



Lesnická
a dřevařská
fakulta

2015, Brno

Ing. Tomáš Mikita, Ph.D.

Speciální metody dendrometrie

Letecké a pozemní laserové
skenování, fotogrammetrie

LiDAR

Laserové skenování, nebo také LIDAR (z angl. Light Detection And Ranging)

Nejmodernější technologie sběru 3D dat o objektech a jevech na zemském povrchu.

Zprostředkovává velice přesná 3D data.

Laserové skenovací systémy umožňují bezkontaktní určování prostorových souřadnic, 3D modelování, vizualizaci složitých staveb a konstrukcí, interiérů, podzemních prostor, libovolných terénů atp. s mimořádnou rychlostí, přesností, komplexností a bezpečností.

Nasnímaný objekt může být pomocí softwaru zobrazen ve formě mračen bodů, na jejichž základě může být vytvořen model objektu, který lze přenést do CAD systému.

Rozdělení dle způsobu sběru dat:

Letecké laserové skenování – Airborne Laser Scanning (ALS),
umístěny na letadle, družici, vrtulníku či jiném létajícím nosiči.

Pozemní laserové skenování – Terrestrial Laser Scanning (TLS),
umístěny stacionárně na stativu.

Mobilní laserové skenování – Mobile Laser Scanning (MLS),
Umístěny na dopravním prostředku (nejčastěji automobil).

Využití LiDARu

- letecké skenery

- jsou využívány při získávání digitálního modelu terénu větších území, mapování břehů vodních toků, záplavových území a zejména pak při dokumentaci liniových staveb, jako jsou silnice, produktovody, a elektrická vedení vysokého napětí.

- pozemní skenery

- nacházejí uplatnění v architektuře, urbanismu, archeologii, při dokumentaci složitých technologických a průmyslových provozů, v dopravním stavitelství, při určování kubatur.

- mobilní skenery

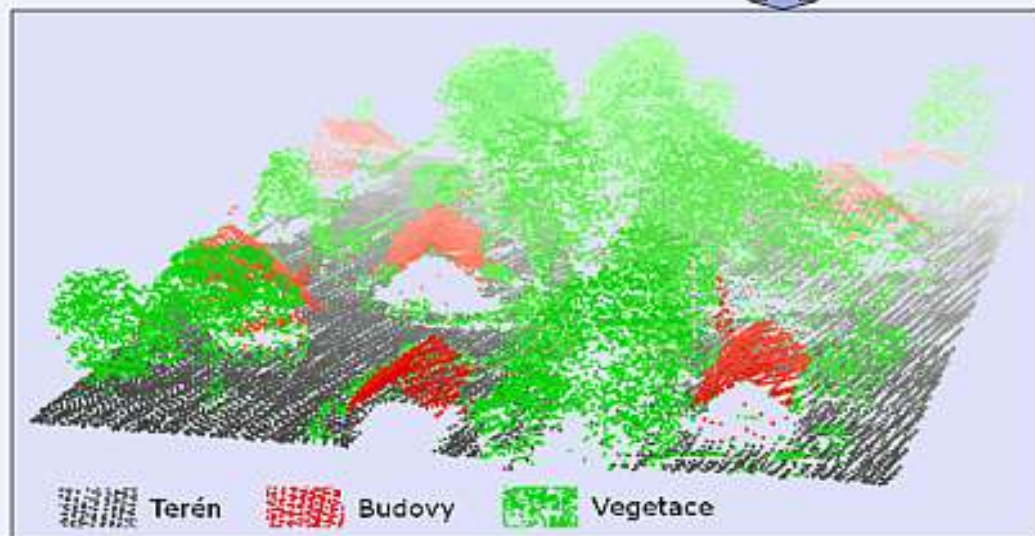
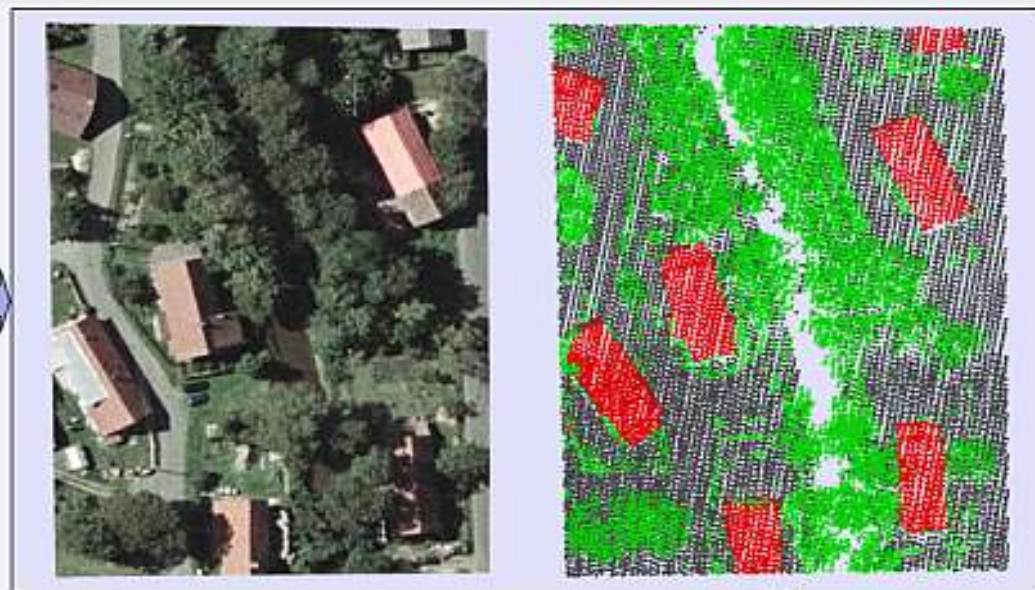
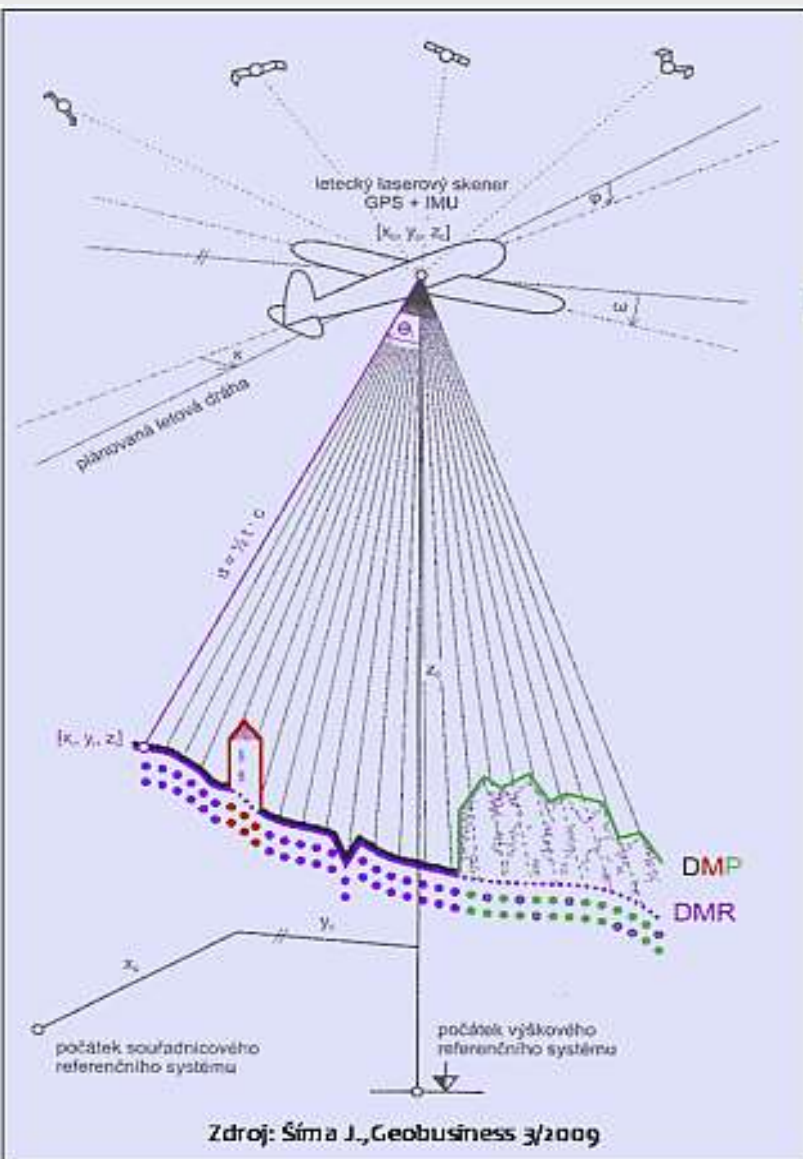
- mobilní mapování dopravního značení, inženýrských sítí, budov komunikací aj.

Letecké skenování

V současné době je technologie leteckého laserového skenování již běžná v zemích Evropské unie a Spojených státech.

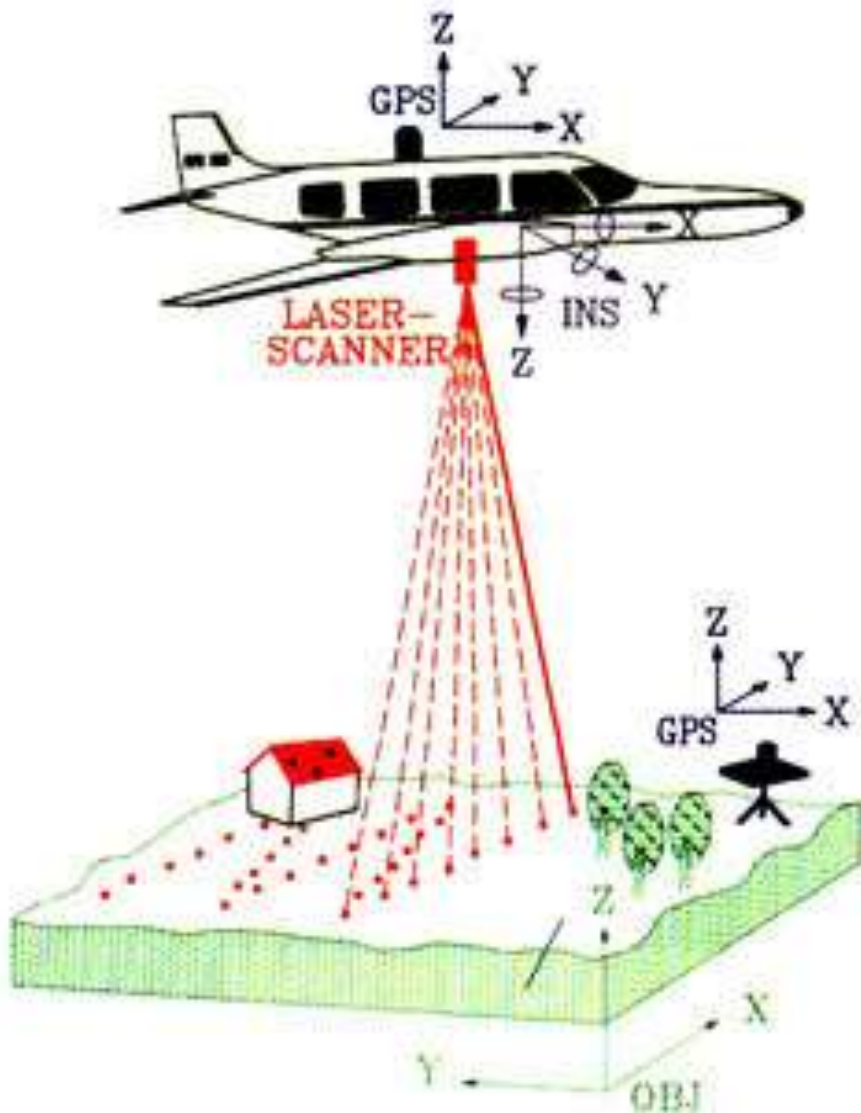
Oproti klasické fotogrammetrii je díky velké hustotě nasnímaných bodů použitelná s dostatečnou přesností i při získávání polohových údajů o objektech relativně malých rozměrů, jako jsou stožáry a vodiče elektrických přenosových soustav.

