13 m (Obrázek 3.8). Pokud máme takto vytvořený buffer, můžeme pokračit k použití statistického nástroje pro výpočet střední a horní výšky z rastrového výstupu z leteckého skenování. Použijeme v ArcMap nástroj nesoucí název

Zonal Statistic as Table, do které na vstupu zadáme námi vytvořené buffery a rastr z leteckého skenování. Nástroj nám ve výsledku vygeneruje tabulku (Obrázek 3.9), která obsahuje vypočtené údaje z leteckého rastru.

Rowid	NAME	ZONE-CODE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	
1	SM_vek90_zast80_4		1	878	219,5	-0,880005	36,73999	37,619995	30,614384	4,124418	26879,4292
2	SM_vek90_zast80_7		2	879	219,75	-1,75	38,959991	40,709991	30,744324	6,222958	27024,26077
3	SM_vek90_zast80_64		3	877	219,25	-0,959991	37,470001	38,429993	29,570398	6,953588	25933,23919
4	SM_vek90_zast80_65		4	876	219	-0,920013	36,309998	37,230011	29,858629	3,741404	26156,15884
5	SM_vek90_zast80_66		5	878	219,5	-0,619995	37,609985	38,22998	30,553827	4,085527	26826,26019
6	SM_vek90_zast50_10		6	876	219	-0,410004	36,910004	37,320007	32,950578	3,079704	28864,70645
7	SM_vek90_zast50_35		7	865	216,25	0,380005	31,480011	31,100006	24,382859	4,333022	21091,17263
8	SM_vek90_zast50_39		8	872	218	-1,119995	37,23999	38,359985	29,860275	5,875511	26038,15942
9	SM_vek90_zast50_77		9	871	217,75	15,350006	33,100006	17,75	27,337015	2,521978	23810,54013
10	SM_vek90_zast50_89		10	879	219,75	14,47998	37,820007	23,340027	33,745769	2,702875	29662,53082
11	SM_vek60_zast80_2		11	876	219	-0,720001	37,109985	37,829987	31,091177	3,936335	27235,8714
12	SM_vek60_zast50_4		12	875	218,75	-0,100006	29,519989	29,619995	25,289294	2,008154	22128,13189
13	SM_vek60_zast50_7		13	870	217,5	-1,200012	38,299988	39,5	32,93395	4,119315	28652,53659
14	SM_vek60_zast50_8		14	873	218,25	-0,380005	32,320007	32,700012	25,752632	3,851313	22482,04785
15	SM_vek60_zast50_9		15	877	219,25	18,119995	32,669983	14,549988	27,975556	2,620116	24534,562
16	SM_vek60_zast50_10		16	876	219	18,419983	34,880005	16,460022	29,20647	3,160645	25584,86804
17	SM_vek60_zast50_12		17	875	218,75	-0,420013	36,700012	37,120026	30,494505	4,952065	26682,69204
18	SM_vek60_zast50_15		18	877	219,25	-0,369995	33,200012	33,570007	26,998106	4,945427	23677,33923
19	SM_vek60_zast50_16		19	874	218,5	-0,790009	36,899994	37,690002	31,400252	3,832536	27443,81985
20	SM_vek60_zast50_17		20	875	218,75	23,48999	35,829987	12,339996	30,657463	2,20397	26825,27978
21	SM_vek60_zast50_18		21	874	218,5	18,290009	33,579987	15,289978	28,001223	3,017847	24473,06854

Obrázek 3.9 Tabulka z nástroje Zonal Statistic as Table

Pokud dojde k větší odchylce, způsobenou nepřesností GPS systému v lesním prostředí, mezi vypočítanou horní výškou z terénu a leteckou horní výškou, je potřeba plochy s buffery za pomoci zapnutého editoru na mapě manuálně posunout. V případě, že u poznámky není uveden údaj o posunutí zkusné plochy, je posun realizován v rádiu 50 m od středu zkusné plochy. Pokud v poznámce je uvedena informace o změně souřadnic, tak je tento posuv vykonán individuálně v závislosti na zaznamenaném údaji.

Data získané z funkce Zonal Statistic si převedeme do programu Microsoft Excel 2016 (Excel), který je součástí balíčku Microsoft Office Professional Plus 2016. V Excelu nejdříve provedeme výpočet rozdílů mezi výškami získaných z leteckého měření a výškami získaných z terestrického měření. Přesněji rozdíl mezi leteckou horní výškou a vypočítanou horní výškou z terénu a mezi leteckou střední výškou a vypočítanou střední výškou z terénu. Následně za pomoci zjištěného rozdílu proběhl výpočet root-mean-square error (RMSE), který slouží ke zjištění rozptylu chyb (vzorec (3.1)).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N x^2}{N}} \quad (3.1)$$

kde  $N$  – je počet zkusných ploch,

$x$  – je zjištěný rozdíl.

Poté byly provedeny mezi těmito výškami t-testy abychom zjistili, zdali rozdíly mezi těmito veličinami jsou významné nebo nevýznamné. Pro zjištění dalších porostních veličin bylo potřeba provést korelaci, jednoduchou a vícenásobnou regresí. Pro složitější statistické funkce jako je právě korelace a vícenásobná lineární regrese bylo potřeba v Excelu využít nástroj Analýza dat v záložce Data. Abychom tento nástroj měli přístupný, musíme ho nejdříve povolit v Doplňkách Excelu, který lze nalézt v Možnostech po kliknutí na záložku Soubor. V Doplňkách si tedy aktivujeme Analytické nástroje, které obsahují právě nástroj Analýza dat.

Nejprve jsme provedli tedy korelaci pomocí Analýzy dat, abychom zjistili, jak jednotlivé porostní veličiny jsou na sobě závislé. Pro výpočet potřebných modelových porostních veličin jako je střední tloušťka a zásoba je poté použita jak jednoduchá, tak i vícenásobná lineární regrese. Jednoduchá lineární regrese je vytvořena za pomoci bodového grafu v Excelu. V případě zjišťování modelové střední tloušťky je graf na vstupu vytvořen ze zjištěné letecké horní výšky a z vypočítané střední tloušťky z terénu. Do takto vytvořeného grafu vložíme lineární spojnicí trendů a necháme si zobrazit jak rovnici v grafu, tak i hodnotu spolehlivosti R na druhou. Zobrazenou rovnici využijeme na výpočet zjišťované modelové střední tloušťky. Modelovou střední tloušťku tedy získáme po dosazení do rovnice za x vypočtenou leteckou horní výšku. Po zjištění modelové střední tloušťky vytvoříme RMSE mezi vypočítanou střední tloušťkou z terénu a modelovou střední tloušťkou, abychom zjistili rozptyl chyby. Velice podobný postup proběhne i u zjišťování modelové zásoby, kde graf vytvoříme ze zjištěné letecké horní výšky a vypočítané zásoby z terénu. Opět po výpočtu modelové zásoby vytvoříme mezi modelovou a vypočítanou zásobou z terénu RMSE.

Vícenásobnou lineární regresí vytvoříme tedy za pomoci Analýzy dat, kde při výpočtu modelové střední tloušťky do vstupní oblasti Y vložíme vypočítanou střední tloušťku z terénního měření a do vstupní oblasti X vložíme vypočtenou leteckou horní výšku a směrodatnou odchylku z leteckého měření. V menu Regrese si ještě zaklikneme políčko Rezidua, které při generování výsledků vypočte taktéž rezidua. Pro výpočet modelové střední tloušťky je nutné si manuálně vytvořit rovnici lineární regrese z

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	LH	STD	MST - tloušťka				VÝSLEDEK		
2	36,7	4,124418	34,6						
3	39	6,222958	41,1				Regresní statistika		
4	37,5	6,953588	43,6				Násobné t	0,805905	
5	36,3	3,741404	37,8				Hodnota s	0,649484	
6	37,6	4,085527	35,6				Nastavení	0,623519	
7	36,9	3,079704	47,7				Chyba stř.	4,811878	
8	31,5	4,333022	33,6				Pozorovár	30	
9	37,2	5,875511	42,6						
10	33,1	2,521978	31,4				ANOVA		
11	37,8	2,702875	48,7					Rozdíl	SS
12	37,1	3,936335	35,9				Regrese	2	1158,385
13	29,5	2,008154	30,7				Rezidua	27	625,1625
14	38,3	4,119315	38,9				Celkem	29	1783,547
15	32,3	3,851313	35,1						
16	32,7	2,620116	29,1					Koeficienty a stř. hod.	
17	34,9	3,160645	36,4				Hranice	-22,8493	9,294853
18	36,7	4,952065	42,8				LH	1,612609	0,297832
19	33,2	4,945427	31,9				STD	0,675451	0,725481
20	36,9	3,832536	41,3						

Obrázek 3.10 Vícenásobná lineární regrese

koeficientů (Obrázek 3.10). Za pomoci rovnice vypočteme modelovou střední tloušťku. Obdobně vytvoříme rovnici vícenásobné lineární regrese a vypočteme modelovou zásobu. Rozdíl bude v datech na vstupní oblasti Y, kam místo vypočítané střední tloušťky z terénu vložíme vypočítanou zásobu z terénu a provedeme výpočet modelové zásoby. Nakonec provedeme výpočet rozptylu chyby RMSE.



## 4. Výsledky

Veškeré výsledky jsou zobrazené v programu Microsoft Excel 2016, který je součástí balíčku Microsoft Office Professional Plus 2016.

