

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta



**Návrh nové metody měření parametrů pro inventarizaci lesa, založené
na využití pozemních a leteckých lidarových dat**

Bakalářská práce

Andrea Benedová

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Dolanský, Ph.D., Katedra informatiky, PF JU
Garant práce: RNDr. Martin Hais, Ph.D., Katedra biologie ekosystémů, PřF JU

České Budějovice 2012

Benedová, A. (2012). Návrh nové metody měření parametrů pro inventarizaci lesa, založené na využití pozemních a leteckých lidarových dat. [A new method proposal for forest inventory parameters measurement, based on airborne and terrestrial lidar data usage. Bc. Thesis, in Czech.] Faculty of Science, The University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic, pp. 25

Anotace

Bakalářská práce je psána formou grantové žádosti o financování projektu, který se zaměřuje na využití dat z pozemního a leteckého lidarového skenování pro navržení nové metodiky inventarizace lesa.

Klíčová slova

Inventarizace lesa, lidarové skenování, letecký lidar, pozemní lidar, mobilní lidar

Anotation

This thesis is written as a grant application for funding of a project that is focused on gathering and estimating forest inventory data from terrestrial and airborne lidar scanning.

Key words

Forest inventory, lidar scanning, airborne lidar, terrestrial lidar, portable lidar

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č.111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č.111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích, dne 23. dubna 2012

Andrea Benedová

Název projektu

Návrh nové metody měření parametrů pro inventarizaci lesa, založené na využití pozemních a leteckých lidarových dat.

Shrnutí projektu

Inventarizace lesa neboli zjišťování jeho stavu hraje důležitou roli pro vytváření vhodného managementu pro daný porost. V úvodu práce je představený vývoj metodik inventarizace ve světovém kontextu a v rámci České republiky. Práce se dále věnuje novým metodám sběru dat o stavu lesa a navrhuje soustředit se na slibně se rozvíjející metodu mobilního lidarového skenování.

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému školiteli Ing. Tomáši Dolanskému, Ph.D. za vedení práce a ochotné poskytování cenných rad, internímu garantovi RNDr. Martinu Haisovi, Ph.D. za věcné připomínky ke struktuře práce, své spolubydlící Bc. Šárce Otáhalové za toleranci při sepisování práce a především své rodině za vytrvalou podporu při studiu.

Obsah

1	Literární přehled	1
1.1	Inventarizace lesa	1
1.2	Parametry	2
1.3	Metody zjišťování parametrů	2
1.4	Přístrojové vybavení	3
1.4.1	Field-Map	3
1.4.2	LiDAR	3
1.4.2.1	<i>Letecké lidary v lesnictví</i>	5
1.4.2.2	<i>Pozemní lidary v lesnictví</i>	6
1.4.2.3	<i>Mobilní lidary</i>	7
2	Cíl projektu	7
3	Hypotéza	7
4	Návrh experimentu	8
4.1	Postup práce	8
4.2	Řešitelský tým	9
4.3	Finanční rozvaha	10
4.4	Rizika projektu a jejich předcházení	11
5	Závěr	12
6	Literatura	13
7	Přílohy	17
7	Přílohy	17
7.1	Parametry inventarizace lesa (převzato z ÚHÚL, 2003)	17

1 Literární přehled

1.1 Inventarizace lesa

Podrobný a pravidelný přehled o stavu lesa je základním předpokladem pro optimální hospodaření v lese. Zjišťování stavu lesa se nazývá inventarizace lesa a jejím cílem z dnešního hlediska je podat údaje o stavu a vývoji lesních ekosystémů z pohledu životního prostředí a pro účely hospodářského využití (ÚHÚL, 2003).

Počátky inventarizace můžeme najít již na konci středověku, kdy bylo objeveno, že výraznému poklesu zásob dřeva v důsledku nadměrného kácení se dá zabránit sestavením lesních plánů, kde bude odhadnuta rozloha lesa a zásoby dřeva (Tomppo et al. 2010). Takovéto lesní plány byly dlouho sestavovány pro účely dřevozpracujících podniků na lokální úrovni, a to formou vizuálních odhadů pouhým okem (Kangas et al., 2006).

Od 19. století bylo ale zřejmé, že pro účely dlouhodobého plánování na národní úrovni lokální odhady stačit nebudou, a tak začaly vznikat národní inventarizace lesa v mnoha zemích světa (Tomppo et al., 2010). Systematické hodnocení lesů s využitím statistických metod se objevuje na začátku 20. století v severských zemích (Kangas et al, 2006), odkud se po II. světové válce postupně rozšiřuje do ostatních států Evropy. Způsob sběru dat se v závislosti na vývoji jednotlivých metodik liší (Tokola, 2006; Lawrence et al. 2010), nicméně lze najít shodný typ údajů, vyhledávaných jak v evropských zemích, tak i ve státech Severní Ameriky (Tomppo et al., 2010).

V roce 2003 vznikla Evropská síť národních inventarizací lesů (ENFIN), jejímž cílem je v rámci projektu Evropské spolupráce ve vědě a technice (European cooperation in science and technology, zkratka COST E43) do budoucna sjednotit metody získávání dat kvůli lepšímu porovnání výsledků z jednotlivých zemí (ÚHÚL, 2003). Signatáři jsou evropské země včetně České republiky a na projektu spolupracují také instituce z Kanady, USA a Nového Zélandu.

V bývalém Československu se potřeba provedení celorepublikového šetření objevuje v meziválečném období, kde dosud byly informace o zásobách dřeva získávány v lokálním měřítku a často se jednalo pouze o odhady (Černý et al., 2010). K realizaci šetření dochází na základě vyhlášky ministerstva zemědělství č. 3021 z 8.11.1948 a je spojené s urychlenou obnovou hospodářských plánů (ÚHÚL, 2003). Pojem inventarizace byl tehdy chápán především v souvislosti s produkčními vlastnostmi lesa, změna významu nastala

s vydáním zákona o lesích 289/1995 Sb., kde se mluví také o ekosystémových vazbách lesa na ostatní složky životního prostředí (Černý et al., 2010).

