

Dálkový průzkum Země pro oceňování lesa

Ing. Zdeněk Patočka, Ph.D.

- MENDELU
- Lesnická
- a dřevařská
- fakulta

Co je dálkový průzkum Země

Dálkový průzkum Země (DPZ) je metoda získávání informací o objektech a jevech na zemském povrchu bez přímého kontaktu s nimi. Informace jsou získávány pomocí senzorů, které zaznamenávají elektromagnetické záření odražené nebo vyzařované objekty na zemském povrchu.

Základní princip dálkového průzkumu Země zahrnuje několik kroků:

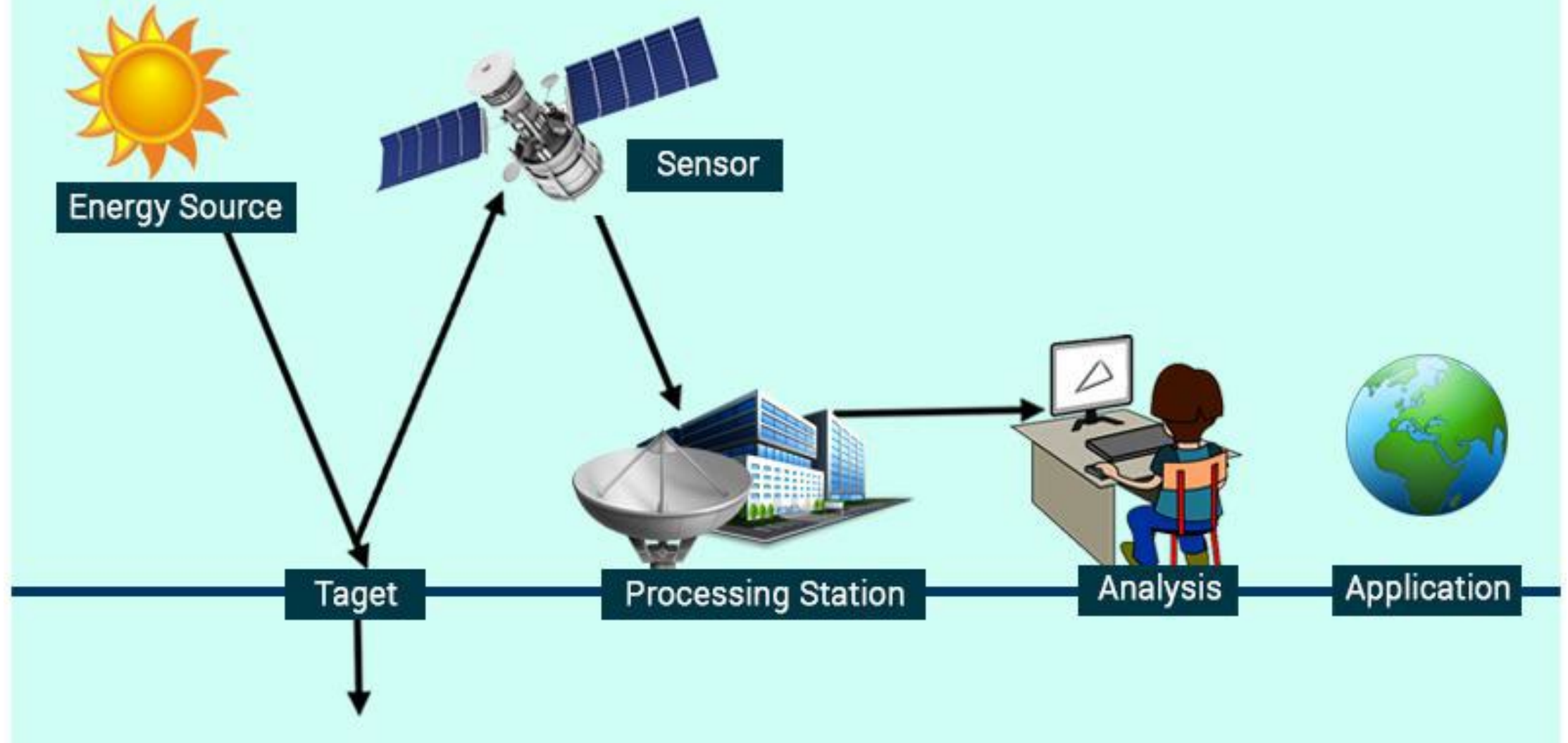
- Zdroj energie (nejčastěji Slunce nebo aktivní senzor)
- Interakce elektromagnetického záření s atmosférou
- Interakce záření s objektem na zemském povrchu
- Detekce záření senzorem
- Zpracování dat
- Interpretace výsledků

