



**Lesnická
a dřevařská
fakulta**

**Geodézie
Přednáška**

Fotogrammetrie Laserové skenování

Mendelova
univerzita
v Brně

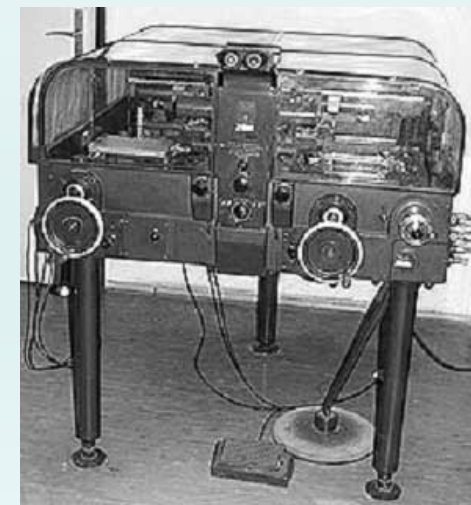
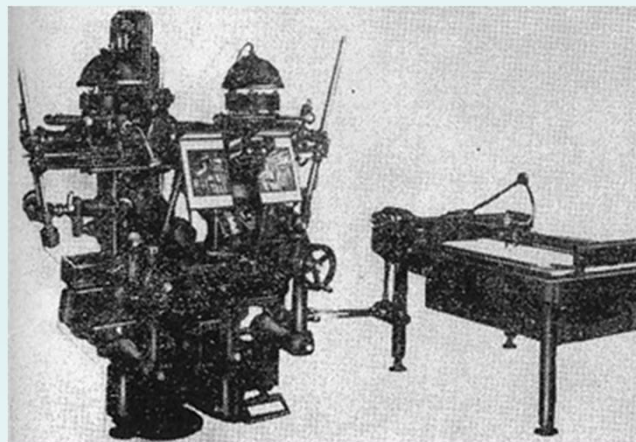
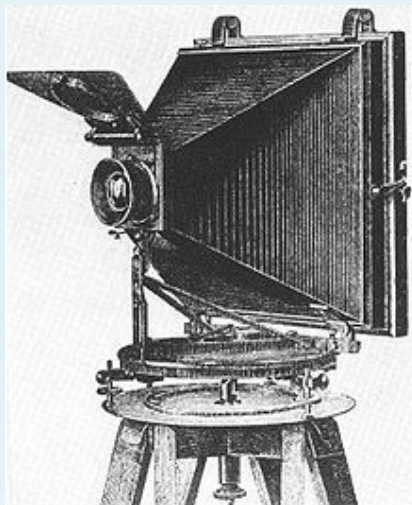


- ❑ metody fotogrammetrického a laserového měření lze zahrnout pod metody dálkového průzkumu Země (DPZ)
- ❑ pomocí DPZ se získávají informace o objektech nebo jevech na zemském povrchu (nad povrchem) analýzou dat získaných zářením bez kontaktu se zkoumaným objektem
- ❑ rozdíl je v typu detektoru záření
- ❑ fotogrammetrická kamera představuje pasivní systém, zatímco laserový systém je systémem aktivním
- ❑ oba způsoby měření se dle typu nosiče dělí na pozemní a letecký systém
- ❑ slovo fotogrammetrie vzniklo ze snahy nazvat vhodným způsobem činnost zabývající se měřením světelných záznamů (fotografických snímků)
- ❑ název fotogrammetrie vznikl složením tří řeckých slov:
 - fótos – světlo
 - gramma - záznam, písmeno
 - metrie - měření

Vývoj fotogrammetrie

- ❑ počátky sahají daleko před vynález fotografie (1839-Daguerre)
- ❑ prvním, kdo uvedl do praxe centrální promítání (základní zobrazovací metoda ve fotogrammetrii), byl Leonardo da Vinci (15. století)
 - pomocí dírkové komory (kamera obscura) obkresloval středové průměty, z nichž rekonstruoval mapové obrazy
- ❑ za zakladatele fotogrammetrie je považován Laussedat (Francie), který začal fotografické snímky využívat pro měřické účely
- ❑ první fotogrammetrické měření u nás provedl Dr. Kořistka – průsekovou metodou určil polohu významných bodů na území Prahy (1867)
- ❑ s rozvojem létání se začala rozvíjet i letecká fotogrammetrie – první snímky ze vzduchu již v roce 1858, ale velký rozmach až během první světové války (sledovací a interpretační účely)
- ❑ na území našeho státu se první letecké stereofotogrammetrické mapování uskutečnilo v roce 1921
- ❑ rychlý vývoj počítačových technologií koncem 80-tých let – vznik prvních digitálních systémů – nová oblast (digitální fotogrammetrie)

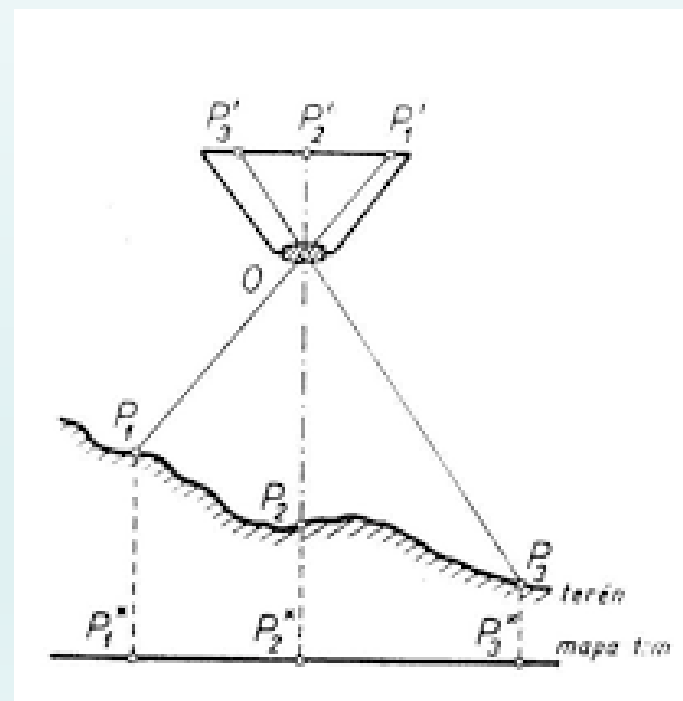
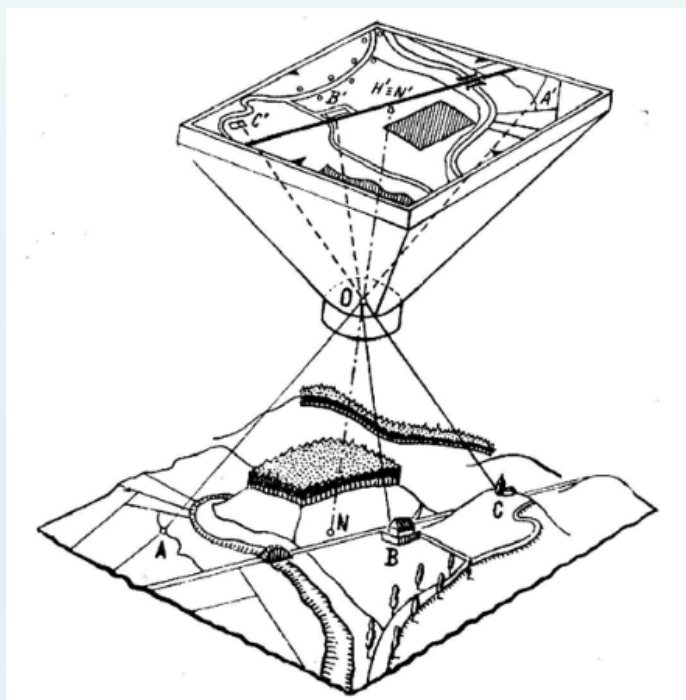
Historie fotogrammetrie



Fotogrammetrie

- ❑ vědní obor, který se zabývá zpracováním informací získaných o objektech měření z obrazových záznamů, nejčastěji z fotografických snímků
- ❑ informace o předmětech se nezískávají přímým měřením, ale měřením jejich fotografických obrazů
- ❑ fotogrammetrie využívá ke své práci fotografické snímky, které jsou nositelem informací (měřických, o předmětech měření-tvar, rozměr, poloha)
- ❑ snímek je exaktním středovým průmětem předmětu (obrazem každého bodu, přímky a roviny je zase bod, přímka a rovina, spojnice předmětového a obrazového bodu prochází středem promítání)
- ❑ základním úkolem fotogrammetrie je převedení tohoto středového průmětu na průmět pravoúhlý
 - vstupem je fotografický snímek a výstupem je mapa nebo plán
- ❑ rozpoznání, identifikování a klasifikování předmětů zobrazených na fotografických snímcích provádíme tzv. fotointerpretací (čtením)
- ❑ geometrické vztahy mezi předmětem a jeho snímkem lze určit pomocí fotogrammetrických přístrojů (početně, graficky, mechanicky)

- ❑ pomocí těchto přístrojů lze snímky proměřit a údaje zpracovat (vyhodnotit)
- ❑ každý fotografický snímek nelze použít pro měřické účely
- ❑ fotografický snímek musí být pořízen zvláštním aparátem se speciálním vybavením
- ❑ toto zařízení se nazývá fotografická měřická komora



Základní kritéria dělení fotogrammetrie

1.Podle polohy stanoviška (způsob získávání snímků) – „**Odkud ???**“

- pozemní (terestrická)
- letecká
- družicová

2.Podle počtu a konfigurace snímků – „**Kolik ???**“

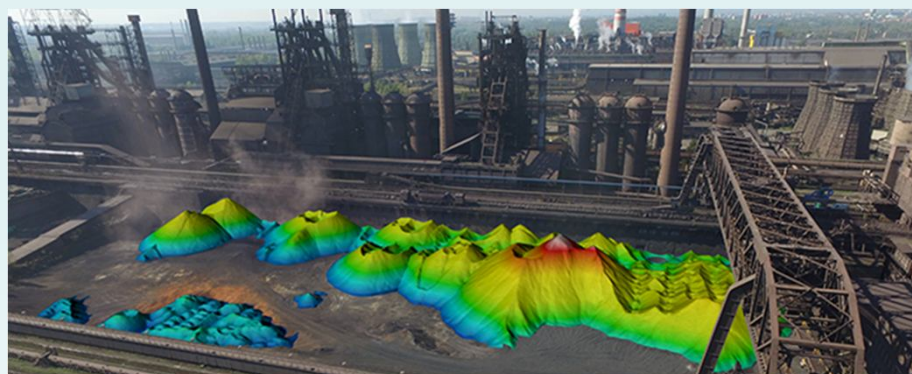
- jednosnímková
- vícesnímková
 - stereofotogrammetrie
 - průseková

3.Podle technologického postupu zpracování (způsob získávání informací ze snímků) – „**Jak ???**“

- grafické metody
- analogové metody
- analytické metody
- digitální metody

Pozemní fotogrammetrie (terestrická, blízka-do 30m)

- ❑ pevné (nepohyblivé) stanoviště umístěné na Zemi
- ❑ možno přesně určit polohu stanoviště a prostorovou orientaci snímku
- ❑ jednodušší zpracování, nevýhodou jsou zakryté oblasti a proměnná přesnost
- ❑ užívá se pro měření menších území
 - lomy a povrchové doly
 - horské oblasti
 - archeologické lokality, architektura
 - výškové plány pro hrazení bystřin
 - snímky pro sledování erozní činnosti vod
 - kriminalistika (dokumentování místa činu, dopravní nehody)



Zákres objektu do snímku



Původní snímek



Umístění středového průmětu
projektované stavby do měřického
snímku

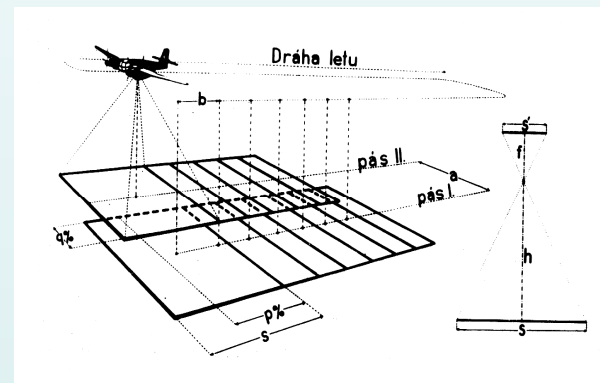


Využití v architektuře

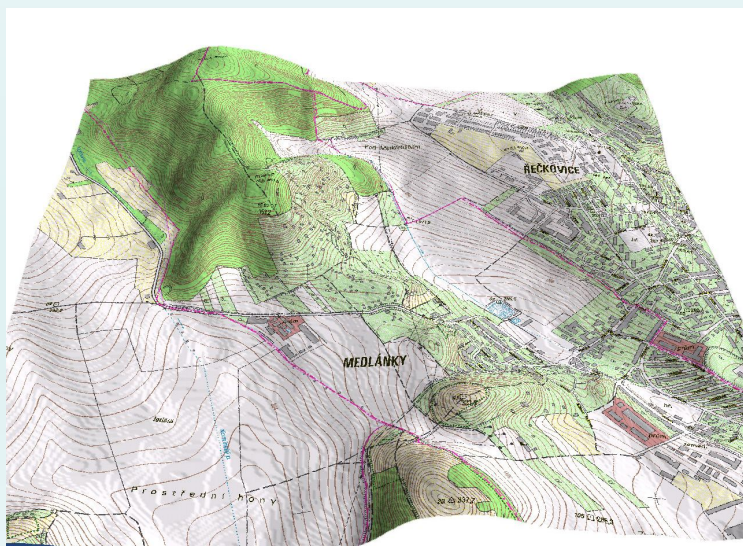
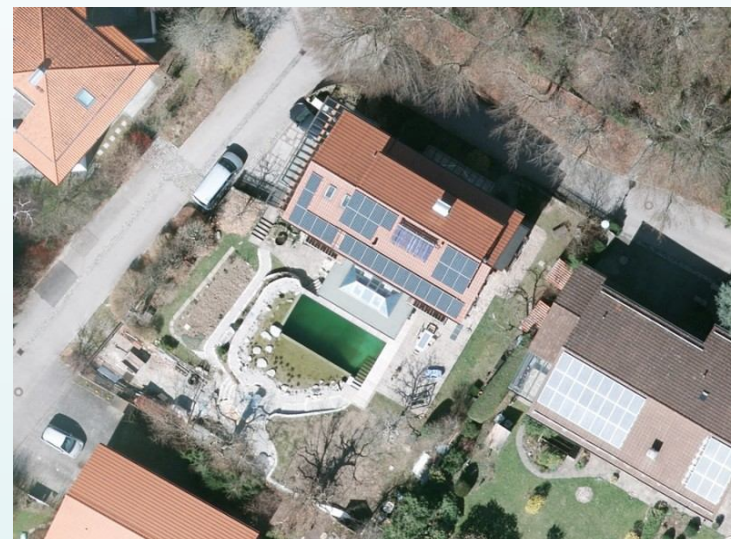