Sčítání v nové podobě podle uvedeného zákona poprvé probíhalo na základě nařízení vlády 193/2000 Sb. v letech 2001 až 2004 v rámci Národní inventarizace lesů v České republice (NIL ČR), realizací byl pověřen Ústav pro hospodářskou úpravu lesa (ÚHÚL). V současné době je nařízením vlády 247/2009 Sb. připravován druhý cyklus NIL ČR s realizací v letech 2011 až 2015.

1.2 Parametry

Charakteristiky, které jsou sledovány v rámci terénního sběru dat, jsou popsány v Metodice inventarizace lesa (ÚHÚL, 2003). Získávají se informace o charakteru stanoviště inventarizační plochy, mezi něž patří souřadnice středu plochy, nadmořská výška, jeho přístupnost a schůdnost, reliéf terénu, přítomnost lesních cest, potoků a bystřin, obnovy, ležícího odumřelého dřeva a pařezů. Hodnoceny jsou také význačné body v terénu, odvodňovací zařízení a okraje inventarizační plochy.

Prvním parametrem při popisu stromu je jeho poloha, určená lokálními souřadnicemi uvnitř plochy, díky nim lze strom opětovně vyhledat při dalším sčítání. Dřevina je zaznamenána podle druhu a zkoumá se její úrovňové postavení mezi ostatními stromy. Zjišťuje se výčetní tloušťka stromu ve výšce 1,3 m od paty kmene, známá pod zkratkou DBH (diameter at breast height).

Mezi výškové charakteristiky patří výška stromu, výška nasazení živé koruny a výška bezsuké části kmene. Z kvalitativního hlediska je zkoumán tvar a typ větvení koruny, stupeň defoliace neboli ztráta asimilačních orgánů, poškození stromu, výskyt zlomu nebo chůdovitých kořenů. Kompletní přehled všech parametrů je uveden v Příloze 1.

1.3 Metody zjišťování parametrů

Jak z uvedeného přehledu vyplývá, parametry lze rozdělit na dvě základní skupiny: kvalitativní a kvantitativní. Pro oba dva typy byl sestaven klasifikační systém s číselnými kódy jednotlivých kategorií, které se vyplňovaly do připravených formulářů a následovalo statistické zpracování dat (ÚHÚL, 2003).

Mezi kvalitativní parametry můžeme zařadit např. druh vlastnictví lesa. K jeho zjištění je potřeba využít externích dat z katastru nemovitostí. Další parametry, jako je

např. druh dřeviny, přístupnost a schůdnost plochy nebo tvar koruny, jsou klasifikovány na základě odborného posouzení pracovníků inventarizace lesa. Nevýhodou tohoto postupu je fakt, že se jedná o subjektivní hodnocení, které může být zatíženo chybou způsobenou nedostatečnými zkušenostmi.

Terénní zjišťování kvantitativních parametrů, např. výšky stromů nebo průměru kmenů, je časově náročné a Hyypä, Inkinen, (1999) odhadují, že přibližně 50 – 60 % nákladů na hektar plochy je vynaloženo na úkoly zjistitelné pomocí dálkového průzkumu Země.

1.4 Přístrojové vybavení

1.4.1 Field-Map

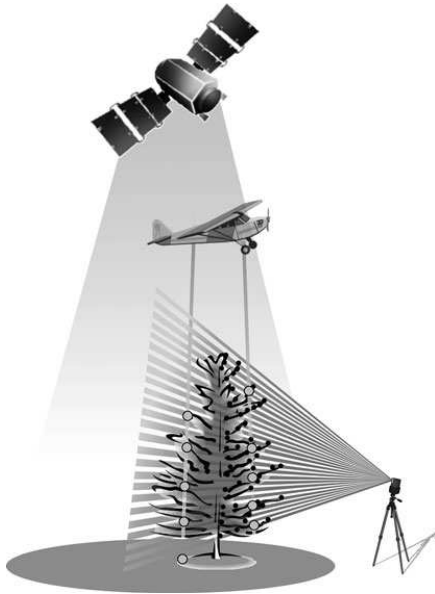
První inventarizace v letech 2001 až 2004 byla prováděna formou terénního průzkumu sítě trvalých ploch. Přístrojové vybavení spočívalo v použití sestavy z laserového dálkoměru, kompasu a součástí výbavy byl speciální terénní počítač se softwarem Field-Map, navrženým Ústavem pro výzkum lesních ekosystémů (IFER, 2010), kam se přímo zaznamenávaly údaje o geografické poloze stromů, jejich výčetní tloušťce a výšce (Hédl et al., 2009). Technologie Field-Map byla použita také pro inventarizaci tropického lesa (Hédl et al., 2009).

1.4.2 LiDAR

Laserové skenování je metodou, která se v současnosti těší velkému rozvoji. Princip spočívá v použití lidarů (zkratka odvozená ze slov Light Detection and Ranging), což je přístroj, který vysílá laserový paprsek, ten je pomocí pohyblivého zrcadla rozptýlen po okolí a na základě rozdílu času mezi vysláním a přijetím odraženého paprsku je získán údaj o poloze každého měřeného bodu, výsledkem je mračno bodů využitelné pro vytvoření 3D modelu a následné analýzy (Dolanský, 2004). Vlnová délka vyzařovaného paprsku většinou nabývá hodnot zeleného světla, nebo blízkého infračerveného záření (Nilsson, 1996; Baltsavias, 1999; Lefsky et al., 2002).

