



Lesnická  
a dřevařská  
fakulta

2014, Brno

Ing. Tomáš Mikita, Ph.D.

## Využití GIS a DPZ pro krajinné inženýrství přednáška č.8

### Letecké laserové skenování



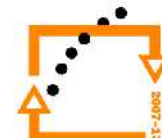
evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

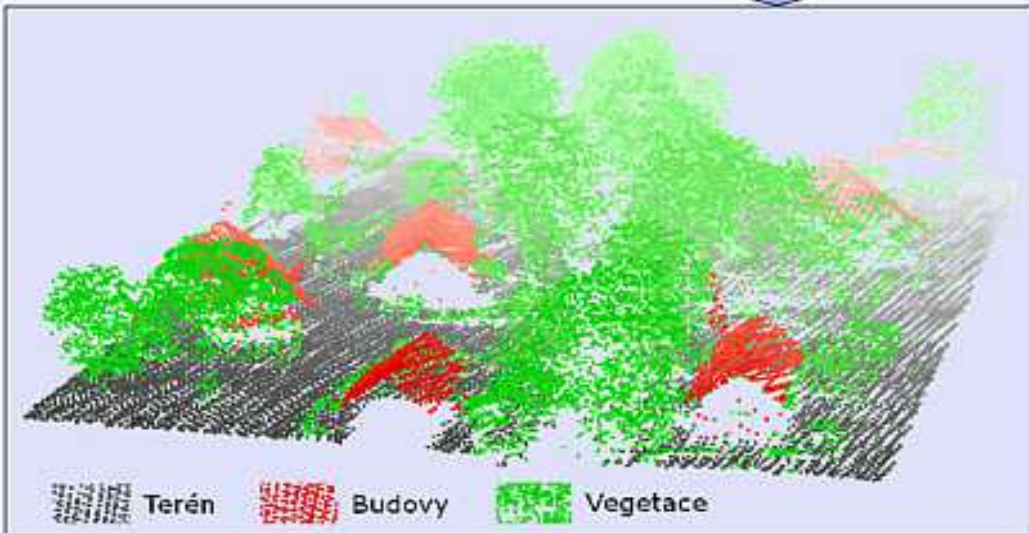
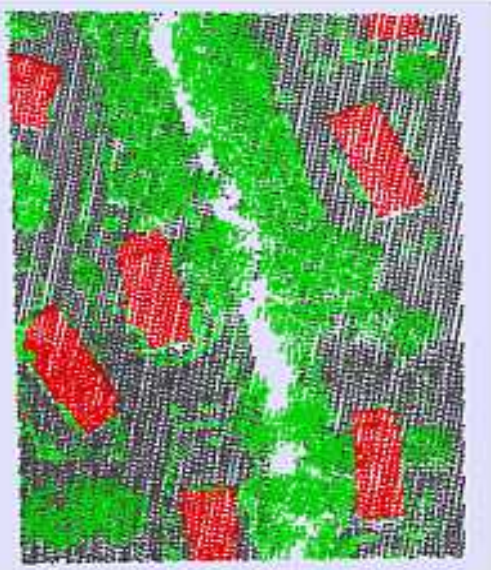
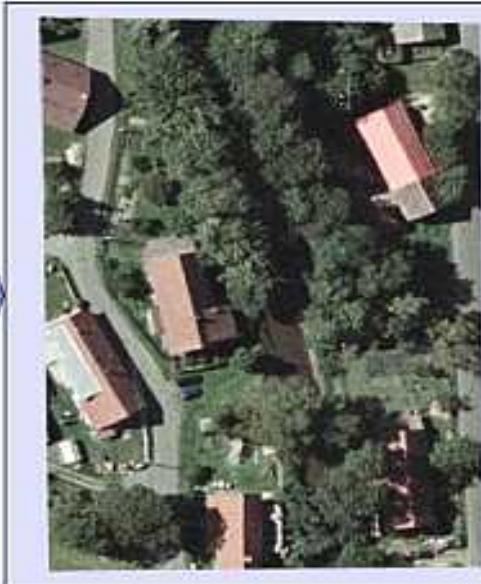
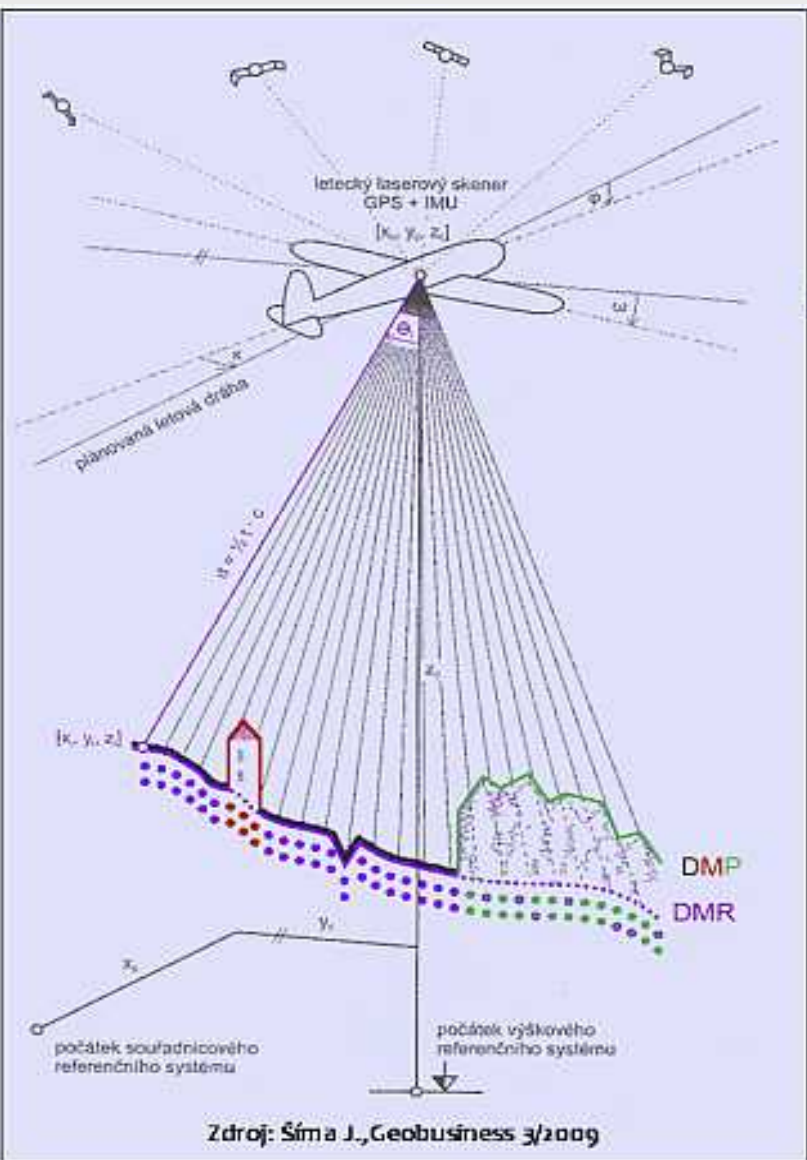
- Laserové skenování, nebo také LIDAR (z angl. Light Detection And Ranging)
- Nejmodernější technologie sběru 3D dat o objektech a jevech na zemském povrchu.
- Zprostředkovává velice přesná 3D data.
- Laserové skenovací systémy umožňují bezkontaktní určování prostorových souřadnic, 3D modelování, vizualizaci 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).