Letecká fotogrammetrie

- ❑ snímky pořízeny z pohybujícího se nosiče (letadlo, vrtulník, balón)
- ❑ výhodou je velká plocha zobrazená na snímku
- ❑ konzistentní přesnost (výška letu přibližně konstantní)
- ❑ nevýhodou je neznalost přesné prostorové polohy snímku v okamžiku expozice → složitější zpracování
- ❑ podle směru fotografování (směru sklonu osy záběru) rozeznáváme snímky:
 - horizontální
 - vertikální
 - šikmé
- ❑ podle způsobu fotografování:
 - snímky jednotlivé (orientační)
 - snímky řadové (fotografovány za sebou tak, aby se překrývaly)
- ❑ podélný překryt snímků v řadách by měl být 60 %, překrytí řad 30 % → jistota, že každé místo v terénu bylo vyfotografováno dvakrát
- ❑ nejvýhodnější a nejpoužívanější jsou snímky svislé, jednotné měřítko po celé ploše snímku



Ukázky letecké fotogrammetrie



UAV, RPA

- ❑ z angl. Unmanned Aerial Vehicle, Remotely Piloted Aircraft
- ❑ jedná se o bezpilotní letoun, dálkově pilotovaný létající systém
 - letadlo může být řízeno dálkově
 - létá samostatně pomocí naprogramovaných letových plánů nebo pomocí složitějších dynamických autonomních systémů
- ❑ původně pro vojenské účely, s miniaturizací technologií se postupně využití rozšířilo i pro civilní sféru
- ❑ rozdělení podle hmotnosti: mikro (několik gramů), mini (do 0,5 kg), malé (několik kg), operačně taktické (desítka až stovky kg) a strategické (srovnatelné s dopravními letadly)
- ❑ rozdělení podle využití: vojenské, výzkumné (vývojové), komerční (civilní)
- ❑ rozdělení podle konstrukce:
 - s pevnými křídly (fixed wing)
 - s rotujícími křídly (rotorcraft)
 - s mávajícími křídly (flapping wing)
 - heliostaty (upoutané balóny a vzducholodě)
 - padákové

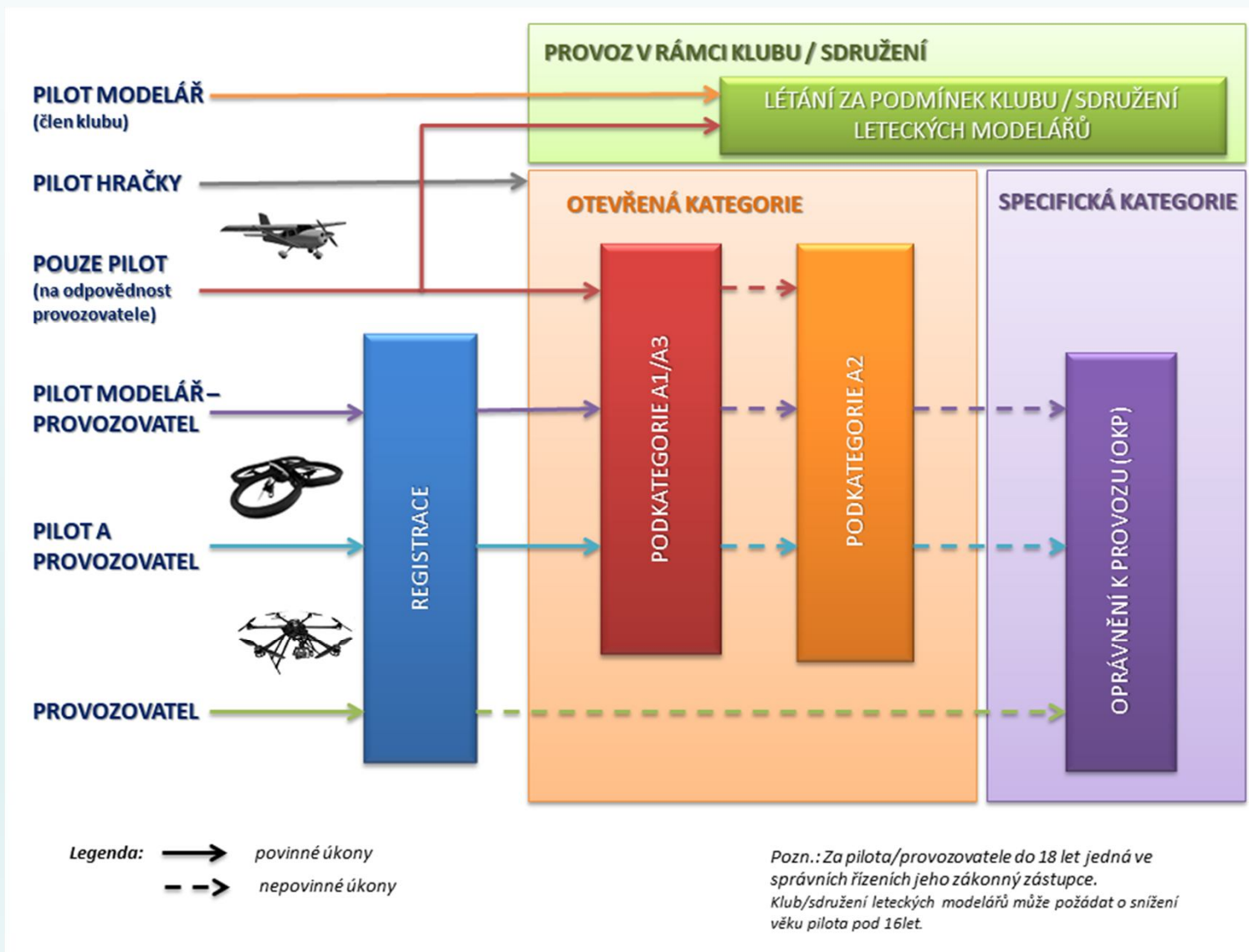
Ukázka dronů



Legislativa provozu UAV v ČR

- ❑ od 31.12.2020 začala platit nová pravidla pro drony vycházející z evropské legislativy
- ❑ tři kategorie dronů (open, specific, certified), třídy provozních omezení A1-A3 a třídy dronů C0-C4 (fyzické vlastnosti dronů)
 - open – do 250g, bez kamery, dopadová kinetická energie menší než 80 joulů, hračka, bez certifikace
 - specific – dělení na základě typu provozování (profesionální činnost), podmínky se nevejdou do podmínek kategorií open
 - certified – netýká se současných provozovatelů dronů, výhled do budoucnosti (systémy pro přepravu osob a nákladu)
- ❑ pokud nebudou splněny podmínky „open“, je povinnost registrace na ÚCL (Úřad pro civilní letectví) a on-line test pro každého pilota dronu
 - neomezený počet pokusů testu
 - nutno správně odpovědět na minimálně 30 otázek ze 40 (60 minut) tři kategorie dronů (open, specific, certified)

Schéma povinných úkonů pro provoz od 31.12.2020

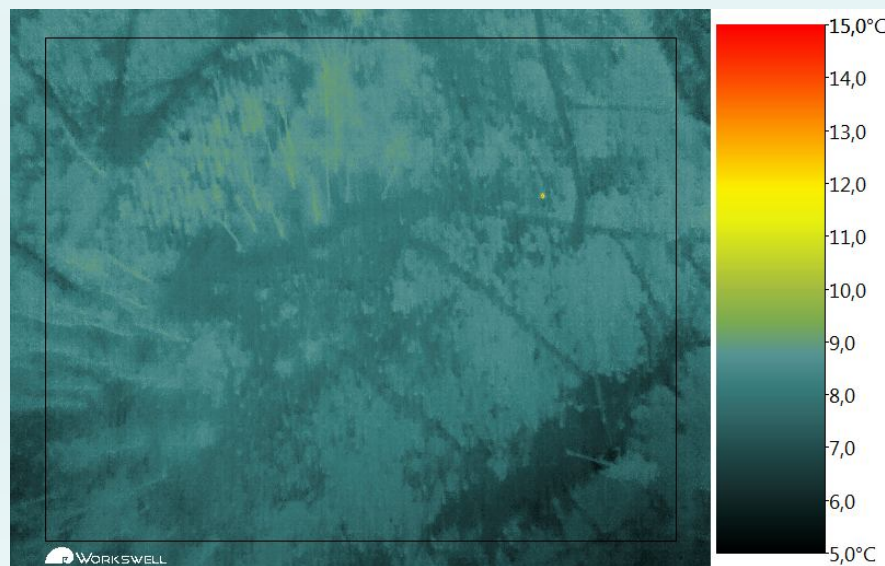
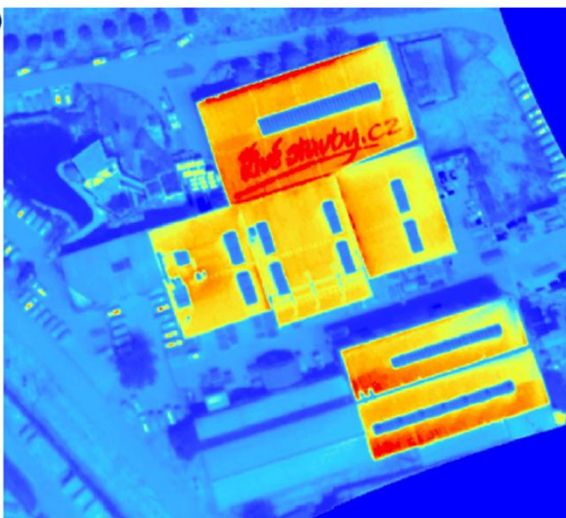
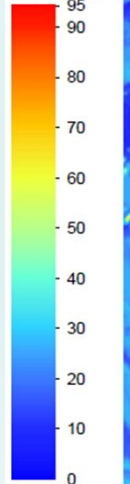


