

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. 45

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 14. prosince 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, Ing. Jiřímu Nechvílovi z Ústavu hospodářské úpravy lesa za doplňující informace ohledně inventarizace lesa a především své rodině za vytrvalou podporu při studiu.

Obsah

1	Literární přehled	6
1.1	Inventarizace lesa	6
1.2	Parametry	8
1.2.1	Šetření na inventarizační ploše	8
1.2.2	Popis stromu	9
1.2.3	Měření stromu	10
1.2.4	Šetření v rámci podplochy	11
1.2.5	Obnova na podploše	12
1.2.6	Ležící odumřelé dřevo	12
1.2.7	Pařezy	13
1.2.8	Inventarizace lesních cest	13
1.2.9	Inventarizace potoků a bystřin	13
1.2.10	Inventarizace odvodňovacích zařízení	14
1.2.11	Význačné body v terénu	14
1.2.12	Inventarizace okrajů lesa	14
1.3	Metody zjišťování parametrů	14
1.3.1	LiDAR	15
1.3.1.1	<i>Letecké lidary v lesnictví</i>	17
1.3.1.2	<i>Pozemní lidary v lesnictví</i>	18
1.3.1.3	<i>Mobilní lidary</i>	19
1.3.1.4	<i>Další využití lidarů</i>	21
1.3.2	Zpracování lidarových dat	21
2	Dosavadní zkušenosti	22
3	Cíle projektu	25
4	Návrh experimentu	25
4.1	Postup práce	25
4.2	Řešitelský tým	27
4.3	Finanční rozvaha	28
4.4	Rizika projektu a jejich předcházení	29
5	Závěr	30
6	Literatura	31
7	Přílohy	36
7.1	Parametry inventarizace lesa (převzato z ÚHÚL, 2003)	36

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).

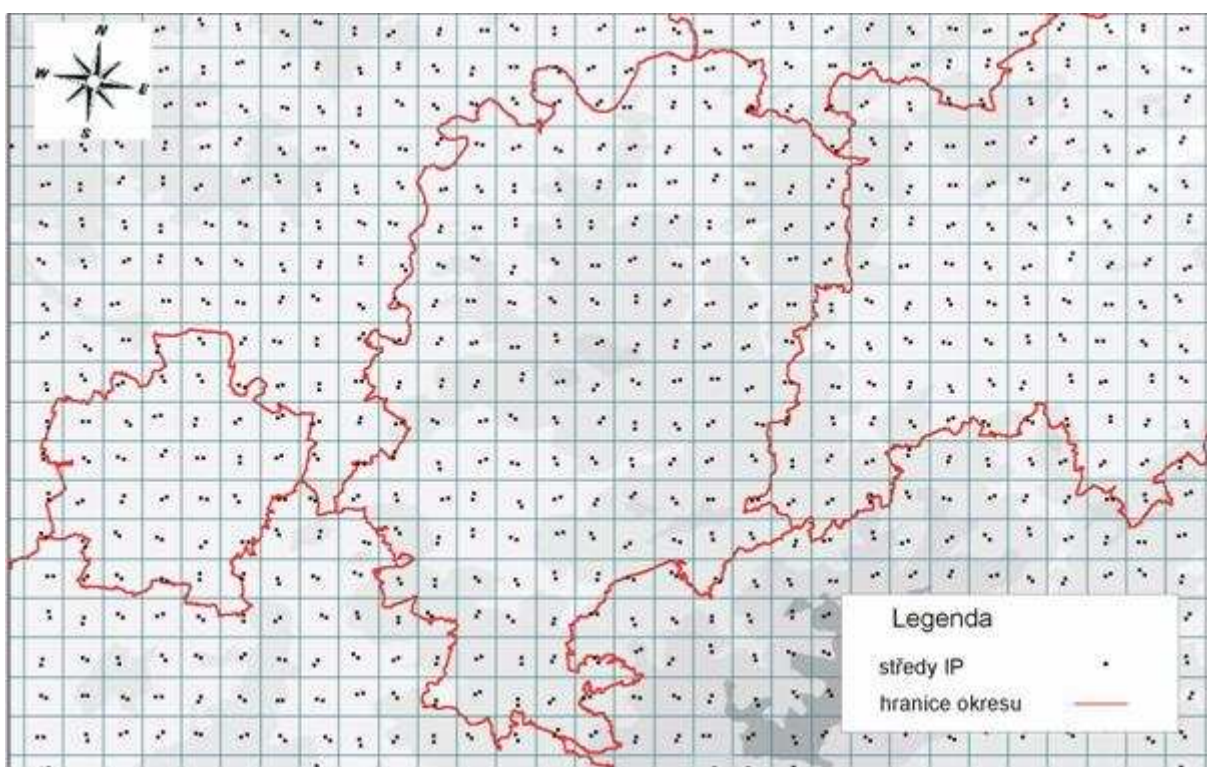
V roce 2003 vznikla Evropská síť národních inventarizací lesů (ENFIN), jejímž cílem je v rámci projektu Evropské spolupráce ve vědě a technice (European cooperation in science and technology, zkratka COST E43) do budoucna sjednotit metody získávání dat kvůli lepšímu porovnání výsledků z jednotlivých 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.

Území České republiky je rozděleno do základní inventarizační sítě o rozloze 2x2 km, přičemž průsečky sítě jsou označeny za středy inventarizačních čtverců. Tyto čtverce jsou plochy rovněž o rozměrech 2x2 km, ve kterých se nachází dvojice kruhových inventarizačních ploch. Každá má velikost 500 m² a středy těchto ploch jsou od sebe vzdáleny 300 m. Obr. 1 znázorňuje rozložení dvojploch v rámci čtverců na rozloze okresu, na obr. 2 je schéma dvojplochy s jednotlivými rozměry.

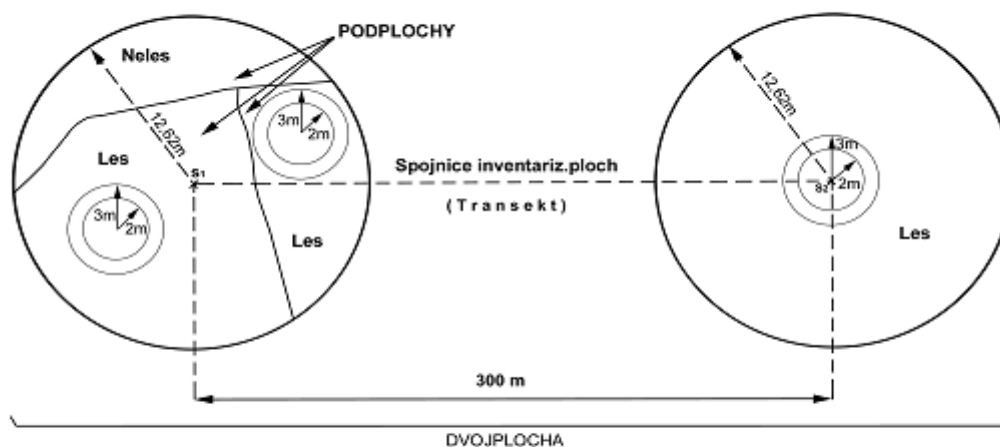


Obr. 1 Rozmístění dvojploch na území okresů (ÚHÚL, 2003)