Letecké laserové skenování (LLS)



Princip LLS

LASER-SCANNING



Princip LLS spočívá v měření vzdálenosti, kterou urazí světelný (laserový) paprsek mezi zdrojem záření (skener umístěný např. na palubě letadla) a zemským povrchem.

Vzdálenost je určena časem mezi vysláním paprsku a jeho zpětným přijetím po odrazu od terénu a od jiných objektů na zemském povrchu.

Současně je v okamžiku vyslání laserového pulsu pomocí navigačních systémů letadla (přístroj GPS, inerciální měřící jednotka) měřena přesná poloha skeneru, rychlost a směr letu.

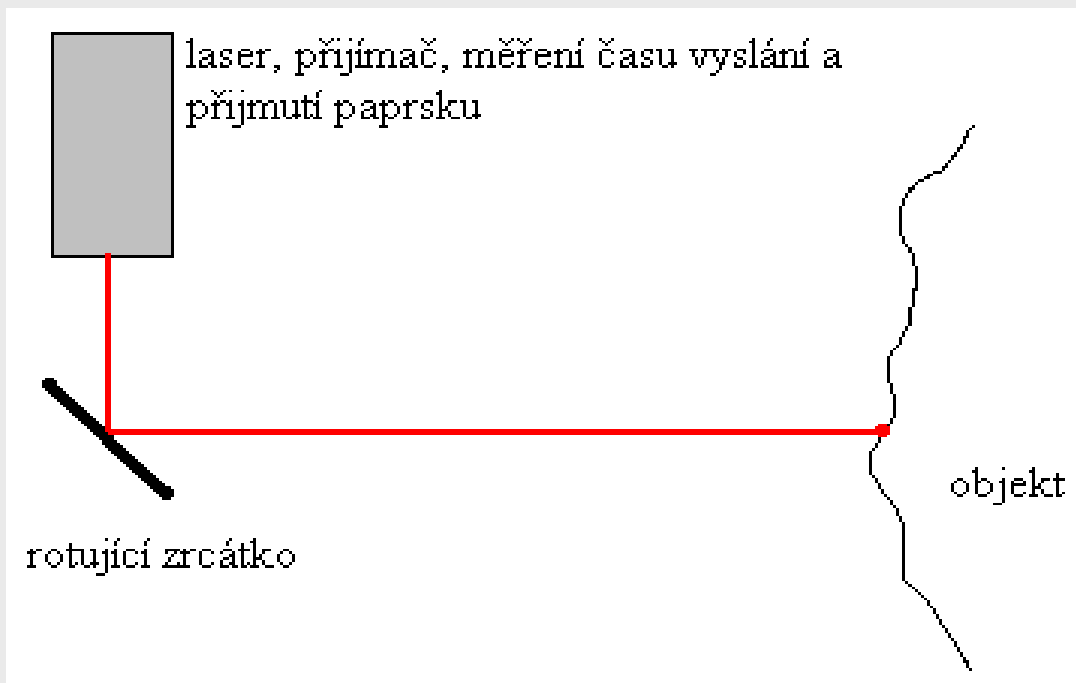
Kombinací záznamu všech informací získáme polohu bodu na zemském povrchu s vysokou přesností.

Princip LLS

Obecně laserové skenery pracují na základě měření doby letu vyslaného paprsku. Jsou využívány dvě možnosti určení vzdálenosti:

čas letu laserového pulsu (je vyslán laserový puls a měří se čas mezi vysláním pulsu a přijmutím odrazu),

porovnání fáze (je vyslán paprsek, který je modulován harmonickou vlnou a vzdálenost k předmětu se vypočte jako fázový rozdíl mezi vyslanou a přijatou vlnou).



Princip LLS

Letecké laserové skenovací systémy se skládají z laserové jednotky (laser), skenovací jednotky (rotující zrcátko), GNSS (Globální navigační satelitní systém) a IMU (Inertial Measurement Unit) – inerciální navigace – gyroskopy a akcelerometry). Před měřením je nutno každou část kalibrovat.

Součástí laserového dálkoměru je laser (v pulsním nebo kontinuálním režimu), který emituje laserový paprsek.

Typ laseru se volí podle požadovaného výkonu a požadované vlnové délky. Pulsní laser emituje paprsky frekvencí až 250 kHz.

Pro LLS se používá laserový paprsek o vlnové délce 1000 – 1500 nm. Jedná se tedy o infračervené spektrum. Pro skenování vodních ploch (měření hloubky) se využívá modrozelená část spektra světelného záření.

Paprsek je po odrazu od předmětu zachycen senzorem. Pomocí vnitřních hodin se změří doba letu paprsku a na základě znalosti rychlosti světla se vypočte vzdálenost změřeného bodu.

Skenovací jednotka má za úkol směřovat laser a zajistit určitou šířku záběru skenovaného povrchu. Používá se většinou rotujícího hranolu či zrcátka, které vychýlí paprsek kolmo na směr letu, pohyb ve směru letu pak zajistí letadlo. Určení směru je pak jednoduché, postačí pouze změřit vnitřní úhel pootočení skenovací jednotky.

Pohybující se letadlo neletí celý čas měření konstantní rychlostí, ve stejné výšce a bez jakéhokoliv náklonu. Pro přesné určení polohy měřených bodů je nutno znát souřadnice a orientaci snímače. K zaznamenání údajů o orientaci a rychlosti letadla (úhel podélného sklonu, úhel příčného sklonu a rychlost letu) se využívá **IMU – Inertial measurement unit**. Tato jednotka se skládá z gyroskopů a akcelerometrů, které zachycují změny v náklonu letadla a jeho zrychlení.

Kontrolu správnosti a aktualizaci pozice odhadované IMU zajišťuje palubní GNSS.

Princip LLS

Laserový paprsek je během průchodu zemským povrchem postupně odrážen a jeho část může proniknout až na samotný terén.

Přístroje jsou schopny vyhodnotit pořadí jednotlivých odrazů v rámci jednoho paprsku.

V případě vícenásobného odrazu jsou z prvního odrazu získány informace o povrchu (koruny stromů, střechy budov) a z posledního o samotném terénu.

Výsledkem měření je tzv. mračno bodů, které obsahuje všechny naměřené body bez jakýchkoli úprav.

Hustota skenování je dána typem skeneru a výškou letu, řádově jednotky až desítky bodů na m^2 (průměrně okolo 5 bodů m^2).

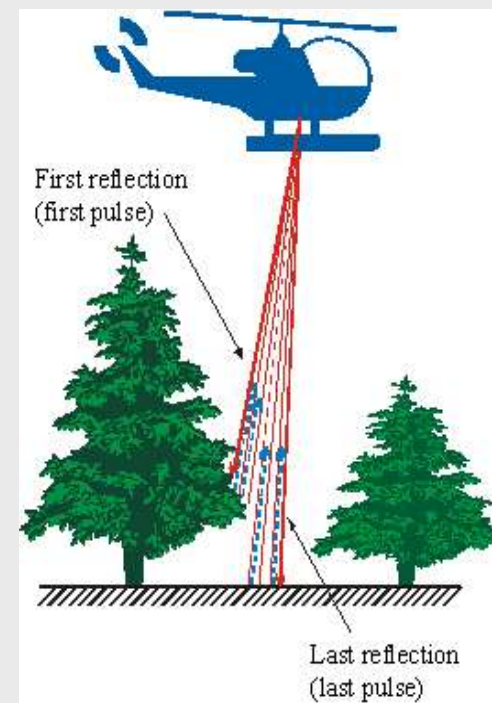
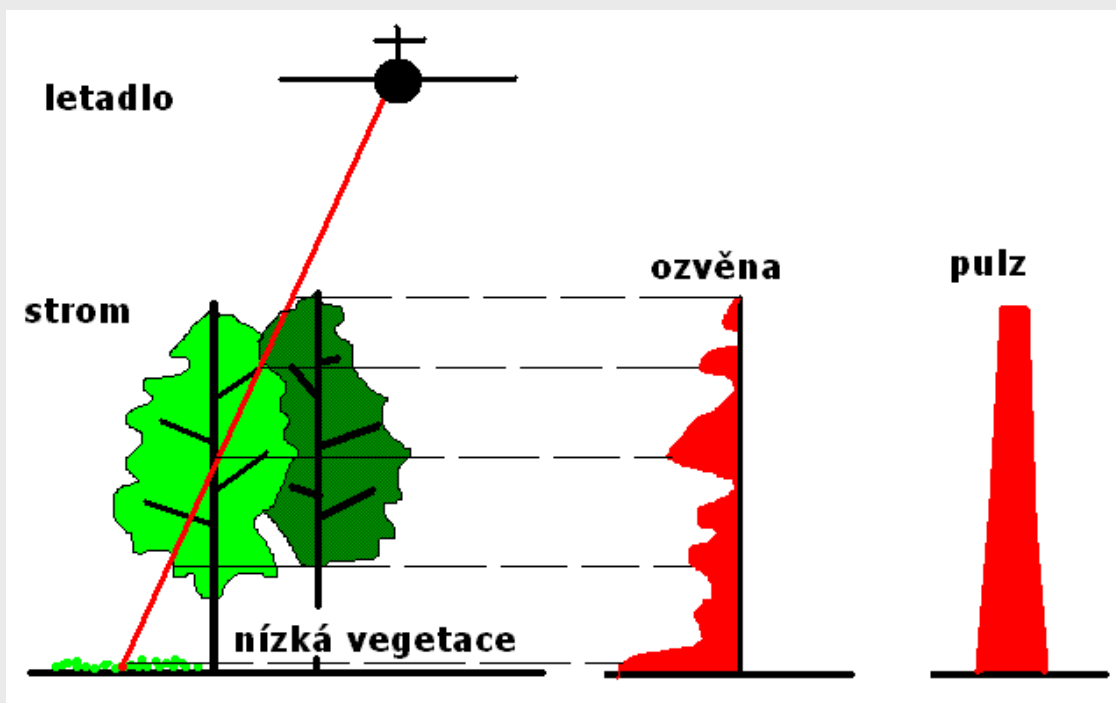
Jedná se o nepravidelný shluk bodů se známými 3D souřadnicemi, ve kterém se vyskytují chyby či šum způsobený např. vlivem stavu atmosféry v okamžiku měření, nebo náhodnými odrazy.