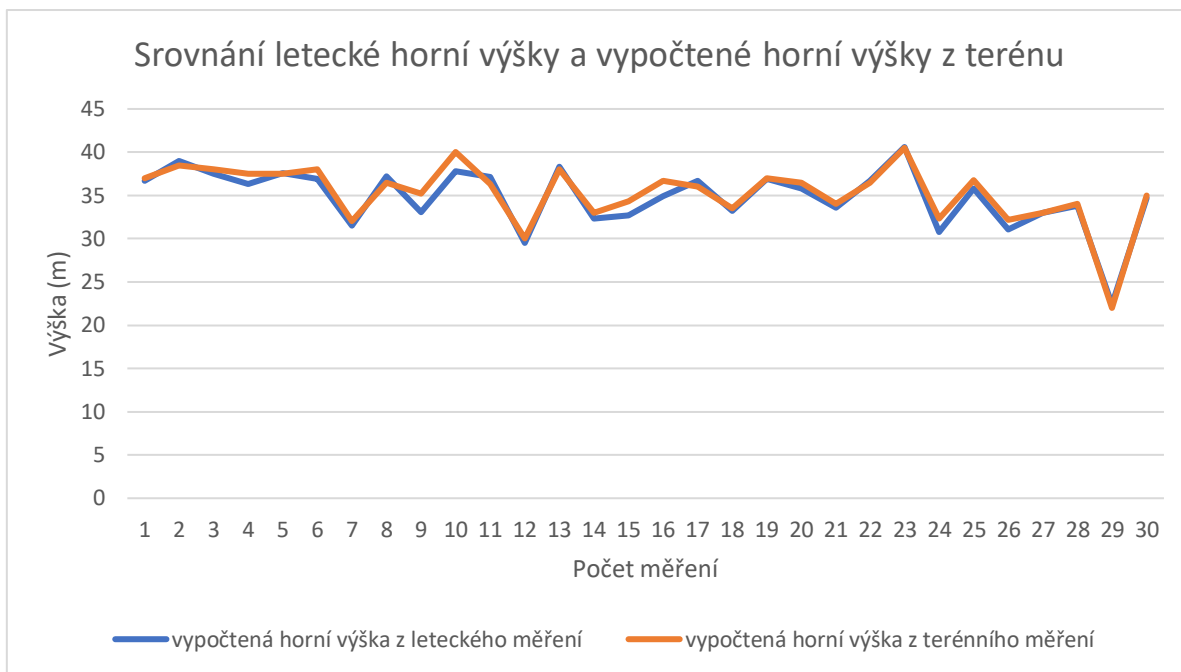
Z korelace jsou odvozeny jednotlivé závislosti mezi veličinami. Tyto závislosti hrály důležitou roli při výpočtu modelových veličin. Čím vyšší číslo z korelace vyjde tím více jsou na sobě jednotlivé veličiny závislé. Celá tabulka z korelace je v Příloha 9.1.

### 4.1. Horní výška

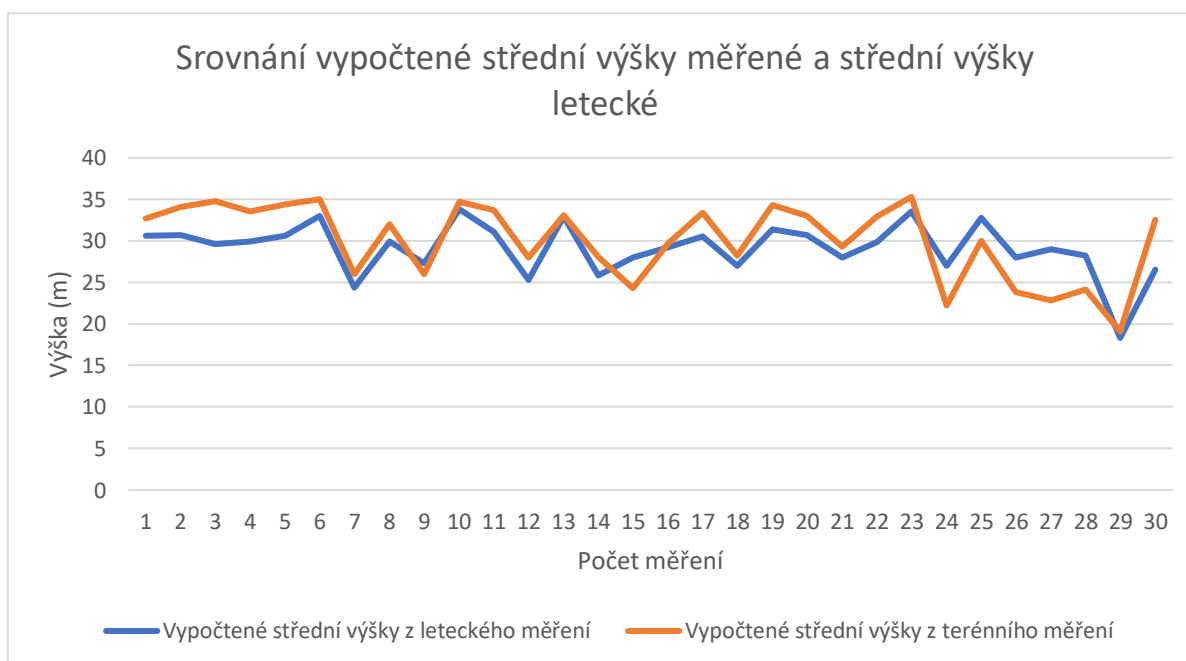
Výsledné horní výšky, jak z leteckého měření, tak i z terénního měření je možné vidět v Tabulka 4.1. Rozptyl chyb (RMSE) mezi těmito veličinami je 0,9 m. Oba způsoby získání horní výšky jsou za pomoci t-testu statisticky porovnány. Hladina testu byla zvolena 0,05 a p-hodnota vyšla 0,604, tudíž nulovou hypotézu nelze zamítnout. Výšky jsou pro srovnání taktéž vloženy do spojnicového grafu (Graf 4.1). Největší odchylky mezi různými metodami získávání horní výšky nastaly na zkušných plochách SM\_vek90\_zast50\_77 a SM\_vek90\_zast50\_89, které činily rozdíl 2,1 m a 2,2 m. Tyto odchylky mohly být způsobeny špatným terestrickým měřením, protože se jedná o celkem již vysoké porosty a mohlo dojít ke špatnému zacílení na vrcholy 10 % horních stromů nebo díky nepřesnosti GPS signálu v lesním prostředí mohli tyto plochy být v terénu vytyčené o trochu jinde, než byly zakreslené v ArcMapu. Zatímco nejmenší rozdíly v horních výškách jsou právě u ploch, kde horní výška je nižší tudíž jsou ze země snáze změřitelné.

Legenda				
LH = vypočtená horní výška z leteckého měření				
MH = vypočtená horní výška z terénního měření				
plocha	LH	MH	rozdíl	
SM_vek90_zast80_4	36,7	37	-0,3	0,09
SM_vek90_zast80_7	39	38,5	0,5	0,25
SM_vek90_zast80_64	37,5	38	-0,5	0,25
SM_vek90_zast80_65	36,3	37,5	-1,2	1,44
SM_vek90_zast80_66	37,6	37,5	0,1	0,01
SM_vek90_zast50_10	36,9	38	-1,1	1,21
SM_vek90_zast50_35	31,5	32	-0,5	0,25
SM_vek90_zast50_39	37,2	36,5	0,7	0,49
SM_vek90_zast50_77	33,1	35,2	-2,1	4,41
SM_vek90_zast50_89	37,8	40	-2,2	4,84
SM_vek60_zast80_2	37,1	36,3	0,8	0,64
SM_vek60_zast50_4	29,5	30	-0,5	0,25
SM_vek60_zast50_7	38,3	38	0,3	0,09
SM_vek60_zast50_8	32,3	33	-0,7	0,49
SM_vek60_zast50_9	32,7	34,3	-1,6	2,56
SM_vek60_zast50_10	34,9	36,7	-1,8	3,24
SM_vek60_zast50_12	36,7	36	0,7	0,49
SM_vek60_zast50_15	33,2	33,5	-0,3	0,09
SM_vek60_zast50_16	36,9	37	-0,1	0,01
SM_vek60_zast50_17	35,8	36,5	-0,7	0,49
SM_vek60_zast50_18	33,6	34	-0,4	0,16
SM_vek60_zast50_19	36,7	36,5	0,2	0,04
SM_vek60_zast50_27	40,6	40,5	0,1	0,01
BK_vek90_zast50_7	30,8	32,3	-1,5	2,25
BK_vek90_zast50_9	35,8	36,8	-1	1
BK_vek60_zast80_1	31,1	32,2	-1,1	1,21
BK_vek60_zast50_5	33	33	0	0
BO_vek60_zast50_2	33,8	34	-0,2	0,04
BO_vek30_zast80_6	22,4	22	0,4	0,16
MD_vek60_zast50_1	34,7	35	-0,3	0,09
průměrný rozdíl:			-0,47667	
			RMSE:	0,9
<b>t-test mezi vypočtenou horní výškou z terénu a leteckou horní výškou</b>				
p=		0,603868		

Tabulka 4.1 Výsledky horních výšek



Graf 4.1 Srovnání vypočtené horní výšky z terénu a letecké horní výšky



Graf 4.2 Srovnání vypočítané střední výšky z terénu a letecké střední výšky

## 4.2. Střední výška

Jednotlivé vypočtené střední výšky můžeme vidět v tabulce (Tabulka 4.2). Střední výšky jsou sice spočítané, ale dál se s nimi nepracuje. Mezi středními výškami je taktéž o dost větší chyba než mezi horními výškami, a to z toho důvodu, že horní výšky jsou přímo měřené z letadla za pomoci Lidaru, ale střední výšky jsou dopočítávané. Rozptyl chyb (RMSE) mezi těmito veličinami je 3,1 m. Byl proveden taktéž t-test, u kterého byla obdobně jako u t-testu horních výšek zvolena hladina testu 0,05 a p-hodnota vyšla 0,362, tudíž nulovou hypotézu nelze zamítnout. Výšky jsou vůči sobě opět srovnané v grafu (Graf 4.2). Střední výšky tedy nejsou použity pro další výpočet modelových veličin.