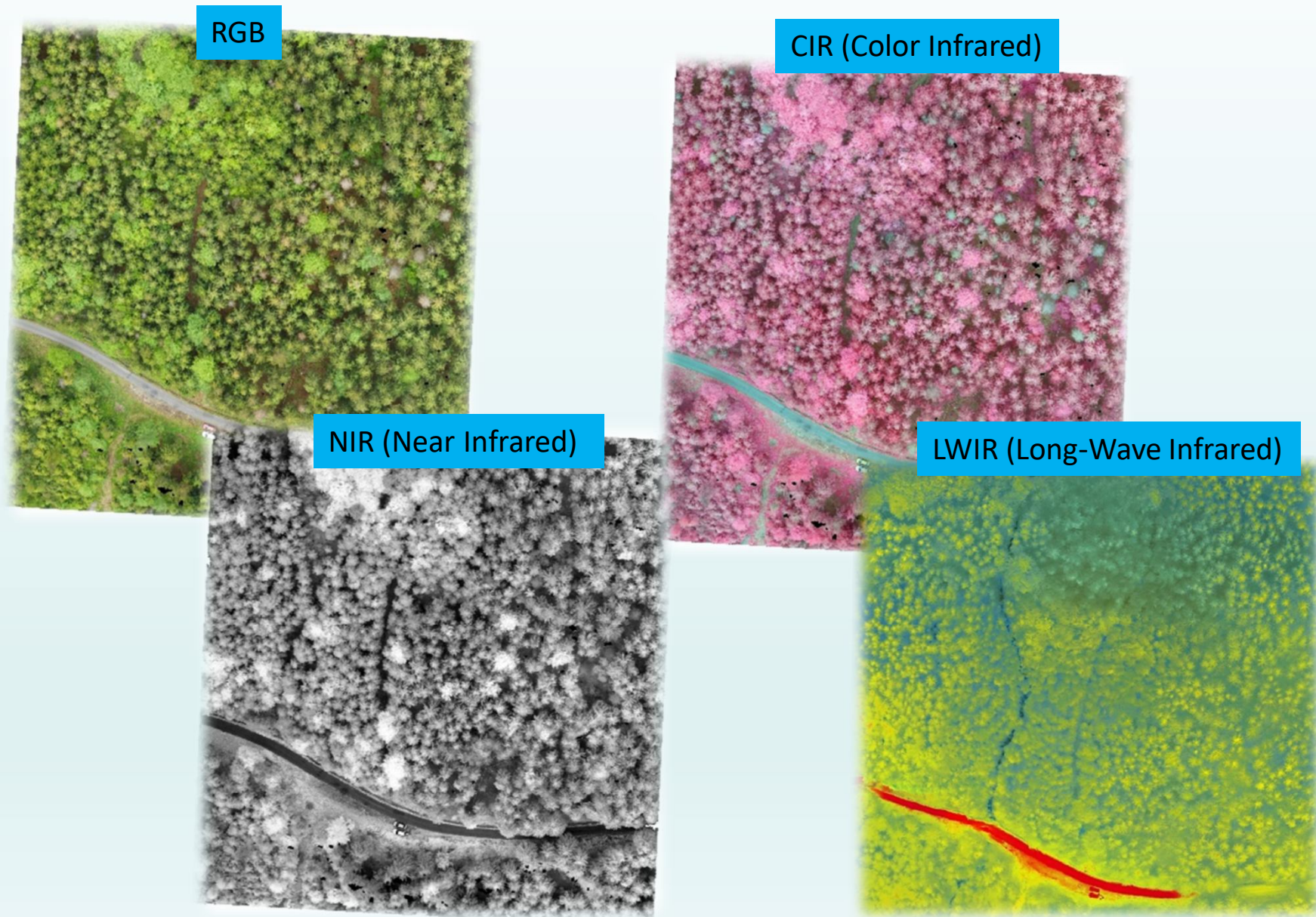
Ukázka snímkování pomocí dronu



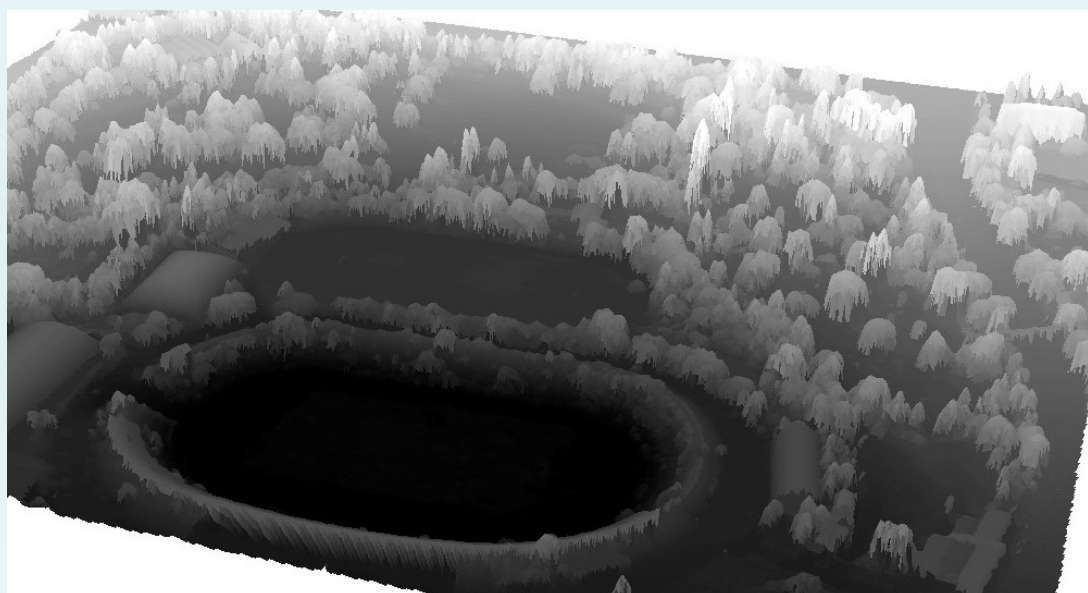
2.let 12:00 - maximální teplota 90°C

Teplota (°C)



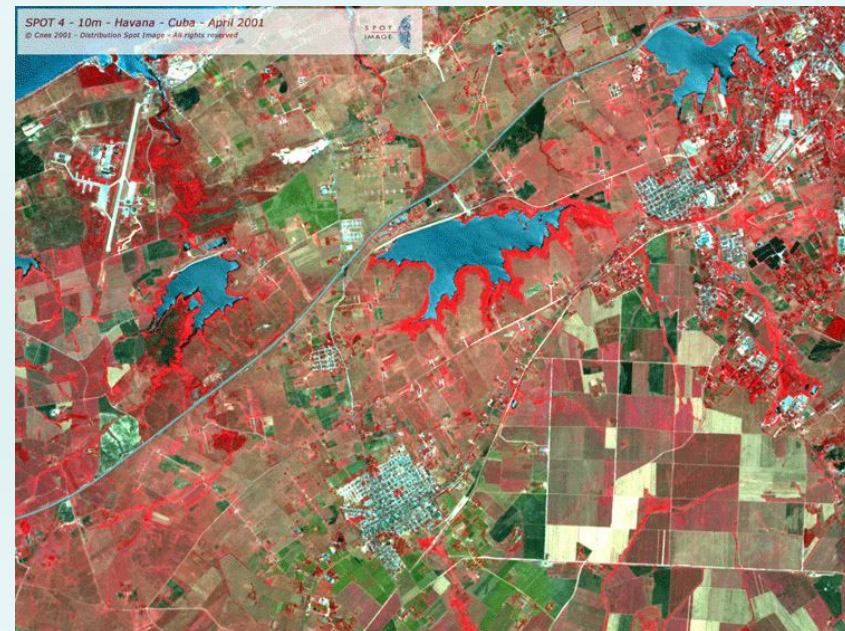
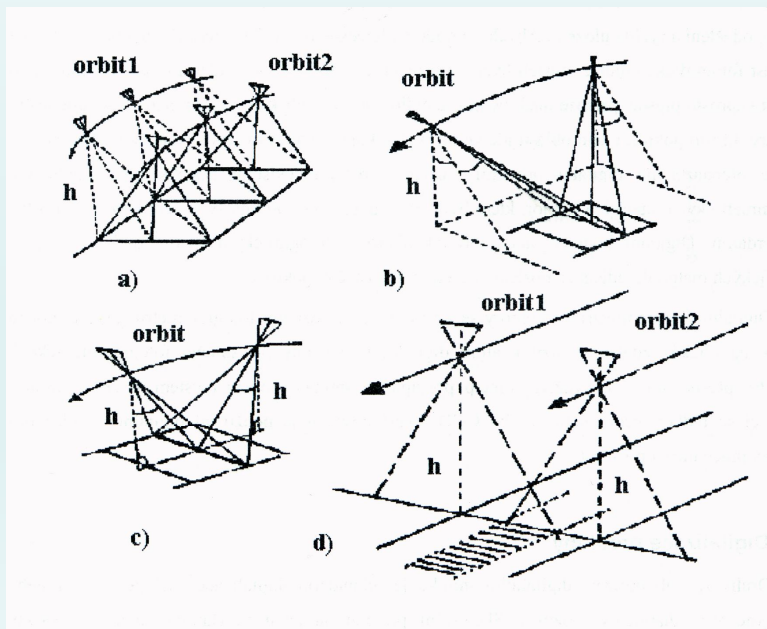






Družicová fotogrammetrie

- ❑ snímky jsou pořizovány z kosmických nosičů (na magnetická media)
- ❑ družice mohou pořizovat stereoskopické záběry celkem třemi způsoby:
 - snímáním zájmového území ze dvou po sobě následujících drah s tím, že v jednom případě je nutno provést náklon skeneru do strany
 - náklonem skeneru ve směru letu vpřed a zpět
 - využitím překrytu území, snímaného ze sousedních drah (špatný základnový poměr, prakticky se nevyužívá)



Jednosnímková fotogrammetrie

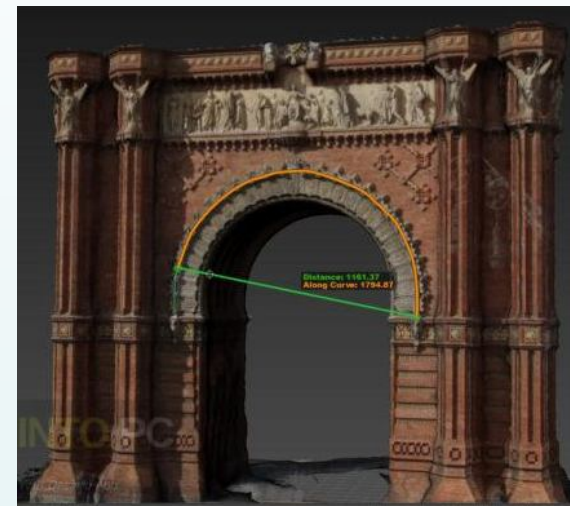
- ❑ vyhodnocuje jednotlivé snímky
- ❑ měříme a určíme 2D souřadnice (výsledkem je rovinný obraz)
- ❑ omezená působnost

Vícesnímková fotogrammetrie

- ❑ zpracování dvou a více překrývajících se snímků
- ❑ měříme 2D souřadnice → určíme 3D souřadnice
- ❑ předmět měření je zobrazen na všech snímcích
- ❑ využití při tzv. aerotriangulaci (určování polohy důležitých měřických bodů pomocí leteckých snímků)

Stereofotogrammetrie

- vyhodnocování dvou snímků (stereodvojice)
- snímky pořízené ze dvou stanovisek
- osy záběru jsou přibližně rovnoběžné
- využití stereoskopické vidění
- výsledkem je prostorový model
- přesná metoda často využívaná

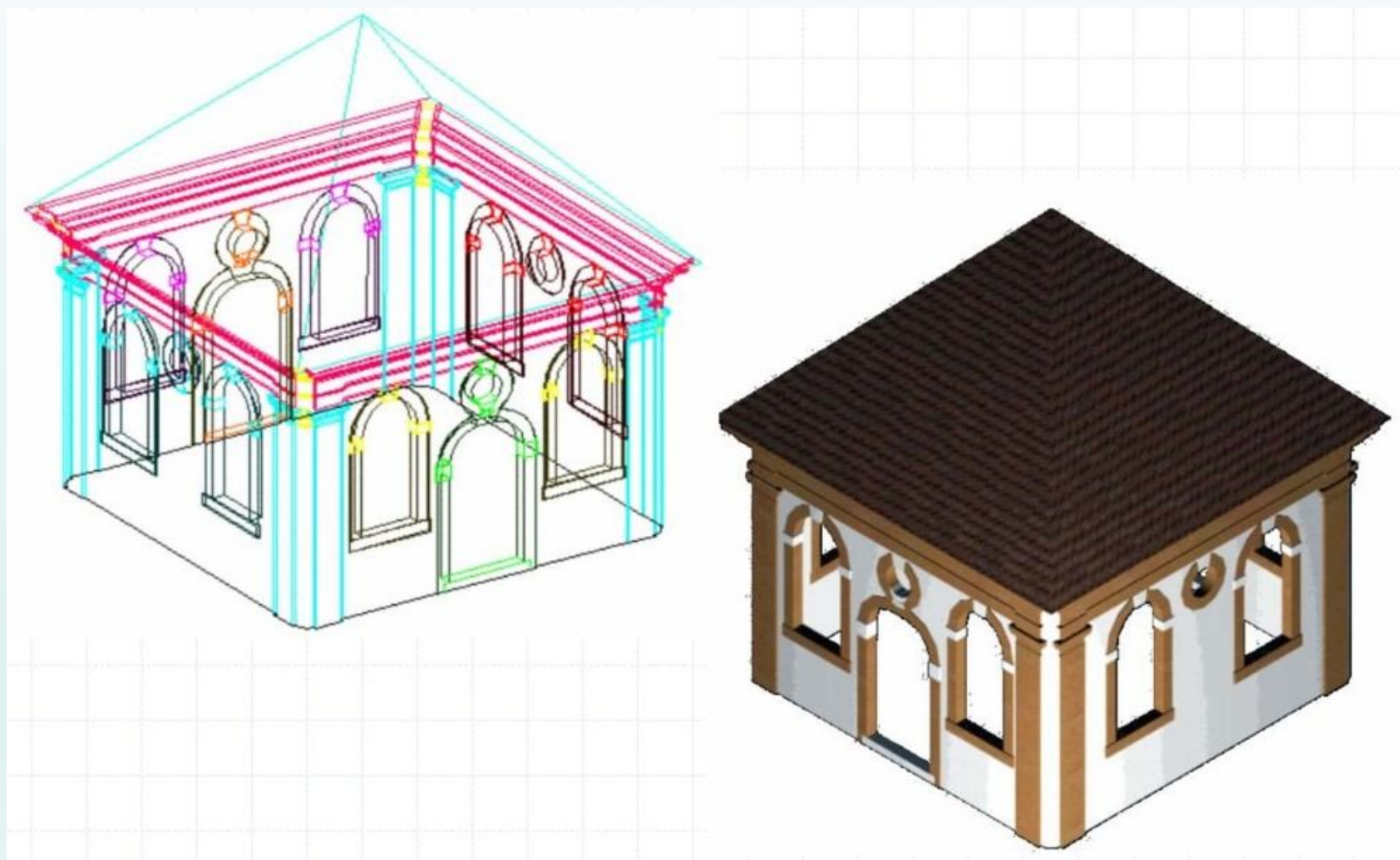


Průseková fotogrammetrie

- práce se třemi a více snímky
- osy záběru snímků jsou konvergentní (sbíhají se)
- odvozuje půdorys krajiny postupným protínáním ze snímků pořízených z geodeticky známých stanovisek
- nevýhodou je horší identifikace bodů
- v současnosti stále častěji využívána



Prostorový model



Grafické metody

- ❑ potřebné převody mezi souřadnicemi bodu na snímku a jeho polohou ve skutečnosti jsou řešeny na základě deskriptivní geometrie bez nutnosti výpočtů

Analogové metody

- ❑ optická, případně mechanická rekonstrukce stavu při snímkování
- ❑ přístroje vytvářejí technickými prostředky analogii vzniku snímků univerzální metodou (vyhodnocuje se polohopis i výškopis území)
- ❑ přesné, ale složité přístroje (nutný zácvik speciálně školených specialistů)
 - stereopantometry
 - aeroprojektory
 - stereoplanigrafy
- ❑ dnes zastaralé a již se nepoužívá

Analytické metody

- ❑ měření (digitalizace) snímkových souřadnic pomocí přesných komparátorů
- ❑ transformace do geodetického souřadnicového systému pomocí exaktních matematických vztahů (využití počítače)

- ❑ analytické vyhodnocovací stroje = spojení obou předchozích kroků
 - práce s originálními snímky
 - práce s prostorovým modelem

Digitální metody

- ❑ vstupní informací je digitální obraz (snímek může být naskenovaný nebo přímo digitální)
- ❑ snímkové souřadnice se měří na monitoru
- ❑ stereometoda vyžaduje speciální hardwarové doplňky (např. brýle)
- ❑ digitální fotogrammetrické stanice

Digitální záznam obrazu

- první rozvoj digitálních technologií v 50.letech s nástupem elektroniky
- malé využití vzhledem k pomalé rychlosti tehdejších počítačů
- masové rozšíření digitální technologie po vstupu osobních počítačů na trh v 80. letech
- na konci 80. let prosazení také ve fotogrammetrii

Výhody:

- snadný a moderní přenos dat, dokonalé kopírování obrázku
- citlivější přijímače, snadnější odstranění šumu
- nové možnosti zpracování obrazu, možnost automatického zpracování

Digitální obraz vzniká

1. Přímou v digitální podobě

- primární získání digitálního obrazu je umožněno konstrukcí přijímacího zařízení (elektronické prvky reagující na světlo uspořádané do matic – snímač CCD)
- rozlišení je dnes srovnatelné s rozlišením fotografických materiálů
- kvalitnější digitální komory jsou drahé
- levnější, dlouhodobě užívané a technologicky zcela zvládnuté je použití skenované fotografie

2. Digitalizací analogového obrazu (skenování)

- probíhá na pevných laboratorních skenerech
- přesnost závisí na typu skeneru a jeho rozlišení
- po skenování se digitální obraz ukládá a dále zpracovává ve zvoleném grafickém formátu (TIFF, PCX, IMG, GIF, JPEG, BMP apod.)