Toto mračno je však potřeba dále zpracovat, jedná se především o filtraci a klasifikaci.

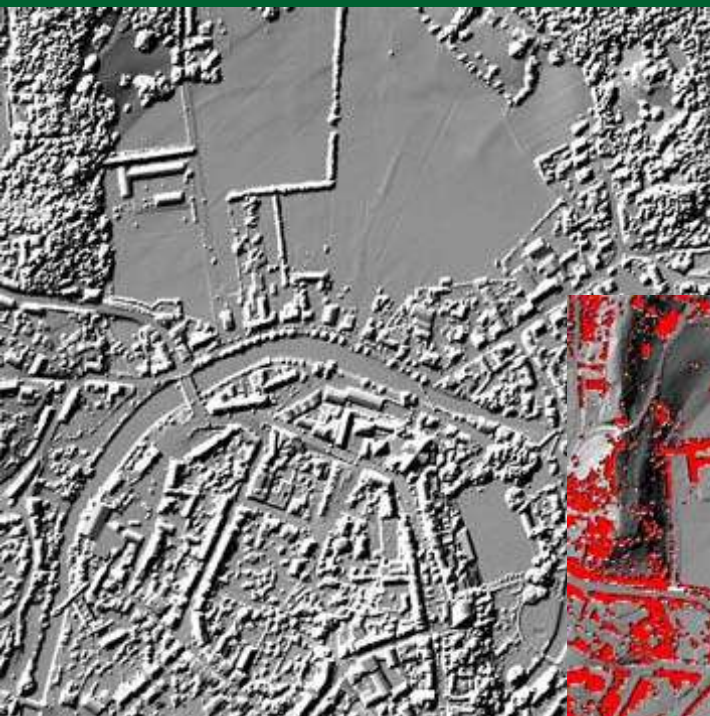
Typy leteckých skenerů

Letecké laserové skenery můžeme rozdělit:

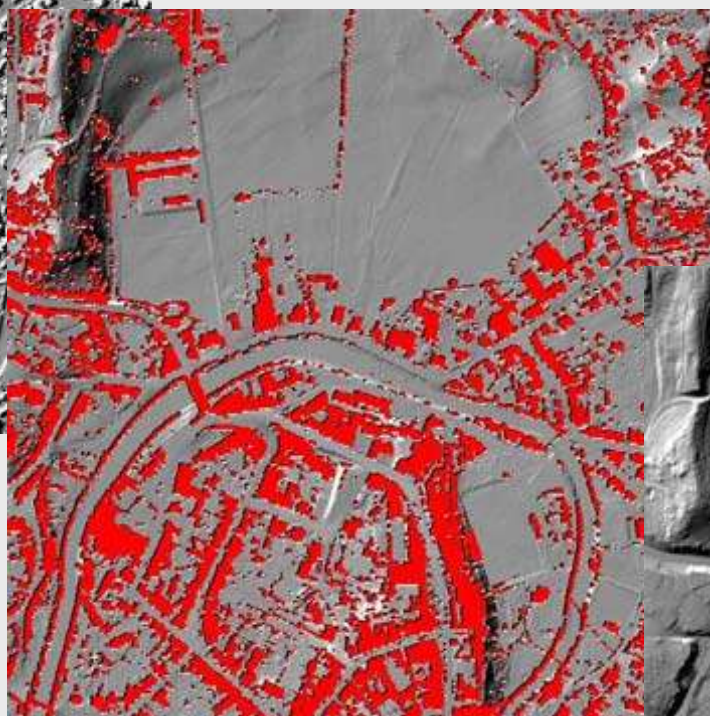
- na ty, které snímají jednotlivé diskrétní odrazy (**Discrete Return**, dále DR), typicky čtyři,
- tzv. **full-waveform** skenery (**FWF skenery**), umožňují zachytit neomezený počet odrazů (celý průběh celé křivky návratu signálu v pevných časových intervalech).



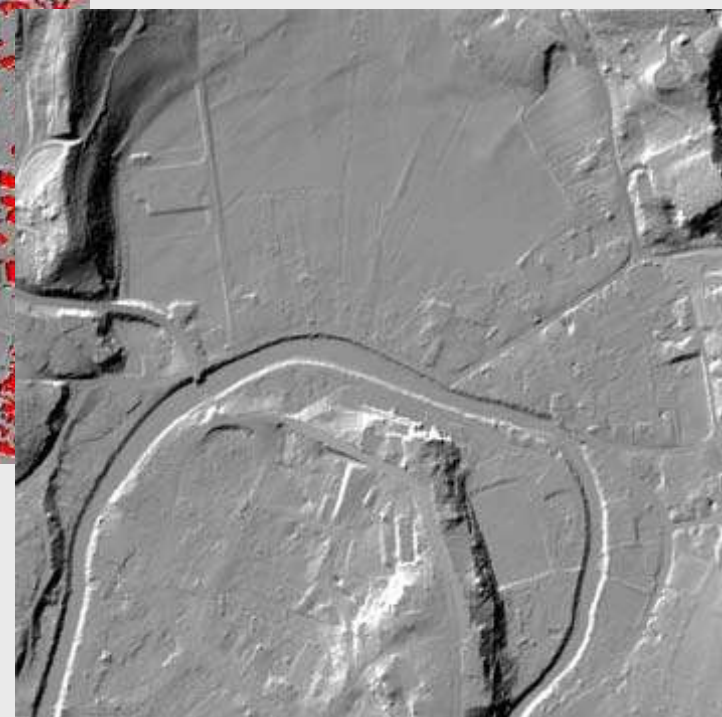
Filtrace informací z lidarových dat



Digitální model povrchu



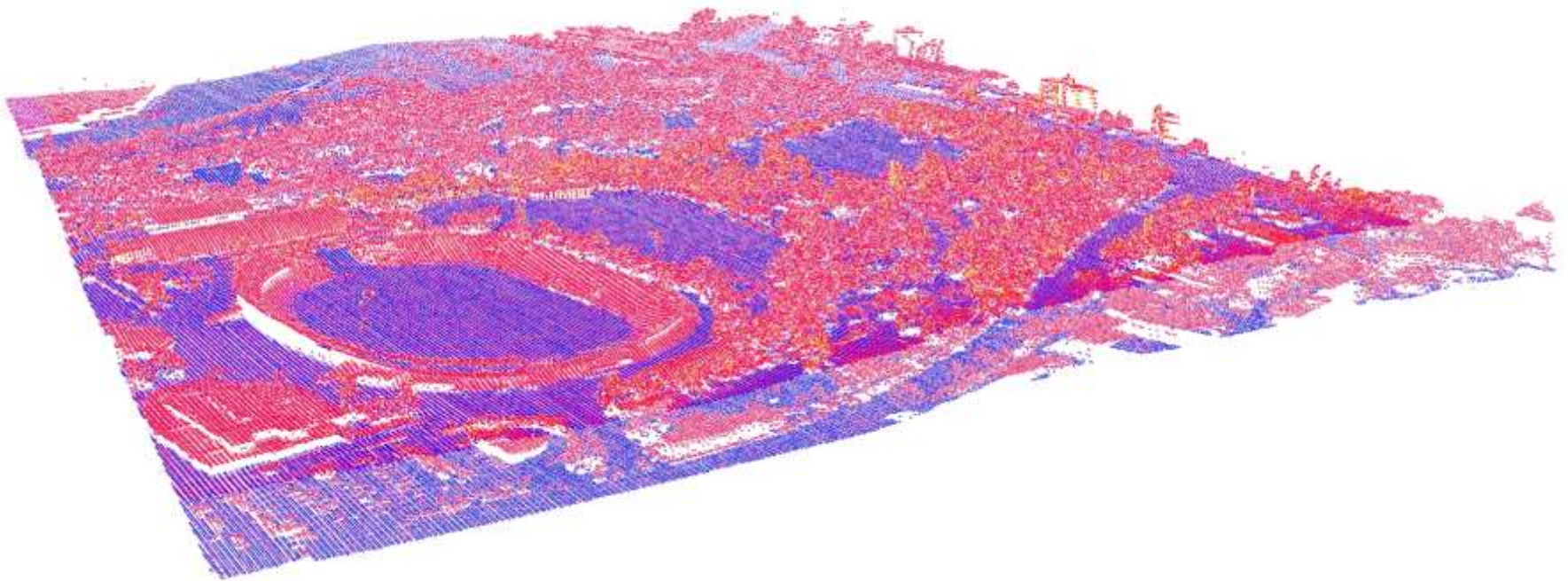
Filtrace objektů



Digitální model terénu

Zpracování dat

Primárním výstupem laserového skenování je soubor 3D souřadnic odražených bodů – takzvané mračno bodů.