- 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.

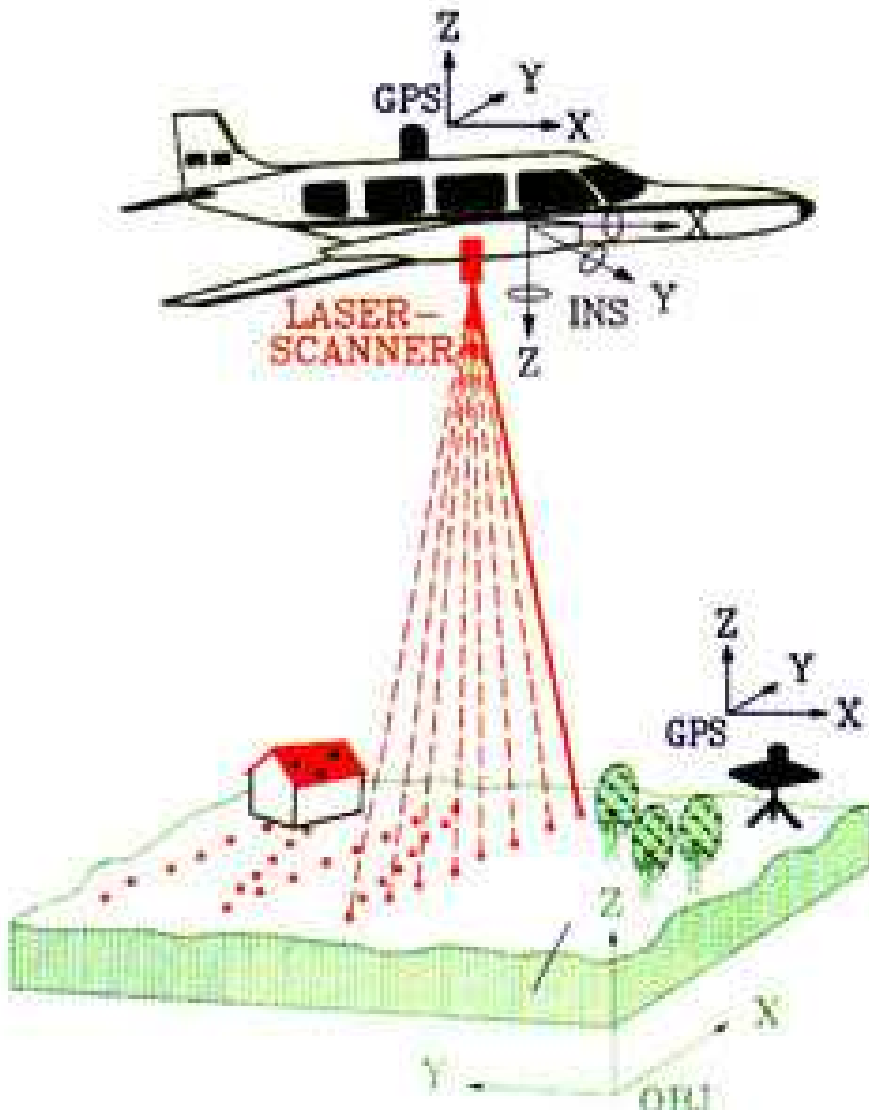
- V současné době je technologie leteckého laserového skenování již běžná v zemích Evropské unie a Spojených státech.
- Oproti klasické fotogrammetrii je díky velké hustotě nasnímaných bodů použitelná s dostatečnou přesností i při získávání polohových údajů o objektech relativně malých rozměrů, jako jsou stožáry a vodiče elektrických přenosových soustav.