Typickými příklady dálkového průzkumu Země jsou:

- satelitní snímky krajiny
- letecké snímky
- snímky z bezpilotních prostředků
- bodová mračna z laserového skenování

Dálkový průzkum Země umožňuje sledovat rozsáhlá území, analyzovat změny v čase a získávat objektivní informace o krajině.

THE REMOTE SENSING PROCESS



Princip dálkového průzkumu Země

Princip dálkového průzkumu Země

Dálkový průzkum Země je založen na analýze elektromagnetického záření, které je odraženo nebo vyzařováno objekty na zemském povrchu. Toto záření je zaznamenáváno senzory umístěnými na různých platformách, například na satelitech, letadlech nebo bezpilotních prostředcích.

Základní princip dálkového průzkumu Země lze rozdělit do několika kroků:

1. Zdroj energie

Zdroj energie představuje elektromagnetické záření. Nejčastějším zdrojem je Slunce. V případě aktivních senzorů je zdrojem energie samotný senzor (např. radar nebo LiDAR).

2. Průchod záření atmosférou

Elektromagnetické záření prochází atmosférou, kde dochází k jeho částečnému pohlcování a rozptylu. Atmosféra tak ovlivňuje kvalitu získaných dat.

3. Interakce záření s objektem

Záření dopadá na objekty na zemském povrchu. Část záření je:

odražena

pohlcena

vyzářena

Každý objekt (např. vegetace, půda, voda, zvíř) reaguje na záření odlišně.

4. Detekce senzorem

Odražené nebo vyzařované záření je zaznamenáno senzorem umístěným na platformě (satelit, letadlo, dron).

5. Přenos a zpracování dat

Získaná data jsou přenesena do počítače, kde jsou dále zpracována a analyzována.

6. Interpretace dat

Výsledkem je interpretace snímků, například:

- identifikace biotopů
- detekce zvířete
- mapování krajiny
- sledování změn

Princip dálkového průzkumu Země je základem pro všechny moderní metody získávání prostorových dat používané v geografii, lesnictví i myslivosti.

(A) ZDROJ ENERGIE: ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ

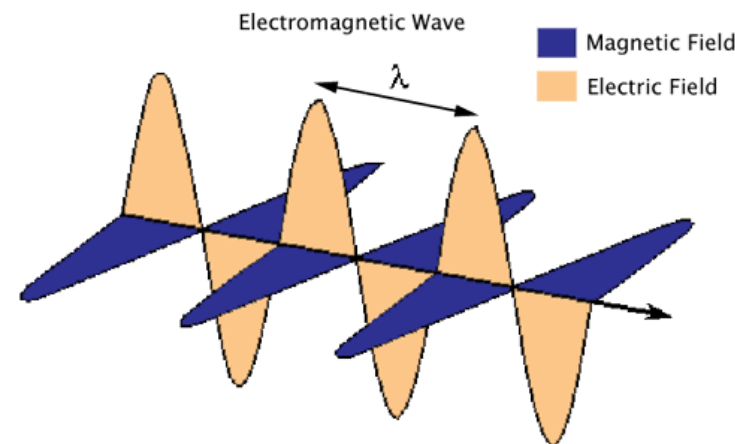
Objekty o sobě vydávají informace prostřednictvím tzv. silových polí. V DPZ se zaznamenává elektromagnetické pole (záření). Toto záření se v přírodě vyskytuje v rozličných formách a je ovlivňováno atmosférou.

Energie záření se prostorem šíří ve tvaru elektromagnetické vlny. Elektrická a magnetická sinusoida jsou navzájem kolmé a šíří se rychlostí světla (c).