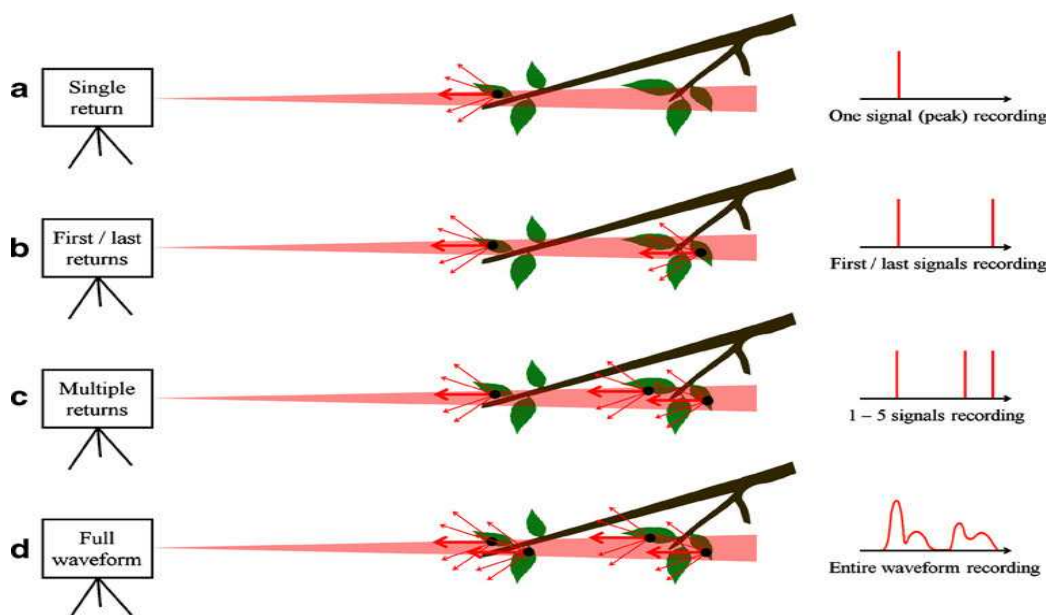
Počátky lidarového skenování sahají do 50. let 20. století, kdy byla vyvinuta technologie laseru, zejména pro vojenské účely, později také pro výzkum v oblasti oceánografie a batymetrie (Lim et al., 2003). K laseru byl v 80. letech 20. století připojen skenovací mechanismus, inerciální navigační systém a GPS, čímž byly položeny základy pro rozvoj lidarového skenování (Hyypä, 2011). Soustava se nejdříve začala instalovat na

letadla nebo helikoptéry, a tak vzniklo nové odvětví dálkového průzkumu Země: letecké skenování (airborne laser scanning, zkratka ALS). Posléze vznikly další směry: pozemní skenování (terrestrial laser scanning, TLS) a nejnověji mobilní laserové skenování (mobile laser scanning, MLS) (Hyypä, 2011). Další uváděnou skupinou může být také satelitní laserové skenování (spaceborne laser scanning, SLS) (Xing et al., 2010; van Leeuwen, Nieuwenhuis, 2010). Obr. 1 představuje rozdíly v zaměřování objektů pomocí SLS, ALS a TLS, například odlišnou šířku záběru vysílaného paprsku.



Obr. 1 Satelitní, letecké a pozemní skenování (van Leeuwen, Nieuwenhuis, 2010)

Lidary od doby svého vzniku prošly rychlým vývojem a kromě různé vlnové délky existují další parametry, kterými se od sebe jednotlivé typy liší. Na dvě základní skupiny jsou přístroje rozděleny podle schopnosti zaznamenávat odražený paprsek (Lim et al., 2003). První skupinou jsou diskretní systémy (discrete-return systems nebo phase-shift scanners), které zaznamenávají intenzitu jednoho až pěti odrazů. Druhou skupinou jsou přístroje, které zaznamenávají celý průběh odrazu signálu (full waveform scanners) (Dassot et al., 2011; Mallet, Bretar, 2009). Základní rozdíl je znázorněn na Obr.2.



Obr. 2 Diskrétní lidary (a: jediný odraz, b: první/poslední odraz, c: více odrazů) a kontinuální lidary (d: úplný záznam intenzity odrazu) (Dassot et al., 2011)

Všechny uvedené systémy byly testovány pro využití v lesnictví, v následujících podkapitolách se budu věnovat přehledu zjišťovaných parametrů a možné implementaci do stávajících metodik inventarizace lesa.

1.4.2.1 Letecké lidary v lesnictví

Obecně lze informace získané lidarem rozdělit do dvou skupin, první jsou údaje zjištěné v měřítku stanoviště (area-based techniques nebo stand-wise approach), druhou jsou údaje získané na úrovni jednotlivých stromů (individual-tree-based techniques nebo tree-wise approach) (Hyypä, 2011; Schardt et al., 2002). Pozice stromu, velikost koruny a druh stromu mohou být zjištěny v měřítku stromovém i porostním. Data z prvního a posledního odrazu paprsku jsou vhodná pro odvození výškových a hustotních vlastností, jako je výška stromu, bazální plocha, objem dřeva, průměr kmene, biomasa nad a pod korunou (Hyypä, 2011).

Využití lidaru v lesnictví bylo poprvé testováno v 80. letech v Kanadě a Střední Americe, kdy byla zjišťována schopnost lidaru stanovit výšku porostu, hustotu koruny a terén pod korunami (Lim et al., 2003). Nejvíce studií se věnuje měření výšky stromů a objemu dřeva v porostu (např. Nilsson, 1996; Naesset, 1997a; Naesset, 1997b; Hyypä, Inkinen, 1999), jelikož se jedná o důležité parametry pro vytváření vhodného managementu v daném porostu (Kwak et al., 2007).