Oblasti využití fotogrammetrie

Z hlediska využití je možno provést rozdělení fotogrammetrie na:

- **topografickou** - zabývá se vyhodnocováním snímků ke geodetickým a topografickým účelům
 - zhotovování plánů a map
 - pořizování a obnova map velkých a především středních měřítek (státní mapová díla, topografické mapy 1 : 10 000)
 - vojenské topografické mapy
- **netopografickou** - používá snímky k vědeckým a jiným technickým účelům
 - zemědělství – agropedologický rozbor, hospodářsko-technické úpravy pozemků, projektování meliorací
 - lesnictví – obnova lesnických map, plánování výsadby, těžba dřeva, odvození taxačních charakteristik porostů, klasifikace ploch, odhad dřevní hmoty, odhad škod způsobených škůdci, vichřicemi a exhalacemi
 - strojírenství – deformace, kontrola umístění obráběcích strojů, proměřování výrobků

- stavebnictví – dokumentace, deformace a sedání staveb, mapové podklady pro projekty a rekonstrukce
- architektura – dokumentace historických památek a jejich rekonstrukce
- územní plánování a životní prostředí – sledování skládek odpadu a znečištění, pasporty zeleně, 3D modely zástavby, DMT
- geologie – průzkum povrchu (odhalení různých podpovrchových nalezišť)
- archeologie – odkrytí pravěkých sídlišť pomocí snímků
- meteorologie – snímky z družic
- oceánografie – mapování mořského pobřeží
- moderní kriminalistika – vyšetřování dopravních nehod, sledování povrchu vozovek
- medicína (chirurgie) – plastická chirurgie, zubní aplikace, pooperační stavy a dokumentace při tvorbě protéz, pohybové studie

Výhody fotogrammetrie

- minimalizace práce v terénu
- rychlost pracovního postupu při topografickém mapování
 - celková úspora času (až 1/2)
 - úspora nákladů (až 1/3)
- přesnost a tvarová věrnost zobrazení terénu
- zachycení aktuálního stavu k určitému časovému termínu
- dokumentační hodnota snímků (časová řada)
- vyšší vypovídací schopnost snímků ve srovnání s mapou (viz fotoplán, digitální ortofoto)

Laserové skenování

- ❑ LIDAR - z angl. Light Detection And Ranging
- ❑ v současnosti jedna z nejprogresivněji se rozvíjejících metod
- ❑ nejmodernější technologie sběru 3D dat o objektech a jevech na zemském povrchu, případně nad ním nebo pod ním
- ❑ zprostředkovává bezkontaktním způsobem velice přesná 3D data (prostorové souřadnice)
- ❑ tato technologie poskytne uživateli během krátkého časového horizontu velké množství aktuálních dat s vysokou přesností
- ❑ měření vzdálenosti na základě výpočtu rychlosti odraženého pulsu laserového paprsku od snímaného objektu
- ❑ poloha bodů je určena prostorovou polární metodou
- ❑ způsoby skenování:
 - letecké laserové skenování (LLS) – Airborne Laser Scanning (ALS)
 - pozemní laserové skenování (PLS) – Terrestrial Laser Scanning (TLS)
 - mobilní laserové skenování (MLS) – Mobile Laser Scanning (MLS)

Zpracování dat

- ❑ primárním výstupem laserového skenování je soubor 3D souřadnic odražených bodů (mračno bodů)
- ❑ pomocí automatických, poloautomatických a manuálních postupů je v dalším zpracování prováděna klasifikace nebo filtrace 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 ve formě trojúhelníkového modelu, případně generalizovaný 3D vektorový model
- ❑ výhody skenování oproti běžným metodám měření:
 - vysoká přesnost a hustota měřených bodů
 - možnost zachycení více odrazů z jednoho paprsku (pulzu)
 - krátká doba potřebná pro pořízení velkého množství dat – finanční úspory
 - vysoká automatizace zpracování měřených dat

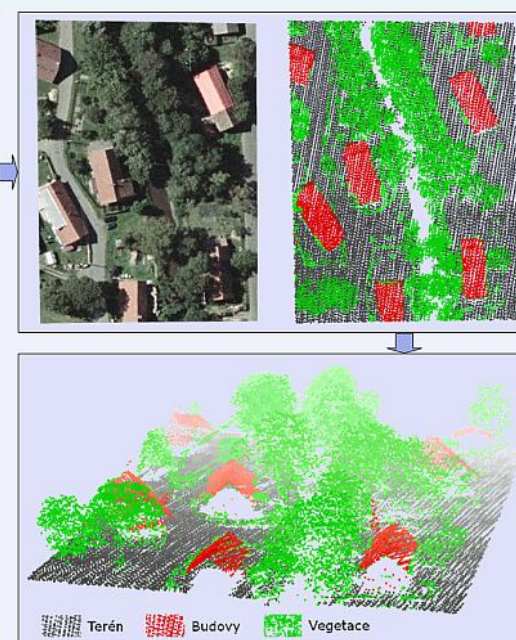
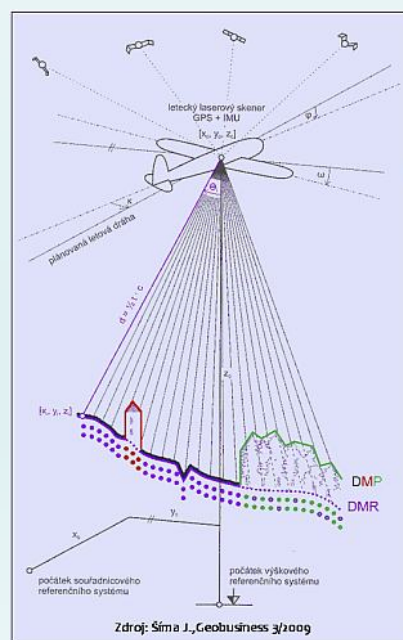
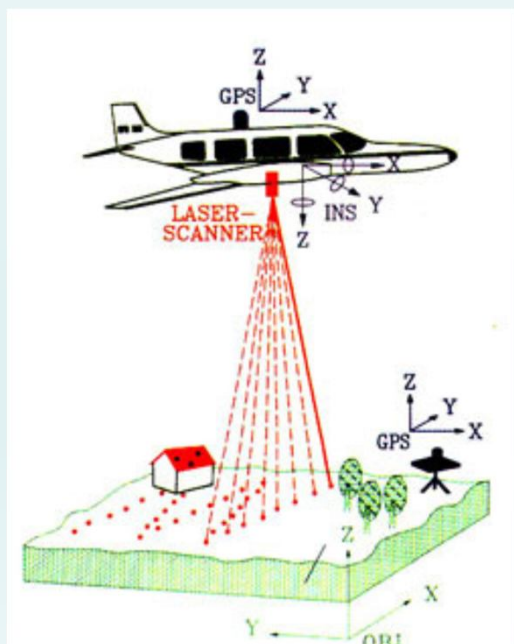
Letecké laserové skenování

- ☐ systém leteckého laserového skeneru sestává ze samotného laserového skeneru, měřicí jednotky GPS, inerciální jednotky a řídicí jednotky spojené se zařízením pro ukládání dat
- ☐ v praxi je systém rozšířen ještě o část snímající obraz skenovaného území (RGB skener, digitální videokamera s vysokým rozlišením nebo digitální fotogrammetrická kamera)
- ☐ kombinací těchto technologií lze získat obě informace ve stejnou dobu
- ☐ původně vojenská technologie je známa již více než dvě desetiletí
- ☐ v současné době je tato technologie běžně používána i v České republice



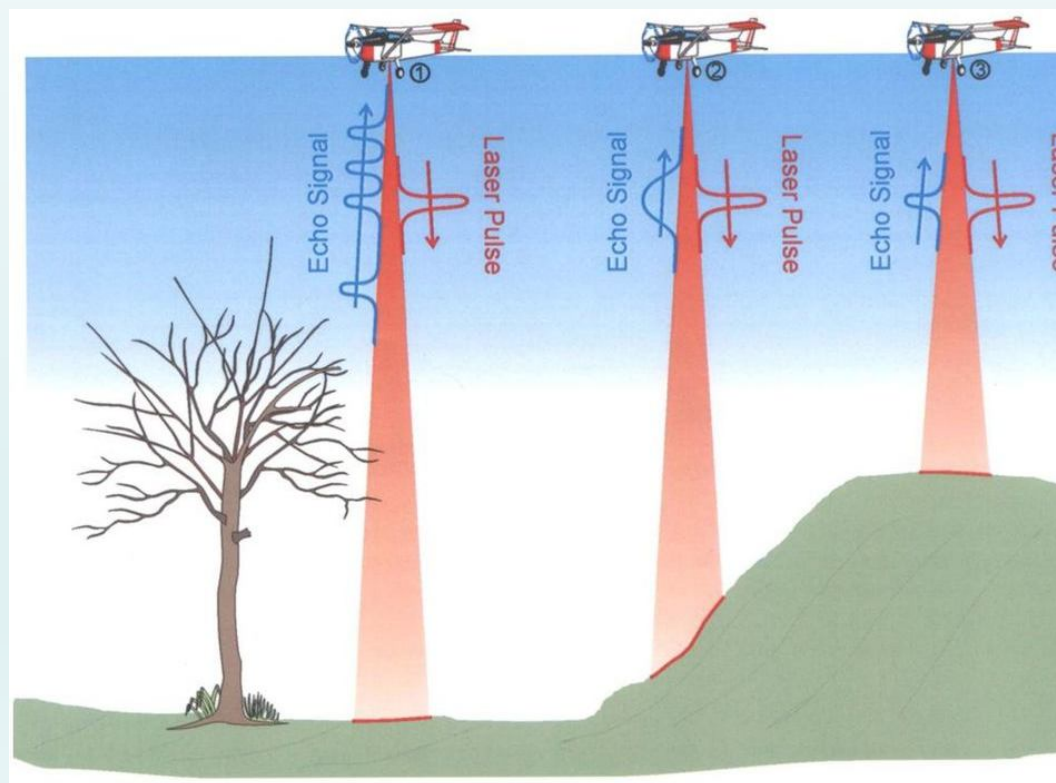
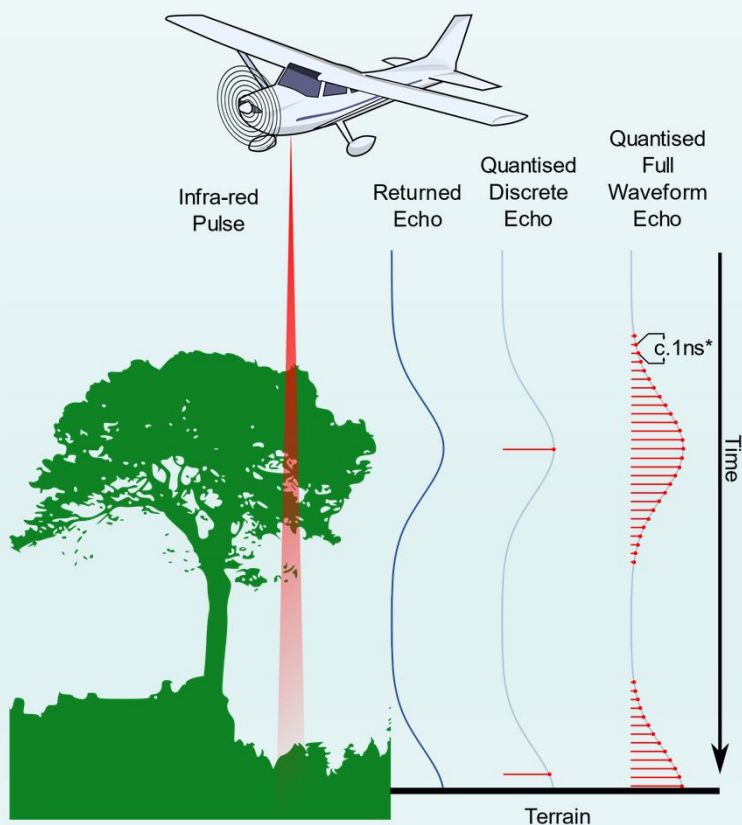
Princip LLS