Legenda				
LS = vypočtená střední výška z leteckého měření				
MS = vypočtená střední výška z terénního měření				
plocha	LS	MS	rozdíl	
SM_vek90_zast80_4	30,6	32,7	-2,1	4,41
SM_vek90_zast80_7	30,7	34,1	-3,4	11,56
SM_vek90_zast80_64	29,6	34,8	-5,2	27,04
SM_vek90_zast80_65	29,9	33,5	-3,6	12,96
SM_vek90_zast80_66	30,6	34,4	-3,8	14,44
SM_vek90_zast50_10	33	35	-2	4
SM_vek90_zast50_35	24,4	26	-1,6	2,56
SM_vek90_zast50_39	29,9	32	-2,1	4,41
SM_vek90_zast50_77	27,3	26	1,3	1,69
SM_vek90_zast50_89	33,8	34,7	-0,9	0,81
SM_vek60_zast80_2	31,1	33,7	-2,6	6,76
SM_vek60_zast50_4	25,3	28	-2,7	7,29
SM_vek60_zast50_7	32,9	33,1	-0,2	0,04
SM_vek60_zast50_8	25,8	28,1	-2,3	5,29
SM_vek60_zast50_9	28	24,3	3,7	13,69
SM_vek60_zast50_10	29,2	29,7	-0,5	0,25
SM_vek60_zast50_12	30,5	33,4	-2,9	8,41
SM_vek60_zast50_15	27	28,2	-1,2	1,44
SM_vek60_zast50_16	31,4	34,3	-2,9	8,41
SM_vek60_zast50_17	30,7	33	-2,3	5,29
SM_vek60_zast50_18	28	29,3	-1,3	1,69
SM_vek60_zast50_19	29,8	32,9	-3,1	9,61
SM_vek60_zast50_27	33,5	35,3	-1,8	3,24
BK_vek90_zast50_7	27	22,2	4,8	23,04
BK_vek90_zast50_9	32,8	30	2,8	7,84
BK_vek60_zast80_1	28	23,8	4,2	17,64
BK_vek60_zast50_5	29	22,8	6,2	38,44
BO_vek60_zast50_2	28,2	24,1	4,1	16,81
BO_vek30_zast80_6	18,3	19,1	-0,8	0,64
MD_vek60_zast50_1	26,5	32,5	-6	36
průměrný rozdíl:			-0,94	
RMSE:			3,1	
t-test mezi vypočtenou střední výškou z terénu a leteckou střední výškou				
p=	0,362			

Tabulka 4.2 Výsledky středních výšek

## 4.3. Střední tloušťka

Výpočet modelové střední tloušťky je proveden dvěma metodami. Nejdříve je proveden za pomoci jednoduché lineární regrese a potom byla zvolena o něco lepší statistická metoda, a to vícenásobná lineární regrese, do které navíc vstupuje směrodatná odchylka jako variabilita porostu.

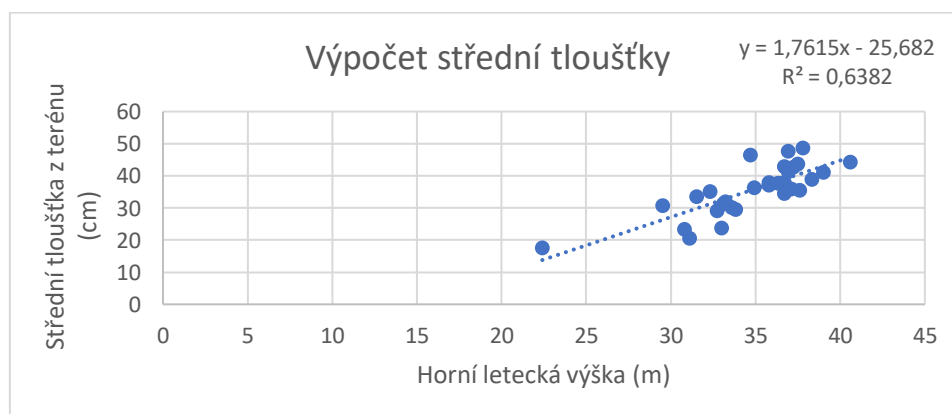
### 4.3.1. Jednoduchá lineární regrese – střední tloušťka

Za pomoci statistického modelu jednoduché lineární regrese můžeme, za pomoci vypočítané letecké horní výšky a vypočítané střední tloušťky z terénu, vymodelovat střední tloušťku (Tabulka 4.3). Koeficient determinace neboli kvalita regresivního modelu vyšla  $R^2 = 0,64$  (Graf 4.3). Tato hodnota nám říká že je provedena 64% predikce modelové střední tloušťky. To je zapříčiněno z toho důvodu, že se jedná o lineární regresi, která počítá s tím, že když se bude

vypočítaná horní výška zvyšovat, tak poroste i závislá modelová střední výška. Z praxe ale víme, že to není úplně pravda, tudíž by bylo lepší provést vícenásobnou lineární regresi, do které vstupuje více údajů nebo pak jinou komplexnější metodu, která zohlední více faktorů samotného růstu. Rozptyl chyb (RMSE) vyšel 4,64 cm (13% odchylka od průměrné hodnoty získané z terénního měření). Dále můžeme u této metody pozorovat rezidua, které jsou zobrazené v grafu v Příloha 9.2.

Legenda				
LH = vypočítaná horní výška z leteckého měření				
MST = modelová střední tloušťka				
rozdíl = je brán rozdíl mezi vypočítanou a modelovou střední tloušťkou				
plocha	LH	MST	rozdíl	
SM_vek90_zast80_4	36,7	38,96505	-4,36505	19,05366
SM_vek90_zast80_7	39	43,0165	-1,9165	3,672972
SM_vek90_zast80_64	37,5	40,37425	3,22575	10,40546
SM_vek90_zast80_65	36,3	38,26045	-0,46045	0,212014
SM_vek90_zast80_66	37,6	40,5504	-4,9504	24,50646
SM_vek90_zast50_10	36,9	39,31735	8,38265	70,26882
SM_vek90_zast50_35	31,5	29,80525	3,79475	14,40013
SM_vek90_zast50_39	37,2	39,8458	2,7542	7,585618
SM_vek90_zast50_77	33,1	32,62365	-1,22365	1,497319
SM_vek90_zast50_89	37,8	40,9027	7,7973	60,79789
SM_vek60_zast80_2	37,1	39,66965	-3,76965	14,21026
SM_vek60_zast50_4	29,5	26,28225	4,41775	19,51652
SM_vek60_zast50_7	38,3	41,78345	-2,88345	8,314284
SM_vek60_zast50_8	32,3	31,21445	3,88555	15,0975
SM_vek60_zast50_9	32,7	31,91905	-2,81905	7,947043
SM_vek60_zast50_10	34,9	35,79435	0,60565	0,366812
SM_vek60_zast50_12	36,7	38,96505	3,83495	14,70684
SM_vek60_zast50_15	33,2	32,7998	-0,8998	0,80964
SM_vek60_zast50_16	36,9	39,31735	1,98265	3,930901
SM_vek60_zast50_17	35,8	37,3797	0,6203	0,384772
SM_vek60_zast50_18	33,6	33,5044	-3,3044	10,91906
SM_vek60_zast50_19	36,7	38,96505	-0,96505	0,931322
SM_vek60_zast50_27	40,6	45,8349	-1,5349	2,355918
BK_vek90_zast50_7	30,8	28,5722	-5,2722	27,79609
BK_vek90_zast50_9	35,8	37,3797	-0,1797	0,032292
BK_vek60_zast80_1	31,1	29,10065	-8,60065	73,97118
BK_vek60_zast50_5	33	32,4475	-8,7475	76,51876
BO_vek60_zast50_2	33,8	33,8567	-4,2567	18,11949
BO_vek30_zast80_6	22,4	13,7756	3,8244	14,62604
MD_vek60_zast50_1	34,7	35,44205	11,05795	122,2783
			RMSE=	4,637648

Tabulka 4.3 Výsledek modelové střední tloušťky za pomoci jednoduché lineární regrese



Graf 4.3 Výpočet střední tloušťky

### 4.3.2. Vícenásobná lineární regrese – střední tloušťka

Jako další model pro vymodelování střední tloušťky byla použita vícenásobná lineární regrese, do které společně s vypočítanou horní výškou vstupuje taktéž směrodatná odchylka jako variabilita porostu a vypočítaná střední tloušťka z terénu. U této statistické metody vychází koeficient determinace  $R^2 = 0,65$  (Tabulka 4.4). Tato hodnota nám říká

VÝSLEDEK	
Regresní statistika	
Násobné R	0,805905
Hodnota spolehlivosti R	0,649484
Nastavená hodnota spolehlivosti F	0,623519
Chyba stř. hodnoty	4,811878
Pozorování	30