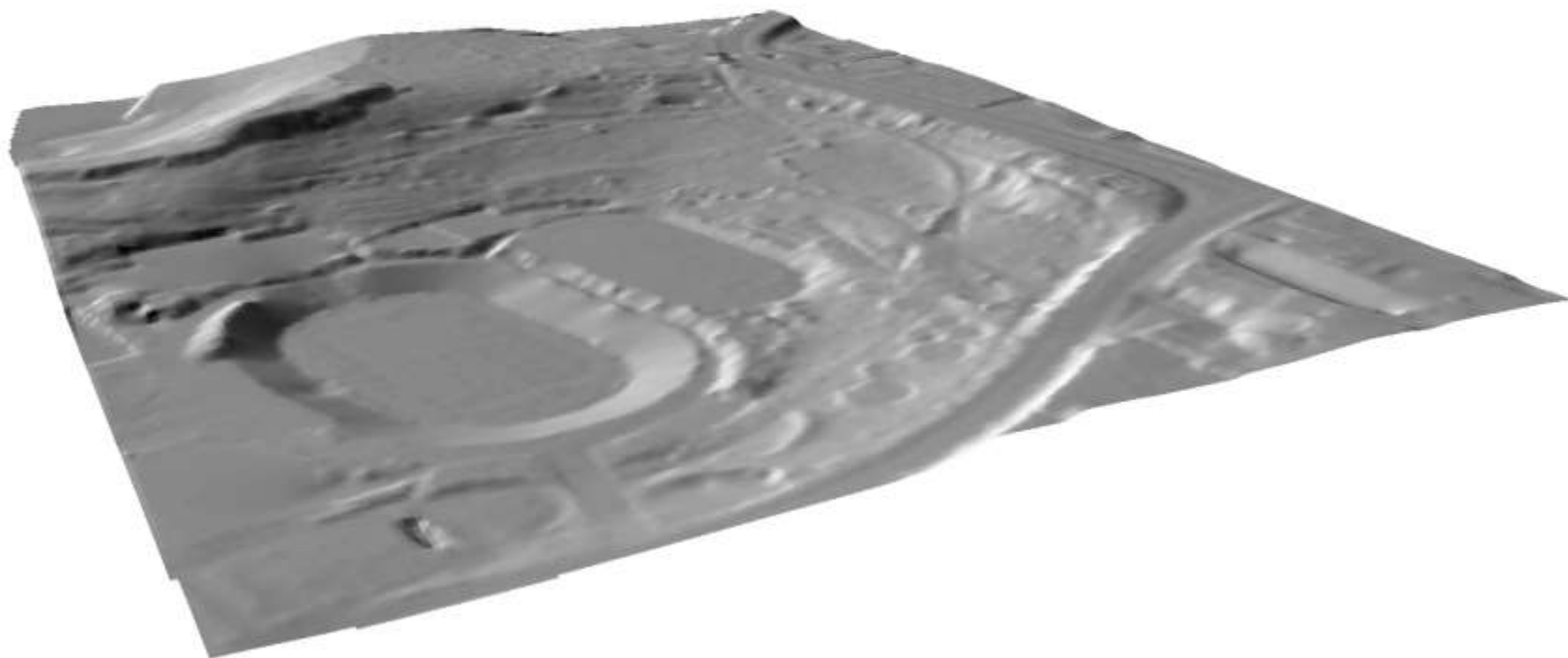
Zpracování dat

Pomocí automatických, poloautomatických a manuálních postupů je v dalším zpracování prováděna klasifikace a filtrace mračna těchto bodů.

V některých případech je možné využít také informaci o intenzitě odrazu, případně o reálné barvě každého z odrazů (v případě současného pořízení digitálních snímků objektu je možné mračno bodů obarvit s využitím těchto fotografií).

Konečným výstupem zpracování dat může být například velmi detailní model terénu nebo povrchu.

Digitální model terénu



Digitální model povrchu



Využití leteckého skenování

Tvorba přesných digitálních modelů
povrchu a terénu

Modelování objektů na zemském
povrchu (včetně vegetace, liniových
vedení apod.)

Detekce překážek a následné
předcházení srážkám a kolizím
dopravních prostředků

Vizualizace objektů, tvorba 3D modelů
měst



Pozemní skenování

Pozemní laserové skenery fungují obecně tak, že laserový paprsek je naváděn podle programu na body rastru ve sloupcích či řádcích, přičemž je měřen horizontální a vertikální úhel a vzdálenost.

Velmi vysoká hustota bodů (až několik na cm^2).

Základní rozdělení:

- kamerové
- panoramatické

Kamerové laserové skenery

navádění paprsku pomocí systému dvou zrcadel nebo hranolů se vzájemně kolmými osami otáčení. Tento systém umožňuje rozmítat laserový svazek do relativně malého zorného pole, podobného jako u fotoaparátu nebo kamery.

Pozemní skenování

Panoramatické skenery

U panoramatických skenerů je otáčeno celou dálkoměrnou součástí pomocí servomotorů, což umožňuje postihnout téměř celé okolí.

Volba typu skeneru

kamerový systém se s výhodou uplatní při skenování vzdálených objektů

panoramatický skener spíše nalezne uplatnění při skenování interiérů

Těchto systémů je dnes na trhu celá řada a neustále přibývají další. Liší se v mnoha svých parametrech a zaměření.

Pozemní skenování



Pozemní skenování



Mobilní laserové skenování



Mobilní laserové skenování

Nosičem skeneru je automobil, loď, či člověk.

Princip je stejný jako u leteckého skenování, nosič laserového skeneru se pohybuje po nelineární trajektorii; pro správné určení polohy podrobných bodů je třeba znát pro každý okamžik měření přesnou polohu nosiče a směr měření.

Tyto informace zajišťuje jednotka IMU a zcela zásadně záleží na její přesnosti. Oproti letadlu automobil dělá rychlejší změny pohybu i směry jízdy.

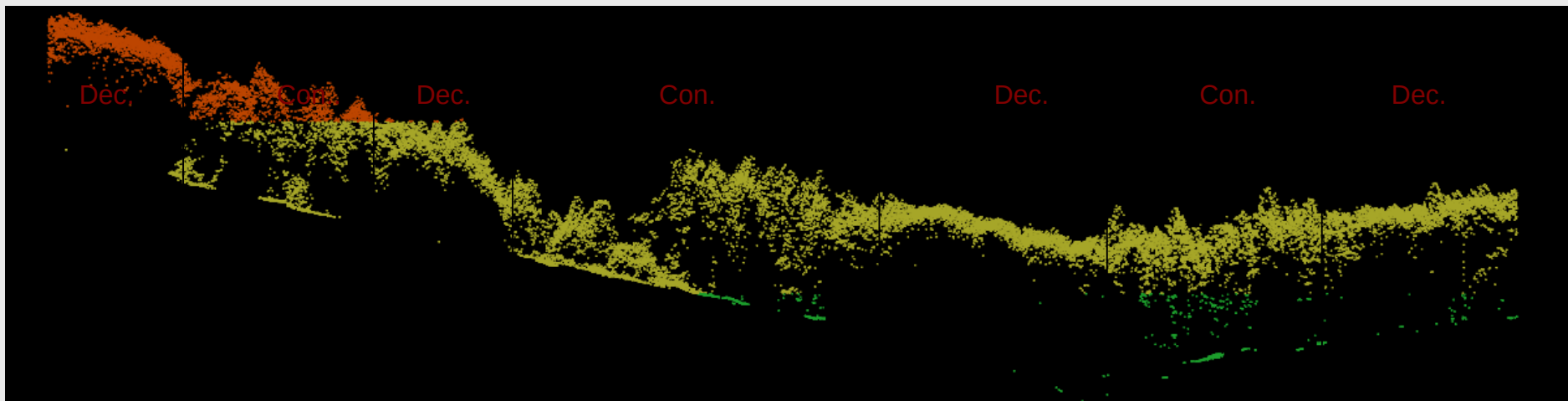
Data z pozemních mobilních systémů jsou podobná leteckým datům s tím rozdílem, že při pojíždění na zemském povrchu nastává řada problémů se zakrytými prostory (lze řešit několikerým průjezdem nebo několika skenery s různým úhlem záběru) a dosah je logicky výrazně menší.

Modelování DMT a DSM

Na základě klasifikace a filtrace dat získáme přesný model terénu a přesný model povrchu (první odraz od korun stromů).

Přesnost vytvořených modelů je závislá na hustotě mračna bodů, na struktuře lesního porostu a rovněž na době snímkování (ve vegetační době x mimo vegetační dobu).

Mimo vegetačního období mají listnaté porosty větší prostupnost pro laserové pulsy než jehličnaté a naopak.



Inventarizace lesa

Přesná a automatická identifikace stromů a odhad stromových či porostních charakteristik je možný pouze pro:

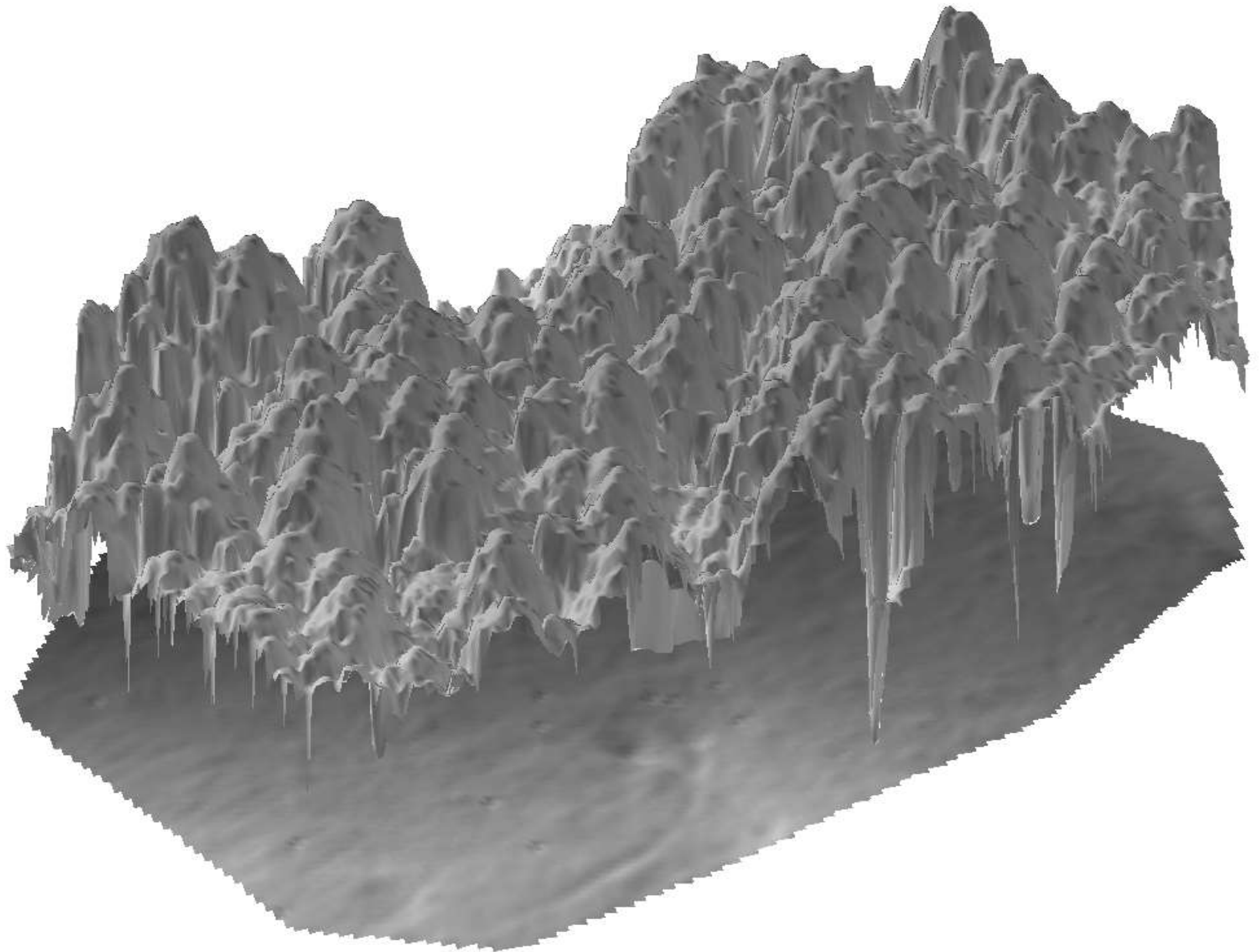
- Identifikaci stromů,
- Výšku stromů / porostu,
- Odhad obsahu/objemu koruny