Letecké lidarové skenování již bylo použito pro výzkumy různých typů porostů: plochy se stejnověkým porostem borovice lesní (Nilsson, 1996), jehličnaté a listnaté lesy v Jižní Koreji (Kwak et al., 2007), eukalyptové lesy (Wack et al., 2003), douglaskové porosty (Coops et al., 2007), opadavé a neopadavé listnaté stromy v japonském parku (Ioki et al., 2010) nebo různověké smíšené porosty v italských Alpách (Tonolli et al., 2011). Klasifikaci druhů stromů v olistěném stavu a bez listů se věnoval Brandtberg (2007).

Studie na schopnost lidarů odlišit stromy podle druhů byla provedena v porostech borovice lesní, smrku a listnatých stromů (Holmgren, Persson, 2004). Listnaté a jehličnaté stromy odlišně odrážejí blízké infračervené spektrum záření, ale jednotlivé druhy jehličnanů nejsou v odrazu příliš rozdílné. Jejich rozeznání bylo pomocí leteckého skenování provedeno s přesností 95 %.

Sasaki et al. (2011) hodnotili efektivitu určování druhů stromů a pokryvu země pomocí kombinace dat z leteckého skenování a snímků z blízkého infračerveného spektra. Přesnost klasifikace pokryvu byla použitím lidarů zvýšena, výškové údaje pomohly k lepšímu rozlišení stromů od zbytku vegetace, ale druhové určení stromů zůstalo nepřesné.

Přehledu lidarů pro letecké skenování se věnuje Baltsavias (1999) Rozdíly mezi diskrétními a kontinuálními systémy představuje Lefsky et al. (2002). Diskrétní systémy se vyznačují velkým prostorovým rozlišením a stopou paprsku o malém průměru. Jsou vhodné pro detailní mapování terénu. Kontinuální systémy jsou charakteristické stopou paprsku o šířce 100 m a jsou umístěny na satelity. Hlavním využitím je sběr topografických dat (Mallet, Bretar, 2009).

Software pro zpracování dat je k dispozici od výrobců skenerů, příklady programů uvádí Dassot et al. (2011). Ve svém přehledu uvádí, že např. program AutoStem od firmy TreeMetrics, Ltd. má sice výhodu v plně automatizovaném měření, ale jeho využití je omezeno na měření pouze jehličnatých stromů.

1.4.2.2 Pozemní lidary v lesnictví

Pozemní lidary se od leteckých liší svým umístěním na stativu přímo v terénu (Hyypä, 2011). Původně jejich oblast využití spadala do oborů stavebnictví, architektury nebo archeologie (Kašpar et al., 2003; van Leeuwen, Nieuwenhuis, 2010), ale slibné je jejich v současnosti stále častější využívání v lesnictví (Moskal, Zheng, 2012; Dassot et al., 2011; Zhao et al., 2011). Hlavní výhodou je schopnost vytvořit velmi přesný 3D model lesa, především etáže pod korunami stromů, kam mnoho paprsků z leteckého skenování již

nepronikne, což lze využít pro kalibraci dat z leteckého skenování (van Leeuwen, Nieuwenhuis, 2010). Strahler et al. (2008) ověřoval strukturní parametry lesa, jako je průměr kmene a hustota stromů na 1 ha, porovnáním dat z pozemního skeneru Echidna s daty z terénního průzkumu. Echidna validation instrument (zkratka EVI) je experimentální pozemní skener s kontinuálním vysíláním paprsku z blízkého infračerveného spektra, vyvinutý institutem CSIRO v Austrálii (Zhao et al., 2011). Na trhu jsou také další terestrické systémy, využívané zejména ve stavebnictví (Kašpar et al., 2003; Dassot et al., 2011). Nevýhodou pro lesnické účely je málo specializovaných softwarů na trhu, které by plně vyhovovaly potřebám inventarizace (Dassot et al., 2011).

1.4.2.3 Mobilní lidary

Speciální podskupinou pozemního skenování, která se rychle rozvíjí, je mobilní skenování, jehož principem je instalace lidaru na pohyblivou platformu, např. vozidlo nebo nejnověji také do speciálního batohu na záda měření během pohybu (Listopad et al., 2011). Autorka ve své studii zaznamenala vyšší citlivost mobilního lidaru v zachycení elementů pod korunami stromů než pomocí leteckého lidaru. Mobilní lidar je hodnocen jako výhodná investice pro hodnocení struktury stromů. Pro měření průměrů kmene dosahuje standardní odchylka pouhých 8,2 m, výška stromu má standardní odchylku 4,9 dm (van Leeuwen, Nieuwenhuis, 2010).

2 Cíl projektu

Projekt si klade následující cíl:

- Navrhnout novou metodiku inventarizace lesa.

3 Hypotéza

V rámci projektu byla definována následující hypotéza.

- Budou nalezeny parametry inventarizace lesa vhodné pro měření lidarem.

4 Návrh experimentu

4.1 Postup práce

Doba trvání projektu je navržena na 2 roky. V úvodu projektu bude zpracována rozdílová rešerše o nejnovějších metodách laserového skenování, které byly publikovány v době po podání projektu. Časová dotace pro sepsání bude 1 až 2 měsíce.

Po zpracování rešerše začne tvorba algoritmů pro výpočet parametrů v délce trvání 7 až 9 měsíců. V této době se oba řešitelé vypraví na měsíční odbornou stáž ke kolegům do CSIRO Forest Biosciences v australské Victorii. Důvodem je detailní seznámení se s lidarem Echidna, který byl zde vyvinut.