# Letecké laserové skenování (LLS)



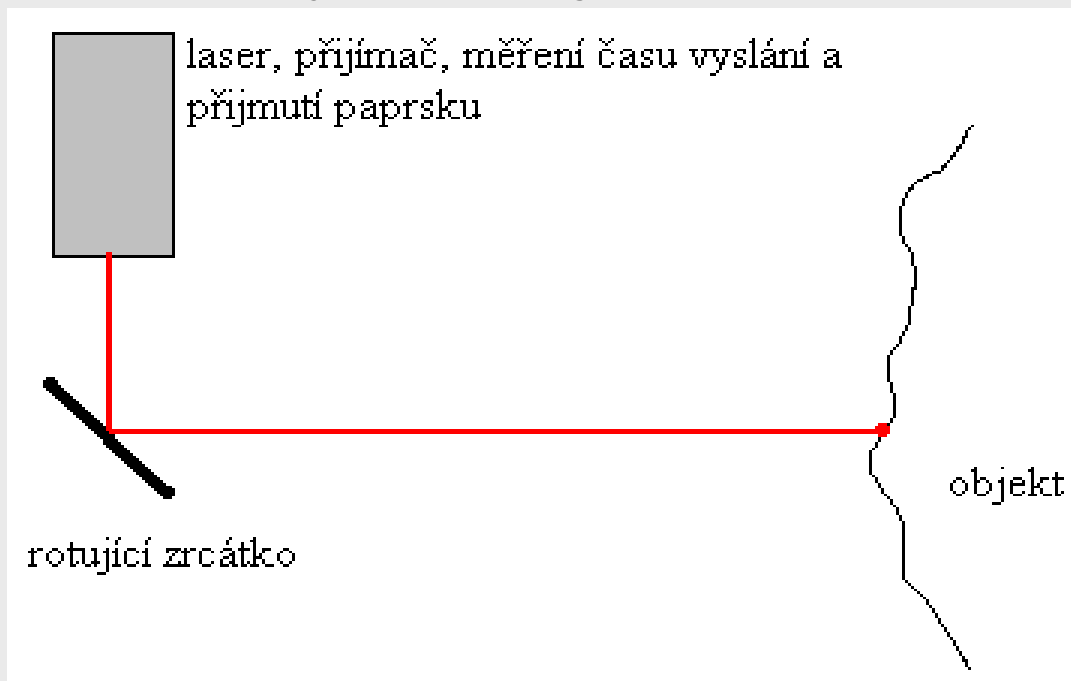


## LASER-SCANNING



- 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.

- 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 přijutím 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).





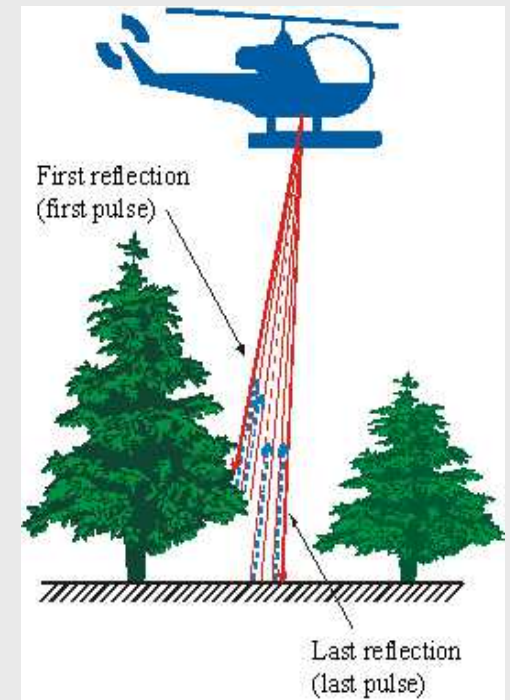
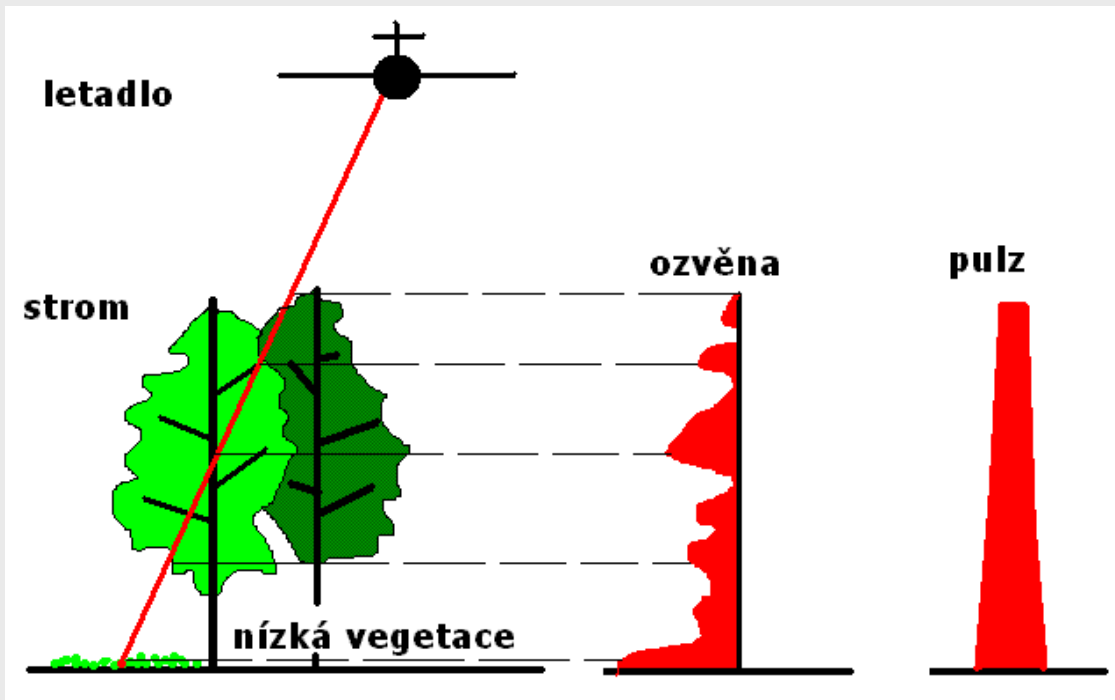
- **Letecké laserové skenovací systémy se skládají z laserové jednotky (laser), skenovací jednotky (rotující zrcátko), GNSS (Globální navigační satelitní systém) a IMU (Inertial Measurement Unit) – inerciální navigace – gyroskopy a akcelerometry). Před měřením je nutno každou část kalibrovat.**
- Součástí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

- Laserový paprsek je během průchodu zemským pokryvem 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 diskretní 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).