Ostatní parametry jako výčetní tloušťka či ohejm dřevní hmoty jsou zjišťovány na základě statistických analýz a empirických

Současný výzkum i praktické aplikace vykazují různou přesnost odhadovaných parametrů v závislosti na hustotě bodů leteckého skenování, sklonu terénu a vertikální i horizontální struktuře porostu (druhu dřeviny, věku, poměru smíšení aj.).

Například nejčastěji zjišťovaný parametr – výška – kolísá v rozsahu od 1 do 5ti metrů, výčetní tloušťka od 0,025 do 0,10 metru a ohejm dřevní hmoty od 5 do 35 %.

DMP a DMT



Inventarizace lesa

Inventarizace lesa z dat leteckého laserového skenování je prakticky rozšířena v severských zemích, kde má již dlouhou historii (více jak 10 let). Důvodem je jednak homogenní struktura lesních porostů, pouze několik základních hospodářských dřevin a rovněž dostupnost a cena dat LLS.

U nás zatím není výzkum a praktické využití LLS nijak rozšířen.

Ve světě se využívají dva základní přístupy při inventarizaci lesa:

Individuální detekce jednotlivých stromů (individual tree detection -ITD),

Plošný odhad kubatur pro lesní porosty (area-based approach - ABA).

ITD – Individual tree detection method

Základním principem této metody je detekce jednotlivých stromů a zjišťování stromových charakteristik jako je výška, výčetní tloušťka a objem kmene na základě regresních vztahů.

Nutná vyšší hustota bodů LLS – minimálně 5 bodů na m^2 , což zvyšuje nároky na zpracování dat.

Ze současných poznatků je využitelná pouze pro mýtní porosty s homogenní strukturou a spíše pro jehličnaté dřeviny s jednoznačně identifikovatelnými vrcholky stromů.

Její výhodou je přesnost určení a zároveň možnost využití pro plánování výchovných zásahů (intenzita probírek pro přirozenou obnovu).

ABA – Area Based Approach

Založena na distribuci bodů LLS v různých výškách v rámci celého lesního porostu, zpracování opět založeno na statistickém zpracování dat.

Výhodou je nižší požadovaná hustota bodů LLS (i kolem 1 bodu na m^2), nižší nároky na zpracovatelský hardware a software a možnost plošného zpracování pro velké lesní celky (využívána právě v severských zemích).

Oběma metodám pro přesnou predikci musí předcházet terénní průzkum s měřením validačních dat na předem stanoveném počtu ověřovacích ploch.

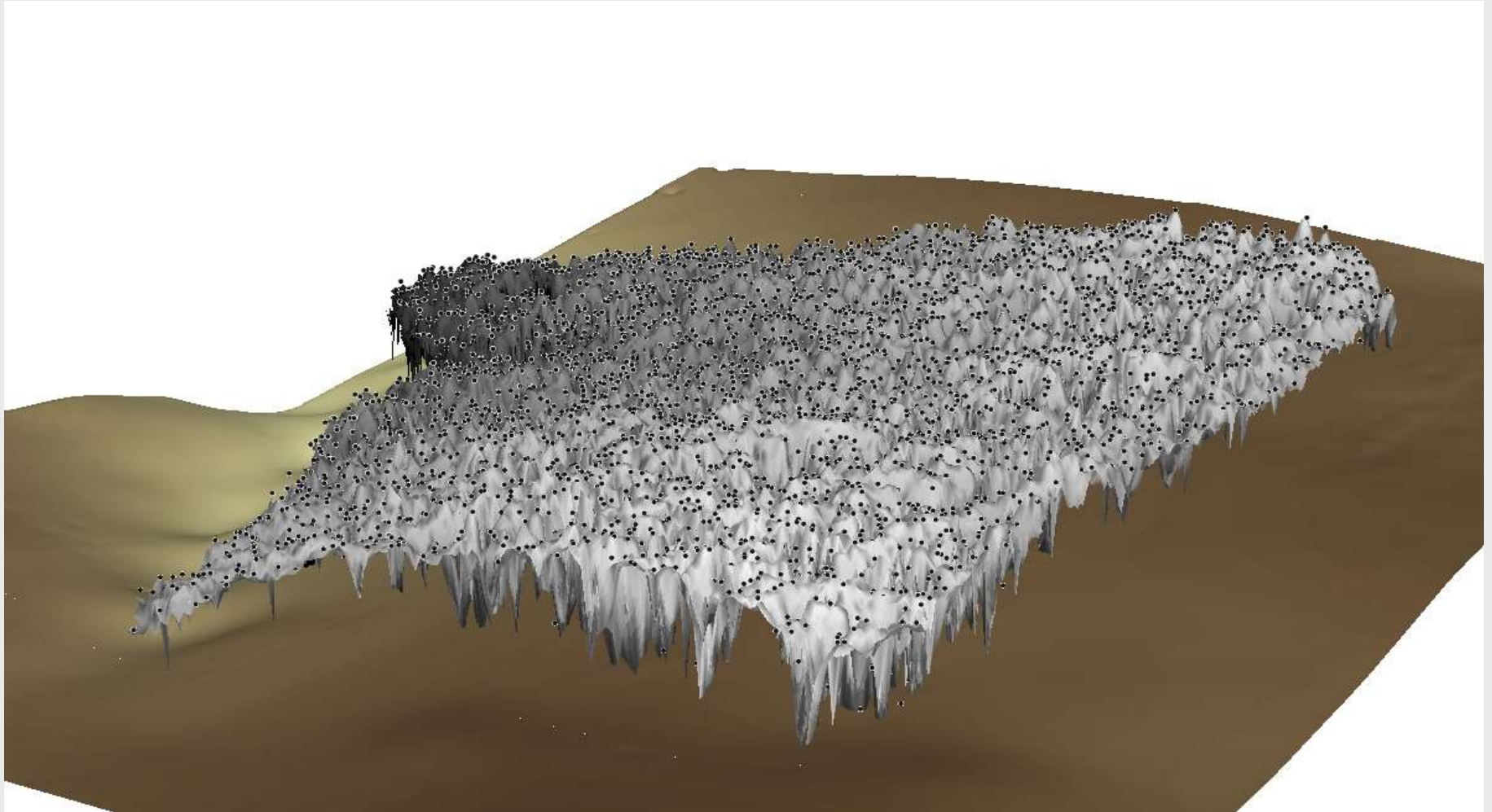
Inventarizace lesa

Pro praktické nasazení technologie LLS v lesnictví na území ČR nám chybí dostupná databáze z terénních šetření, ze které by bylo možné vypočítat regresní vztahy pro základní hospodářské dřeviny.

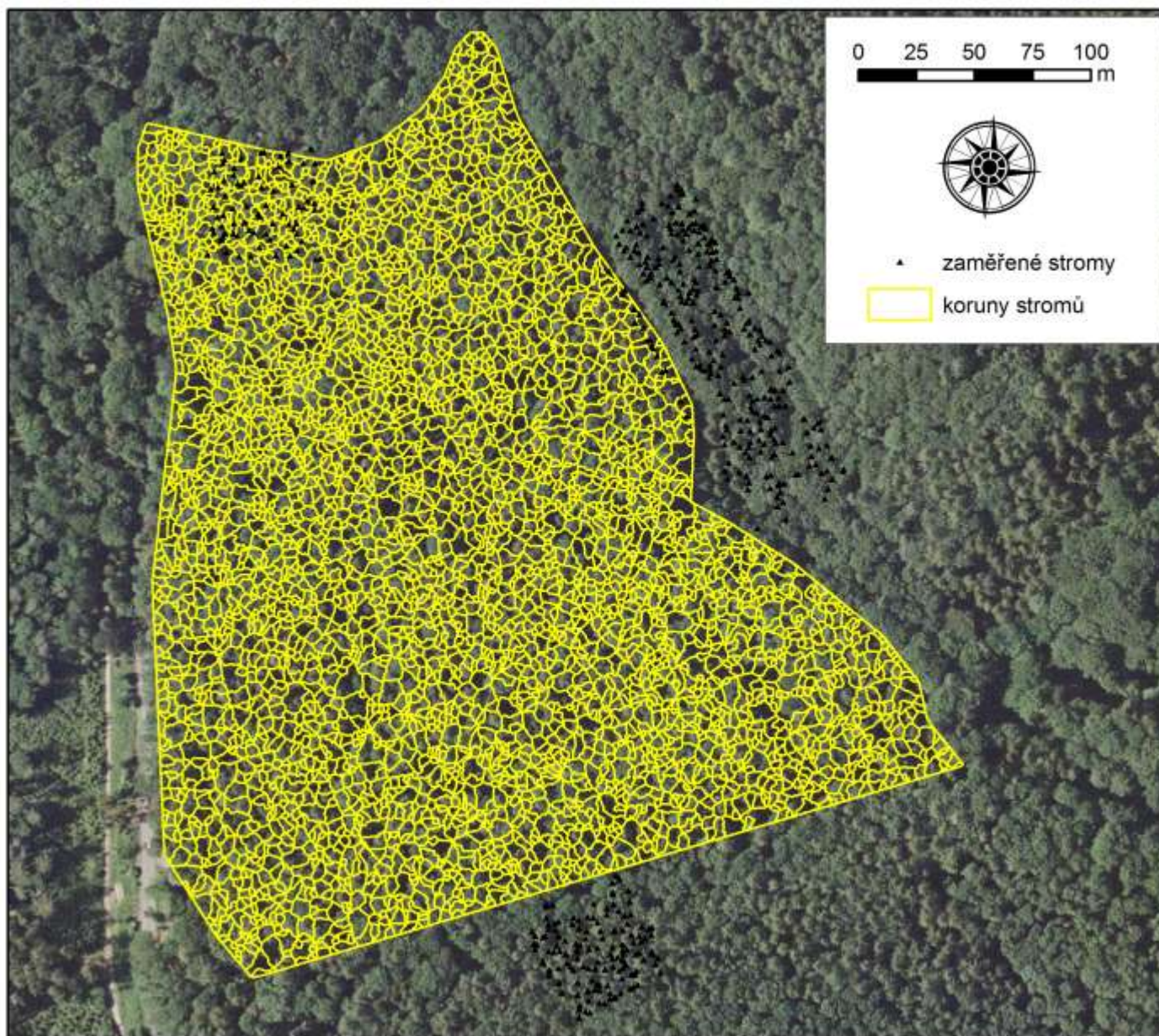
Problémem je rovněž rozmanitost druhové sklady a přírodních poměrů (členitost terénu, různé půdní poměry a s tím spojený rozdílný růst stromů). Databáze by proto musela být založena na měřeních jednotlivých Přírodních lesních oblastech, v rámci jednotlivých souborů lesních typů. V současnosti by pro daný účel bylo možné využít data Národní inventarizace lesů 2 (viz. <http://www.uhul.cz/nase-cinnost/narodni-inventarizace-lesu>).