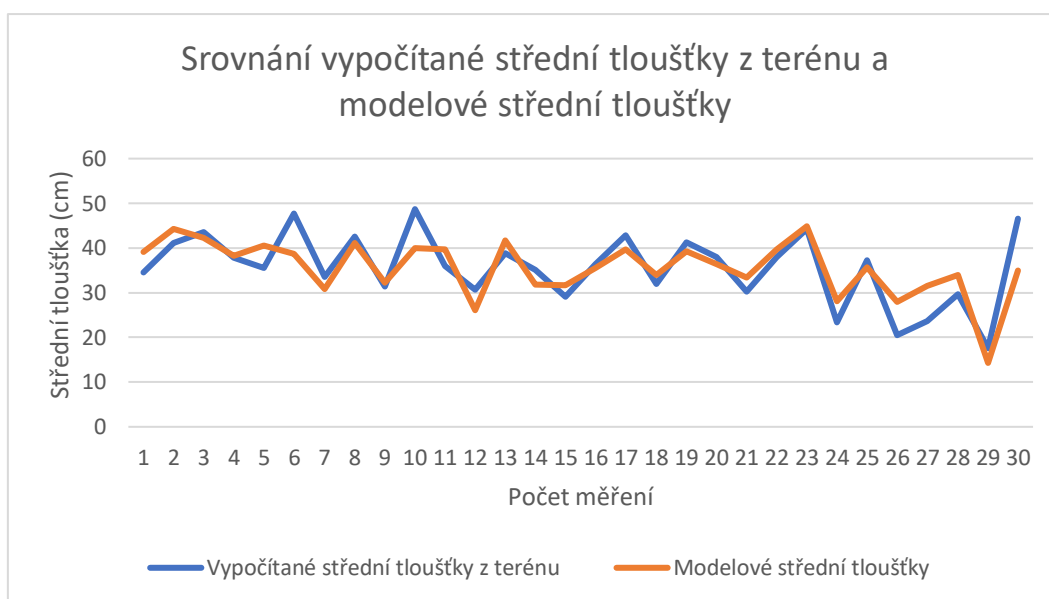
Tabulka 4.4 Koeficient determinace u modelové tloušťky

že je provedena 65% predikce modelové střední výšky.  $R^2$  je od předchozí metody nepatrně vyšší.

Bohužel opět jako u minulého modelu můžeme vidět, že s rostoucí horní výškou nám má tendenci také růst modelová střední tloušťka i přesto, že v tomto modelu je zahrnuta směrodatná odchylka, která má sloužit jako variabilita porostu. Rozptyl chyb nám od předchozího modelu vyšel s minimálním rozdílem menší  $RMSE = 4,56$  cm (13% odchylka od průměrné hodnoty získané z terénního měření) (Tabulka 4.5). Jelikož u této metody je vyšší koeficient determinace je rovněž za pomoci grafu porovnávána s vypočítanou střední tloušťkou z terénu (Graf 4.4). Dále můžeme u této metody pozorovat rezidua, které jsou zobrazené v grafu Příloha 9.3. Celý výstup z této statistické metody včetně koeficientu, z kterých se vytvářela rovnice vícenásobné lineární regrese je v Příloha 9.4.

Legenda					
LH = vypočítaná horní výška z leteckého měření					
MST = modelová střední tloušťka					
STD = vypočítaná směrodatná odchylka					
rozdíl = je brán rozdíl mezi vypočítanou a modelovou střední tloušťkou					
plocha	LH	STD	MST	rozdíl	
SM_vek90_zast80_4	36,7	4,124418	39,11933	-4,51933	20,42432
SM_vek90_zast80_7	39	6,222958	44,24579	-3,14579	9,896004
SM_vek90_zast80_64	37,5	6,953588	42,32038	1,279618	1,637421
SM_vek90_zast80_65	36,3	3,741404	38,21558	-0,41558	0,172704
SM_vek90_zast80_66	37,6	4,085527	40,54441	-4,94441	24,44716
SM_vek90_zast50_10	36,9	3,079704	38,7362	8,963804	80,34978
SM_vek90_zast50_35	31,5	4,333022	30,87466	2,72534	7,427476
SM_vek90_zast50_39	37,2	5,875511	41,10841	1,491589	2,224838
SM_vek90_zast50_77	33,1	2,521978	32,23156	-0,83156	0,691497
SM_vek90_zast50_89	37,8	2,702875	39,93301	8,766985	76,86003
SM_vek60_zast80_2	37,1	3,936335	39,63733	-3,73733	13,96764
SM_vek60_zast50_4	29,5	2,008154	26,07911	4,620894	21,35266
SM_vek60_zast50_7	38,3	4,119315	41,69606	-2,79606	7,817929
SM_vek60_zast50_8	32,3	3,851313	31,83938	3,260623	10,63166
SM_vek60_zast50_9	32,7	2,620116	31,65281	-2,55281	6,516823
SM_vek60_zast50_10	34,9	3,160645	35,56565	0,834351	0,696142
SM_vek60_zast50_12	36,7	4,952065	39,67836	3,121637	9,744617
SM_vek60_zast50_15	33,2	4,945427	34,02975	-2,12975	4,535819
SM_vek60_zast50_16	36,9	3,832536	39,2447	2,055303	4,224268
SM_vek60_zast50_17	35,8	2,20397	36,37081	1,62919	2,654261
SM_vek60_zast50_18	33,6	3,017847	33,3728	-3,1728	10,06668
SM_vek60_zast50_19	36,7	4,972108	39,6919	-1,6919	2,86253
SM_vek60_zast50_27	40,6	3,322512	44,86686	-0,56686	0,321326
BK_vek90_zast50_7	30,8	1,84869	28,06779	-4,76779	22,7318
BK_vek90_zast50_9	35,8	1,287492	35,75177	1,448227	2,09736
BK_vek60_zast80_1	31,1	1,058914	28,01812	-7,51812	56,52206
BK_vek60_zast50_5	33	1,682942	31,50357	-7,80357	60,89577
BO_vek60_zast50_2	33,8	3,518613	34,03357	-4,43357	19,65653
BO_vek30_zast80_6	22,4	1,512338	14,29468	3,305321	10,92515
MD_vek60_zast50_1	34,7	2,764676	34,97567	11,52433	132,8102
				RMSE=	4,56

Tabulka 4.5 Výsledek modelové střední tloušťky za pomoci vícenásobné lineární regrese



Graf 4.4 Srovnání vypočítané střední tloušťky z terénu a modelové střední tloušťky

#### 4.4. Zásoba

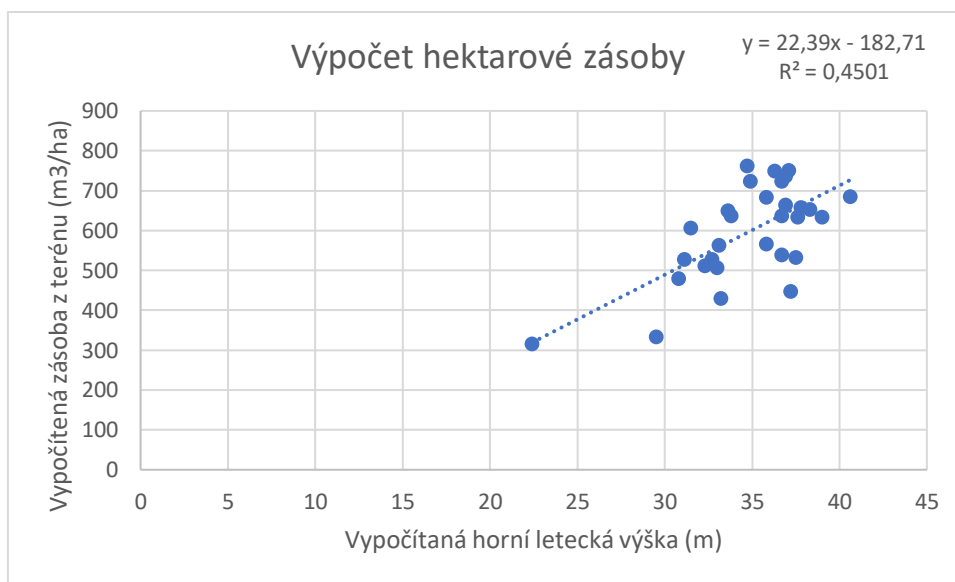
Výpočet modelové zásoby je proveden dvěma metodami. Nejdříve je proveden za pomoci jednoduché lineární regrese a potom byla zvolena o něco lepší statistická metoda, a to vícenásobná lineární regrese, do které navíc vstupuje směrodatná odchylka jako variabilita porostu

##### 4.4.1. Jednoduchá lineární regrese – zásoba

Za pomoci statistického modelu jednoduché lineární regrese můžeme za pomoci vypočítané letecké horní výšky a vypočítané střední tloušťky z terénu, obdobně jako u modelování střední tloušťky, vymodelovat hektarovou zásobu (Tabulka 4.6). Koeficient determinace neboli kvalita regresivního modelu vyšla poměrně nízká a to  $R^2 = 0,45$  (Graf 4.5). Tato hodnota nám říká že je provedena 45% predikce modelové zásoby. To je zapříčiněno z toho důvodu, že se jedná o lineární regresi, která počítá s tím, že když se bude vypočítaná horní výška zvyšovat, tak poroste i závislá modelová zásoba. Z praxe ale víme, že to není úplně pravda, tudíž by bylo lepší provést vícenásobnou lineární regresi, do které vstupuje více údajů nebo pak jinou komplexnější metodu, která zohlední více faktorů samotného růstu porostu. Rozptyl chyb (RMSE) vyšel  $86,54 \text{ m}^3$  (15% odchylka od průměrné hodnoty získané z terénního měření). Dále můžeme u této metody pozorovat rezidua, které jsou zobrazené v grafu Příloha 9.5.