DVOJPLOCHA:

1. INVENTARIZAČNÍ PLOCHA (500m²)

2. INVENTARIZAČNÍ PLOCHA (500m²)



r = 2 m	Inventarizační kruh, v němž se měří stromy od výšky 10 cm do výčet, tloušťky 6,9 cm
r = 3 m	- " - s výčet, tloušťkou 7,0 cm - 11,9 cm s kůrou
r = 12,62 m	- " - s výčet, tloušťkou 12 cm s kůrou a více
S1,2	Střed inventarizační plochy

Obr. 2 Schématický náčrt dvojploty (ÚHÚL, 2003)

1.2 Parametry

V Metodice inventarizace lesa (ÚHÚL, 2003) jsou zjišťované parametry přehledně uspořádány do dvanácti oblastí a v následujících podkapitolách se budu věnovat jejich popisu a využití.

1.2.1 Šetření na inventarizační ploše

Tab. 1 Název a využití parametrů v kategorii 1

Název	Využití
Identifikační číslo inventarizační plochy	Nezaměnitelné označení ploch
Souřadnice středů inventarizační plochy	Přesná identifikace plochy v terénu
Souřadnice hlavních středů IP	
Souřadnice náhradních středů IP	Pokud hlavní střed nepřístupný
Přístupnost a schůdnost inventarizační plochy	Faktor pro založení plochy
Nadmořská výška	Zmapování faktorů podle nadm.výšky
Reliéf terénu na inventarizační ploše a v jejím okolí	Zmapování reliéfu terénu
Jména členů inventarizační skupiny	Zjištění odpovědných pracovníků

Datum měření	Pro následné kontroly a vyhodnocení
Druh vlastnictví lesa a druh pozemku	-
Druh vlastnictví lesa	Zjištění geografického rozložení údržby lesa
Druh pozemku	Porovnání skutečného stavu se stavem v KN
Uživatelský vztah	Zjištění poměru hospodaření vlastníků a nájemců
Kraj a okres	Evidence a prezentace údajů v rámci regionů
Přírodní lesní oblast	Prezentace údajů podle Přírodní lesní oblasti
Kategorie lesa podle funkce	Zjištění podílu hospodářského lesa a ostatních funkcí
Soubor lesních typů a lesní typ	Provázání údajů se stanovištními podmínkami
Lesní vegetační stupeň	Zařazení stanoviště do souboru lesních typů

Souřadnice středů inventarizační plochy se určují v systému S-JTSK. Pokud se středy inventarizačních ploch nacházejí na území, kam je vstup zakázán, označí se za nepřístupné. Schůdností se rozumí, zda terén umožňuje měření území, za neschůdné se považují např. vodní toky, močály, skály aj.

Pro určování nadmořské výšky je v ČR používán Systém Baltský po vyrovnání (BpV).

1.2.2 Popis stromu

Tab. 2 Název a využití parametrů v kategorii 2

Název	Využití
Poloha stromu	Nezaměnitelná poloha stromu, pro opakované vyhledání
Číslo stromu	Přiřazení sledovaných údajů ke konkrétnímu stromu
Pozice stromu v mikroreliefu	Zjištění členitosti terénu
Označení dřeviny	Určení druhu dřeviny
Společenstevní postavení stromu	Údaj pro stanovení zásahu
Zařazení stromů do stromové třídy (podle upravené Kraftovy klasifikace)	-
Klasifikace stromů podle biologického hlediska (klasifikace IUFRO)	-
Příslušnost stromu k porostní vrstvě	Rozhodování o výchovných zásazích
Věk stromu	Informace o věkové struktuře porostu

Výskyt chůdovitých kořenů	Ukazatel přirozené obnovy
Výskyt stojící souše	Informace o změnách zdravotního stavu
Výška rozdvojení hlavní osy kmene	Ukazatel stavu porostu
Tvar koruny	-
Tvar koruny	Přiřazení typů korun jednotlivým druhům dřevin
Celkové utváření korun stromů	Zjištění podílu deformovaných korun
Větvení smrku	Zjištění souvislostí mezi typem větvení a přírodními podmínkami
Poškození způsobené těžbou a přibližováním dřeva	Odhad budoucích dalších škod hnilobami
Poškození způsobené loupáním a ohryzem spárkatou zvěří	Odhad budoucích dalších škod hnilobami
Poškození kmene hnilobou, výskyt dutin	Odhad ztrát na produkci, zhoršení stavu lesa
Výskyt zlomu kmene	Posouzení poškození porostu, odhad budoucích škod hnilobami
Ostatní škody na kmenech	Nemají výrazný vliv na výnos
Defoliace celé koruny smrku a borovice	Hodnocení a monitorování vlivu imisí na lesy
Defoliace horní třetiny koruny smrku a borovice	Hodnocení a monitorování vlivu imisí na lesy
Výskyt podpovrchové díry (u smrku a borovice)	Hodnocení a monitorování vlivu imisí na lesy
Charakter a intenzita barevných změn asimilačních orgánů (u smrku a borovice)	Ukazatel nutnosti hledat příčiny těchto změn
Typ barevných změn	-
Intenzita barevných změn	-
Vitalita listnatých dřevin (u buku a dubu)	Ukazatel míry poškození dřeviny
Kvalita kmene	Podklad pro zařazení stromů do sortimentačních tříd
Význam stromu z hlediska ochrany přírody	Zjištění významných stromů z hlediska ochrany přírody
Příčina chybějícího nebo nově objeveného stromu na ploše	Ukazatel dynamiky vývoje porostu

1.2.3 Měření stromu

Tab. 3 Název a využití parametrů v kategorii 3

Název	Využití
Výčetní tloušťka stromu	Výpočet porostních zásob, dendrometrické výpočty, sortimentace
Výška stromu	Dendrometrické výpočty
Výška nasazení živé koruny	Výpočet délky koruny stromu
Výška bezsuké části kmene	Sortimentace