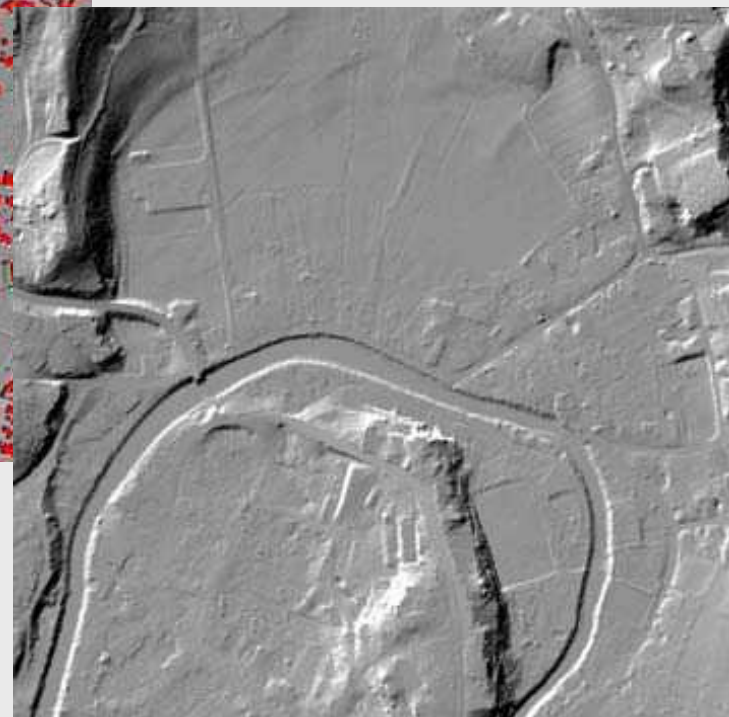
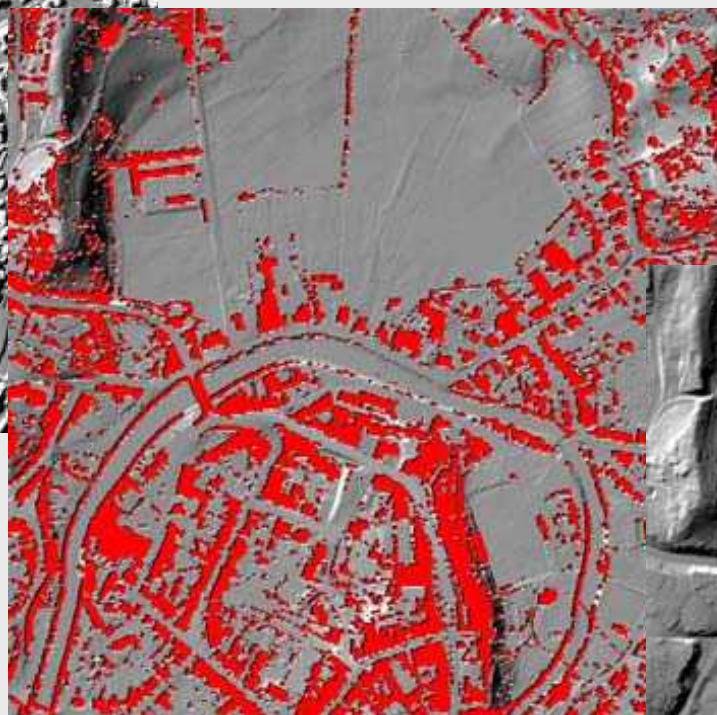
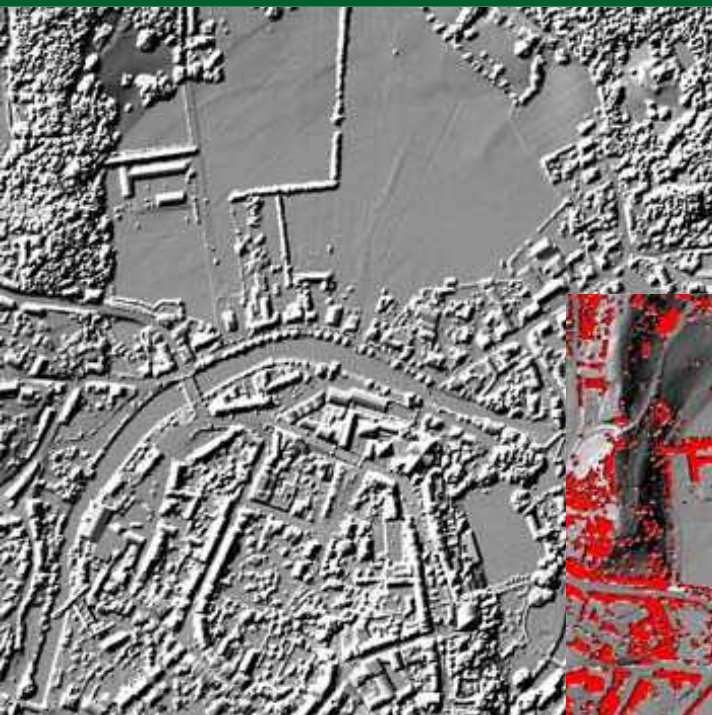