plocha	LH	modelová zásoba	rozdíl	
SM_vek90_zast80_4	36,7	639,003	-0,863	0,744769
SM_vek90_zast80_7	39	690,5	-56,37	3177,577
SM_vek90_zast80_64	37,5	656,915	-123,895	15349,97
SM_vek90_zast80_65	36,3	630,047	119,413	14259,46
SM_vek90_zast80_66	37,6	659,154	-24,204	585,8336
SM_vek90_zast50_10	36,9	643,481	20,589	423,9069
SM_vek90_zast50_35	31,5	522,575	84,125	7077,016
SM_vek90_zast50_39	37,2	650,198	-201,928	40774,92
SM_vek90_zast50_77	33,1	558,399	4,441	19,72248
SM_vek90_zast50_89	37,8	663,632	-5,542	30,71376
SM_vek60_zast80_2	37,1	647,959	103,821	10778,8
SM_vek60_zast50_4	29,5	477,795	-143,565	20610,91
SM_vek60_zast50_7	38,3	674,827	-21,897	479,4786
SM_vek60_zast50_8	32,3	540,487	-27,777	771,5617
SM_vek60_zast50_9	32,7	549,443	-21,803	475,3708
SM_vek60_zast50_10	34,9	598,701	124,759	15564,81
SM_vek60_zast50_12	36,7	639,003	-99,793	9958,643
SM_vek60_zast50_15	33,2	560,638	-131,098	17186,69
SM_vek60_zast50_16	36,9	643,481	93,049	8658,116
SM_vek60_zast50_17	35,8	618,852	65,898	4342,546
SM_vek60_zast50_18	33,6	569,594	80,776	6524,762
SM_vek60_zast50_19	36,7	639,003	85,477	7306,318
SM_vek60_zast50_27	40,6	726,324	-39,934	1594,724
BK_vek90_zast50_7	30,8	506,902	-26,902	723,7176
BK_vek90_zast50_9	35,8	618,852	-52,652	2772,233
BK_vek60_zast80_1	31,1	513,619	14,461	209,1205
BK_vek60_zast50_5	33	556,16	-49,07	2407,865
BO_vek60_zast50_2	33,8	574,072	64,098	4108,554
BO_vek30_zast80_6	22,4	318,826	-2,406	5,788836
MD_vek60_zast50_1	34,7	594,223	168,787	28489,05
			<b>RMSE=</b>	<b>86,5388</b>

Tabulka 4.6 Výsledek modelové zásoby za pomoci jednoduché lineární regrese



Graf 4.5 Výpočet hektarové zásoby

#### 4.4.2. Vícenásobná lineární regrese – zásoba

Pro vymodelování hektarové zásoby je použita vícenásobná lineární regrese, do které společně s vypočítanou horní výškou vstupuje taktéž směrodatná odchylka jako variabilita porostu a vypočítaná hektarová zásoba z terénu. U této statistické metody vychází koeficient determinace  $R^2 = 0,50$  (Tabulka 4.7). Tato hodnota nám říká že je provedena 50%

predikce modelové střední výšky.  $R^2$  je od předchozí metody je o 5% vyšší. Bohužel opět jako u minulého modelu můžeme vidět, že s rostoucí horní výškou nám má tendenci také růst modelová zásoba i přesto, že v tomto modelu je zahrnuta směrodatná odchylka, která má sloužit jako variabilita porostu. Rozptyl chyb nám od předchozího modelu vyšel s minimálním rozdílem menší  $RMSE = 82,31 \text{ m}^3$  (14% odchylka od průměrné hodnoty získané z terénního měření) (Tabulka 4.8). Jelikož u této metody je vyšší koeficient determinace je rovněž za pomoci grafu porovnávána s vypočítanou střední tloušťkou z terénu (Graf 4.6). Dále můžeme u této metody pozorovat rezidua, které jsou zobrazené v grafu Příloha 9.6. Celý výstup z této statistické metody včetně koeficientu, z kterých se vytvářela rovnice vícenásobné lineární regrese je v Příloha 9.7.

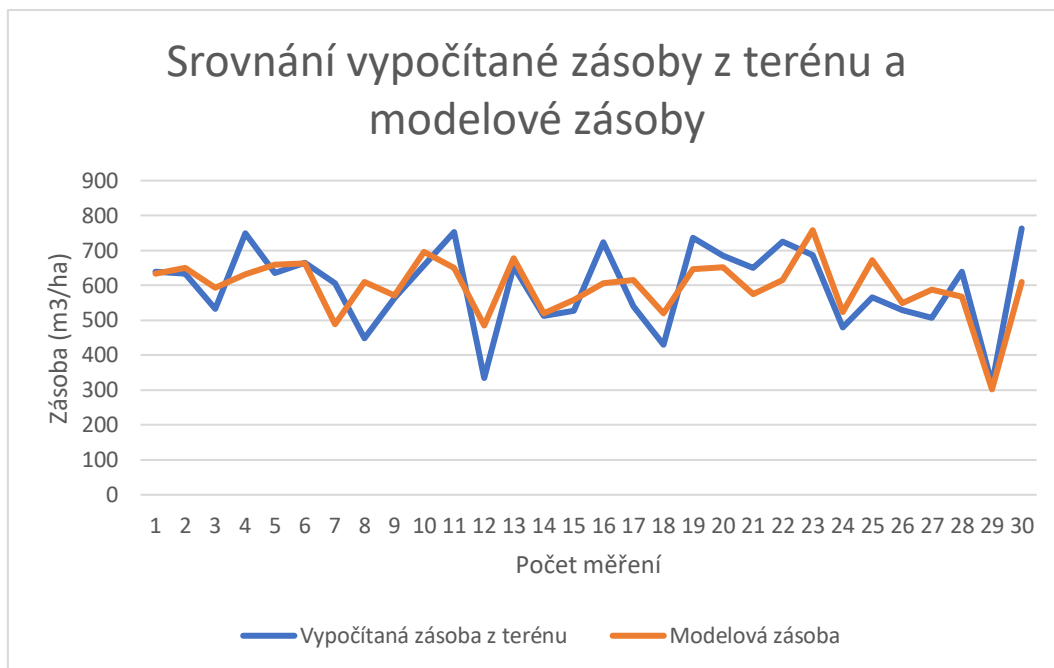
VÝSLEDEK	
Regresní statistika	
Násobné R	0,708893
Hodnota spolehlivosti R	0,502529
Nastavená hodnota spolehlivosti	0,465679
Chyba stř. hodnoty	86,76304
Pozorování	30

Tabulka 4.7 Koeficient determinace u modelové zásoby

Legenda					
LH = vypočítaná horní výška z leteckého měření					
modelová zásoba = modelovaná zásoba					
STD = vypočítaná směrodatná odchylka					
rozdíl = je brán rozdíl mezi vypočítanou a modelovou zásobou					
plocha	LH	STD	modelová zásoba	rozdíl	
SM_vek90_zast80_4	36,7	4,124418	634,0029782	4,137022	17,11495
SM_vek90_zast80_7	39	6,222958	650,3854078	-16,2554	264,2383
SM_vek90_zast80_64	37,5	6,953588	593,3820899	-60,3621	3643,582
SM_vek90_zast80_65	36,3	3,741404	631,552139	117,9079	13902,26
SM_vek90_zast80_66	37,6	4,085527	659,3904164	-24,4404	597,334
SM_vek90_zast50_10	36,9	3,079704	662,5052179	1,564782	2,448543
SM_vek90_zast50_35	31,5	4,333022	487,6752336	119,0248	14166,9
SM_vek90_zast50_39	37,2	5,875511	608,993073	-160,723	25831,91
SM_vek90_zast50_77	33,1	2,521978	571,2430201	-8,40302	70,61075
SM_vek90_zast50_89	37,8	2,702875	695,3491497	-37,2591	1388,244
SM_vek60_zast80_2	37,1	3,936335	649,0548896	102,7251	10552,45
SM_vek60_zast50_4	29,5	2,008154	484,463099	-150,233	22569,98
SM_vek60_zast50_7	38,3	4,119315	677,7232556	-24,7933	614,7055
SM_vek60_zast50_8	32,3	3,851313	520,1078289	-7,39783	54,72787
SM_vek60_zast50_9	32,7	2,620116	558,1757163	-30,5357	932,43
SM_vek60_zast50_10	34,9	3,160645	606,209679	117,2503	13747,64
SM_vek60_zast50_12	36,7	4,952065	615,7412125	-76,5312	5857,026
SM_vek60_zast50_15	33,2	4,945427	520,495875	-90,9559	8272,971
SM_vek60_zast50_16	36,9	3,832536	645,8942211	90,63578	8214,844
SM_vek60_zast50_17	35,8	2,20397	651,8477269	32,90227	1082,56
SM_vek60_zast50_18	33,6	3,017847	573,92923	76,44077	5843,191
SM_vek60_zast50_19	36,7	4,972108	615,2989701	109,181	11920,5
SM_vek60_zast50_27	40,6	3,322512	757,9905002	-71,6005	5126,632
BK_vek90_zast50_7	30,8	1,84869	523,4128621	-43,4129	1884,677
BK_vek90_zast50_9	35,8	1,287492	672,0695202	-105,87	11208,36
BK_vek60_zast80_1	31,1	1,058914	549,0154566	-20,9355	438,2933
BK_vek60_zast50_5	33	1,682942	587,0306004	-79,9406	6390,5
BO_vek60_zast50_2	33,8	3,518613	568,3309489	69,83905	4877,493
BO_vek30_zast80_6	22,4	1,512338	301,8940342	14,52597	211,0037
MD_vek60_zast50_1	34,7	2,764676	609,4956479	153,5144	23566,66
				RMSE=	82,31

Tabulka 4.8 Výsledek modelové střední tloušťky za pomoci vícenásobné lineární regrese





Graf 4.6 Srovnání vypočítané zásoby z terénu a modelové zásoby

## 5. Diskuze

U samotného sběru dat, terestrickým způsobem, byly použity velmi podobné postupy zjišťování porostních veličin, tak jak je popisuje odborná literatura a při terénním měření nenastaly situace, které by tyto postupy vyvracely. Použité metody jsou již nějakou dobu praxí využívané a ověřené. Avšak dlouhou dobu se tyto metody nijak neměnily a jejich časová a finanční efektivnost a aktuálnost v dnešní době začíná zaostávat. S příchodem bezpilotních letadel a dronů se objevila nová možnost, jak tento sběr dat dále zefektivňovat. Tato metoda sběru dat bohužel ještě není dotažena k dokonalosti a pro její využití v širším měřítku je potřeba provést nespočet vědeckých ověřování. Nicméně pro samotnou praxi může v budoucnu, oproti již zavedeným metodám, přivést spousty výhod, jako je např. vyšší dosažená přesnost, menší časová náročnost, aktuálnost změřených dat atd.