1.2.4 Šetření v rámci podplochy

Tab. 4 Název a využití parametrů v kategorii 4

Název	Využití
Identifikační číslo podplochy	Další zpracování údajů na ploše
Rozloha a vylišení podplochy	Umístění obnovních kruhů a další zpracování
Kategorie pozemku	Zpracování a vyhodnocení údajů
Kategorie les	-
Kategorie neles	-
Expozice terénu	Stanovení ohrožení převládajícími větry
Sklon terénu	Zjištění exponovanosti, terénní klasifikace, odhah ohrožení erozí
Hospodářský tvar lesa	Vyhodnocení zastoupení tvarů lesa
Bohatost struktury porostu	Zjištění zastoupení a rozložení bohatě strukturovaných lesů
Stav péče o porosty	Ukazatel zanedbanosti porostů
Stupeň přirozenosti lesního porostu	Vyhodnocení lesních společenstev s různou druhovou skladbou
Stanoviště cenné bioty	Zjištění rozložení cenných stanovišť
Sesuv půdy	Vyhodnocení oblastí ohrožených sesuvem
Eroze způsobená vodou	Vyhodnocení oblastí ohrožených vodní erozí
Lavinová pole	Vyhodnocení lavinových drah
Zatížení antropogenní činností	Posuzování vlivu civilizace na les
Stanovení zápoje a věku pro jednotlivé porostní etáže (vrstvy)	-
Zápoj	Posuzování hodnoty porostu z pěstebního hlediska
Věk	Popis věkové rozrůzněnosti
Pokryvnost významných druhů rostlin	Potvrzení zařazení plochy do souboru lesního typu
Výskyt potravy pro spárkatou zvěř, opad plodů a listů	-
Potrava pro spárkatou zvěř	Vyhodnocení vztahu mezi zvěří a lesem
Opad plodů	Vyhodnocení úživnosti pro zvěř
Přístupnost pro zvěř	Zjištění přístupnosti pro zvěř
Původ materiálu humusové vrstvy L (opad)	Ukazatel vlivu na půdní vlastnosti
Mocnost nadložního humusu (vrstvy F + H)	Ukazatel rychlosti rozkladných procesů
Stratigrafie humusu	
Humusová forma	Určení půdního typu
Základní typy humusu	-

Název	Využití
Humusové formy	
Půdní typ a půdotvorný substrát	Základní rozlišovací znak lesního prostředí
Hloubka prokořenění	Vymezení vhodnosti zastoupení dřevin
Hloubka půdy (výskyt půdy hlubší než 30 cm)	Vyhodnocení růstových podmínek lesních dřevin, stupeň ohrožení erozí
Odběr půdních vzorků	Rozbor chemických vlastností půdy, mapování rozložení půdních typů
Výskyt epifytických lišejníků	Hodnocení kvality ovzduší
Růstová fáze porostní vrstvy	Vyjádření věku porostu pro pěstební účely

1.2.5 Obnova na podploše

Tab. 5 Název a využití parametrů v kategorii 5

Název	Využití
Přítomnost obnovy	Informace o možnosti vzniku následného porostu
Původ obnovy	Zjištění poměru přirozeného zmlazení a umělé obnovy
Opatření na podporu vzniku přirozené obnovy	Zjištění rozsahu a druhu prováděných opatření
Rozmístění sazenic v kultuře nebo v nárostu	Zjištění rozmístění jedinců
Forma smíšené dřevin v kultuře nebo v nárostu	Zjištění druhové skladby obnovy
Faktory ovlivňující negativně obnovu	Přehled o působení negativních faktorů
Dřevina	Základní údaj pro určení dalších zásahů
Výškové třídy obnovy	Popis životaschopnosti obnovy
Počet jedinců obnovy ve výškových třídách	Popis životaschopnosti obnovy
Věk dřeviny v obnově	Vyhodnocení věkové struktury
Ochranná opatření v obnově	Zjištění podílu prováděných opatření
Poškození obnovy okusem a vytloukáním; loupáním či ohryzem spárkatou zvěří	Popis zdravotního stavu a životaschopnosti obnovy

1.2.6 Ležící odumřelé dřevo

Tab. 6 Název a využití parametrů v kategorii 6

Název	Využití
Výskyt větví a těžebních zbytků s tloušťkou do 7 cm	Množství ponechaného dřeva přirozenému rozpadu
Výskyt těžebních zbytků, vývrátů a ulomených kmenů tlustších než 7 cm	Množství ponechaného dřeva přirozenému rozpadu

Název	Využití
Stupeň rozkladu	
Stupeň rozptýlení	

1.2.7 Pařezy

Tab. 7 Název a využití parametrů v kategorii 7

Název	Využití
Tloušťka pařezu	Vyhodnocení objemu pařezů v lese
Výška pařezu	Vyhodnocení objemu pařezů v lese
Stupeň rozkladu dřeva pařezu	Ukazatel rychlosti trouchnivění pařezů

1.2.8 Inventarizace lesních cest

Tab. 8 Název a využití parametrů v kategorii 8

Název	Využití
Nadmořská výška lesní cesty	Rozložení cest v různých nadmořských výškách
Význam lesní cesty	Zjištění využitelnosti lesních cest
Kategorie lesní cesty	Zjištění využitelnosti a důležitosti lesních cest
Šířka koruny vozovky	Zmapování lesních cest podle šířky koruny
Druh povrchu vozovky	Zjištění únosnosti lesních cest a vhodnosti použitého materiálu ke zpevnění
Výskyt travního povrchu na vozovce	Zmapování cest podle výskytu travního povrchu
Spád cesty	Zjištění využitelnosti lesní cesty a náchylnosti k erozi
Stav náspů a zářezů	Hodnocení stability
Sesuvy a eroze na náspech a zářezech cesty	Posouzení stavu náspů a zářezů cest
Stav odvodnění lesní cesty – technického vybavení	Zjištění rozsahu vybudovaných protipatření
Eroze koruny lesní cesty	Monitoring okamžitého stavu průjezdnosti cesty

1.2.9 Inventarizace potoků a bystřin

Tab. 9 Název a využití parametrů v kategorii 9

Název	Využití
Šířka vodní hladiny potoku – bystřiny	Přehled o hydrologickém stavu oblasti
Stálost průtoku vody v potoku – bystřině	Míra zásobení koryta vodou
Spád potoka	Zjištění reliéfu potoka

Název	Využití
Výskyt technických opatření pro hrazení bystřin	Míra zadržování průtoku vody

1.2.10 Inventarizace odvodňovacích zařízení

Tab. 10 Název a využití parametrů v kategorii 10

Název	Využití
Šířka vodní hladiny v odvodňovacím zařízení	Vyhodnocení vodohospodářských opatření a vodního režimu lesa
Stálost průtoku vody v odvodňovacím zařízení	Hodnocení stavu vodohospodářských opatření a vodního režimu lesa

1.2.11 Význačné body v terénu

Tab. 11 Název a využití parametrů v kategorii 11

Název	Využití
Druh bodu	Ukazatel různorodosti a polyfunkčnosti lesa

1.2.12 Inventarizace okrajů lesa

Tab. 12 Název a využití parametrů v kategorii 12

Název	Využití
Hustota okraje lesa	Ukazatel kompaktnosti a odolnosti porostu, možnost úkrytu živočichů
Dřeviny na okraji lesa	Ukazatel diverzity porostu a krajiny
Typ okraje lesa	Ukazatel odolnosti porostu
Výskyt a struktura pásů keřů na okraji lesa	Ukazatel diverzity lesa

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 prováděno pomocí sestavy z laserového dálkoměru, kompasu a součástí výbavy je speciální terénní počítač se softwarem Field-Map, navrženým Ústavem pro výzkum lesních ekosystémů (IFER, 2010), kam se přímo zaznamenávají 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). Měření sklonu je prováděno sklonometrem, orientace svahu pomocí kompasu.