- ❑ paprsek laseru vyslaný k cíli, měří vzdálenost, kterou urazí během cesty k povrchu měřeného objektu
 - vlnová délka 1 000 až 1 500 nm (infračervené spektrum)
- ❑ v ten samý okamžik dojde k záznamu souřadnic a orientaci snímače (směru paprsku díky diferenciálnímu GPS a inerciální navigaci)
- ❑ na základě všech těchto atributů jsou velmi rychle a přesně vyhodnoceny údaje o poloze zaměřeného bodu



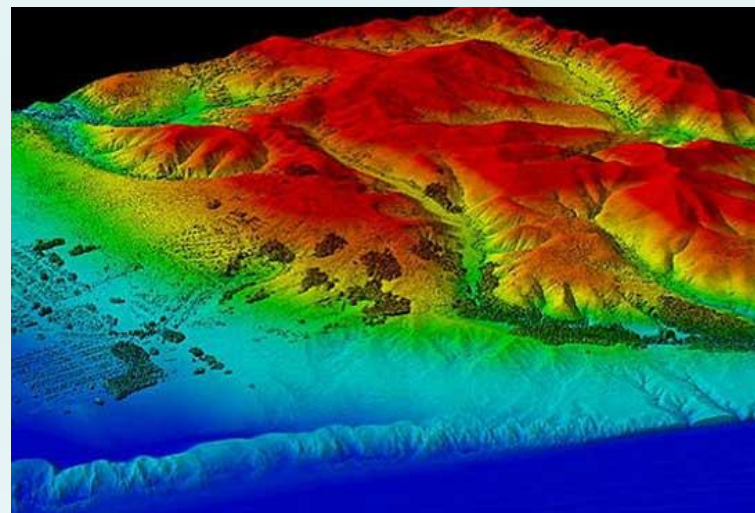
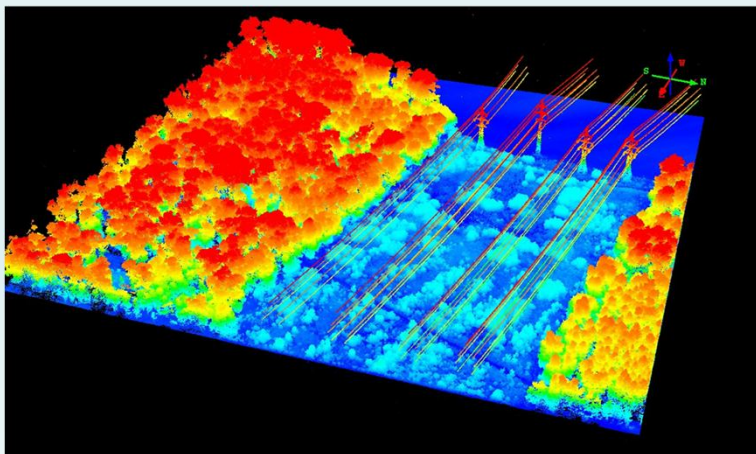
Rozdělení leteckých laserových skenerů

1. Discrete Return – zaznamenávají jednotlivé diskrétní odrazy (obvykle čtyři)
2. Full-waveform – umožňují zachytit neomezený počet odrazů (zaznamenávají celý průběh křivky návratu signálu v pevných časových intervalech)

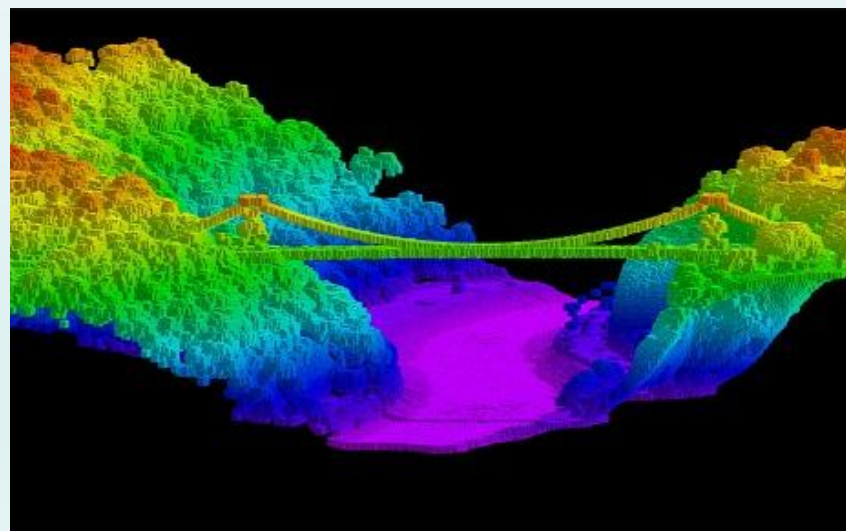
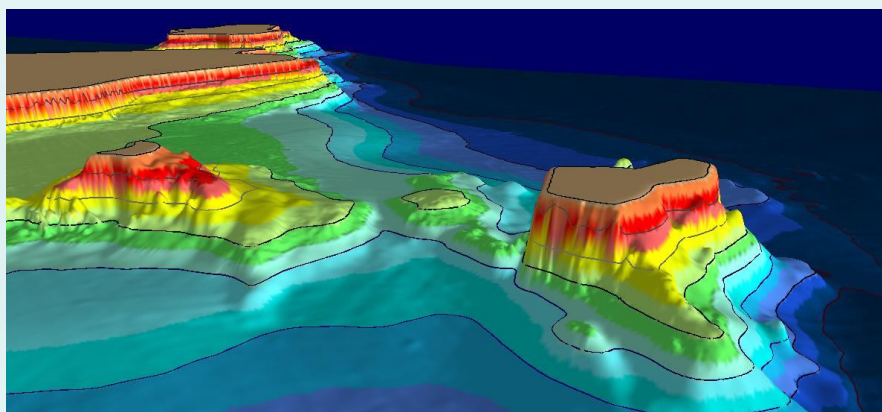
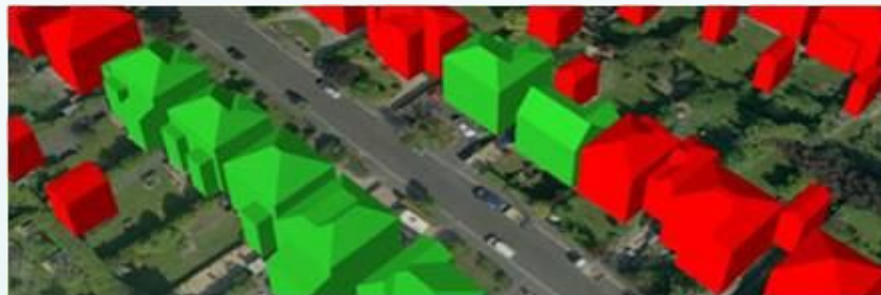
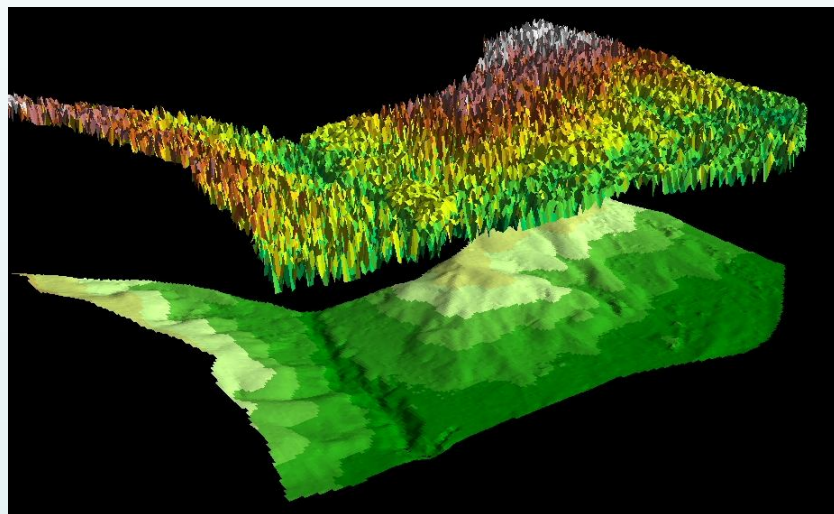


Uplatnění LLS

- ☐ sledování elektrického vedení - oproti klasické fotogrammetrii je díky velké hustotě nasnímaných bodů metoda použitelná s dostatečnou přesností i při měření objektů relativně malých rozměrů
- ☐ tvorba DMT a DMP větších území
- ☐ mapování pobřežních oblastí, záplavových území, vodních ploch
 - skenování dna vodních ploch se používá modrozelená část spektra
- ☐ při dokumentaci liniových staveb (komunikace, produktovody)
- ☐ tvorba 3D modelů měst a vizualizace objektů
- ☐ detekce překážek atd.