Při sběru dat v terénu nastal problém, který v literatuře nebyl zmíněn. Tím byl rozdíl polohy středu kruhové zkusné plochy v terénu od vrstvy vytvořené v Arcmapu. Poloha zkusných ploch byla před vygenerována v kanceláři a poté se plochy hledali za pomocí GPS signálu v porostu. Při tomto postupu docházelo ke zkreslení umístění ploch a v některých případech i obtížnému hledání ploch v samotném terénu. Při opakování stejného nebo podobného měření by bylo možno studii provádět dvěma jinými způsoby. Jedním z nich by mohl být ten, že by v přípravných pracích neprobíhalo před vygenerování umístění ploch, ale pouze by se vybraly porosty, ve kterých se zkusné plochy budou vytyčovat. Navigace v terénu by mohla probíhat v kombinaci lesnické mapy a GPS systému, tudíž by bylo možné využívat i lesní cesty, které v „obyčejné mapě“ nejsou zakresleny a zefektivnit pohyb v lese. Střed vytyčené zkusné plochy by byl poté zapsán za pomocí GPS souřadnic. U tohoto způsobu stále může docházet ke zkreslení umístění středu zkusné plochy kvůli nedokonalosti pokrytí GPS signálu v lesním prostředí. Tím druhým způsobem by mohlo být využití přístrojů přímo uzpůsobených do lesního prostředí pro navigaci za pomocí GPS systému nebo zvolit nějaký jiný navigační systém, který by v lesním prostředí vykazoval lepší výsledky.

Ve výsledcích byla porovnána Studentova t-testem horní výšky a střední výšky. U těchto porovnaní vyšší p-hodnoty vycházeli u horních výšek, protože ty byly přímo měřené jak v terénu, tak i z letadla než u středních výšek. Střední výšky byly zjišťovány už jen výpočty. U leteckého skenování zde potom nastává problém při skenování listnatých porostů v jejich vegetační době. V těchto porostech není laserový paprsek schopen prostupovat skrze olistěné stromy. Tímto může být výpočet střední výšky lehce zkreslen.

Střední tloušťka a zásoba byly modelovány za pomoci jednoduché lineární regrese a vícenásobné lineární regrese. U obou veličin se podařilo prokázat, že vícenásobná lineární regrese přináší vyšší hodnotu spolehlivosti. Pro dosažení ještě vyšší hodnoty spolehlivosti by bylo potřeba provést komplexnější statistické modely.

## 6. Závěr

Bakalářská práce se zabývala tématem leteckého laserového skenování, protože je v dnešní době stále preferováno terestrické měření. Terestrické měření je časově velmi náročná záležitost a zároveň i cena lidské práce roste, zatímco v rámci rozvoje UAV (dronů) ceny leteckého laserového měření se stále snižují. Nejen snižující cena, ale také rychlost samotného měření je dobrý důvod proč by se tato metoda měla dostávat stále více do popředí.

Jedním z hlavních důvodů, proč se tato bakalářská práce vytvářela byla končící platnost lesního hospodářského plánu školního lesního podniku v Kostelci nad Černými lesy. Tímto se vytvořila dobrá příležitost pro vyzkoušení leteckého laserového skenování v praxi a vytvoření nového LHP z takto získaných dat.

Zpracování bakalářské práce vytvořilo možnost si vyzkoušet nabyté zkušenosti v rámci dendrometrie a souvisejících oborech. Při samostatném vypracovávání byla možnost právě sledovat funkčnost teoretických znalostí v praxi.

Navazující výzkum na tuto bakalářskou práci by mohl být veden v myšlence využití komplexnějších statistických modelů pro zjištění přesnějších výsledků. Případně zlepšit postup při terestrickém zjišťování veličin nebo rozšířit sběr dat o bonitní veličiny porostu.

## 7. Bibliografie

DEYOUNG, Joan, 2016. *Forest Measurements: An Applied Approach* [online]. Open Oregon Educational Resources [cit. 2020-03-15]. Dostupné z:

<https://openoregon.pressbooks.pub/forestmeasurements/>

HAGLÖF Sweden AB, 2007. Users Guide Vertex IV and Transponder T3. Haglöf Sweden AB

KAVANAGH, Barry F. a Tom B. MASTIN, 2014. *Surveying: principles and applications*. Ninth edition. Boston: Pearson. ISBN 0132874709.

KUŽELKA, Karel, Róbert MARUŠÁK a Vilém URBÁNEK, 2017. *Dendrometrie*. Třetí. Česká zemědělská univerzita v Praze. ISBN 978-80-213-2789-4.

LEFSKY, Michael A., Warren B. COHEN, Geoffrey G. PARKER a David J. HARDING, 2002. Lidar Remote Sensing for Ecosystem Studies. *BioScience* [online]. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: <https://academic.oup.com/bioscience/article/52/1/19/291259>

LHP. (2011). Lesní hospodářský plán ŠLP Kostelec nad Černými lesy. Kostelec nad Černými lesy: Lesprojekt Stará Boleslav, s.r.o.

LILLESAND, Thomas M., Ralph W. KIEFER a Jonathan W. CHIPMAN, 2015. *Remote sensing and image interpretation*. Seventh edition. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons. ISBN 978-1-118-34328-9.

PURSER, Patrick, 1999. *TIMBER MEASUREMENT MANUAL: Standard Procedures for the Measurement of Round Timber for Sale Purposes in Ireland* [online]. [cit. 2020-03-07]. Dostupné z:

<http://www.coford.ie/media/coford/content/publications/projectreports/TimberMeasurementManual.pdf>

ROČEK, Ivan a Josef GROSS, 2000. *Lesní hospodářství*. Praha: Česká zemědělská univerzita. ISBN 80-213-0586-7.

SEQUENS, Josef, 2007. *Dendrometrie* [online]. [cit. 2020-01-05]. Dostupné z:

[https://katedry.czu.cz/storage/3844\\_Souhrn\\_Dendrometrie.pdf](https://katedry.czu.cz/storage/3844_Souhrn_Dendrometrie.pdf)

SIMON, Jaroslav a Stanislav VACEK, 2008. *Výkladový slovník hospodářské úpravy lesů* [online]. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně [cit. 2020-04-23]. ISBN 978-80-7375-131-9. Dostupné z:

[https://hul.mendelu.cz/wp-content/uploads/2017/05/slovník\\_HUL\\_ok.pdf](https://hul.mendelu.cz/wp-content/uploads/2017/05/slovník_HUL_ok.pdf)

SIMON, Jaroslav a Jaroslav KADLEC, 2014. *Zjišťování stavu lesa (klasické metody zjišťování zásob)* [online]. Mendelova univerzita v Brně Lesnická a dřevařská fakulta [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: [https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/skripta/Hospodarska\\_uprava\\_lesa-Stav\\_lesa.pdf](https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/skripta/Hospodarska_uprava_lesa-Stav_lesa.pdf)

SUROVÝ, Peter, Karel KUŽELKA, Azadeh ABDOLAHNEJAD, Kateřina SIROTKOVÁ, Zlatica MELICHOVÁ a Martin SLAVÍK 2019. *Aplikace dálkového průzkumu Země v lesnictví*. Česká zemědělská univerzita v Praze. ISBN 978-80-213-3008-5.

ŠMELKO, Štefan, 2000. *Dendrometria*. Technická univerzita vo Zvolene. ISBN 80-228-0962-4.

ŠMELKO, Štefan, Ľubomír SCHEER, Rudolf PETRÁŠ, Ján ĎURSKÝ a Marek FABRIKA, 2003. *Meranie lesa a dreva*. ÚVVP LVH SR. ISBN 80-89100-14-7.

ŠTIPL, Přemek, 2000. *Hospodářská úprava lesa - Dendrometrie*. SLŠ Hranice.

URBÁNEK, Vilém, 2011. *Metody inventarizace a hodnocení biodiverzity stromové článek: Moderní nástroje efektivního zjišťování porostních charakteristik*. Česká zemědělská univerzita v Praze. ISBN 978-80-213-2244-8.

ÚHÚL, 2003. *Inventarizace lesů v České republice 2001-2004*. Brandýs nad Labem: Ústav pro hospodářskou úpravu lesů

VALENTA, Jan a Libor ŠEŠULKA, 2015. Postup při zjišťování zásob v aukcích nastojato u lesů ČR. *Lesnická práce* [online]. Kostelec nad Černými lesy: Čs. matice lesnická, **94**(12), [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <http://lmda.silvarium.cz/view/uuid:10f451ab-e2c7-4021-bcdf-3b302ea1258c?page=uuid:534c4a81-7fb7-11e6-bed3-001b63bd97ba>

WEST, Philip W., 2004. *Tree and Forest Measurement*. Springer. ISBN 3-540-40390-6.