1.3.1 LiDAR

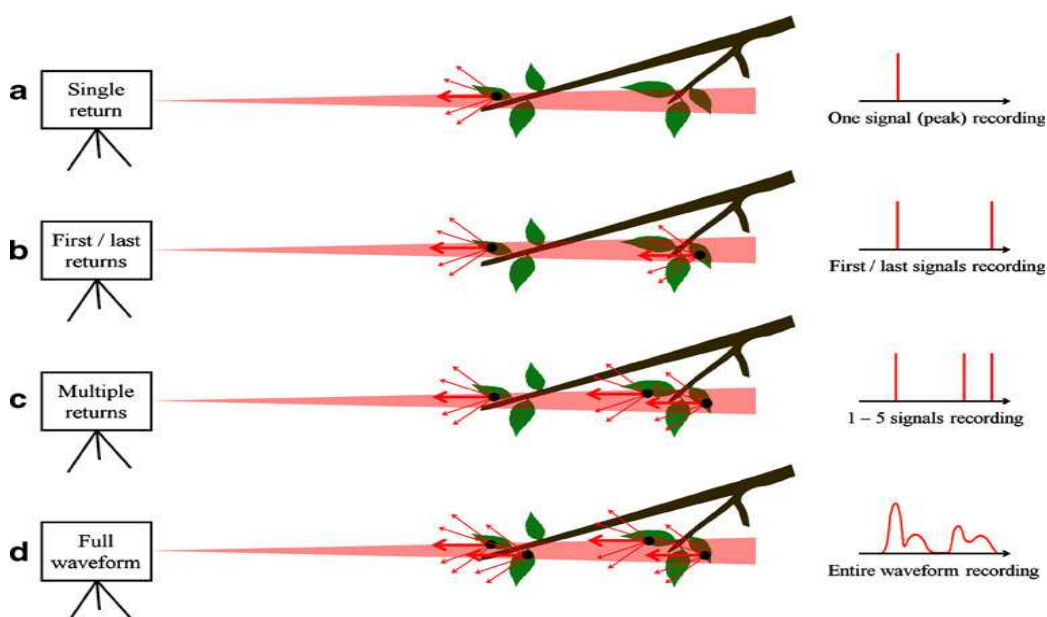
Laserové skenování je metodou, která se v současnosti těší velkému rozvoji. Princip spočívá v použití lidaru (zkratka odvozená ze slov Light Detection and Ranging), což je přístroj, který vysílá laserový paprsek, ten je pomocí pohyblivého zrcadla rozptýlen po okolí a na základě rozdílu času mezi vysláním 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. 3 představuje rozdíly v zaměřování objektů pomocí SLS, ALS a TLS, například odlišnou šířku záběru vysílaného paprsku.



Obr. 3 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.4.



Obr. 4 Diskretní lidary (a: jediný odraz, b: první/poslední odraz, c: více odrazů) a kontinuální lidary (d: úplný záznam intenzity odrazu) (Dassot et al., 2011)

1.3.1.1 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 lidaru odlišit stromy podle druhů byla provedena v porostech borovice lesní, smrku a listnatých stromů (Holmgren, Persson, 2004). Pomocí snímků v blízkém infračerveném spektru lze oddělit jehličnaté stromy od listnatých, ale borovice a smrk dávají podobné spektrální odrazy. Data z leteckého skenování v kombinaci s analýzou tvaru koruny zvýšila poměr správně klasifikovaných stromů na 95 %.

Přehledu lidarů pro letecké skenování se věnuje Baltsavias (1999). Výrobou se zabývá v současnosti řada firem, nejznámějšími výrobci jsou Optech, Riegl, TopoSys, TopEye a Leica. Rozdíly mezi diskretními a kontinuálními systémy představuje Lefsky et al. (2002). Diskretní systémy se vyznačují velkým prostorovým rozlišením a stopou paprsku o malém průměru. Jsou vhodné pro detailní mapování terénu na velké ploše území. Kontinuální systémy jsou charakteristické stopou paprsku o šířce 100 m a jsou umístěny na satelity. Hlavním využitím je sběr topografických dat (Mallet, Bretar, 2009).

1.3.1.2 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). Systém Echidna byl ve studii Dassot et al. (2011) porovnáván s dalšími využívanými pozemními skenery, které jsou založené na měření vzdáleností pomocí doby letu paprsku (time-of-flight): přístrojem Riegl LMS-Z420i, zaznamenávajícím první a poslední odraz, přístrojem Riegl LMS-VZ1000 s kontinuálním záznamem a s přístrojem Optech Iris-3D se záznamem prvního a posledního paprsku (Tab. 13).

Na trhu jsou také další terestrické systémy, založené na měření fázového posunu plynule vysílaného a přijímaného paprsku (phase-shift). Ve studii Dassot et al. (2011) byly porovnávány tyto přístroje: FARO LS 880 HE80, FARO Focus 3D 120, Zoller+Frohlich Imager 5003 a Zoller+Frohlich Imager 5010 (Tab. 14). Oproti předchozímu typu skenerů jsou tyto skenery schopné jediného záznamu paprsku, přesnějšího měření na kratší vzdálenosti a vyšší měřicí rychlosti.

Tab. 13 Přehled vlastností tzv. time-of-flight skenerů (Dassot et al., 2011): dostupnost, rok uvedení na trh, měření vzdálenosti, vlnová délka (nm), typ záznamu, rozsah měření (m), přesnost měření (mm), velikost bodu na výstupu (mm), rozbíhavost paprsku (mrad), V x H oblast dosahu (°), rychlost měření (body/s), váha s příslušenstvím (kg)

	RIEGL LMS-Z420i ^a	RIEGL LMS-VZ1000 ^a	OPTECH Inc. Ilris-3D ^b	Echidna ^{®c}
Availability	Commercial	Commercial	Commercial	Experimental
Date of introduction	2003	2010	2002	2005
Range finder	Pulsed time-of-flight	Pulsed time-of-flight	Pulsed time-of-flight	Pulsed time-of-flight
Wavelength (nm)	1,550 (near-infrared)	1,500 (near-infrared)	1,535 (near-infrared)	1,064 (near-infrared)
Return type	First / last signal	Full waveform	First / last signal	Full waveform
Measurement range (m)	2–1,000	2.5–1,400	3–1,500	1–100
Range accuracy (mm)	10 (at 50 m)	8 (at 100 m)	7 (at 50 m)	30 (at 100 m)
Spot size at exit (mm)	8	7	14	29
Beam divergence (mrad)	0.25	0.3	0.15	2 - 15 (selectable)
V x H field of view (°)	80 x 360	100 x 360	40 x 40	267 x 360
Acquisition rate (pts/s)	up to 11,000	up to 122,000	up to 10,000	up to 10,000
Weight including peripherals (kg)	18	12	20	~ 40