Získané zkušenosti ze zahraničí budou užitečné následně při výběru vhodného laserového skeneru a metody zpracování dat. Ekonomické hledisko bude při výběru pozemního LS hlídat finanční manažer. Předpokládaná doba pro výběr dodavatele laserového skenování je 1 měsíc.

Časově nejnáročnější částí projektu bude tvorba nového softwaru, na kterou je vymezeno období 8 až 10 měsíců. Funkčnost softwaru bude ověřována pokusným měřením na testovací ploše lesa. Cyklus úprav a ověřování potrvá 2 měsíce, kompletnímu soupisu metodiky bude věnován 1 měsíc.

Konečná realizace měření novou metodou proběhne na vybrané inventarizační ploše po dobu 3 měsíců a pro srovnání bude měření prováděno také stávající metodou vyvinutou Ústavem pro hospodářskou úpravu lesa. V závěrečném období projektu bude věnována pozornost prezentaci výsledků na vědecké konferenci ISPRS 2013 v Austrálii a 5th European LiDAR Mapping Forum 2013 v Rakousku a v odborných publikacích. Samotným závěrem bude uzavření projektu. Souhrnný harmonogram je pro přehlednost uveden v Tab. 1.

Tab. 1 Harmonogram činností v rámci projektu

Úkoly	2012												2013												2014				kompetence
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4					
Rešerše o novinkách	■	■																											hlavní řešitel
Stáž v Austrálii			■																										hl.řešitel, spoluřešitel
Tvorba algoritmů		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																hl.řešitel, programátor
Výběr přístroje			■																										hl.řešitel, fin.manažer
Tvorba softwaru			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■														programátor
Ověřování, testování													■	■	■														celý tým
Soupis metodiky													■																hl.řešitel, spoluřešitel
Realizace													■	■	■	■	■												celý tým
Prezentace výsledků																											■		hl.řešitel, spoluřešitel
Uzavření projektu																												■	hl.řešitel, fin.manažer

4.2 Řešitelský tým

Projekt bude řešen realizačním týmem ve složení

- Hlavní řešitel – má na starosti odborné i organizační vedení projektu, kontroluje plnění úkolů spoluřešitelů a dohlíží na finanční čerpání projektu.
- Spoluřešitel – spolupracuje při výzkumu metod pro inventarizaci s hlavním řešitelem
- Finanční manažer/administrativní pracovník – administruje finanční toky projektu, provádí finanční kontrolu čerpání, řídí výběrová řízení
- Programátor softwaru – vyvíjí software pro analýzu dat laserového skenování na platformě .NET
- Expert na inventarizaci lesa – externí spolupracovníci, kteří provedou inventarizaci lesa standardní metodou a budou konzultovat výsledky nově vyvíjené metody

4.3 Finanční rozvaha

Kalkulace finanční rozvahy vychází z plánovaného počtu čtyř stálých zaměstnanců, z toho dvou se 100% úvazkem, jednoho s 50% úvazkem a jednoho s 20% úvazkem. Pátý zaměstnanec bude zaměstnán na Dohodu o provedení práce (Tab. 2). Odměny jsou uvedeny včetně povinných odvodů na zdravotním a sociálním pojištění ve výši 36 %.

Tab. 2 Složení realizačního týmu

Pozice	Úvazek	Forma	Odměna
Hlavní řešitel	100 %	Smlouva 2 roky	40 000 Kč/měsíc
Spoluřešitel	100 %	Smlouva 2 roky	30 000 Kč/měsíc
Finanční manažer	20 %	Smlouva 2 roky	28 000 Kč/měsíc
Programátor	50 %	Smlouva/DPČ	40 000 Kč/měsíc
Expert na inventarizaci	450 h	DPP	50 000 Kč/projekt

Další položkou jsou cestovní náklady, do nichž je zahrnuta cena letenek do Austrálie, náklady spojené s dopravou po Austrálii a tamním pobytem, cestovní pojištění a také náklady týkající se dopravy po ČR. Položka služby v sobě zahrnuje konferenční poplatky a poplatky za pronájem lidarů, jako nehmotný majetek je započítána licence k vývojovému prostředí pro tvorbu softwaru, v položce spotřební materiály jsou zahrnuty potřeby pro práci v terénu, materiály pro tvorbu posterů a publikací. Celková částka je odhadovaná na 3 miliony 50 tisíc Kč (Tab. 3).

Tab. 3 Rozpočet projektu

Náklad	Jednotka	Počet kusů	Cena kusu	Celkem Kč
Odměny	Os. * měs. (hod)			2 444 000
Cestovní náklady				240 000
Služby	Pronájem lidarů, konferenční poplatky			280 000
Nehmotný majetek	software	1	50 000	50 000
Spotřební materiály	Při práci v terénu, tvorba posterů, publikací			36 000
Celkem				3 050 000

4.4 Rizika projektu a jejich předcházení

- Neplnění harmonogramu projektu

Kontroly plnění harmonogramu budou v kompetenci hlavního řešitele a budou prováděny průběžně v rámci pravidelných kontrolních dnů. Případné nesrovnalosti budou ihned řešeny.

- Selhání manažera

Hlavní řešitel absolvuje školení v manažerských schopnostech, což bude sloužit jako opatření proti riziku selhání manažera. Náklady za školení budou uhrazeny z vlastních prostředků organizace hlavního řešitele.

- Neplnění rozpočtu projektu

Kontrola plnění rozpočtu je v kompetenci finančního manažera, který dohlédne na podepisované smlouvy a sjednané částky. Jako finanční poradce navrhne optimální ceny za položky projektu.

- Výběr nekvalitních dodavatelů služeb

Finančním manažerem budou vypisována výběrová řízení, která zabrání nekvalitním dodavatelům uspět v řízení.