## 8. Seznam obrázků, tabulek, grafů a příloh

### Obrázky:

Obrázek 2.1 Měření tloušťky ve výčetní výšce (ÚHÚL, 2003) .....	13
Obrázek 2.2 Dvojité měření tloušťky .....	17
Obrázek 2.3 Měření výšky .....	18
Obrázek 2.4 Měření nakloněného stromu .....	18
Obrázek 2.5 Měření na kruhové zkusné ploše.....	21
Obrázek 3.1 Přehledová mapka ŠLP Kostelec nad Černými lesy (LHP, 2011) .....	30
Obrázek 3.2 Ukázka zápisníku ze zkusných ploch SM_vek90_zast80_65 a SM_vek90_zast80_4.....	34
Obrázek 3.3 Zanesení změřených zkusných ploch SM_vek90_zast80_65 a SM_vek90_zast80_4 do Google map .....	34
Obrázek 3.4 Vybrané zkusné plochy .....	35
Obrázek 3.5 Ukázka vypočteného číselníku .....	36
Obrázek 3.6 Tabulka z ArcMap.....	37
Obrázek 3.7 Rastr z leteckého skenování.....	37
Obrázek 3.8 Buffer kolem zkusných ploch .....	37
Obrázek 3.9 Tabulka z nástroje Zonal Statistic as Table .....	38
Obrázek 3.10 Vícenásobná lineární regrese .....	39

### Tabulky:

Tabulka 4.1 Výsledky horních výšek.....	41
Tabulka 4.2 Výsledky středních výšek .....	43
Tabulka 4.3 Výsledek modelové střední tloušťky za pomoci jednoduché lineární regrese .....	44
Tabulka 4.4 Koeficient determinace u modelové tloušťky .....	45
Tabulka 4.5 Výsledek modelové střední tloušťky za pomoci vícenásobné lineární regrese .....	45
Tabulka 4.6 Výsledek modelové zásoby za pomoci jednoduché lineární regrese.....	47
Tabulka 4.7 Koeficient determinace u modelové zásoby.....	48
Tabulka 4.8 Výsledek modelové střední tloušťky za pomoci vícenásobné lineární regrese .....	48

### Grafy:

Graf 4.1 Srovnání vypočtené horní výšky z terénu a letecké horní výšky .....	42
Graf 4.2 Srovnání vypočítané střední výšky z terénu a letecké střední výšky .....	42
Graf 4.3 Výpočet střední tloušťky .....	44
Graf 4.4 Srovnání vypočítané střední tloušťky z terénu a modelové střední tloušťky.....	46
Graf 4.5 Výpočet hektarové zásoby.....	47
Graf 4.6 Srovnání vypočítané zásoby z terénu a modelové zásoby .....	49

### Přílohy:

Příloha 9.1 Korelace v Excelu .....	57
Příloha 9.2 Rezidua u jednoduché lineární regrese (střední tloušťka) .....	58
Příloha 9.3 Rezidua u vícenásobné lineární regrese (střední tloušťka).....	58
Příloha 9.4 Celý výsledek vícenásobné lineární regrese v Excelu (střední tloušťka) .....	59
Příloha 9.5 Rezidua u jednoduché lineární regrese (zásoba).....	59
Příloha 9.6 Rezidua u vícenásobné lineární regrese (zásoba).....	60

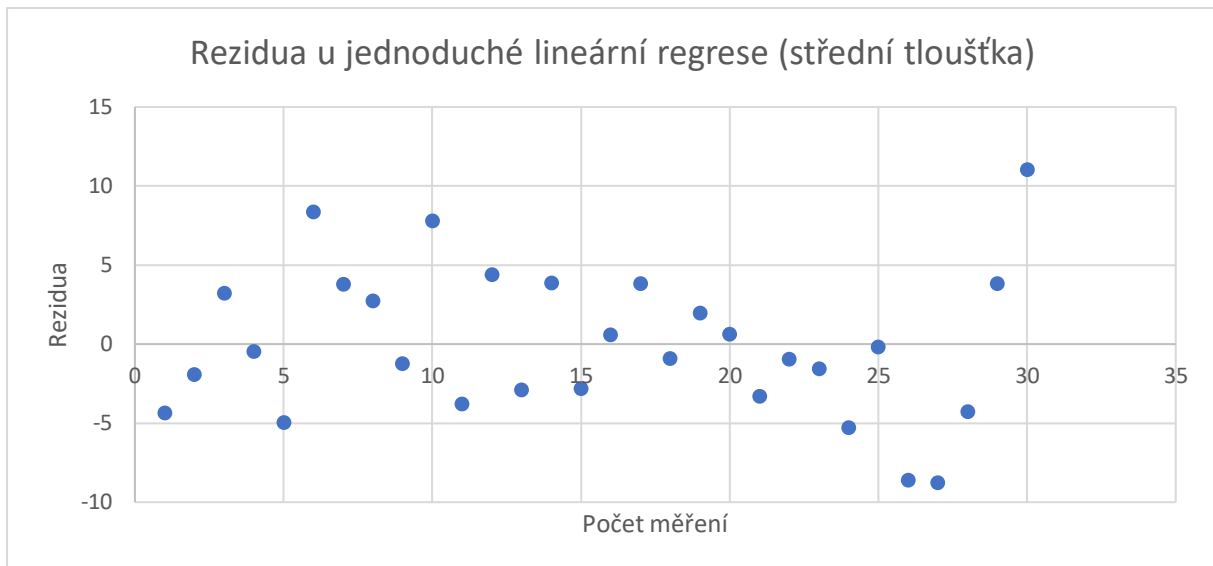
Příloha 9.7 Celý výsledek vícenásobné lineární regrese v Excelu (zásoba).....	60
---	----



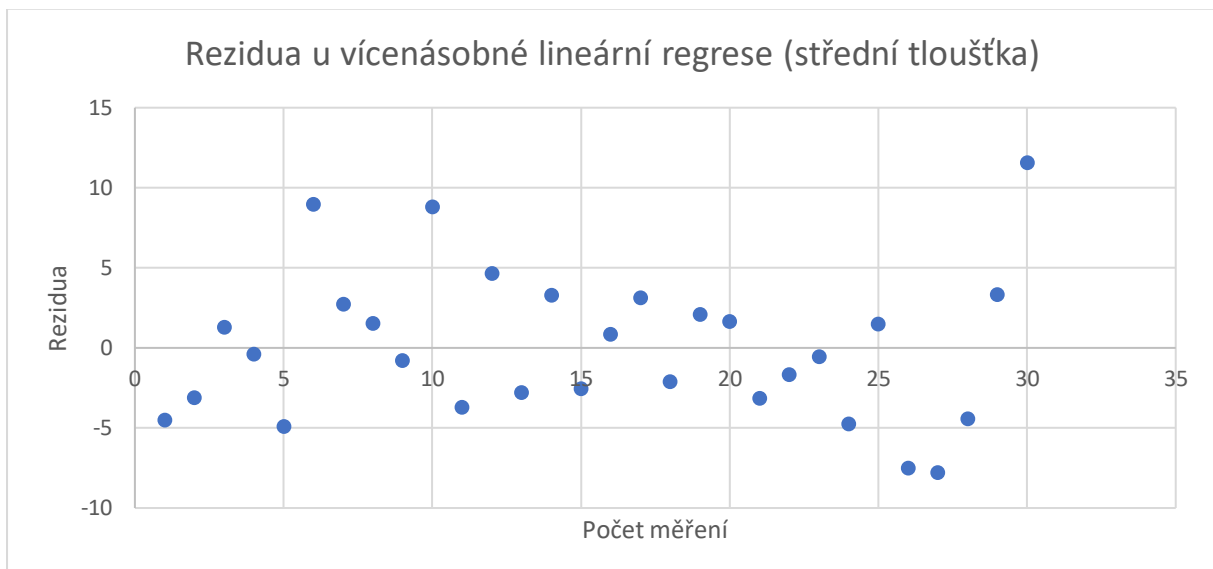
## 9. Přílohy

LS	MS	LH	MH	MST	zásoba	věk	STD	MIN	RANGE	
30,6	32,7	36,7	37	34,6	638,14	88	4,124418	-0,88001	37,62	
30,7	34,1	39	38,5	41,1	634,13	81	6,222958	-1,75	40,70999	
29,6	34,8	37,5	38	43,6	533,02	88	6,953588	-0,95999	38,42999	
29,9	33,5	36,3	37,5	37,8	749,46	88	3,741404	-0,92001	37,23001	
30,6	34,4	37,6	37,5	35,6	634,95	88	4,085527	-0,62	38,22998	
33	35	36,9	38	47,7	664,07	84	3,079704	-0,41	37,32001	
24,4	26	31,5	32	33,6	606,7	85	4,333022	0,380005	31,10001	
29,9	32	37,2	36,5	42,6	448,27	80	5,875511	-1,12	38,35999	
27,3	26	33,1	35,2	31,4	562,84	87	2,521978	15,35001	17,75	
33,8	34,7	37,8	40	48,7	658,09	82	2,702875	14,47998	23,34003	
31,1	33,7	37,1	36,3	35,9	751,78	61	3,936335	-0,72	37,82999	
25,3	28	29,5	30	30,7	334,23	74	2,008154	-0,10001	29,62	
32,9	33,1	38,3	38	38,9	652,93	72	4,119315	-1,20001	39,5	
25,8	28,1	32,3	33	35,1	512,71	76	3,851313	-0,38001	32,70001	
28	24,3	32,7	34,3	29,1	527,64	62	2,620116	18,12	14,54999	
29,2	29,7	34,9	36,7	36,4	723,46	76	3,160645	18,41998	16,46002	
30,5	33,4	36,7	36	42,8	539,21	78	4,952065	-0,42001	37,12003	
27	28,2	33,2	33,5	31,9	429,54	76	4,945427	-0,37	33,57001	
31,4	34,3	36,9	37	41,3	736,53	72	3,832536	-0,79001	37,69	
30,7	33	35,8	36,5	38	684,75	79	2,20397	23,48999	12,34	
28	29,3	33,6	34	30,2	650,37	61	3,017847	18,29001	15,28998	
29,8	32,9	36,7	36,5	38	724,48	79	4,972108	-0,42001	37,10001	
33,5	35,3	40,6	40,5	44,3	686,39	79	3,322512	25,51999	15,06	
27	22,2	30,8	32,3	23,3	480	84	1,84869	20,45001	10,29999	
32,8	30	35,8	36,8	37,2	566,2	89	1,287492	28,12	7,720001	
28	23,8	31,1	32,2	20,5	528,08	60	1,058914	24,76001	6,349976	
29	22,8	33	33	23,7	507,09	72	1,682942	19,51999	13,47	
28,2	24,1	33,8	34	29,6	638,17	80	3,518613	-0,20999	34,00998	
18,3	19,1	22,4	22	17,6	316,42	73	1,512338	0,290009	22,06998	
26,5	32,5	34,7	35	46,5	763,01	76	2,764676	15,67999	19,01001	
	LS	MS	LH	MH	MST	zásoba	věk	STD	MIN	RANGE
LS	1	0,752544	0,911181	0,925522	0,670995	0,595255	0,18712	0,230241	0,126257	0,164848
MS	0,752544	1	0,873982	0,832395	0,896657	0,621845	0,286546	0,551977	-0,25872	0,511071
LH	0,911181	0,873982	1	0,97288	0,798893	0,670901	0,270526	0,537074	-0,07011	0,374549
MH	0,925522	0,832395	0,97288	1	0,790269	0,688134	0,314786	0,434201	0,046345	0,257952
MST	0,670995	0,896657	0,798893	0,790269	1	0,552415	0,371547	0,518548	-0,19895	0,432213
zásoba	0,595255	0,621845	0,670901	0,688134	0,552415	1	0,061248	0,16719	0,067765	0,144352
věk	0,18712	0,286546	0,270526	0,314786	0,371547	0,061248	1	0,27136	-0,1883	0,258928
STD	0,230241	0,551977	0,537074	0,434201	0,518548	0,16719	0,27136	1	-0,67355	0,791688
MIN	0,126257	-0,25872	-0,07011	0,046345	-0,19895	0,067765	-0,1883	-0,67355	1	-0,95118
RANGE	0,164848	0,511071	0,374549	0,257952	0,432213	0,144352	0,258928	0,791688	-0,95118	1
Legenda:										
LS = letecká střední tloušťka										
MS = měřená střední tloušťka										
LH = letecká horní výška										
MST = měřená střední tloušťka										