^a <http://www.riegl.com>

^b <http://www.optech.ca>

^c <http://www.csiro.au/science/LidarDetection.html>

Tab. 14 Přehled vlastností tzv. phase-shift skenerů (Dassot et al., 2011): dostupnost, rok uvedení na trh, měření vzdálenosti, vlnová délka (nm), typ záznamu, rozsah měření (m), přesnost měření (mm), velikost bodu na výstupu (mm), rozbíhavost paprsku (mrad), V x H oblast dosahu (°), rychlost měření (body/s), váha s příslušenstvím (kg)

	FARO LS 880 HE80 ^a	FARO Focus 3D 120 ^a	Zoller + Fröhlich Imager 5003 ^b	Zoller + Fröhlich Imager 5010 ^b
Availability	Commercial	Commercial	Commercial	Commercial
Date of introduction	2006	2010	2003	2010
Range finder	Phase shift	Phase shift	Phase shift	Phase shift
Wavelength (nm)	785 (visible)	905 (near infrared)	780 (visible)	1,500 (near infrared)
Return type	Single signal	Single signal	Single signal	Single signal
Measurement range (m)	0.6–76	0.6–153	1–53.5	0.3–187
Range accuracy (mm)	3 (at 25 m)	2 (at 25 m)	3 (at 25 m)	1 (at 25 m)
Spot size at exit (mm)	3	3.8	3	3.5
Beam divergence (mrad)	0.25	0.16	0.22	0.3
V x H field of view (°)	320 x 360	305 x 360	310 x 360	320 x 360
Acquisition rate (pts/s)	120,000	up to 976,000	up to 500,000	up to 1,016,000
Weight including peripherals (kg)	18.5	5	16	11.5

^a <http://www.faro.com>

^b <http://www.zf-laser.com>

1.3.1.3 Mobilní lidary

Speciální podskupinou pozemního skenování, která se rychle rozvíjí, je mobilní skenování, jehož principem je instalace lidaru na pohyblivou platformu. Tou může být např. vozidlo, což je výhodné pro mapování ulic ve městech jako např. projekt Street View od společnosti Google. Pro účely mapování v lesnatých oblastech však automobil pronikne jen okrajově po lesních cestách, a tak je vhodnější umístit lidar přímo na tělo pracovníka a měřit za chůze. Nejprve byla sestavena konstrukce pro přenos lidaru před tělem osoby

(Obr. 5) (Parker et al., 2004), později byl lidar umístěn do batohu na záda (Obr. 6) (Listopad et al., 2011.). V obou studiích byl použit lidar Riegl LD90-3100 HS.

Mobilní lidary mají podobně jako stacionární terestrické systémy využití ve vytvoření přesného 3D modelu skenované oblasti, především v citlivějším zachycení elementů pod korunami stromů než pomocí leteckého lidaru (Listopad et al., 2011). Mobilní lidar je hodnocen jako výhodná investice pro hodnocení struktury stromů. Pro měření průměrů kmene dosahuje standardní odchylka pouhých 8,2 mm, výška stromu má standardní odchylku 4,9 dm (van Leeuwen, Nieuwenhuis, 2010).



Obr. 5 Konstrukce pro přenos lidaru (Parker et al., 2004)



Obr. 6 Lidar v batohu na zádech (Listopad et al., 2011)

1.3.1.4 Další využití lidarů

Všechny uvedené systémy byly testovány pro využití v lesnictví. Vedle parametrů pro účely inventarizace lesa jsou lidarem sledovány i jiné zajímavé charakteristiky, využitelné v ekologii.

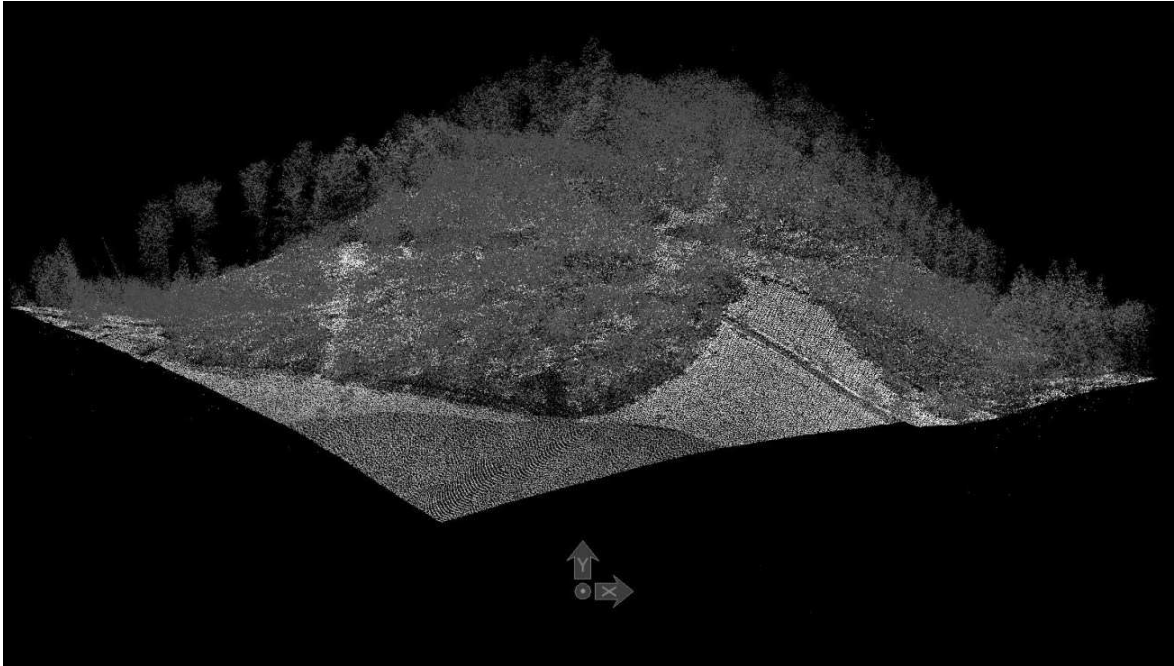
Jako první mohu jmenovat veličiny vhodné pro účely fyziologie. Leaf area density je definována jako celková hustota listů na jednotku objemu v dané vrstvě, využitelná pro odhad fotosyntézy (Hosoi, Omasa, 2007). Pomocí přenosného lidarů byla vytvořena 3D struktura porostu zelkvy pilovité (*Zelkova serrata*, (Thunberg) Makino). Podobnou hodnotou je Leaf area index neboli plocha listů na jednotku plochy, jejímu měření pomocí lidarů se věnoval Zhao et al. (2011).

Další zajímavou aplikací využití lidarů je odhad společenstev rostlin a živočichů na základě sledování jejich habitatu. Pomocí lidarů lze například odhadovat početnost strakapouda kokardového (*Picoides borealis*, Vieillot) (Smart et al., 2012), druhová složení ptačích společenstev (Muller et al., 2010) nebo aktivitu kůrovce (Muller, Brandl, 2009)

Některé práce se zabývají kombinací lidarových dat jinými způsoby dálkového průzkumu Země, např. s hyperspektrálními snímky, 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. Přesto však se jeví společné využívání lidarových a hyperspektrálních dat jako efektivní a do budoucna více prosazované.