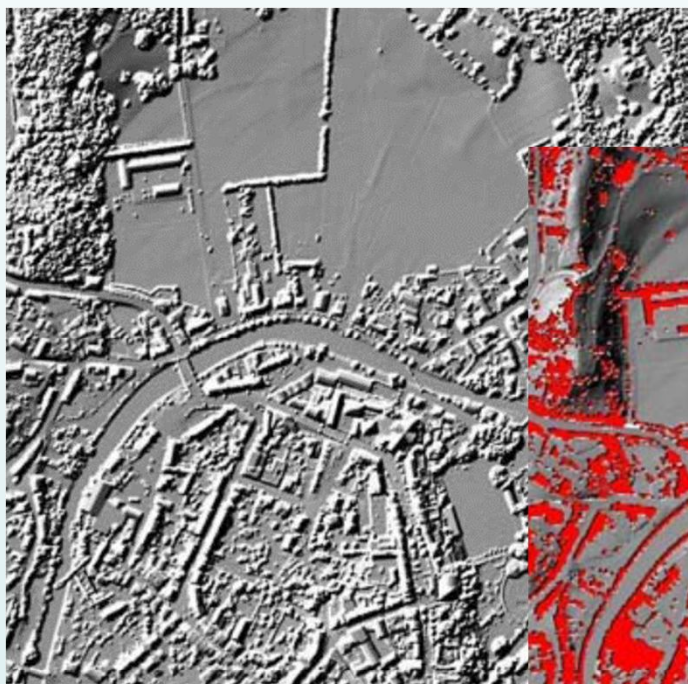


Uplatnění LLS

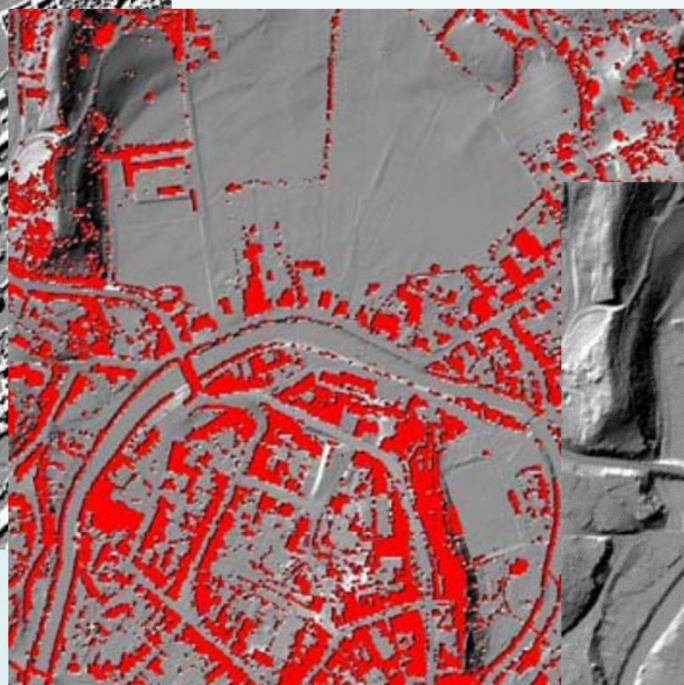


Filtrace informací z dat LLS

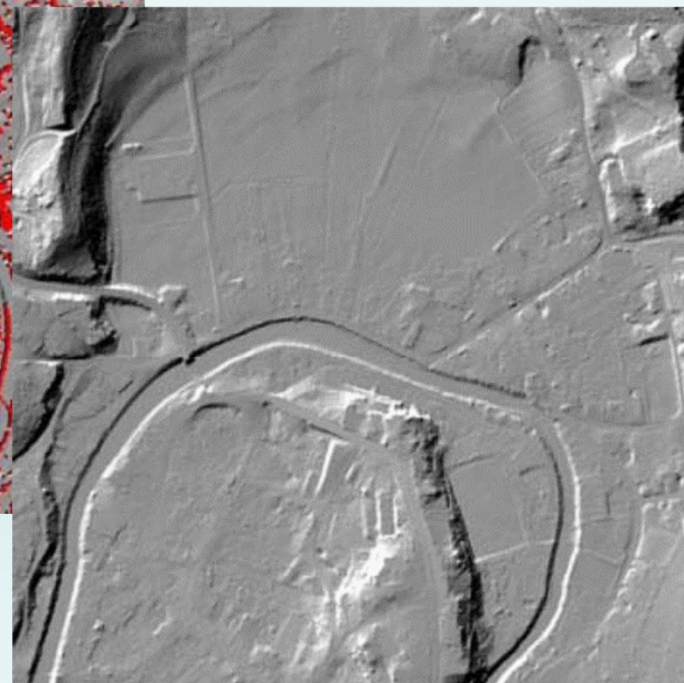
Digitální model povrchu



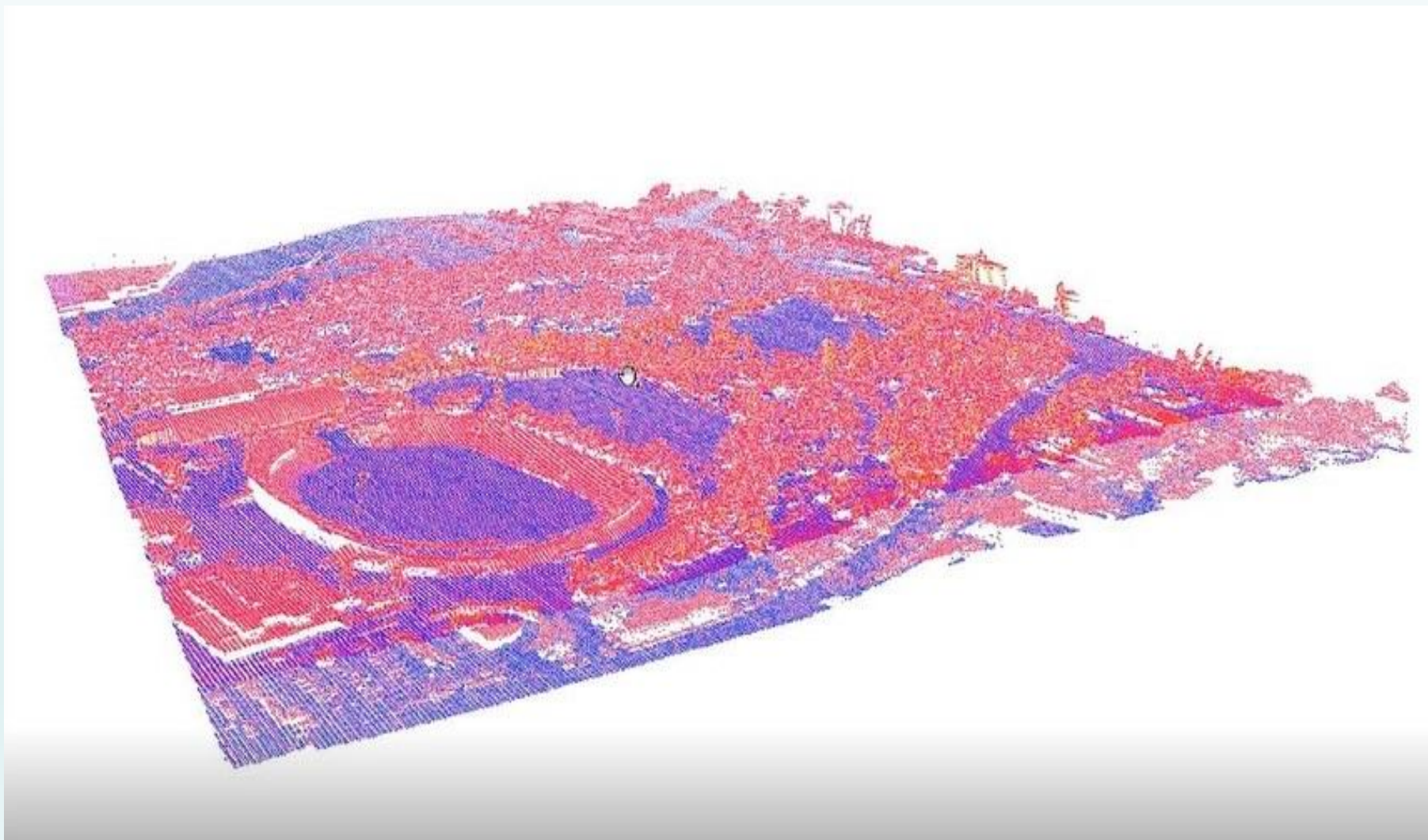
Filtrace objektů



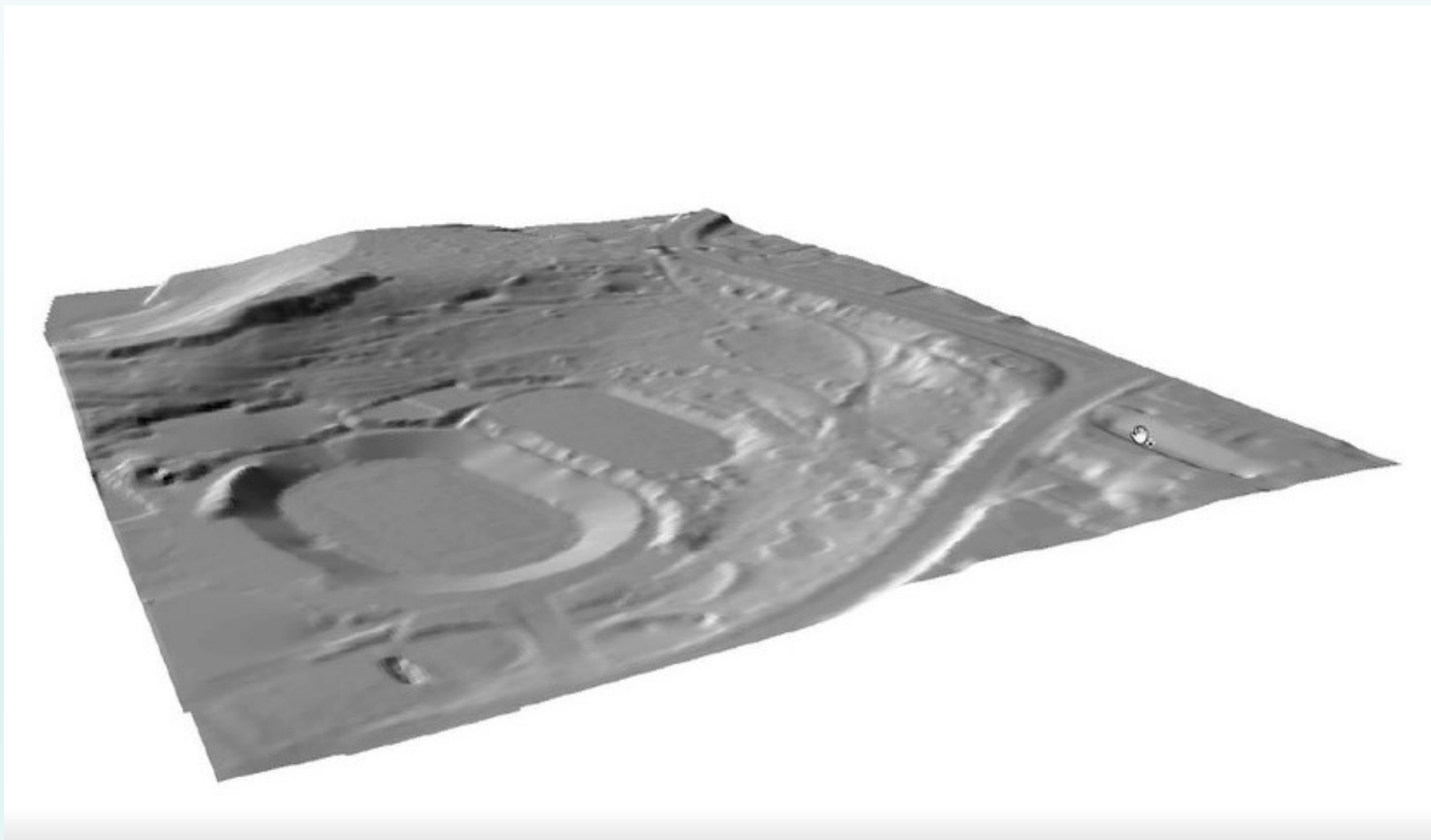
Digitální model terénu



Mračno bodů – výstup z LLS



Digitální model terénu



Digitální model povrchu



Pozemní laserové skenování

- ❑ zprostředkovává nové možnosti v pořizování geodetických dat a výrazně rozšiřuje jejich využitelnost
- ❑ bezkontaktní určování prostorových souřadnic
- ❑ vyniká vysokou rychlostí sběru dat, bezpečností, přesností a komplexností
- ❑ v současnosti neodmyslitelná součást geodézie

Princip PLS

- ❑ skenery využívají pro měření pulzní laserovou technologii (stejný princip jako bezhranolové měření totální stanicí)
- ❑ paprsek je rozmítán pomocí rotujícího zrcadla nebo hranolu
- ❑ spojením dvou zrcadel lze paprsek vychylovat ve dvou směrech (navádění paprsku na body rastru ve sloupcích a řádcích podle programu)
- ❑ souřadnice bodu se určí prostorovou polární metodou na základě měření horizontálního a vertikálního úhlu a šikmé vzdálenosti

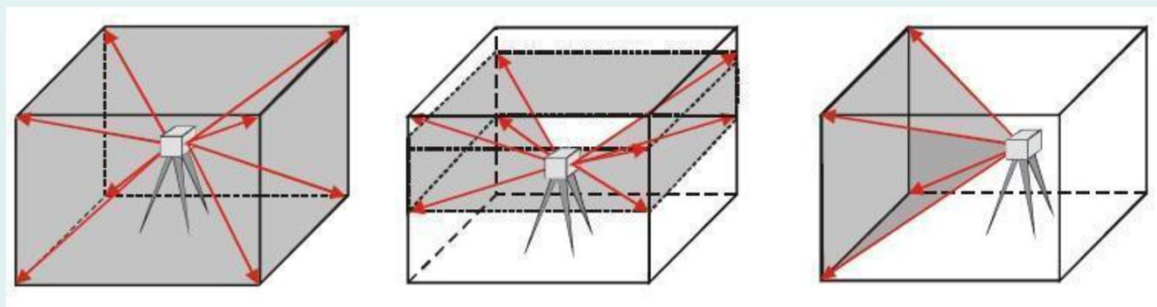


Rozdělení pozemních skenerů

1. Podle účelu, ke kterému slouží
 - víceúčelové skenery – pro běžnou práci, v geodézii nejčastější
 - triangulační skenovací systémy – malé předměty, krátká vzdálenost
 - totální stanice s možností skenování
 - speciální systémy – skenování dutin
 - kinematické systémy – skener je v neustálém nepravidelném pohybu
2. Podle způsobu určování polohy
 - Phase-Shift (fázový posun) – měření fázového posunu mezi neustále vysílaným a přijímaným paprskem
 - vysoká rychlost zaznamenávání
 - Time of Flight (čas letu) – poloha bodu je určena jako polovina času mezi vyslaným a přijatým paprskem
 - mají větší dosah
3. Podle dosahu – skenery s krátkým dosahem (do 100 m), se středním dosahem (asi 150 až 350 m), s dlouhým dosahem (až do 6 km)
4. Podle pohybu při měření – statické a dynamické

5. Podle prostoru pokrytí

- kamerové - 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)
 - uplatnění při skenování vzdálených objektů
- panoramatické – otáčí se celá dálkoměrná součást pomocí servomotorů, což umožňuje zaznamenat téměř celé okolí
 - uplatnění při skenování interiérů
- hybridní – jedna osa je omezena v pohybu



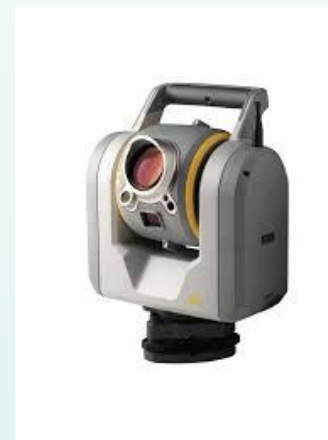
Panoramatický

Hybridní

Kamerový

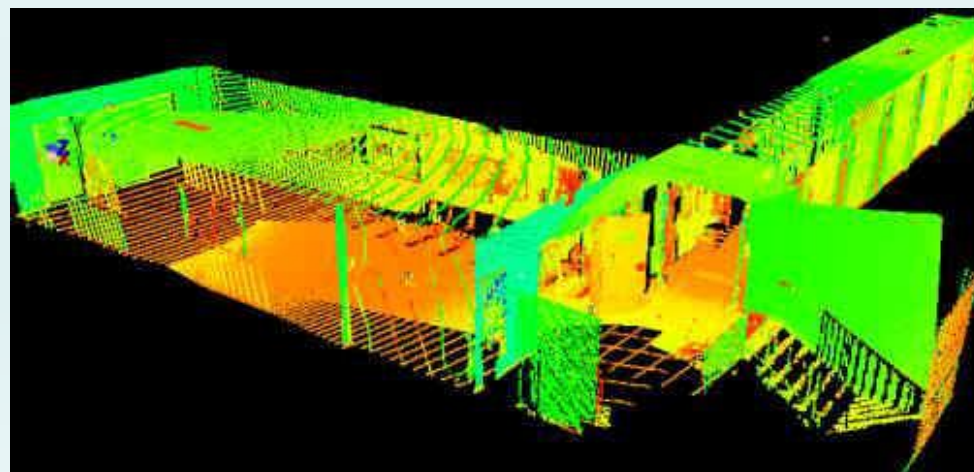
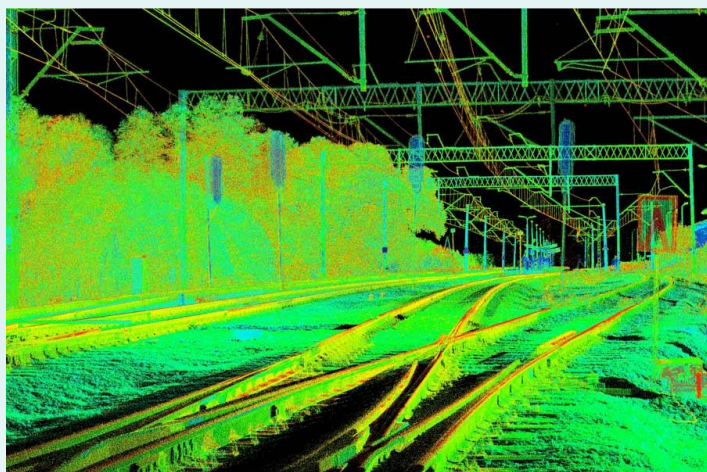
Pozemní skenery

- ❑ dnes je na trhu celá řada skenerů, které se liší nejen značkou (výrobce), ale především svými parametry



Uplatnění PLS

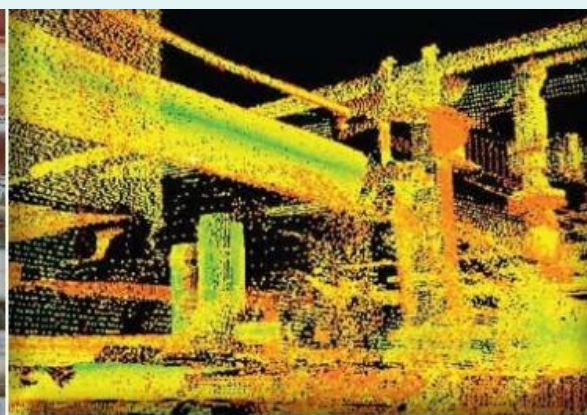
- ☐ sběr dat pro různé studie, vizualizace a plánování
- ☐ 3D modelování objektů (stavební objekty, průmyslové areály, interiéry, fasády staveb, podzemní prostory a tunely, archeologická naleziště, nadzemní vedení)
- ☐ dokumentace skutečného stavu (silnice, železnice, vodní toky)
- ☐ výpočet kubatur z měření před a po změně stavu
- ☐ tvorba digitálních modelů terénu
- ☐ výpočet objemu dřevní hmoty v lese, aj.