Základní charakteristiky jsou vlnová délka (λ) a frekvence (ν – počet cyklů za vteřinu [Hz]):

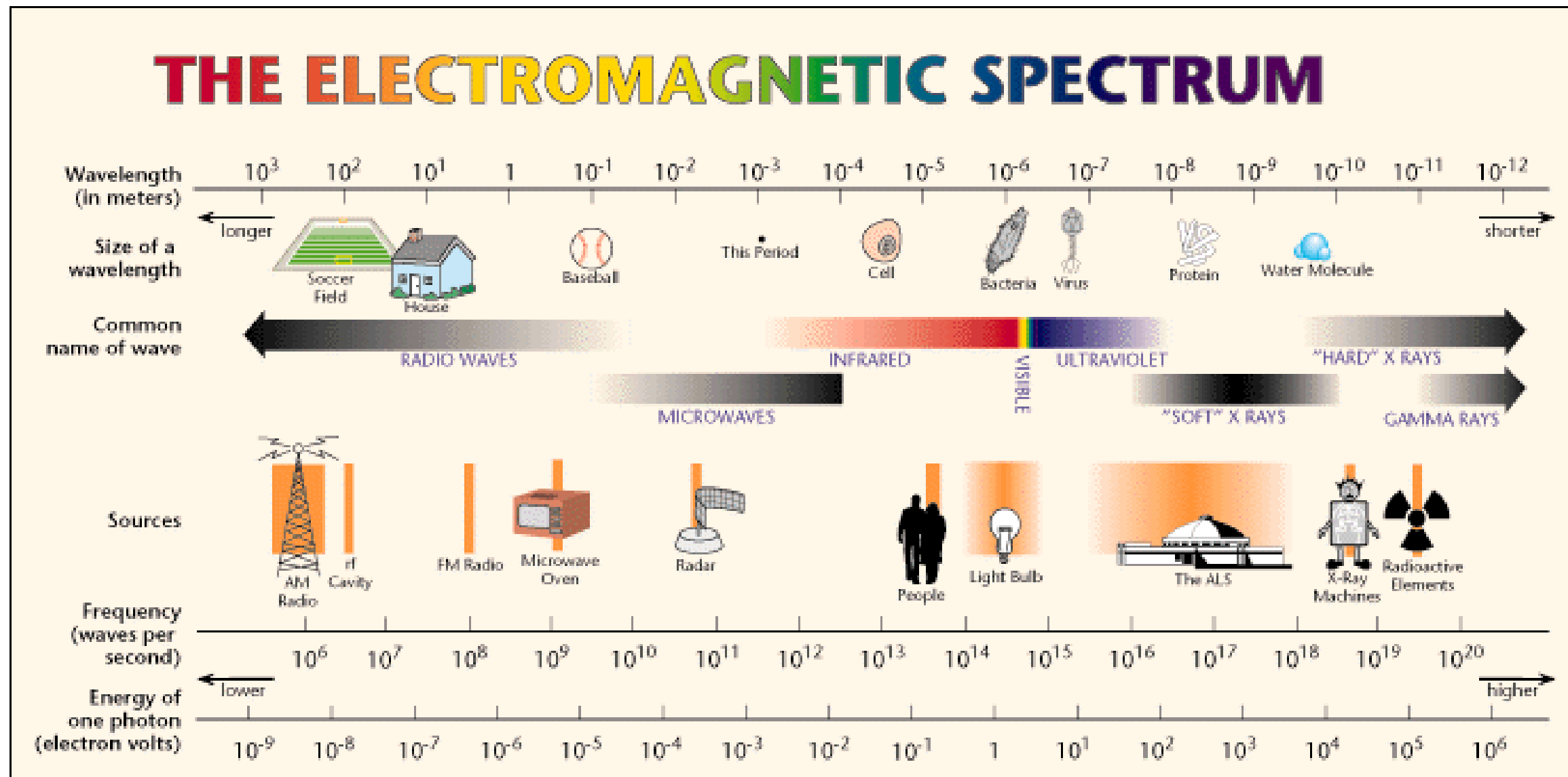
$$c = \lambda * \nu$$

- Energie částice je nepřímo úměrná vlnové délce.
- Přirozeně emitované dlouhé vlny budou hůře zaznamenatelné než energie krátkovlnná.
- Slunce nejvíce září ve viditelné části spektra, Země v tepelné oblasti.