Proces implementace technologie LLS bude vyžadovat také změnu legislativy v oblasti lesnicko-hospodářského plánování na úrovni tvorby LHP a LHO.

Identifikace stromů



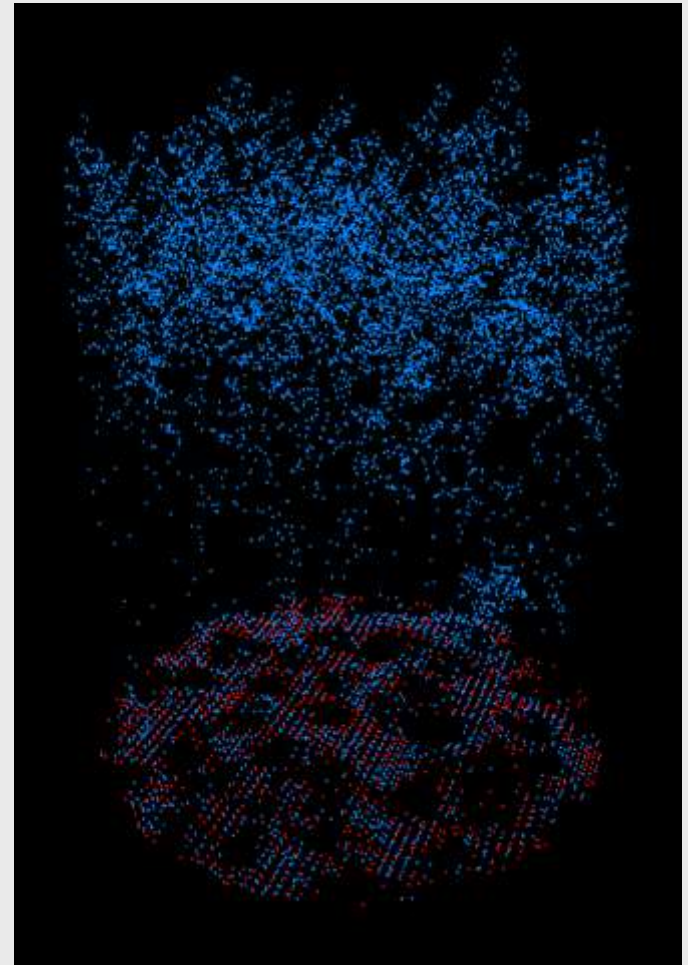
Identifikace korun stromů



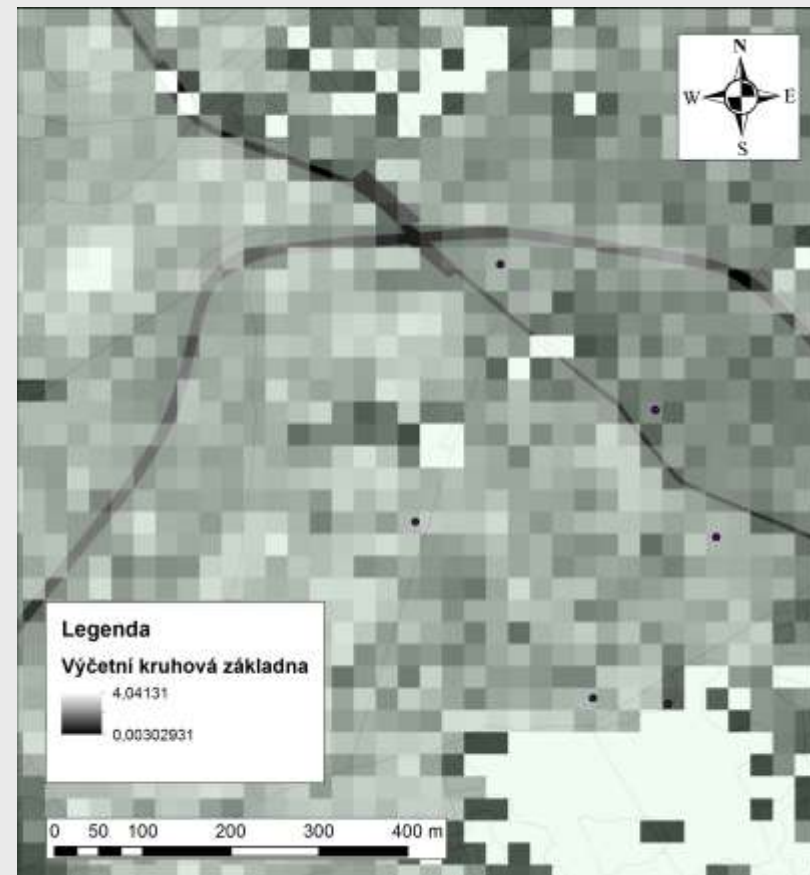
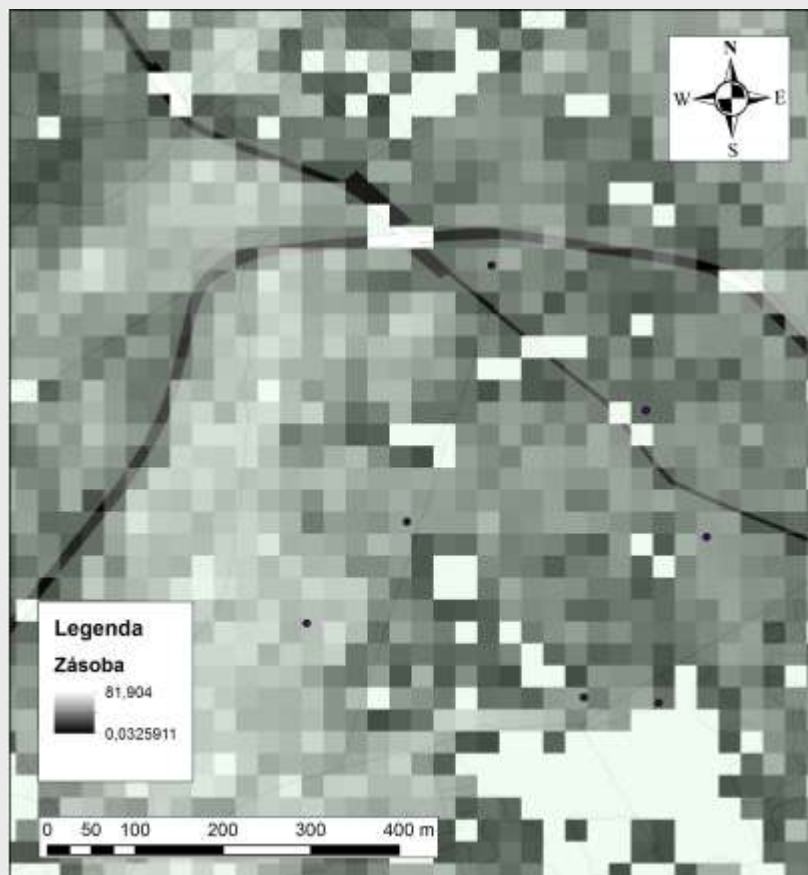
Plošný přístup (Area-based approach)

- Běžně se využívá ve skandinávských zemích
- Regresní model pro zásoby na ŠLP
 - Regresní koeficient $R^2 = 0.82$
- Regresní model pro kruhovou základnu
 - Regresní koeficient $R^2 = 0.72$
- Porovnání s daty LHP

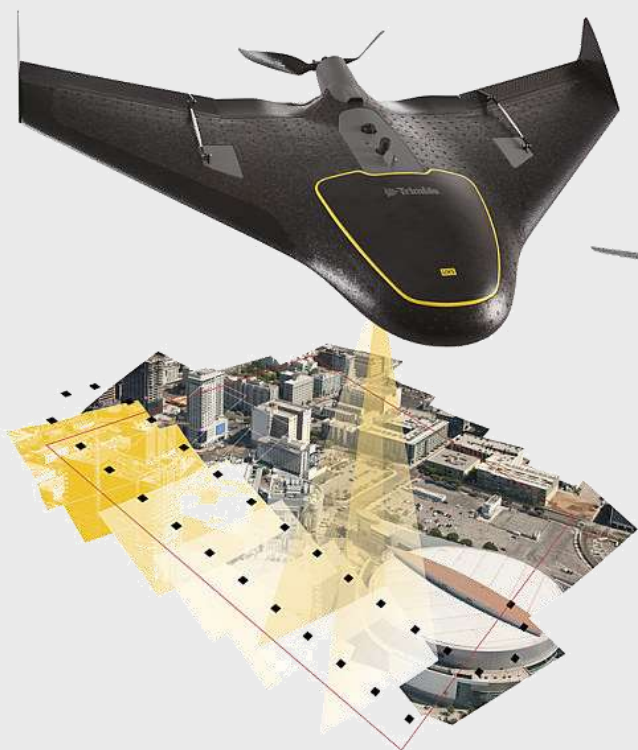
	Forest stand area	Percentage
Total	549.83	100.00
Variance up to 3 %	61.01	11.10
Variance up to 5 %	90.15	16.40
Variance up to 10 %	167.38	30.44
Variance up to 15 %	239.82	43.62
Variance up to 20 %	282.93	51.46
Variance up to 25 %	341.40	62.09
Variance up to 30 %	400.34	72.81



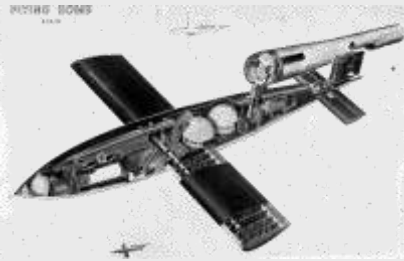
Plošný odhad zásob a výčetní kruhové základny



Bezpilotní letoun, dálkově pilotovaný létající systém (někdy UAV z anglického Unmanned Aerial Vehicle, nebo RPA Remotely Piloted Aircraft) je letadlo bez posádky, které může být řízeno na dálku, nebo létat samostatně pomocí předprogramovaných letových plánů nebo pomocí složitějších dynamických autonomních systémů.