1.3.2 Zpracování lidarových dat

Výsledkem leteckého a pozemního skenování je 3D mračno bodů se souřadnicemi (x, y, z), které je potřeba upravit, a to filtrací a klasifikací dat. Patočka (2012) uvádí 3 programy vhodné pro zpracování dat. Prvním je TerraScan od finské firmy TerraSolid (Obr. 7), který nabízí automatickou klasifikaci dat, ale lze také provádět manuální klasifikaci pomocí označení bodů. Program obsahuje funkce Detect Trees.



Obr. 7 Mračno bodů v programu TerraScan (Patočka, 2012)

Program ArcGIS od americké firmy ESRI je dalším řešením pro zpracování lidarových dat, výhodná je práce s tvorbou početních modelů díky nástroji Model Builder (Dolanský, 2011) a funkcemi např. Near Neighbora nadstavbou Lidar Analyst od Overwatch Systems (Patočka, 2012).

Dassot et al. (2011) uvádí další software, který je k dispozici od výrobců skenerů. 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.

2 Dosavadní zkušenosti

S leteckým a pozemním laserovým skenováním jsem se seznámila v říjnu 2010, když jsem se v rámci projektu TransEcoNet zúčastnila pozemního laserového skenování, které pro účely Správy národního parku České Švýcarsko, Univerzity J. E. Purkyně v Ústí nad Labem a Technische Universitaet Dresden prováděla firma Georeal.

Skenování bylo provedeno na dvou lokalitách. První bylo tzv. Požářiště na Havraní skále, kde se po rozsáhlých požárech sleduje přirozená obnova lesa (Obr. 8, 9). Druhá lokalita byla inverzní rokle Kachního potoka, která je charakteristická druhovým složením vegetace a obtížně přístupným terénem (Obr. 10).



Obr. 8 Požářiště na Havraní skále (foto Petr Beránek, <http://www.panoramio.com/photo/25689969>)



Obr. 9 Pozemní skenování na Havraní skále (foto Tomáš Dolanský)

Pozemní skenování bylo na obou lokalitách provedeno skenerem Riegl LMS-Z420i, který byl doplněn o kalibrovaný digitální fotoaparát Canon 20D za účelem pořizování barevných snímků k jednotlivým skenovaným bodům. Pro přesné určení polohy stanovištních bodů pro skener a vličovacích bodů pro následné spojení dílčích skenů do jednoho mračna byl použit systém GPS Leica 1200 (Dolanský, 2011).



Obr. 10 Lokalita Kachní potok (foto Tomáš Dolanský)

Letecké skenování obou lokalit proběhlo již v roce 2005 v rámci projektu GeNeSiS firmou TopoSys za použití systému Falcon II, který byl doplněn o optický senzor pro snímání v RGB+NIR pásmech (Dolanský, 2011).

K primárnímu prohlížení naskenovaných dat byl dodán software RiSCAN (Obr. 11).



Obr. 11 Prostředí programu RiSCAN (Dolanský, 2011)

Dalším krokem bylo zjišťování polohy stromů, výšky stromů, vzdálenosti k nejbližšímu stromu a typ dřeviny (jehličnan/listnáč). K analýze byl použit program ArcGIS ve verzi 9.3.1. s nainstalovanou extenzí Spatial Analyst. Poloha stromů se z leteckého skenování zjišťuje pomocí hledání vrcholu koruny, ta je snadněji zjistitelná u jehličnanů, u listnáčů je detekce obtížnější. Výšku stromů lze určit z maximální výšky bodů prvního odrazu nad terénem, vzdálenost k nejbližšímu stromu byla vypočítána pomocí funkce Near v programu ArcGIS. Rozlišení stromu na jehličnan nebo listnáč vychází z předpokladu, že dřeviny mají různou hustotu bodů v horních patrech koruny.

3 Cíle projektu

Projekt si klade následující cíle:

- Představit vybrané parametry, které jsou vhodné pro měření pomocí pozemního lidarů
- Provést porovnání současně dostupných lidarů a vybrat lidar nejvhodnější pro měření dat pro vybrané parametry
- Sestavit program pro efektivní vypočítání parametrů z naměřených dat
- Zrealizovat měření vybraných parametrů ve vybraných porostech

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.

V Tab.15 uvádím seznam parametrů zvolených pro měření pomocí pozemního skeneru s komentářem k výpočtu jejich algoritmů.

Tab. 15 Parametry pro měření a jejich výpočet

Parametr	Výpočet
Poloha stromu	Hledání shluku bodů tvaru kruhu, doplnění středu kruhu
Průměr kmene	Příčný řez mračnem bodů ve výšce 1,25 m a 1,35 m, doplnění středu kruhu shluku bodů
Výška stromu	Rozdíl výšek nejnižšího a nejvyššího bodu
Hustota zápoje	Vzdálenost kmenů sousedních stromů a šířka koruny, poměr prostupu laserových paprsků směrem k obloze
Reliéf terénu	Digitální model terénu

Dalším krokem bude výběr takového pozemního lidarů, který bude splňovat následující kritéria: bude dostatečně lehký a přenosný pro přenášení v terénu, bude schopný měřit data za chůze s vysokou přesností a bude mít dlouhou výdrž. Celková dotace na nalezení takového lidarů bude 2 měsíce.

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. 16.

Úkoly	2012												2013											
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
Rešerše o novinkách	■	■																						
Tvorba algoritmů		■																						
Výběr přístroje		■																						
Tvorba softwaru		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■										
Ověřování, testování					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■										
Soupis metodiky																								
Realizace																								
Prezentace výsledků																								
Uzavření projektu																								

Tab. 16 Harmonogram činností v rámci projektu

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. 17 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

Položka služby v sobě zahrnuje konferenční poplatky a poplatky za pronájem lidaru, 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. 18 Rozpočet projektu

Náklad	Jednotka	Počet kusů	Cena kusu	Celkem Kč
Odměny	Os. * měs. (hod)			2 444 000
Cestovní náklady				240 000
Služby	Pronájem lidaru, 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 efektivní sledování parametrů pro lesnické využití na velkých rozlohách v relativně krátkém čase. Ucelená datová řada umožní porovnat přírůstky za vybrané časové období. Nabízí se kombinace využití dat z lidarů a metod dálkového průzkumu Země pro zjišťování dalších zajímavých jevů v lesních ekosystémech jako již zmíněné odhady biodiverzity, fotosyntéza, ukládání uhlíku a jiné.