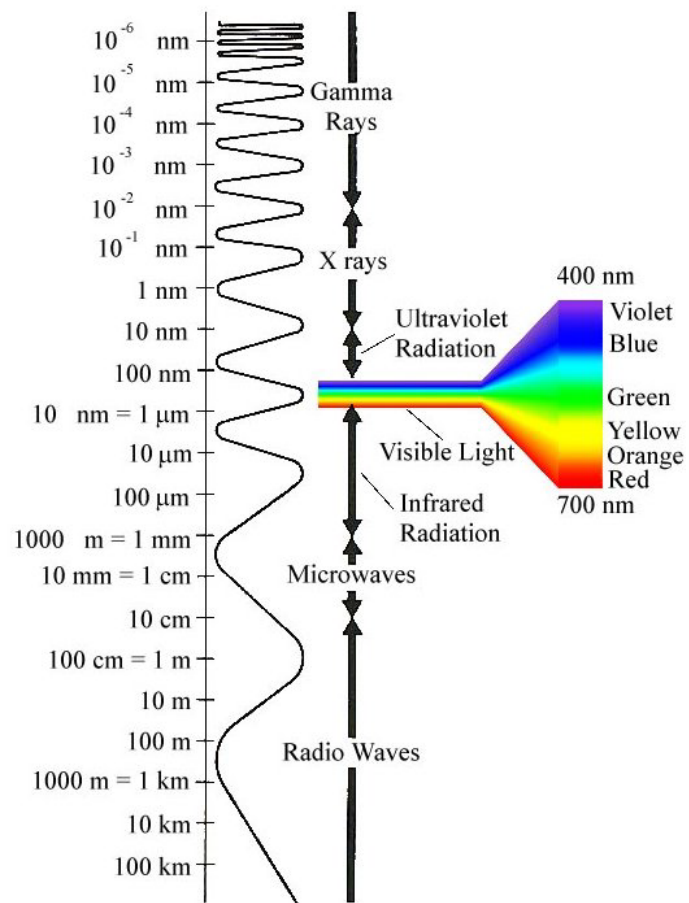


Zdroj: http://www.photobiology.info/prev_mod2_files/photochem03.gif

Spojité spektrum elektromagnetického záření se rozděluje do několika oblastí, např. podle vlnové délky.