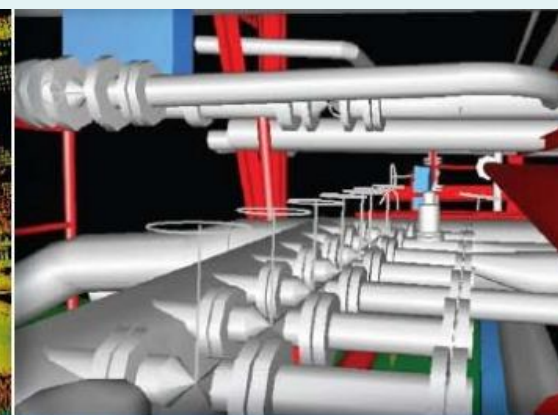
Uplatnění PLS



obr. 1 - fotografie reálné situace

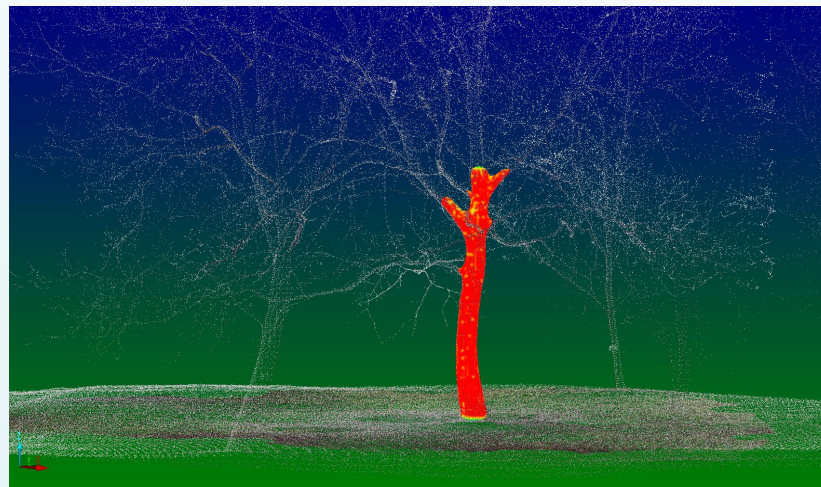
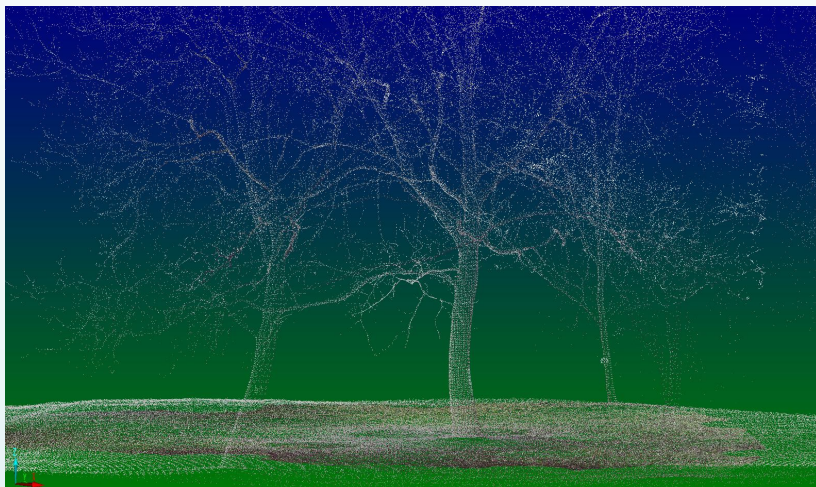


obr. 2 - mračno bodů

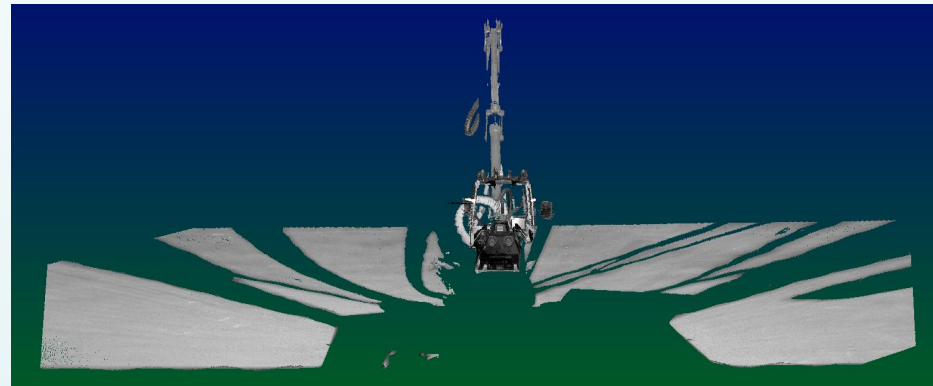
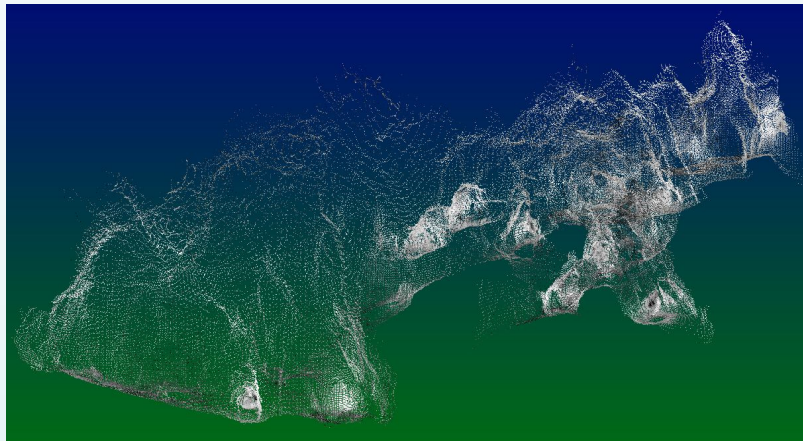


obr. 3 - 3D CAD model

Uplatnění PLS



Uplatnění PLS



Mobilní laserové skenování

- ❑ nosičem skeneru je automobil, prostředek na kolejích, loď nebo člověk

Princip MLS

- ❑ stejný jako u leteckého laserového skenování
- ❑ nosič laserového skeneru se pohybuje po nelineární trajektorii
- ❑ pro správné vyhodnocení polohy podrobných bodů je třeba znát pro každý okamžik měření přesnou polohu nosiče a směr měření
- ❑ tyto informace zajišťuje inerciální měřická jednotka (IMU)
- ❑ data z pozemních mobilních systémů jsou podobná leteckým datům s tím rozdílem, že při pojíždění na zemském povrchu nastává řada problémů se zakrytými prostory
 - řešením je více průjezdů, případně použití několika skenerů s různým úhlem záběru
- ❑ souběžně s laserovým skenováním může probíhat i snímkování digitální kamerou a každý bod má tak rovněž RGB informaci

Skenery - SLAM

- ❑ poslední dobou je stále více využíván systém pozemního mobilního mapování SLAM (**S**imultánní **L**okalizace **A** **M**apování)
 - speciální algoritmus zpracování dat – postupné spojování skenů s údaji z inerciální jednotky (trajektorie-informace o poloze v okamžiku skenu)
 - následuje porovnání tvarů naskenovaných objektů, jejich vyrovnaní a korekce do výsledné polohy mračka bodů

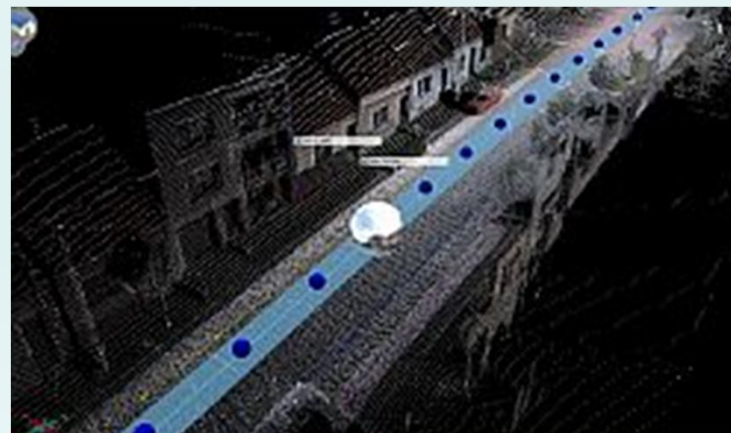
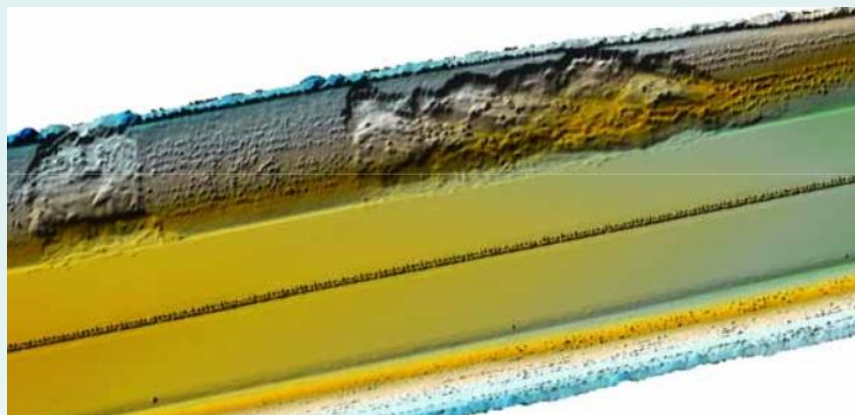


Mobilní laserové skenování



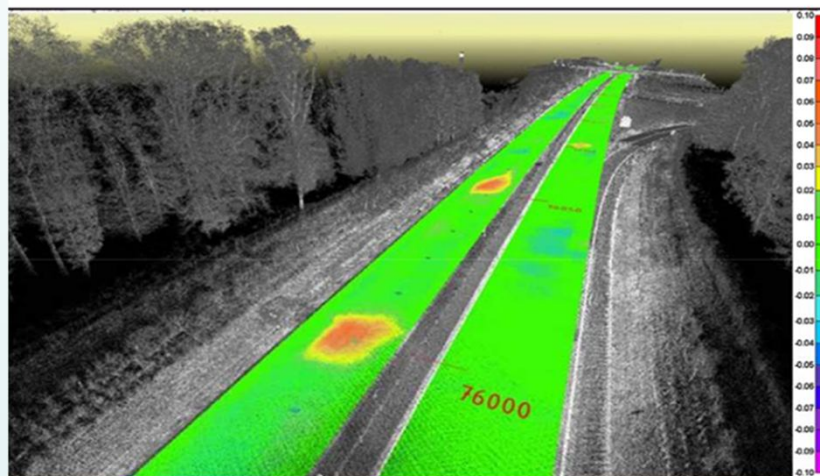
Uplatnění MLS

- ☐ v dopravní infrastruktuře
 - mapování liniových staveb (dálnice, komunikace, železnice)
 - dopravní značení, veřejné osvětlení, městský mobiliář
 - zaznamenání výchozího stavu (např. před rekonstrukcí) a skutečné provedení staveb
 - detekce vyjetých kolejí, vzdouvání vozovky vlivem mrazu aj.
- ☐ zaměření inženýrských sítí (silové vedení, produktovody, kabelové sítě)
- ☐ reambulace (aktualizace) digitální technické mapy
- ☐ tvorba digitálních 3D modelů terénu