# Filtrace informací z lidarových dat

Digitální model povrchu

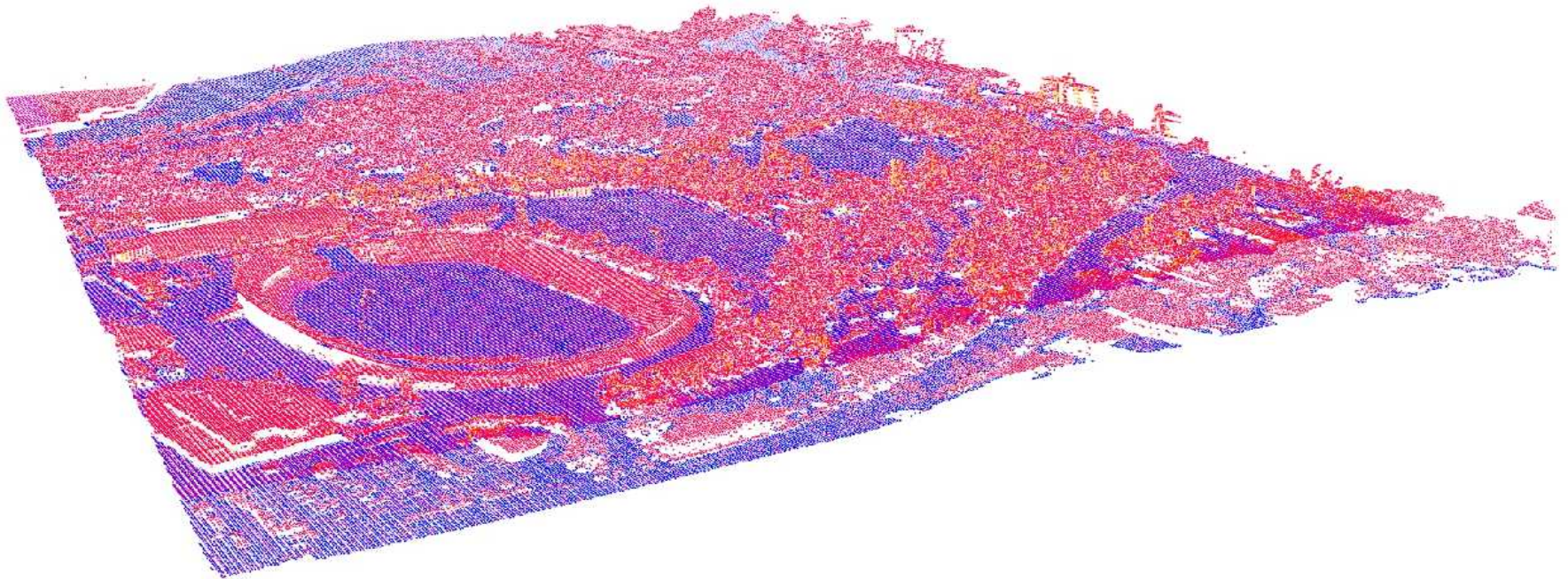
Filtrace objektů

Digitální model terénu





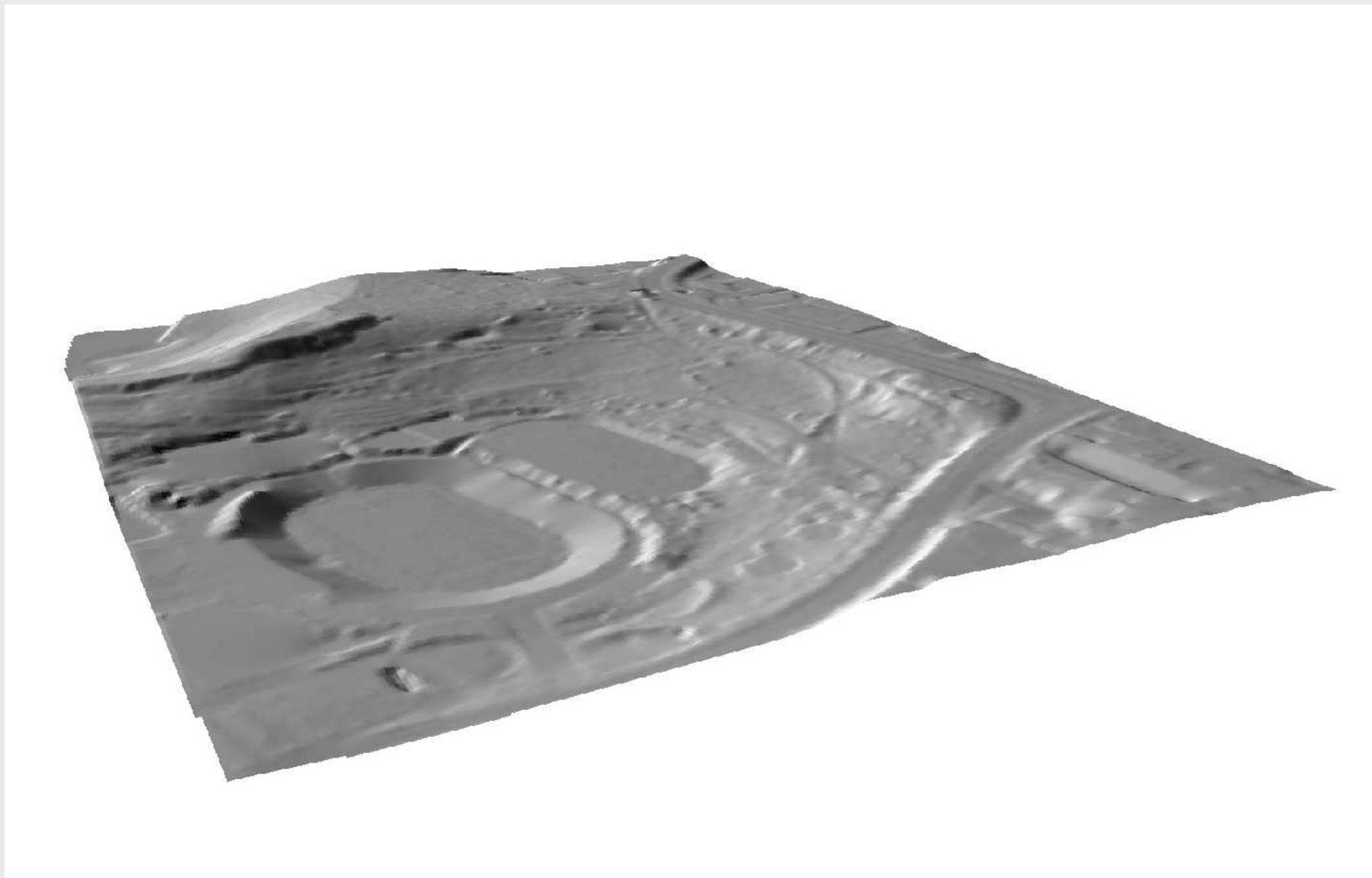
- Primárním výstupem laserového skenování je soubor 3D souřadnic odražených bodů – takzvané mračno bodů.