- Nevhodný výběr spolupracovníků

Hlavní řešitel věnoval pečlivou pozornost výběru spolupracovníků, uspěli kde – pohovor, řízení? kompetentní odborníci v daných oblastech. V případě nekvalitní spolupráce umí namotivovat spolupracovníky k lepším výkonům.

- Nezveřejněné výstupy projektu

V projektu jsou vyčleněné dostatečné finance na propagaci výsledků, které budou prezentovány na vědeckých konferencích a seminářích.

5 Závěr

Moderní způsoby zjišťování stavu lesů mají jistě velký potenciál rozvoje. Začlenění mobilních lidarových systémů s novým softwarovým vybavením do lesnické praxe přinese zefektivnění činnosti v terénu a úsporu času, který bude možné využít v jiných agendách.

6 Literatura

- Baltsavias, E. P. (1999). Airborne laser scanning: existing systems and firms and other resources. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54, 164–198.
- Brandtberg, T. (2007). Classifying individual tree species under leaf-off and leaf-on conditions using airborne lidar. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 61(5), 325–340.
- Coops, N. C., Hilker, T., Wulder, M. A., St-Onge, B., Newnham, G., Siggins, A., Trofymow, J. A. (Tony). (2007). Estimating canopy structure of Douglas-fir forest stands from discrete-return LiDAR. *Trees*, 21(3), 295–310.
- Černý, M., Kučera, M., Ciencala, E., Beranová, J. (2010). Czech Republic. In Tomppo, E., Gschwantner, T., Lawrence, M., McRoberts, R. E. (Eds.), *National forest inventories: Pathways for common reporting*. Springer, 145–157.
- Dolanský, T. (2004). Lidary a letecké laserové skenování. *Acta Universitatis Purkynianae* 99, Ústí nad Labem. pp. 100.
- Holmgren, J., Persson, Å. (2004). Identifying species of individual trees using airborne laser scanner. *Remote Sensing of Environment*, 90(4), 415–423.
- Holopainen, M., Kalliovirta, J. (2006). Modern Data Acquisition for forest inventories. In Kangas, A., Maltamo, M. (Eds.), *FOREST INVENTORY: methodology and applications*. Springer, 343–362.
- Hyypä, J. (2011). State of the art in laser scanning. In Fritsch, D. (Ed.), *Photogrammetric week ' 11*, Stuttgart: Institut für Photogrammetrie, 203–216.
- Hyypä, J., Inkinen, M. (1999). Detecting and estimating attributes for single trees using laser scanner. *The Photogrammetric Journal of Finland*, 16(2), 27–42.
- Hédl, R., Svátek, M., Dančák, M., Rodzay, A. W., Salleh A.B., M., Kamariah, A. S. (2009). A new technique for inventory of permanent plots in tropical forests: a case

- study from lowland dipterocarp forest in Kuala Belalong, Brunei Darussalam. *Blumea - Journal of Plant Taxonomy and Plant Geography*, 54(1), 124–130.
- IFER (2010). Field-map hardware a software. *IFER - Monitoring and Mapping Solutions*, pp. 53.
- Ioki, K., Imanishi, J., Sasaki, T., Morimoto, Y., Kitada, K. (2009). Estimating stand volume in broad-leaved forest using discrete-return LiDAR: plot-based approach. *Landscape and Ecological Engineering*, 6(1), 29–36.
- Kangas, A., Gove, J. H., Scott, C. T. (2006). Introduction. In Kangas, A., Maltamo, M. (Eds.), *FOREST INVENTORY: methodology and applications*. Springer, 3–13.
- Kašpar, M., Pospíšil, J., Štroner, M., Křemen, T., Tejkal, M. (2003). Laserové skenovací systémy ve stavebnictví. *Vega, s.r.o, Hradec Králové*, pp. 112.
- Kwak, D.-A., Lee, W.-K., Lee, J.-H., Biging, G. S., Gong, P. (2007). Detection of individual trees and estimation of tree height using LiDAR data. *Journal of Forest Research*, 12(6), 425–434.
- Lawrence, M., McRoberts, R. E., Tomppo, E., Gschwantner, T., Gabler, K. (2010). Comparisons of national forest inventories. In Tomppo, E., Gschwantner, T., Lawrence, M., McRoberts, R. E. (Eds.), *National forest inventories: Pathways for common reporting*. Springer, 19–33.
- Leeuwen, M., Nieuwenhuis, M. (2010). Retrieval of forest structural parameters using LiDAR remote sensing. *European Journal of Forest Research*, 129(4), 749–770.
- Lefsky, M. A., Cohen, W. B., Parker, G. G., Harding, D. J. (2002). Lidar remote sensing for ecosystem studies. *BioScience*, 52(1), 19–30.
- Lim, K., Treitz, P., Wulder, M. A., St-Onge, B., Flood, M. (2003). LiDAR remote sensing of forest structure. *Progress in Physical Geography*, 27(1), 88–106.
- Listopad, C.M.C.S., Drake, J.B., Masters, R.E., Weishampel, J.F. (2011). Portable and airborne small footprint LiDAR: forest canopy structure estimation of fire managed plots. *Remote Sensing*, 3(7), 1284–1307.