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. (2011). Zpráva k projektu Transeconet
- 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.
- Hosoi, F., Omasa, K. (2007). Factors contributing to accuracy in the estimation of the woody canopy leaf area density profile using 3D portable lidar imaging. *Journal of Experimental Botany*, 58(12), 3463–3473.
- 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.
- Muller, J., Brandl, R. (2009). Assessing biodiversity by remote sensing in mountainous terrain: the potential of LiDAR to predict forest beetle assemblages. *Journal of Applied Ecology*, 46, 897–905
- Muller, J., Stadler, J., Brandl, R. (2010). Composition versus physiognomy of vegetation as predictors of bird assemblages: The role of LiDAR. *Remote Sensing of Environment*, 114, 490–495.
- 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.
- Parker, G. G., Harding, D. J., Berger, M. L. (2004). A portable LIDAR system for rapid determination of forest canopy structure. *Journal of Applied Ecology*, 41, 755–767.
- Patočka, Z. (2012). Využití dat leteckého laserového skenování v lesnictví. *Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně*. Bakalářská práce, pp. 51.

- 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.
- Smart, L. S., Swenson, J. J., Christensen, N. L., Sexton, J. O. (2012). Three-dimensional characterization of pine forest type and red-cockaded woodpecker habitat by small-footprint, discrete-return lidar. *Forest Ecology and Management*, 281, 100–110.
- 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)

7 Přílohy

7.1 Parametry inventarizace lesa (převzato z ÚHÚL, 2003)

1. ŠETŘENÍ NA INVENTARIZAČNÍ PLOŠE

	Metodika	ALS	TLS
1.1. Identifikační číslo inventarizační plochy	Kódové označení	Kódové označení	Kódové označení
1.2. Souřadnice středů inventarizační plochy	Vygenerovány, dohledány GPS	Vygenerovány	vygenerovány
1.2.1. Souřadnice hlavních středů IP			
1.2.2. Souřadnice náhradních středů IP			
1.3. Přístupnost a schůdnost inventarizační plochy	V terénu	Lze se proletět nad nepřístupnou plochou	V terénu
1.4. Nadmořská výška	Vrstevnice v mapě, GPS	GPS, zprůměrování hodnot výšek všech bodů	GPS, zprůměrování hodnot výšek všech bodů
1.5. Reliéf terénu na inventarizační ploše a v jejím okolí	Odchyly od základní roviny	Odchylka od základní roviny, DMT, sklonitostní analýza	Odchylka od základní roviny, DMT, sklonitostní analýza
1.6. Jména členů inventarizační skupiny	Seznam pracovníků	Seznam pracovníků	Seznam pracovníků
1.7. Datum měření			
1.8. Druh vlastnictví lesa a druh pozemku	Přípravné práce, katastr	Přípravné práce, katastr	Přípravné práce, katastr
1.8.1. Druh vlastnictví lesa			
1.8.2. Druh pozemku			

1.9. Uživatelský vztah	Evidence nájmu a výpůjček u SSL	Evidence nájmu a výpůjček u SSL	Evidence nájmu a výpůjček u SSL
1.10. Kraj a okres	Poloha středů	Poloha středů	Poloha středů
1.11. Přírodní lesní oblast	Přípravné práce, vyhláška 83/1996 Sb.	Přípravné práce, vyhláška 83/1996 Sb.	Přípravné práce, vyhláška 83/1996 Sb.
1.12. Kategorie lesa podle funkce	OPRL lesní oblasti	OPRL lesní oblasti	OPRL lesní oblasti
1.13. Soubor lesních typů a lesní typ	Typologická mapa	Typologická mapa	Typologická mapa
1.14. Lesní vegetační stupeň	OPRL lesní oblasti	OPRL lesní oblasti	OPRL lesní oblasti

2. POPIS STROMU

	Metodika	ALS	TLS
2.1. Poloha stromu	Lokální souřadnice, S - J	Pouze koruna, nepřesně	Shluky bodů
2.2. Číslo stromu	Pořadovým číslem, S - J	nelze	
2.3. Pozice stromu v mikoreliéfu	Převýšení vůči středu plochy	Lze získat mikoreliéf, odraz bodů ze země	Předpoklad vidět na zem
2.4. Označení dřeviny	tabulka	tabulka	tabulka
2.5. Společenstevní postavení stromu			
2.5.1. Zařazení stromů do stromové třídy (podle upravené Kraftovy klasifikace)	Okem podle výšky	Podle výšky, nezachytím podúrovňové stromy	Podle výšky
2.5.2. Klasifikace stromů podle biologického hlediska (klasifikace IUFRO)	Výška, vitalita, růstové tendence	Pouze výška	Výška, vitalita, růstové tendence
2.6. Příslušnost stromu k porostní			

vrstvě			
2.7. Věk stromu	Přesleny, vývrty, data	nelze	Počet přeslenů
2.8. Výskyt chůdovitých kořenů	okem	ne	když už v terénu budu, tak můžu udělat poznámku
2.9. Výskyt stojící souše	Stejně jako živé stromy od průměru 7 cm	Nelze rozeznat od živého stromu	Nelze rozeznat od živého stromu
2.10. Výška rozdvojení hlavní osy kmene	Nad 7 m už není dvoják	Ne	Ano
2.11. Tvar koruny			
2.11.1. Tvar koruny	Podle tabulky	Špičaté tvary	Všechny tvary, závisí na hustotě zápoje
2.11.2. Celkové utváření korun stromů	Podíl deformovaných korun	Ne	Závisí na hustotě zápoje
2.11.3. Větvení smrku	Okem podle tabulky	Ne	Ano
2.12. Poškození způsobené těžbou a přibližováním dřeva	Okem podle tabulky	Ne	Ne
2.13. Poškození způsobené loupáním a ohryzem spárkatou zvěří	Okem podle tabulky	Ne	Ne
2.14. Poškození kmene hnilobou, výskyt dutin	Okem podle tabulky	Ne	Ne
2.15. Výskyt zlomu kmene	Okem podle tabulky	Ne	Ano
2.16. Ostatní škody na kmenech	Okem podle tabulky	Ne	Ne
2.17. Defoliace celé koruny smrku a borovice	Okem podle tabulky	Ne	Závisí na hustotě bodů
2.18. Defoliace horní třetiny koruny smrku a borovice	Okem podle tabulky	Ne	Ne
2.19. Výskyt podpovrchové	Okem podle	Ne	Závisí na

díry (u smrku a borovice)	tabulky		výšce stromu, dosahu lidarů
2.20. Charakter a intenzita barevných změn asimilačních orgánů (u smrku a borovice)	Okem podle tabulky	Ne	Ne
2.20.1. Typ barevných změn	Okem podle tabulky	Ne	Ne
2.20.2. Intenzita barevných změn	Okem podle tabulky	Ne	Ne
2.21. Vitalita listnatých dřevin (u buku a dubu)	Okem podle tabulky	Ne	Závisí na hustotě bodů
2.22. Kvalita kmene	U stromů s tloušťkou >30 cm	Ne	Spádnost, křivost
2.23. Význam stromu z hlediska ochrany přírody	Okem podle tabulky	Ne	Ne
2.24. Příčina chybějícího nebo nově objeveného stromu na ploše	Okem podle tabulky	Ne	Ano