Příloha 9.1 Korelace v Excelu



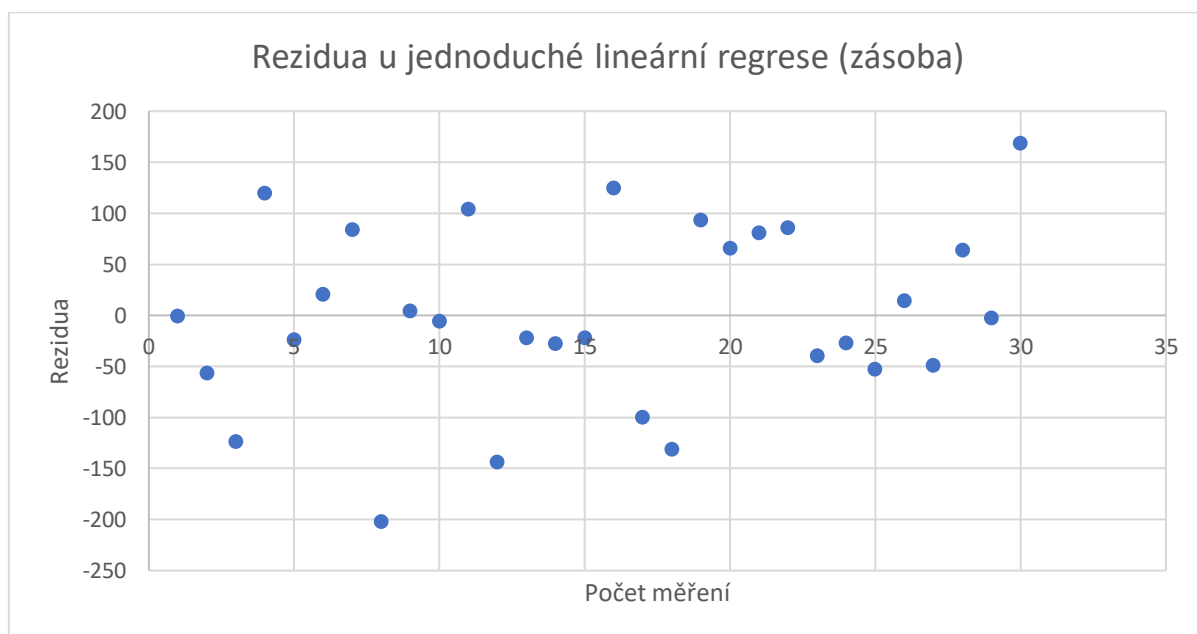
*Příloha 9.2 Rezidua u jednoduché lineární regrese (střední tloušťka)*



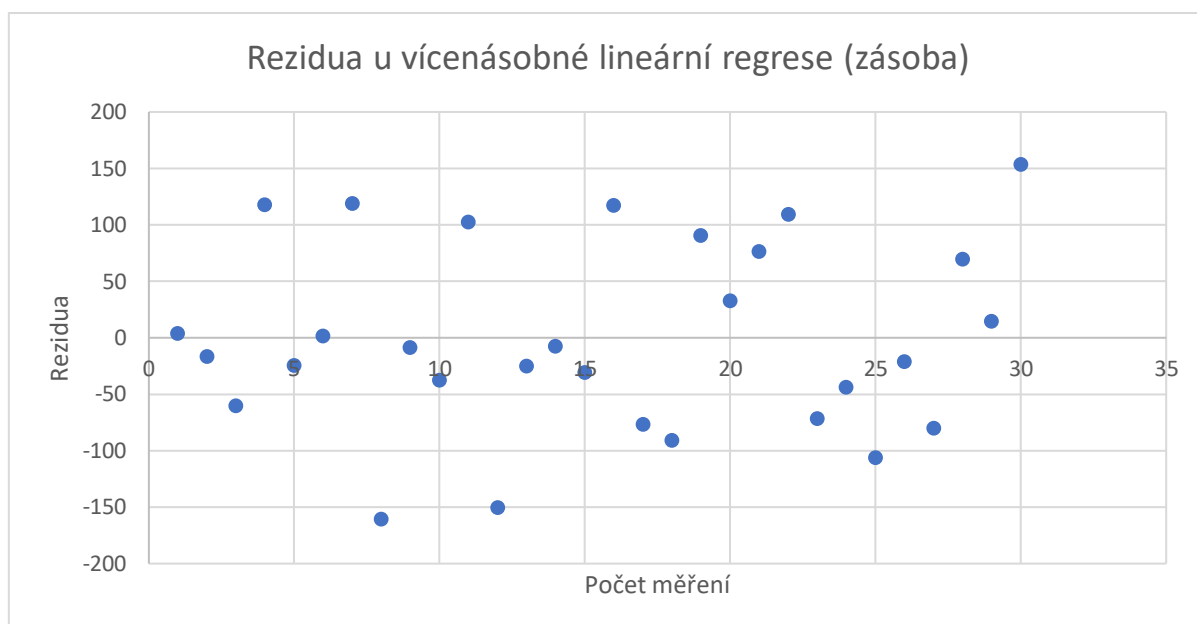
*Příloha 9.3 Rezidua u vícenásobné lineární regrese (střední tloušťka)*

VÝSLEDEK						
<b>Regressní statistika</b>						
Násobné R	0,805905					
Hodnota spolehlivosti R	0,649484					
Nastavená hodnota spolehlivosti F	0,623519					
Chyba stř. hodnoty	4,811878					
Pozorování	30					
<b>ANOVA</b>						
	<i>Rozdíl</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>znamnost F</i>	
Regrese	2	1158,385	579,1923	25,0146	7,14E-07	
Rezidua	27	625,1625	23,15417			
Celkem	29	1783,547				
	<i>Koeficient</i>	<i>stř. hod.</i>	<i>t Stat</i>	<i>Hodnota P</i>	<i>Dolní 95%</i>	<i>Horní 95%</i>
Hranice	-22,8493	9,294853	-2,45827	0,020663	-41,9207	-3,77782
LH	1,612609	0,297832	5,414486	1E-05	1,001508	2,223711
STD	0,675451	0,725481	0,931039	0,360084	-0,81311	2,164016

Příloha 9.4 Celý výsledek vícenásobné lineární regrese v Excelu (střední tloušťka)



Příloha 9.5 Rezidua u jednoduché lineární regrese (zásoba)



*Příloha 9.6 Rezidua u vícenásobné lineární regrese (zásoba)*

VÝSLEDEK								
<i>Regresní statistika</i>								
Násobné R	0,708893							
Hodnota spolehlivosti R	0,502529							
Nastavená hodnota spolehlivosti	0,465679							
Chyba stř. hodnoty	86,76304							
Pozorování	30							
ANOVA								
	<i>Rozdíl</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>znamnost F</i>			
Regrese	2	205317,6	102658,8	13,63725	8,06E-05			
Rezidua	27	203251,3	7527,825					
Celkem	29	408568,9						
	<i>Koeficienty</i>	<i>chyba stř. hodnoty</i>	<i>t Stat</i>	<i>Hodnota P</i>	<i>Dolní 95%</i>	<i>Horní 95%</i>	<i>Dolní 95,0%</i>	<i>Horní 95,0%</i>
Hranice	-275,244	167,5956	-1,64231	0,112123	-619,122	68,63358	-619,122	68,63358
LH	27,2548	5,370221	5,075173	2,49E-05	16,23602	38,27358	16,23602	38,27358
STD	-22,0647	13,08117	-1,68675	0,103174	-48,905	4,775657	-48,905	4,775657

*Příloha 9.7 Celý výsledek vícenásobné lineární regrese v Excelu (zásoba)*