- Mallet, C., Bretar, F. (2009). Full-waveform topographic lidar: State-of-the-art. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(1), 1–16.
- Moskal, L.M., Zheng, G. (2012). Retrieving forest inventory variables with terrestrial laser scanning (TLS) in urban heterogenous forest. *Remote sensing*, 4, 1–20.
- Nilsson, M. (1996). Estimation of tree heights and stand volume using an airborne lidar system. *Remote Sensing of Environment*, 56(1), 1–7.
- Næsset, E. (1997a). Determination of mean tree height of forest stands using airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 52(2), 49–56.
- Næsset, E. (1997b). Estimating timber volume of forest stands using airborne laser scanner data. *Remote Sensing of Environment*, 61(2), 246–253.
- Sasaki, T., Imanishi, J., Ioki, K., Morimoto, Y., Kitada, K. (2011). Object-based classification of land cover and tree species by integrating airborne LiDAR and high spatial resolution imagery data. *Landscape and Ecological Engineering*, 1–15.
- Schardt, M., Ziegler, M., Wimmer, A., Wack, R., Hyypä, J. (2002). Assessment of forest parameters by means of laser scanning. *International archives of photogrammetry remote sensing and spatial information sciences*, 34(3/A), 302–309.
- Strahler, A. H., Jupp, D. L. B., Woodcock, C. E., Schaaf, C. B., Yao, T., Zhao, F., Yang, X., Lovell, J., Culvenor, D., Newnham, G., Ni-Miester, W., Boykin-Morris, W. (2008). Retrieval of forest structural parameters using a ground-based lidar instrument (Echidna®). *Canadian Journal of Remote Sensing*, 34(S2), 426–440.
- Tokola, T. (2006). Europe. In Kangas, A., Maltamo, M. (Eds.), *FOREST INVENTORY: methodology and applications*. Springer, 295–308.
- Tomppo, E., Schadauer, K., McRoberts, R. E., Gschwantner, T., Gabler, K., Ståhl, G. (2010). Introduction. In Tomppo, E., Gschwantner, T., Lawrence, M., McRoberts, R. E. (Eds.), *National forest inventories: Pathways for common reporting*. Springer, 1–19.

- Tonolli, S., Dalponte, M., Vescovo, L., Rodeghiero, M., Bruzzone, L., Gianelle, D. (2010). Mapping and modeling forest tree volume using forest inventory and airborne laser scanning. *European Journal of Forest Research*, 130(4), 569–577.
- ÚHÚL (2003). Inventarizace lesů: Metodika venkovního sběru dat, verze 6.0. *Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, Brandýs nad Labem*, pp. 136.
- Wack, R., Schardt, M., Lohr, U., Barrucho, L., Oliveira, T. (2003). Forest inventory for eucalyptus plantations based on airborne laserscanner data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1–7.
- Xing, Y., de Gier, A., Zhang, J., Wang, L. (2010). An improved method for estimating forest canopy height using ICESat-GLAS full waveform data over sloping terrain: A case study in Changbai mountains, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(5), 385–392.
- Zhao, F., Yang, X., Schull, M. A., Román-Colón, M. O., Yao, T., Wang, Z., Zhang, Q., Jupp, D. L. B., Lovell, J. L., Culvenor, D. S., Newnham, G. J., Richardson, A. D., Ni-Meister, W., Schaaf, C. L., Woodcock, C. E., Strahler, A. H. (2011). Measuring effective leaf area index, foliage profile, and stand height in New England forest stands using a full-waveform ground-based lidar. *Remote Sensing of Environment*, 115(11), 2954–2964.
- Nařízení vlády 193/2000 Sb., kterým se vyhláší provedení inventarizace lesů v letech 2001 až 2004
- Nařízení vlády 247/2009 Sb., kterým se vyhláší provedení inventarizace lesů v letech 2011 až 2015
- Zákon 289/1995 Sb. o lesích a o změně a doplnění některých zákonů (lesní zákon)

Přílohy

7.1 Parametry inventarizace lesa (převzato z ÚHÚL, 2003)

1. ŠETŘENÍ NA INVENTARIZAČNÍ PLOŠE
 - 1.1. Identifikační číslo inventarizační plochy
 - 1.2. Souřadnice středů inventarizační plochy
 - 1.2.1. Souřadnice hlavních středů IP
 - 1.2.2. Souřadnice náhradních středů IP
 - 1.3. Přístupnost a schůdnost inventarizační plochy
 - 1.4. Nadmořská výška
 - 1.5. Reliéf terénu na inventarizační ploše a v jejím okolí
 - 1.6. Jména členů inventarizační skupiny
 - 1.7. Datum měření
 - 1.8. Druh vlastnictví lesa a druh pozemku
 - 1.8.1. Druh vlastnictví lesa
 - 1.8.2. Druh pozemku
 - 1.9. Uživatelský vztah
 - 1.10. Kraj a okres
 - 1.11. Přírodní lesní oblast
 - 1.12. Kategorie lesa podle funkce
 - 1.13. Soubor lesních typů a lesní typ
 - 1.14. Lesní vegetační stupeň
2. POPIS STROMU
 - 2.1. Poloha stromu
 - 2.2. Číslo stromu
 - 2.3. Pozice stromu v mikroreliéfu
 - 2.4. Označení dřeviny
 - 2.5. Společenstevní postavení stromu
 - 2.5.1. Zařazení stromů do stromové třídy (podle upravené Kraftovy klasifikace)
 - 2.5.2. Klasifikace stromů podle biologického hlediska (klasifikace IUFRO)
 - 2.6. Příslušnost stromu k porostní vrstvě
 - 2.7. Věk stromu
 - 2.8. Výskyt chůdovitých kořenů
 - 2.9. Výskyt stojící souše
 - 2.10. Výška rozdvojení hlavní osy kmene
 - 2.11. Tvar koruny
 - 2.11.1. Tvar koruny
 - 2.11.2. Celkové utváření korun stromů
 - 2.11.3. Větvení smrku
 - 2.12. Poškození způsobené těžbou a přibližováním dřeva
 - 2.13. Poškození způsobené loupáním a ohryzem spárkatou zvěří
 - 2.14. Poškození kmene hnilobou, výskyt dutin
 - 2.15. Výskyt zlomu kmene
 - 2.16. Ostatní škody na kmenech
 - 2.17. Defoliace celé koruny smrku a borovice
 - 2.18. Defoliace horní třetiny koruny smrku a borovice
 - 2.19. Výskyt podpovrchové díry (u smrku a borovice)