3. MĚŘENÍ STROMU

	Metodika	ALS	TLS
3.1. Výčetní tloušťka stromu	Vzdálenost 2 rovnoběžných tečen 1,3 m kolmo k ose kmene, směr S-J, V-Z, mm	Ne	Srpek bodů doplnit na kružnici, spočítat průměr
3.2. Výška stromu	výškoměrem	Rozdíl posledního odrazu 1.a	Dopočítání v programu
3.3. Výška nasazení živé koruny	výškoměrem	ne	Dopočítání v programu
3.4. Výška bezsuké části kmene	výškoměrem	ne	Dopočítání v programu

4. ŠETŘENÍ V RÁMCI PODPLOCHY

	Metodika	ALS	TLS
4.1. Identifikační číslo podplochy	Max.4 podplochy	Ne	Ne
4.2. Rozloha a vylišení podplochy	Hranice skupin, terénní změny	Ano	hledání nejbližších stromů, osminy, rozlišení koridoru
4.3. Kategorie pozemku			
4.3.1. Kategorie les	Tabulka	Dostatečně velké	?
4.3.2. Kategorie neles	tabulka	Dostatečně velké	
4.4. Expozice terénu	Elektromagnetický kompas	Ano, spatial analyst	Ano, spatial analyst
4.5. Sklon terénu	Skonoměr, výškoměr	Ano, spatial analyst	Ano, spatial analyst
4.6. Hospodářský tvar lesa	Tabulka, vysoký, nízký, střední	Ne	ano
4.7. Bohatost struktury porostu	Jednoduchá, podrosty, bohatá	ne	ano
4.8. Stav péče o porosty	Tabulka	Ne	nepřesně
4.9. Stupeň přirozenosti lesního porostu	Tabulka	Ne	Nepřesné rozeznání druhů stromů
4.10. Stanoviště cenné bioty	Prameniště, rašeliniště, sutě, ...	Ne	
4.11. Sesuv půdy	Tabulka	Ne	Šikmost stromů
4.12. Eroze způsobená vodou	Tabulka	Ne	Ne
4.13. Lavinová pole	Tabulka	Ne	Ne
4.14. Zatížení antropogenní činností	Tabulka	Ne	ne
4.15. Stanovení zápoje a věku pro jednotlivé porostní etáže (vrstvy)			

4.15.1. Zápoj	Tabulka	Ano	Kmeny susedných stromů a průměr koruny
4.15.2. Věk	Vývrty, přesleny, data	Ne	Ne
4.16. – 4.23. Pokryvnost významných druhů rostlin	Tabulka	Ne	Ne
4.24. Výskyt potravy pro spárkatou zvěř, opad plodů a listů	Tabulka	Ne	Ne
4.24.1. Potrava pro spárkatou zvěř	Tabulka	Ne	Ne
4.24.2. Opad plodů	Tabulka	Ne	Ne
4.25. Přístupnost pro zvěř	Volný přístup, oplocenka	Ne	Ne
4.26. Původ materiálu humusové vrstvy L (opad)	Tabulka	Ne	Ne
4.27. Mocnost nadložního humusu (vrstvy F + H)	Tabulka	Ne	Ne
4.27.1. Stratigrafie humusu	Tabulka	Ne	Ne
4.28. Humusová forma	Tabulka	Ne	Ne
4.28.1. Základní typy humusu	Tabulka	Ne	Ne
4.28.2. Humusové formy	Tabulka	Ne	Ne
4.29. Půdní typ a půdotvorný substrát	Tabulka	Ne	Ne
4.30. Hloubka prokořenění	Tabulka	Ne	Ne
4.31. Hloubka půdy (výskyt půdy hlubší než 30 cm)	Tabulka	Ne	Ne
4.32. Odběr půdních vzorků	Odběr	Ne	Ne
4.33. Výskyt epifytických lišejníků	Tabulka	Ne	Ne
4.34. Růstová fáze porostní	Tabulka	Ne	Ano, ale ne

vrstvy			tak přesně
--------	--	--	------------

5. OBNOVA NA PODPLOŠE ALS: NE, TLS: NE

	Metodika	ALS	TLS
5.1. Přítomnost obnovy	Tabulka	Ne	Ne
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 ALS: NE TLS:NE, max.velké kmeny

	Metodika	ALS	TLS
6.1. Výskyt větví a těžebních zbytků	Tabulka	Ne	Ne

s tloušťkou do 7 cm			
6.2. Výskyt těžebních zbytků, vývrátů a ulomených kmenů tlustších než 7 cm			Ano
6.2.1. Stupeň rozkladu			
6.2.2. Stupeň rozptýlení			

7. PAŘEZY

	Metodika	ALS	TLS
7.1. Tloušťka pařezu	Větší než 30 cm	Ne	pokud ne příliš nízko
7.2. Výška pařezu	Nižší než 1,3 m	Ne	
7.3. Stupeň rozkladu dřeva pařezu	Tabulka	Ne	Ne

8. INVENTARIZACE LESNÍCH CEST

	Metodika	ALS	TLS
8.1. Nadmořská výška lesní cesty	Lesnická mapa	Nelze rozeznat, zda cesta, nebo jiné bezlesí Ano	
8.2. Význam lesní cesty	Tabulka	Ne	Ne
8.3. Kategorie lesní cesty	Tabulka	Ne	Ne
8.4. Šířka koruny vozovky	Tabulka	Ne	Ne
8.5. Druh povrchu vozovky	Tabulka	Ne	Ne
8.6. Výskyt travníhoho	Tabulka	Ne	Ne

povrchu na vozovce			
8.7. Spád cesty	Tabulka	Ne	Ne
8.8. Stav násypů a zářezů	Tabulka	Ne	Ne
8.9. Sesuvy a eroze na náspech a zářezích cesty	Tabulka	Ne	Ne
8.10. Stav odvodnění lesní cesty – technického vybavení	Tabulka	Ne	Ne
8.11. Eroze koruny lesní cesty	Tabulka	Ne	Ne

9. INVENTARIZACE POTOKU A BYSTRŮ

	Metodika	ALS	TLS
9.1. Šířka vodní hladiny potoku – bystriny			
9.2. Stálost průtoku vody v potoku – bystrině	Voda, bez vody		
9.3. Spád potoka			
9.4. Výskyt technických opatření pro hrazení bystrin			

10. INVENTARIZACE ODVODŇOVACÍCH ZAŘÍZENÍ – ALS a TLS nerozeznají

10.1. Šířka vodní hladiny v odvodňovacím zařízení

10.2. Stálost průtoku vody v odvodňovacím zařízení

11. VÝZNAČNÉ BODY V TERÉNU

	Metodika	ALS	TLS
11.1. Druh bodu	Tabulka	Budovy,	Skály, budovy, zídky, mosty

12. INVENTARIZACE OKRAJŮ LESA – vně plochy, ALS:Ne, TLS: hustota okraje 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