- 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 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  $\text{cm}^2$ ).
- 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.

- 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



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





- Inženýrská geodézie
- Dokumentace hutních, chemických a průmyslových provozů
- Modelování měst a plánování rozvoje výstavby
- Architektura a měření fasád
- Měření v tunelech
- Archeologie a dokumentace kulturního dědictví
- Topografie a důlní měřictví
- Automatické a robotizované procesy
- Získávání scénérií pro virtuální realitu

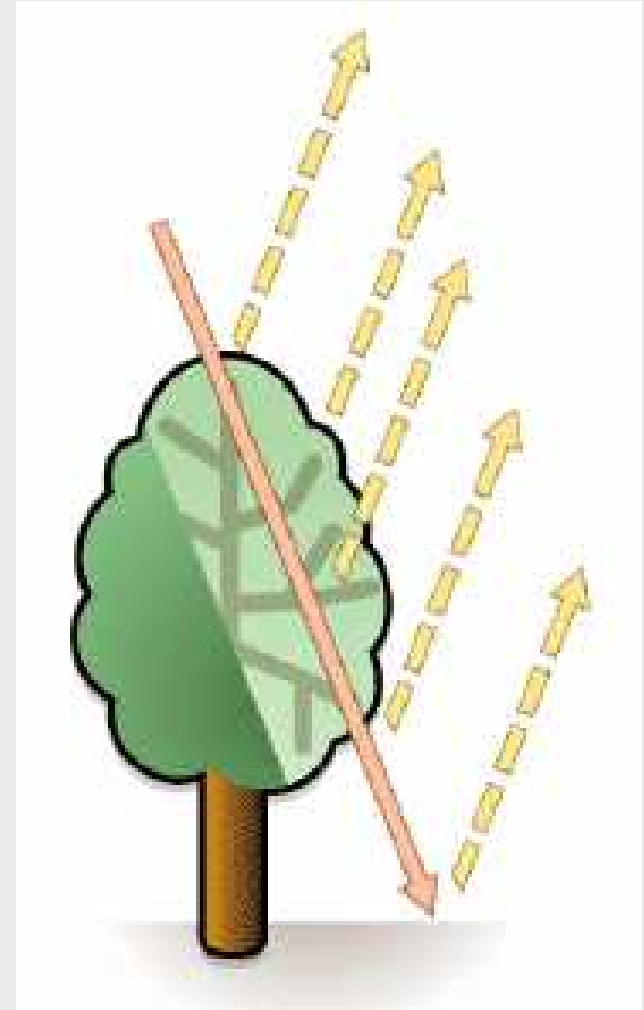
- Nosičem skeneru je automobil, loď, či člověk.
- Princip je stejný jako u leteckého skenování, nosič laserového skeneru se pohybuje po nelineární trajektorii; pro správné určení polohy podrobných bodů je třeba znát pro každý okamžik měření přesnou polohu nosiče a směr měření.
- Tyto informace zajišťuje 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 pojiždění 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.
- Většinou souběžně s laserovým skenováním probíhá snímkování digitální kamerou a každý bod má tak rovněž RGB informaci.