- 2.20. Charakter a intenzita barevných změn asimilačních orgánů (u smrku a borovice)
 - 2.20.1. Typ barevných změn
 - 2.20.2. Intenzita barevných změn
- 2.21. Vitalita listnatých dřevin (u buku a dubu)
- 2.22. Kvalita kmene
- 2.23. Význam stromu z hlediska ochrany přírody
- 2.24. Příčina chybějícího nebo nově objeveného stromu na ploše
- 3. MĚŘENÍ STROMU
 - 3.1. Výčetní tloušťka stromu
 - 3.2. Výška stromu
 - 3.3. Výška nasazení živé koruny
 - 3.4. Výška bezsuké části kmene
- 4. ŠETŘENÍ V RÁMCI PODPLOCHY
 - 4.1. Identifikační číslo podplochy
 - 4.2. Rozloha a vylišení podplochy
 - 4.3. Kategorie pozemku
 - 4.3.1. Kategorie les
 - 4.3.2. Kategorie neles
 - 4.4. Expozice terénu
 - 4.5. Sklon terénu
 - 4.6. Hospodářský tvar lesa
 - 4.7. Bohatost struktury porostu
 - 4.8. Stav péče o porosty
 - 4.9. Stupeň přirozenosti lesního porostu
 - 4.10. Stanoviště cenné bioty
 - 4.11. Sesuv půdy
 - 4.12. Eroze způsobená vodou
 - 4.13. Lavinová pole
 - 4.14. Zatížení antropogenní činností
 - 4.15. Stanovení zápoje a věku pro jednotlivé porostní etáže (vrstvy)
 - 4.15.1. Zápoj
 - 4.15.2. Věk
 - 4.16. – 4.23. Pokryvnost významných druhů rostlin
 - 4.24. Výskyt potravy pro spárkatou zvěř, opad plodů a listů
 - 4.24.1. Potrava pro spárkatou zvěř
 - 4.24.2. Opad plodů
 - 4.25. Přístupnost pro zvěř
 - 4.26. Původ materiálu humusové vrstvy L (opad)
 - 4.27. Mocnost nadložního humusu (vrstvy F + H)
 - 4.27.1. Stratigrafie humusu
 - 4.28. Humusová forma
 - 4.28.1. Základní typy humusu
 - 4.28.2. Humusové formy
 - 4.29. Půdní typ a půdotvorný substrát
 - 4.30. Hloubka prokořenění
 - 4.31. Hloubka půdy (výskyt půdy hlubší než 30 cm)
 - 4.32. Odběr půdních vzorků
 - 4.33. Výskyt epifytických lišejníků

- 4.34. Růstová fáze porostní vrstvy
- 5. OBNOVA NA PODPLOŠE
 - 5.1. Přítomnost obnovy
 - 5.2. Původ obnovy
 - 5.3. Opatření na podporu vzniku přirozené obnovy
 - 5.4. Rozmístění sazenic v kultuře nebo v nárostu
 - 5.5. Forma smíšení sazenic v kultuře nebo v nárostu
 - 5.6. Faktory ovlivňující negativně obnovu
 - 5.7. Dřevina
 - 5.8. Výškové třídy obnovy
 - 5.9. Počet jedinců obnovy ve výškových třídách
 - 5.10. Věk dřeviny v obnově
 - 5.11. Ochranná opatření v obnově
 - 5.12. Poškození obnovy okusem a vytloukáním; loupáním či ohryzem spárkatou zvěří
- 6. LEŽÍCÍ ODUMŘELÉ DŘEVO
 - 6.1. Výskyt větví a těžebních zbytků s tloušťkou do 7 cm
 - 6.2. Výskyt těžebních zbytků, vývratů a ulomených kmenů tlustších než 7 cm
 - 6.2.1. Stupeň rozkladu
 - 6.2.2. Stupeň rozptýlení
- 7. PAŘEZY
 - 7.1. Tloušťka pařezu
 - 7.2. Výška pařezu
 - 7.3. Stupeň rozkladu dřeva pařezu
- 8. INVENTARIZACE LESNÍCH CEST
 - 8.1. Nadmořská výška lesní cesty
 - 8.2. Význam lesní cesty
 - 8.3. Kategorie lesní cesty
 - 8.4. Šířka koruny vozovky
 - 8.5. Druh povrchu vozovky
 - 8.6. Výskyt travního povrchu na vozovce
 - 8.7. Spád cesty
 - 8.8. Stav naspů a zářezů
 - 8.9. Sesuvy a eroze na náspech a zářezech cesty
 - 8.10. Stav odvodnění lesní cesty – technického vybavení
 - 8.11. Eroze koruny lesní cesty
- 9. INVENTARIZACE POTOKU A BYSTŘIN
 - 9.1. Šířka vodní hladiny potoku – bystřiny
 - 9.2. Stálost průtoku vody v potoku – bystřině
 - 9.3. Spád potoka
 - 9.4. Výskyt technických opatření pro hrazení bystřin
- 10. INVENTARIZACE ODVODŇOVACÍCH ZAŘÍZENÍ
 - 10.1. Šířka vodní hladiny v odvodňovacím zařízení
 - 10.2. Stálost průtoku vody v odvodňovacím zařízení
- 11. VÝZNAČNÉ BODY V TERÉNU
 - 11.1. Druh bodu
- 12. INVENTARIZACE OKRAJŮ LESA
 - 12.1. Hustota okraje lesa
 - 12.2. Dřeviny na okraji lesa

- 12.3. Typ okraje lesa
- 12.4. Výskyt a struktura pásů keřů na okraji lesa