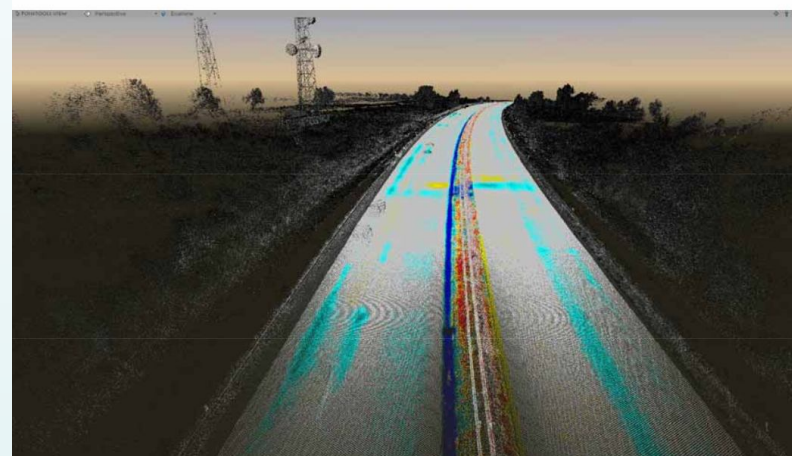


Uplatnění MLS

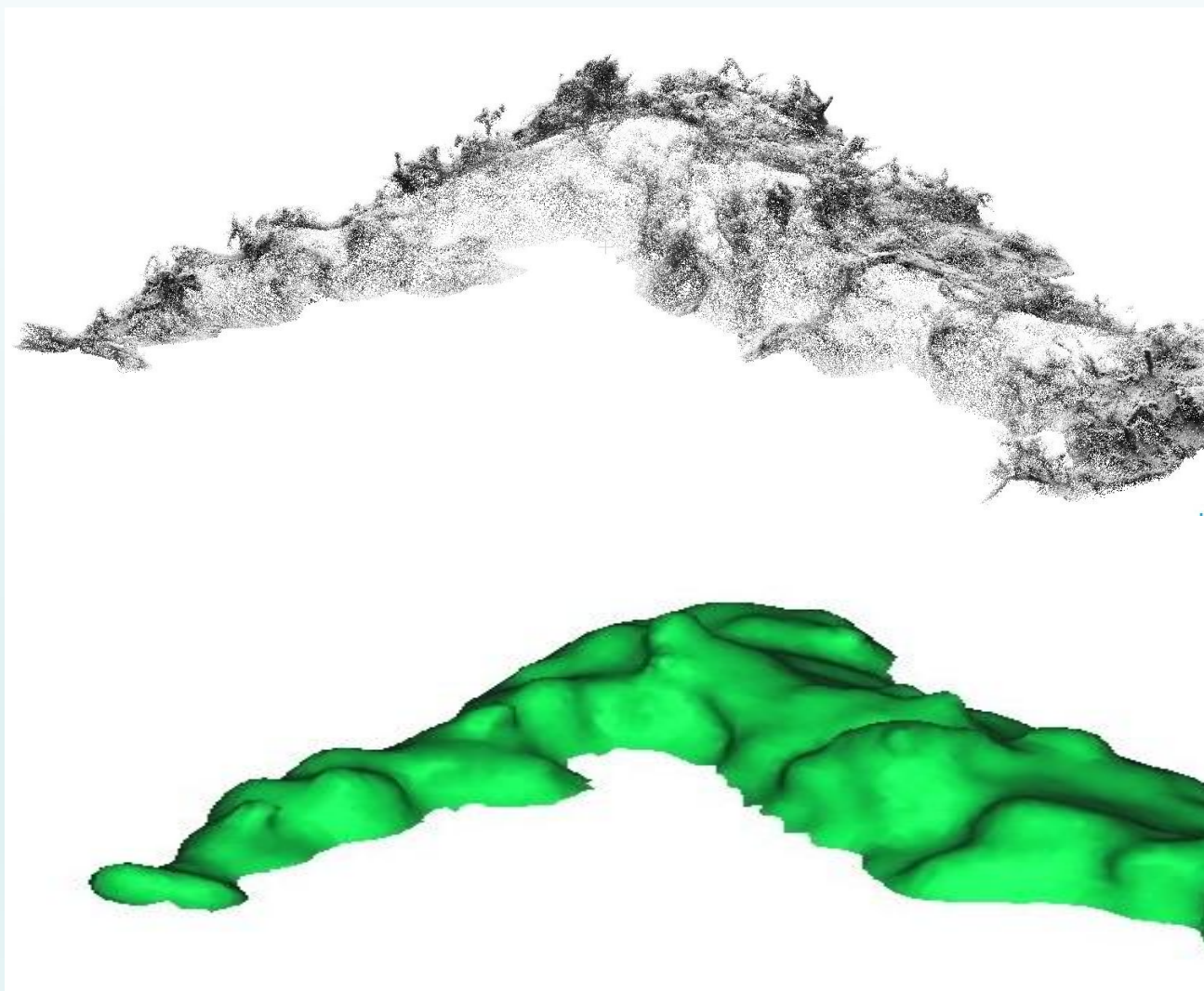
Analýza odchylek povrchu vozovky quantum 3D MAPPING



Detekce vyjetých kolejí quantum 3D MAPPING



mračno bodů a 3D model (ZEB Horizon od firmy GeoSLAM)



Porovnání fotogrammetrie a laserové skenování

Fotogrammetrie

- výhody: pro menší vzdálenosti vyšší přesnost, lepší možnosti vlícování do referenčního systému, dobrá identifikace hran pro vyhodnocení
- nevýhody: pomalé vyhodnocování, technologie dává méně bodů, přesnost výrazně klesá se vzdáleností

Laserové skenování

- výhody: rychlý sběr přímo měřených 3D bodů (tisíce až milion bodů za sekundu), zcela automatizovaný provoz, téměř konstantní přesnost se vzdáleností
- nevýhody: špatná identifikace hran, nutný speciální program na zpracování mračna bodů, velmi drahé přístroje i software, který rychle stárne

Projekt tvorby nového výškopisu ČR

- ❑ původní data byla místy zastaralá (zejména v určitých územích typech)
 - svou přesností a kvalitou limitovala rozvoj geoinformačních systémů (postrádaným produktem byl digitální model povrchu)
 - stav výškopisných databází v roce 2009 byl následující

Stručný název	Popis	Přesnost (střední chyba)
ZABAGED® - výškopis	Vektorizované vrstevnice ZM 10 uložené jako 3D objekty ve formátu DGN.	0,7-1,5 m v odkrytém terénu 1-2 m v intravilánech 2-5 m v zalesněných územích
ZABAGED® - zdokonalený výškopis	Aktualizované a zpřesněné vrstevnice ZM 10, doplněné o terénní hrany náspů, výkopů, břehů, nádrží, apod.	0,7-1,5 m v odkrytém terénu 1-2 m v intravilánech 2-5 m v zalesněných územích
ZABAGED® - mříž 10x10 m	Odvozený model do formy mříže (GRID) 10x10 m	1,5-2,5 m v odkrytém terénu 2-3 m v intravilánech 3-7 m v zalesněných územích
DMR 2,5 generace MO ČR	Výškový model ve formě mříže (GRID) 100x100 m	3-5 m v odkrytém terénu 5-8 m v intravilánech 10-15 m v zalesněných územích
DMR 3 generace MO ČR	Výškový model ve formě nepravidelné sítě TIN získaný stereofotogrammetrickou metodou.	1-2 m v odkrytém terénu 1-2 m v intravilánech 3-7 m v zalesněných územích
Digitální model povrchu	neexistuje	neexistuje

ZABAGED – základní báze geografických dat

DMR – digitální model reliéfu

- ❑ proto vznikl projekt nového mapování výškopisu ČR, který umožní tvorbu digitálního modelu terénu (DMT) i digitálního modelu povrchu (DMP)
- ❑ projekt vznikl ve spolupráci tří resortů – MO, MZe a ČÚZK

Produkty

1. Digitální model reliéfu území ČR 4. generace (DMR 4G)

❑ ve formě mříže (grid) 5 x 5 m se střední chybou výšky

- 0,30 m v odkrytém terénu
- 1,0 m v zalesněném terénu

2. Digitální model reliéfu území ČR 5. generace (DMR 5G)

❑ ve formě nepravidelné sítě vybraných výškových bodů (TIN) se střední chybou výšky

- 0,18 m v odkrytém terénu
- 0,30 m v zalesněném terénu

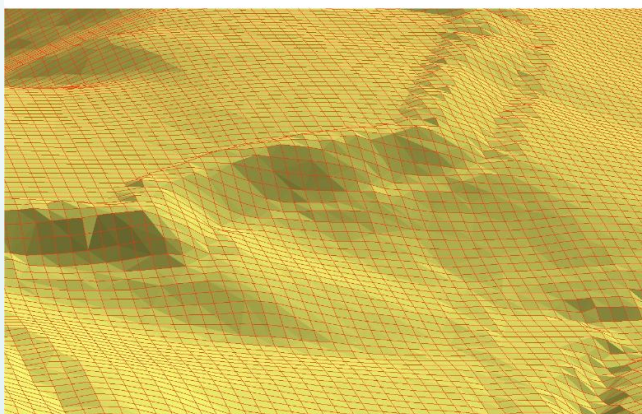
3. Digitální model povrchu území ČR 1. generace (DMP 1G)

❑ Ve formě nepravidelné sítě vybraných výškových bodů (TIN) se střední chybou výšky

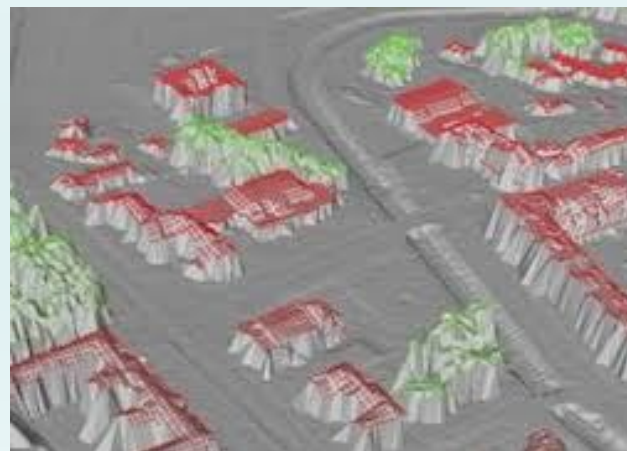
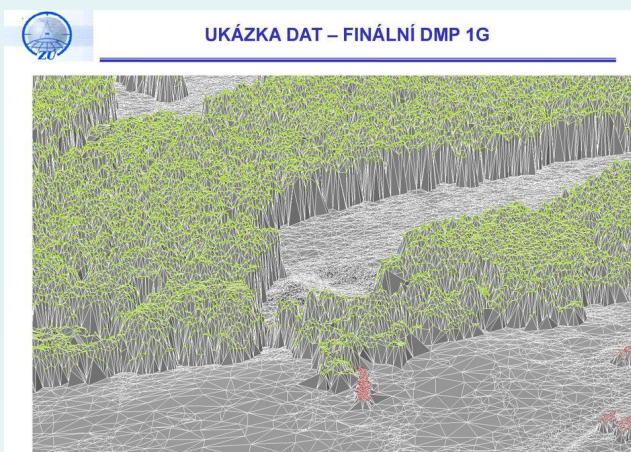
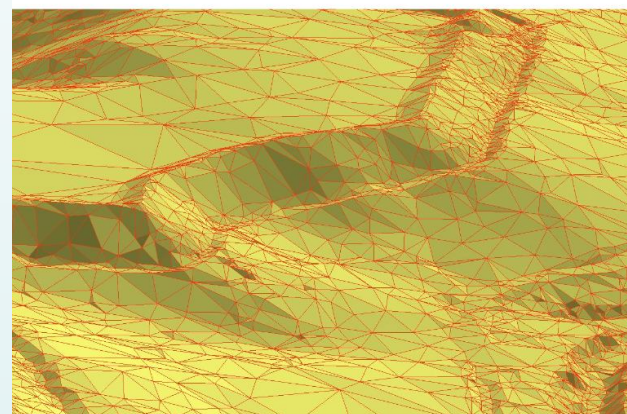
- 0,4 m pro přesně prostorově vymezené objekty (budovy)
- 0,7 m pro objekty přesně neohraničené (lesy a další prvky rostlinného půdního krytu)

Ukázka dat

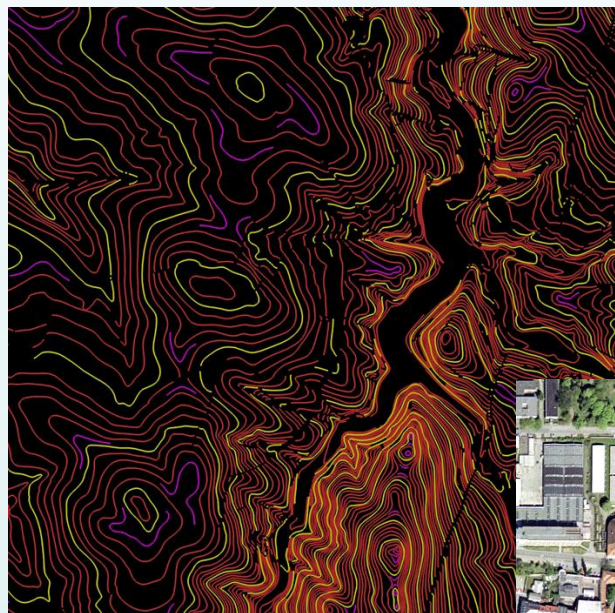
**DIGITÁLNÍ MODEL RELIÉFU 4.
GENERACE**



**DIGITÁLNÍ MODEL RELIÉFU 5.
GENERACE**



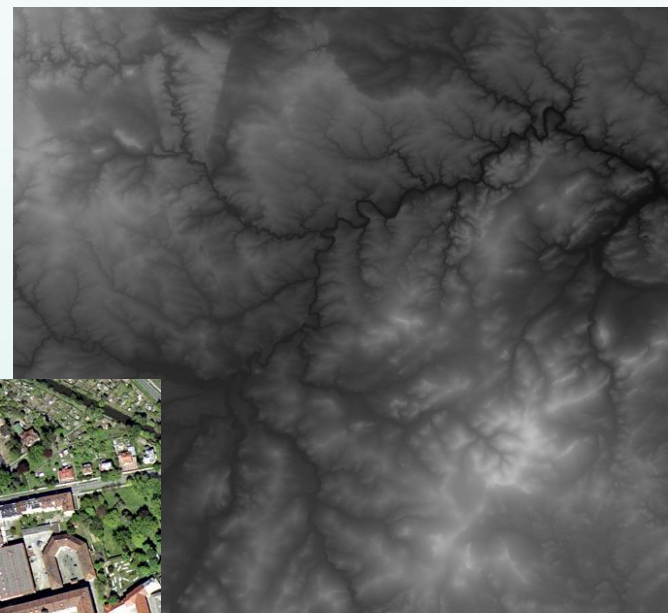
Ukázka dat



ZABAGED
Výškopis 3D
vrstevnice



Ortofoto



ZABAGED
Nadmořská výška
grid

**Děkuji za pozornost
Ing. Miloš Cibulka, Ph.D.**

**Ústav hospodářské úpravy lesů a aplikované geoinformatiky
Lesnická a dřevařská fakulta
uhulag.mendelu.cz
tel.: 545 134 015**