# 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.

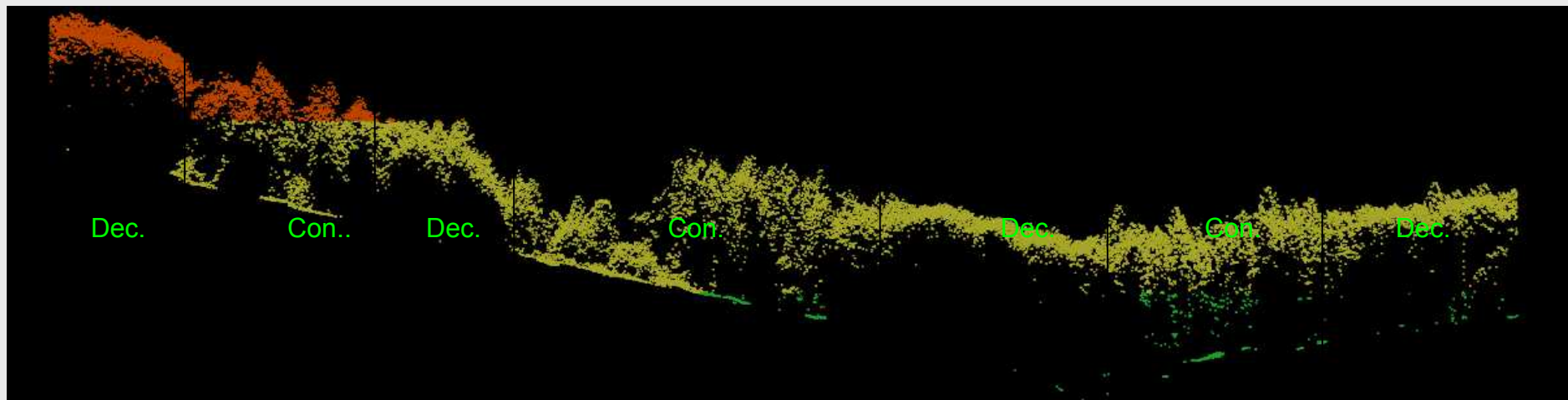
- Systém leteckého laserového skenování (LLS) nebo obecně LIDAR (*Light Detection and Ranging*) je moderní metodou hromadného sběru polohopisných i výškopisných dat o vysoké hustotě bodů.
- V lesnictví je LLS používán zejména ke třem typům úloh:
  - identifikace stromů
  - měření parametrů stromů
  - tvorba digitálního modelu povrchu korun stromů.
- Využívá se vícenásobného odrazu laserových impulsů a rovněž informací o intenzitě odrazu.



- **Několik přístupů:**

1. Práce se surovým mračnem bodů ve statistických programech (STATISTICA, R, MATLAB etc.),
  - výhodou je zpracování v jediném softwaru a možnost využití open source aplikací.
1. Klasifikace mračna bodů ve speciálních programech (Terra Scan, SCOP++ aj.) with následná interpolace do podoby digitálního modelu terénu (DMT), digitálního modelu povrchu (DMP) a následný výpočet tzv CHM (Canopy Height Model) – výškový model korun stromů ( $CHM = DMP - DMT$ ),
  - výhodou je lepší vizualizace rychlejší zpracování a možnost využití analytických nástrojů GIS.
1. Speciální lesnické aplikace (FUSION, OPALS etc.),
  - většinou volně šiřitelné aplikace vytvářené univerzitami či jednotlivci, výhodou je přímé získání údajů o porostech či jednotlivých stromech, nevýhodou je horší kompatibilita s GIS aplikacemi a mnohdy také optimalizace pro určitou dřevinu či oblast (boreální lesy).

- 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.