UAV se začaly využívat nejdříve pro vojenské účely. Původně se vyvíjely jako bezpilotní létající terče nebo bomby



S miniaturizací všech technologií v 80. a 90. letech 20. století zájem o bezpilotní letadla neustále roste. Původní vojenské využití těchto prostředků se díky technologickému pokroku rozšířilo i do sféry civilní.



Stejně jako pilotované letouny, tak i ty bezpilotní můžeme rozdělovat na základě účelu a určitých vlastností do několika kategorií.

UAV můžeme dělit například dle hmotnosti:

- mikro UAV (Mikro air vehicle) s hmotností do několika gramů
- mini UAV (MUAV) s velikostí lidské ruky a hmotností do 0,5 kg.
- malé UAV (SUAV) přenosné o hmotnosti několika kilogramů.
- operačně taktické UAV s hmotností desítek až stovek kilogramů
- strategické UAV s hmotností a velikostí srovnatelnou s dopravními letadly.

Na základě využití:

- Vojenské - simulující nepřátelská letadla, poskytující informace o bojišti, schopné útoku, logistické
- Výzkumné a vývojové - používané k dalšímu vývoji UAV technologií
- Civilní a komerční - UAV speciálně navržené pro civilní nebo komerční aplikace

Na základě konstrukce to mohou být:

- s pevnými křídly (fixed wing)



- s rotujícími křídly (rotorcraft)

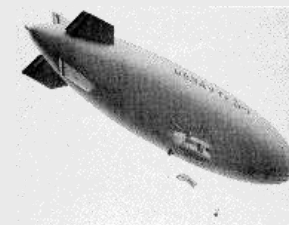


- s mávajícími křídly (flapping Wing)



- heliostaty (upoutané balony a vzducholodě)

- Padákové



Bezpilotní letadlo (UA) je letadlo určené k provozu bez pilota na palubě (může se jednat a většinou se jedná o součást bezpilotního systému). V kontextu legislativního rámce České republiky se za bezpilotní letadla považují všechna bezpilotní letadla s výjimkou modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nepřesahující 20 kg.

Bezpilotní systém (UAS) je systém skládající se z bezpilotního letadla, řídicí stanice a jakéhokoli dalšího prvku nezbytného k umožnění letu, jako například komunikačního spojení a zařízení pro vypuštění a návrat. Bezpilotních letadel, řídicích stanic nebo zařízení pro vypuštění a návrat může být v rámci bezpilotního systému více.

Model letadla Letadlo, které není schopné nést člověka na palubě, je používáno pro soutěžní, sportovní nebo rekreační účely, není vybaveno žádným zařízením umožňujícím automatický let na zvolené místo, a které, v případě volného modelu, není dálkově řízeno jinak, než za účelem ukončení letu nebo které, v případě dálkově řízeného modelu, je po celou dobu letu pomocí vysílače přímo řízené pilotem v jeho vizuálním dohledu.

Obecně provoz bezpilotních systémů v České republice upravuje zejména **Doplněk X - Bepilotní systémy**, Předpisu L 2 - Pravidla létání.

Mezinárodní provoz bezpilotních systémů upravuje **Dodatek 4 - Systémy dálkově řízeného letadla**, Předpisu L 2 - Pravidla létání.

Závaznost výše uvedených dokumentů vyplývá ze **zákona č. 49/1997 Sb., o civilním letectví** ve znění pozdějších předpisů („letecký zákon“) a dále z prováděcí vyhlášky k tomuto zákonu **č. 108/1997 Sb.**

Podmínky provozu a nutnost získání povolení k létání letadla bez pilota na palubě pak vyplývají z **§ 52** leteckého zákona.

Provoz UA je obecně umožněn ve vzdušném prostoru třídy G. Tento vzdušný prostor sahá od země do výšky 300 m nad zemí.

Provoz bezpilotního letadla a/nebo modelu letadla **nesmí** být prováděn v zakázaných, nebezpečných a jiným uživatelem aktivovaných omezených, rezervovaných a vyhrazených prostorech s výjimkou, kdy tak povolí ÚCL.

Provoz bezpilotního letadla a/nebo modelu letadla **nesmí** být prováděn ve větší přímé vzdálenosti od pilota nebo pozorovatele, než která pilotovi nebo pozorovateli umožní trvalý nezprostředkovaný vizuální kontakt a plnou schopnost letadlo bezpečně řídit a vyhýbat se jinému provozu.

Provoz bezpilotního letadla a/nebo modelu letadla **nesmí** být prováděn v menší než bezpečné vzdálenosti od osob, staveb a hustě osídleného prostoru. Obecné hodnoty udává ust. 16, Doplněk X, Předpis L2 – Pravidla létání.





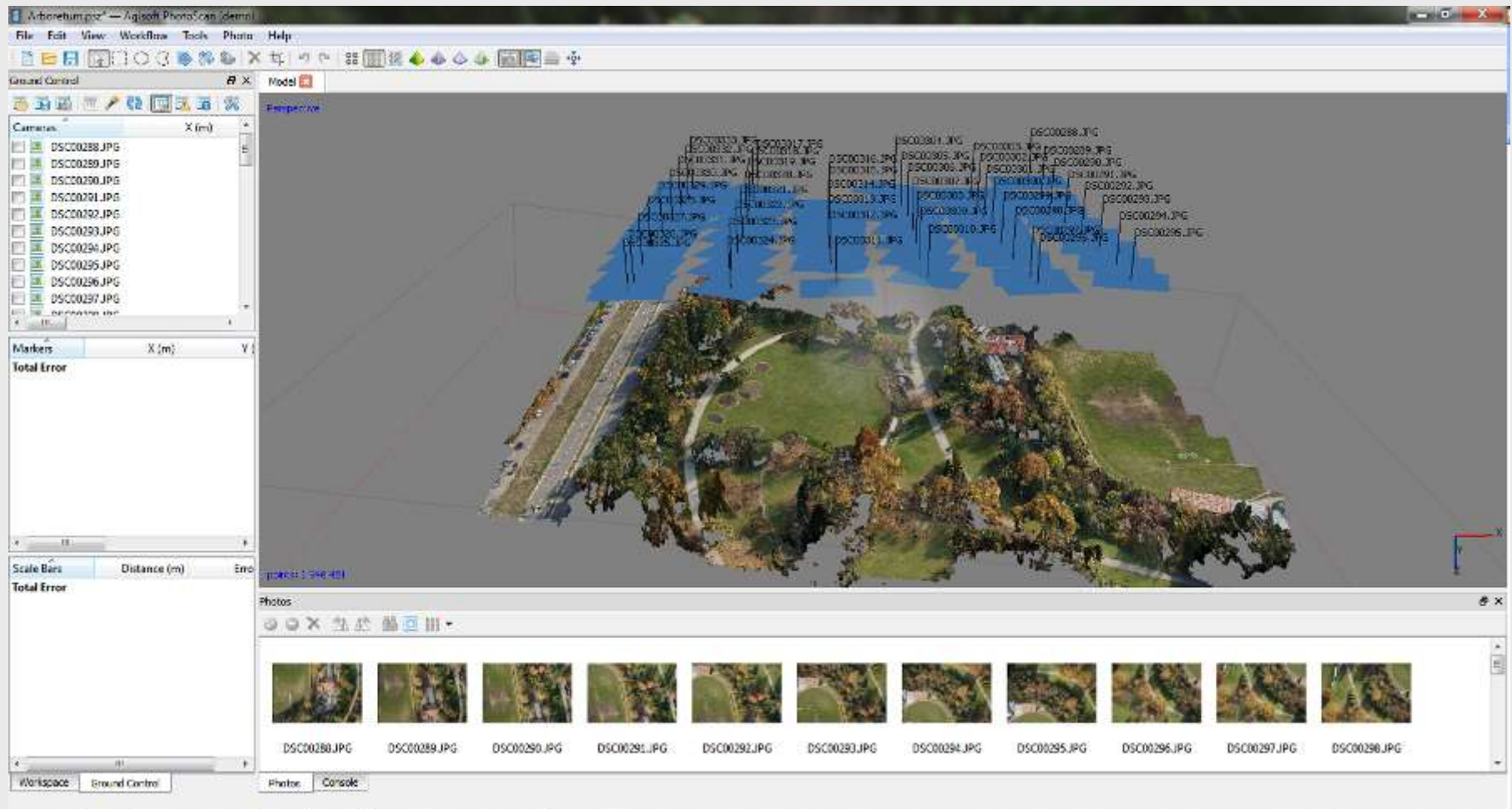






DJI S800 Spreading Wings + Z15 gimbal









Nástroj pro detekci stromů a určení jejich výšek je založen na nástroji watershet v ArcGIS

Vstupní data *.las dataset extrahovaný z obrazových dat pořízených prostřednictvím UAV.

Pro určení výšek stromů je třeba získat DTM

Vytvoření inverzního výškového modelu korun - inverse Canopy Height Model (CHM), který je dále zpracováván.

Nastavení optimálního rozlišení a hodnot víceúrovňové filtrace.

Detekce vrcholů stromů a ohraničení korun stromů.

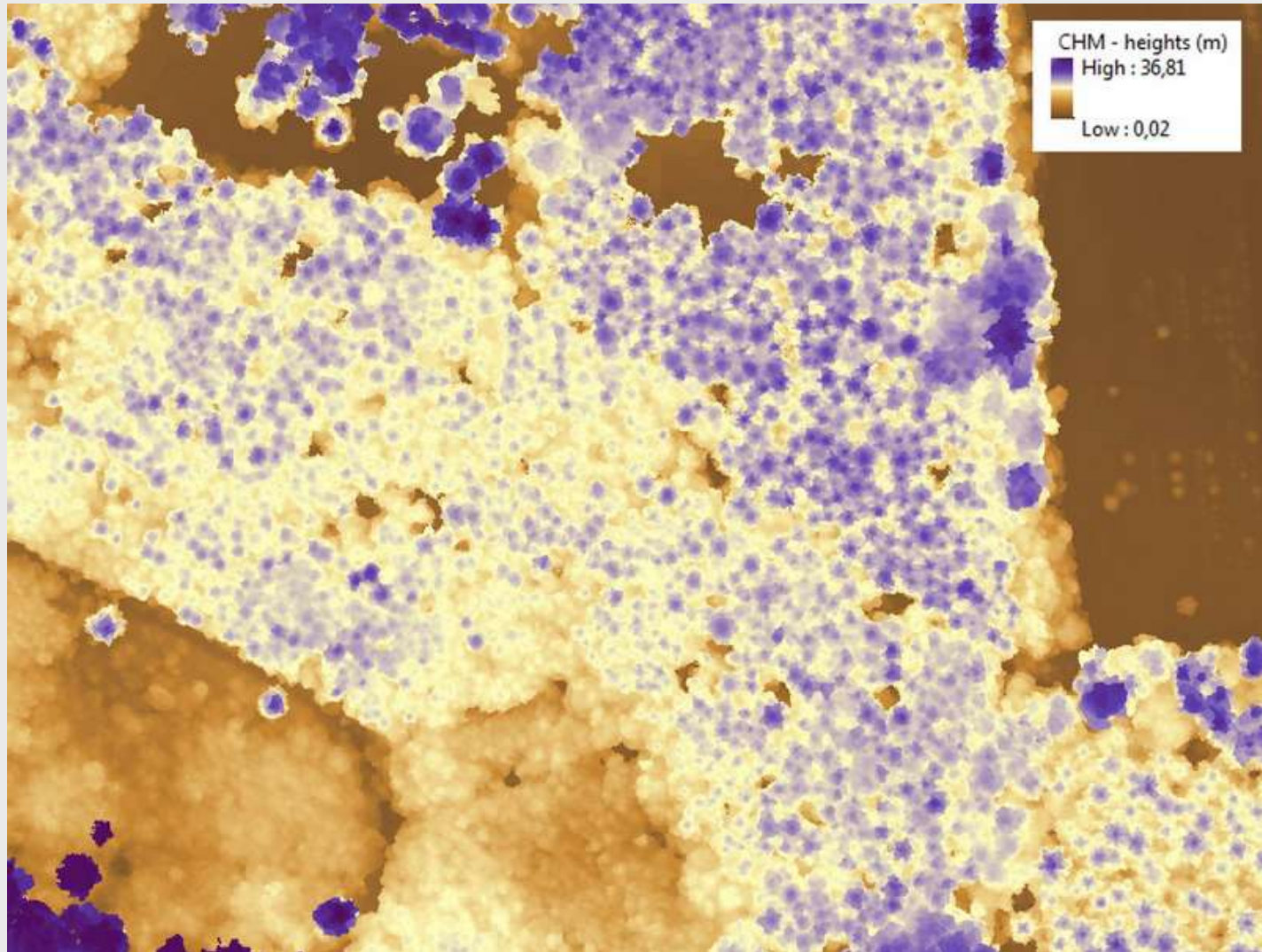
Extrakce výšek stromů pro každý detekovaný vrcholek.

Díky nástroji v ArcGIS se jedná o plně automatickou a efektivní metodu

CIR ortofoto



Canopy Height Model

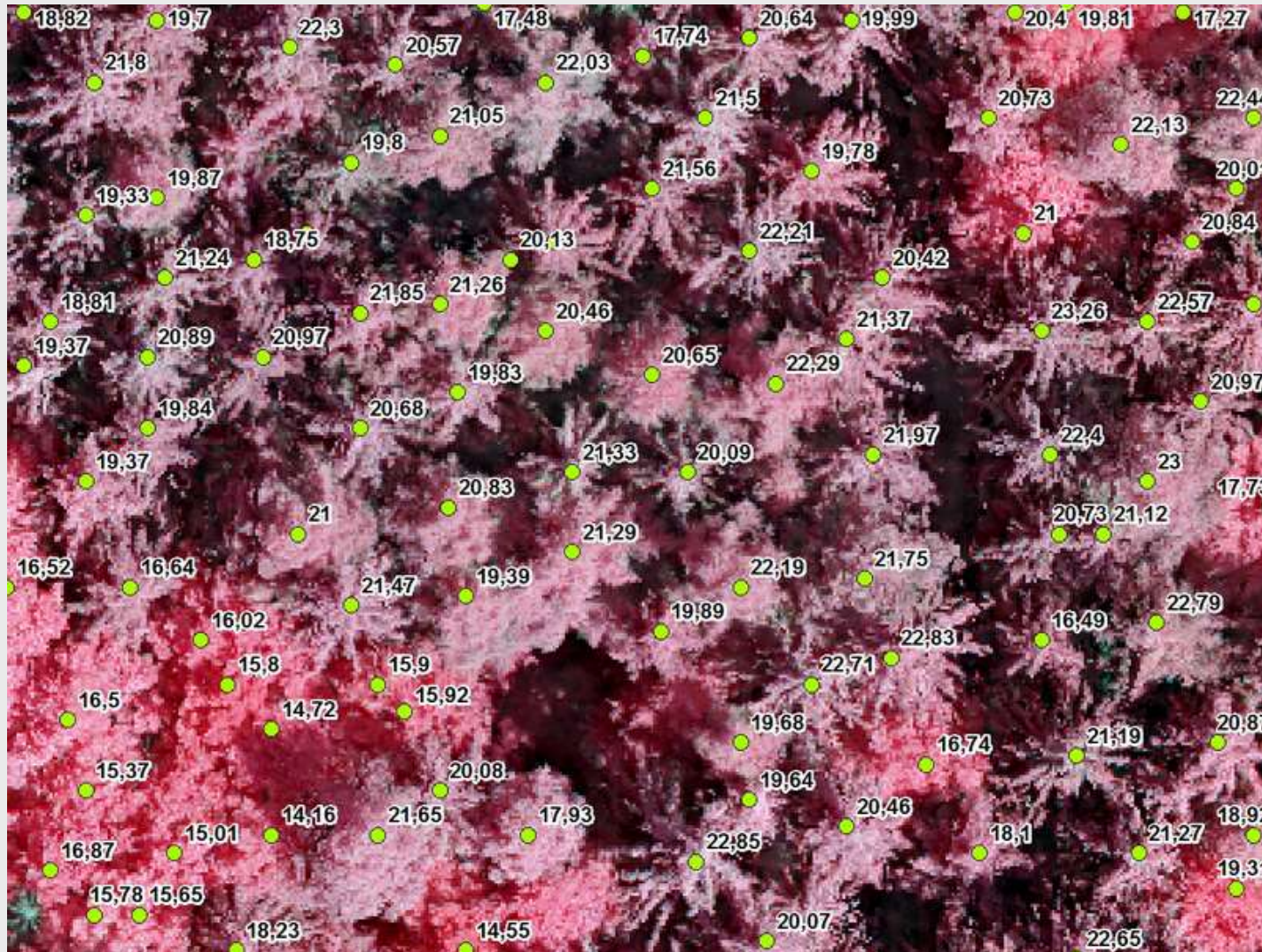


Ohraničení korun jednotlivých stromů



Detekované vrcholky stromů





Kombinace letecké a pozemní fotogrammetrie

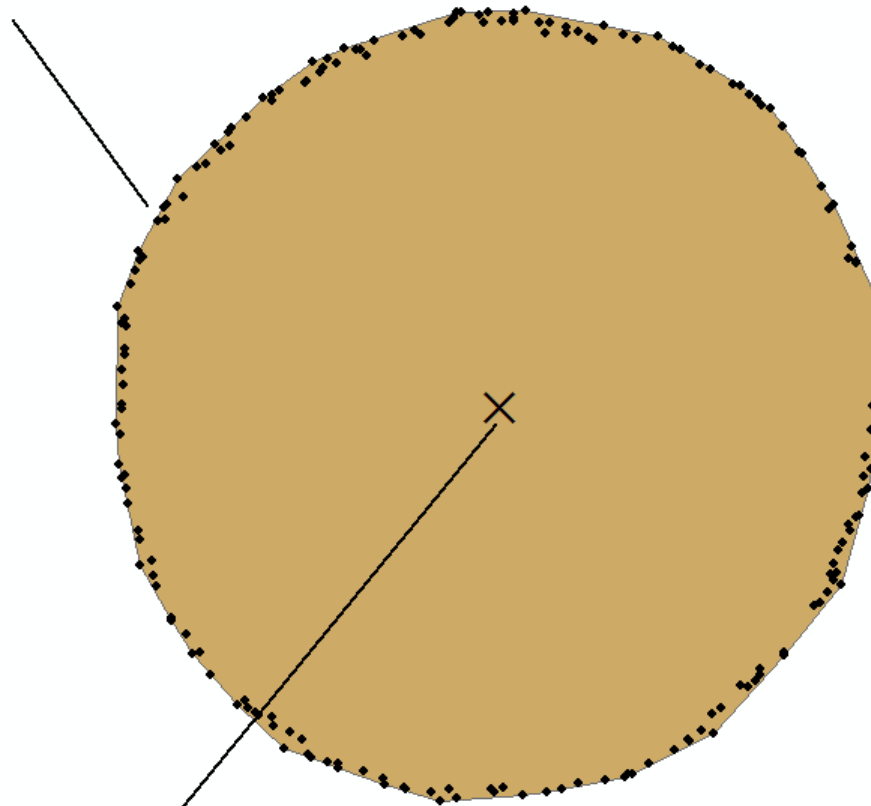


Kombinace letecké a pozemní fotogrammetrie



Řez kmene ve výčetní výšce

Pointcloud from terrestrial photogrammetry



Estimated tree position

Identify	
Identify from:	<Top-most layer>
MBG_ch_UAV	
266	
Location: -604 833,045 -1 128 161,	
Field	Value
Shape	Polygon
ORIG_FID_1	266
MBG_Width	0,529
MBG_Length	0,557
MBG_APodX1	-605000
MBG_APodY1	-1130000
MBG_APodX2	-605000
MBG_APodY2	-1130000
MBG_Orient	34,5
pomer	0,949731
area	0,229804
DBH	0,543



Děkuji za pozornost 😊