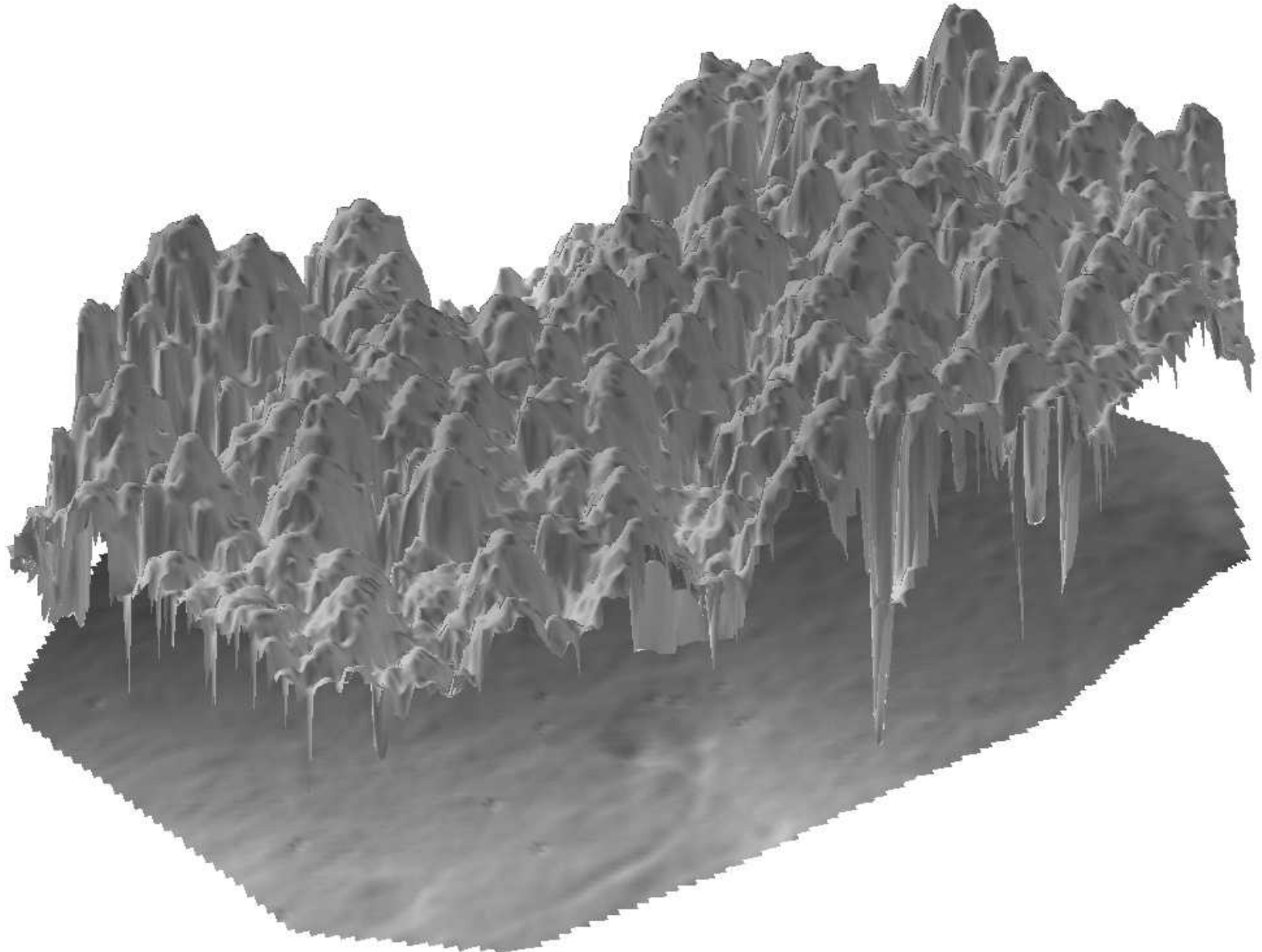




# DMP a DMT



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



- 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 obehm 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 obehm dřevní hmoty od 5 do 35 %.

- 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**

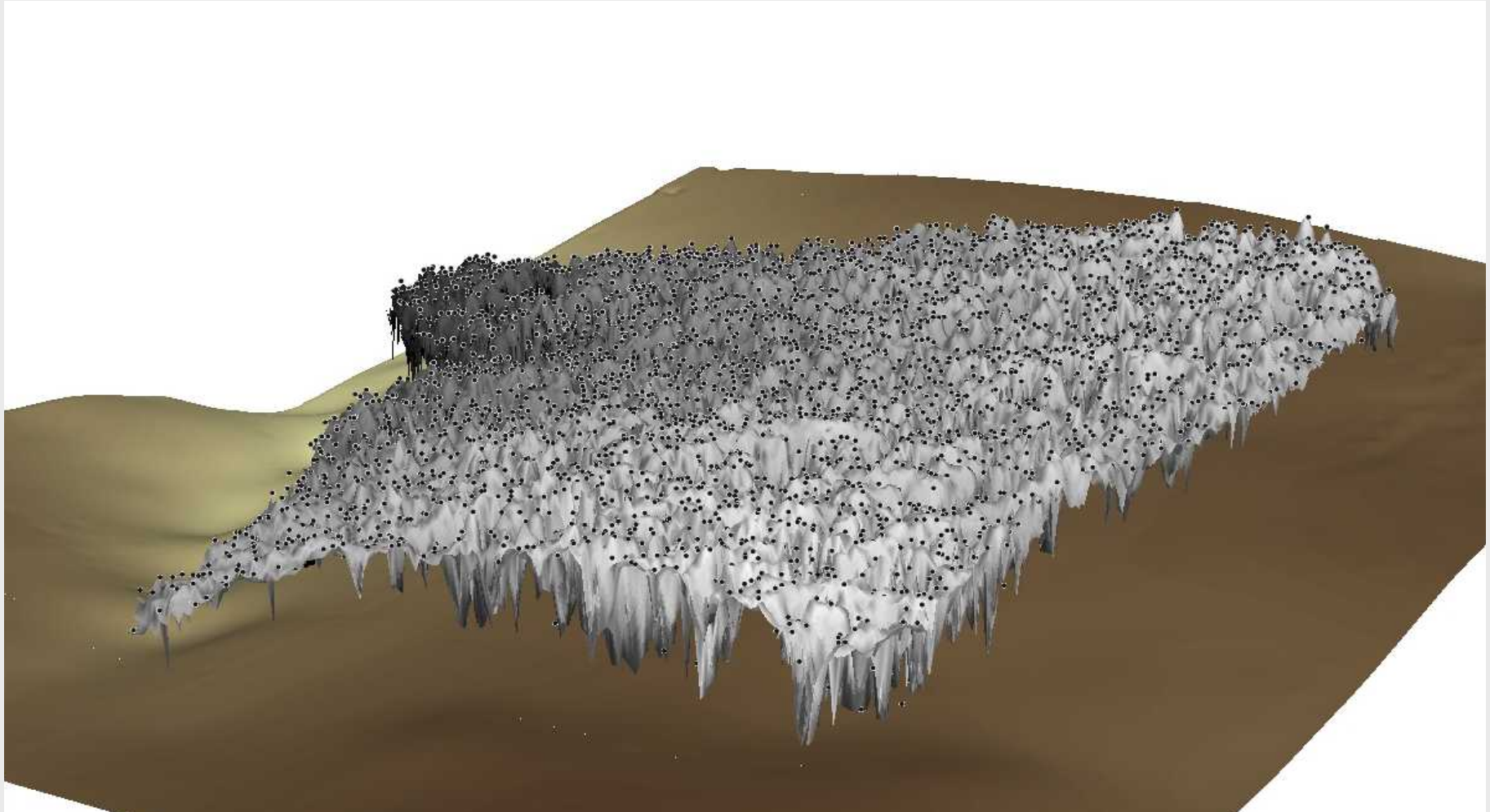
- Základním principem této metody je detekce jednotlivých stromů a zjišťování stromových charakteristik jako je výška, výčetní tloušťka a objem kmene na základě regresních vztahů.
- Nutná vyšší hustota bodů LLS – minimálně 5 bodů na m<sup>2</sup>, což zvyšuje nároky na zpracování dat.
- Ze současných poznatků je využitelná pouze pro mýtní porosty s homogenní strukturou a spíše pro jehličnaté dřeviny s jednoznačně identifikovatelnými vrcholky stromů.
- Jejím 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<sup>2</sup>), 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 průzrum s měřením validačních dat na předem stanoveném počtu ověřovacích ploch.**

- 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 skladby 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 korun stromů