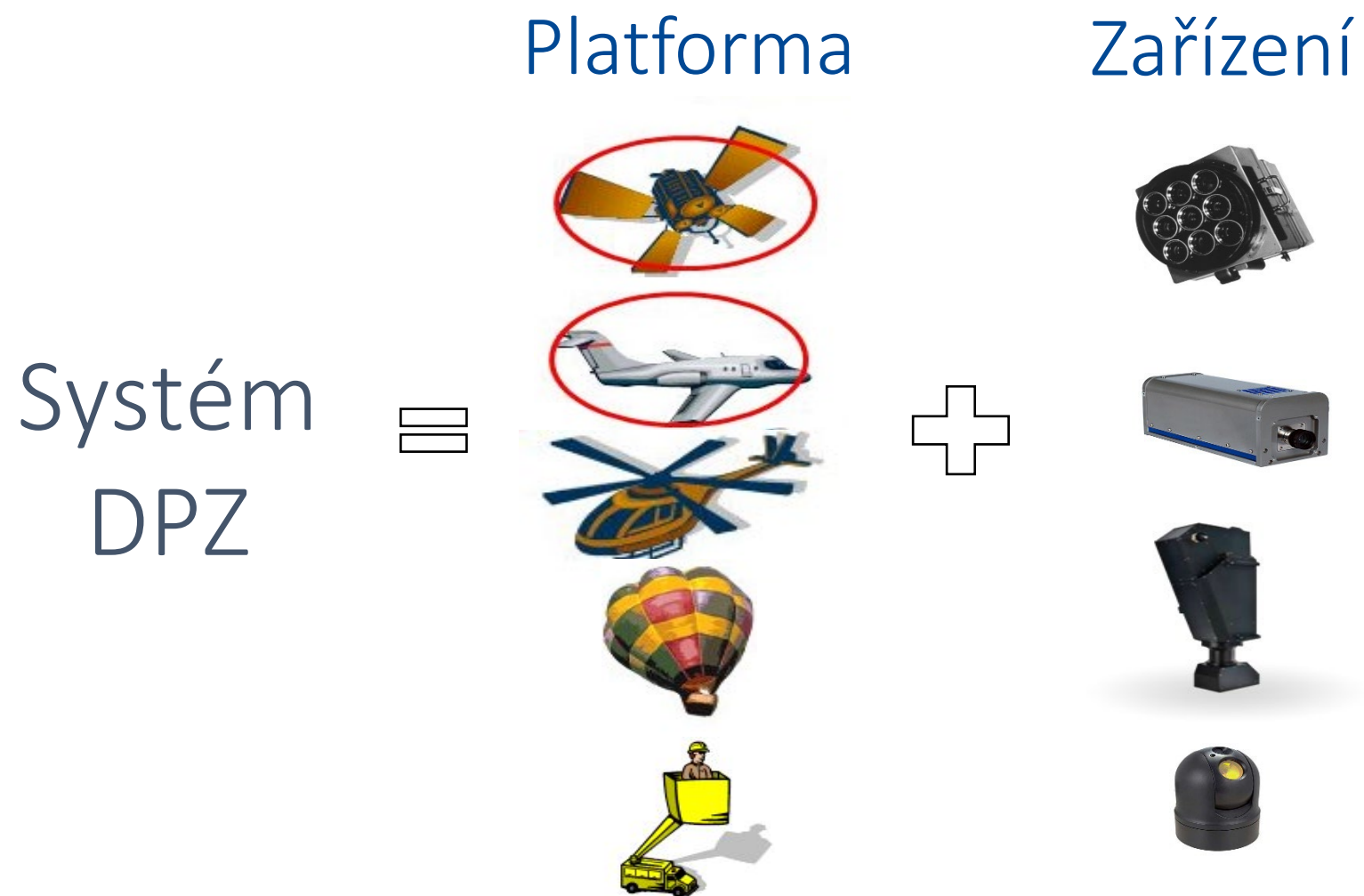


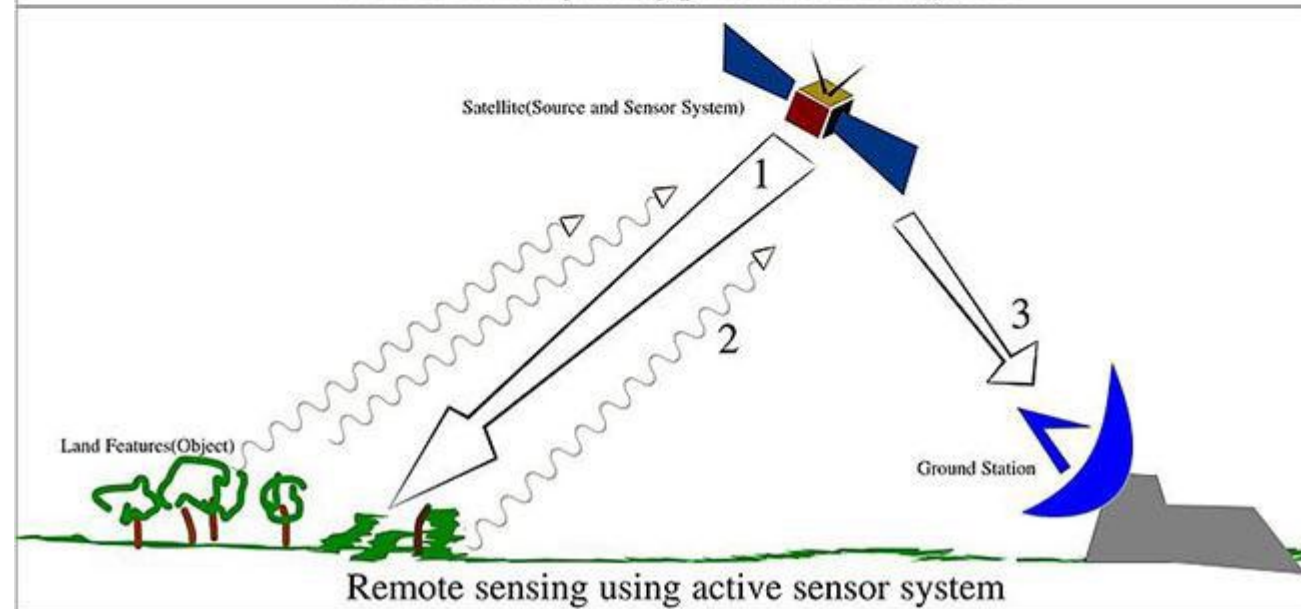
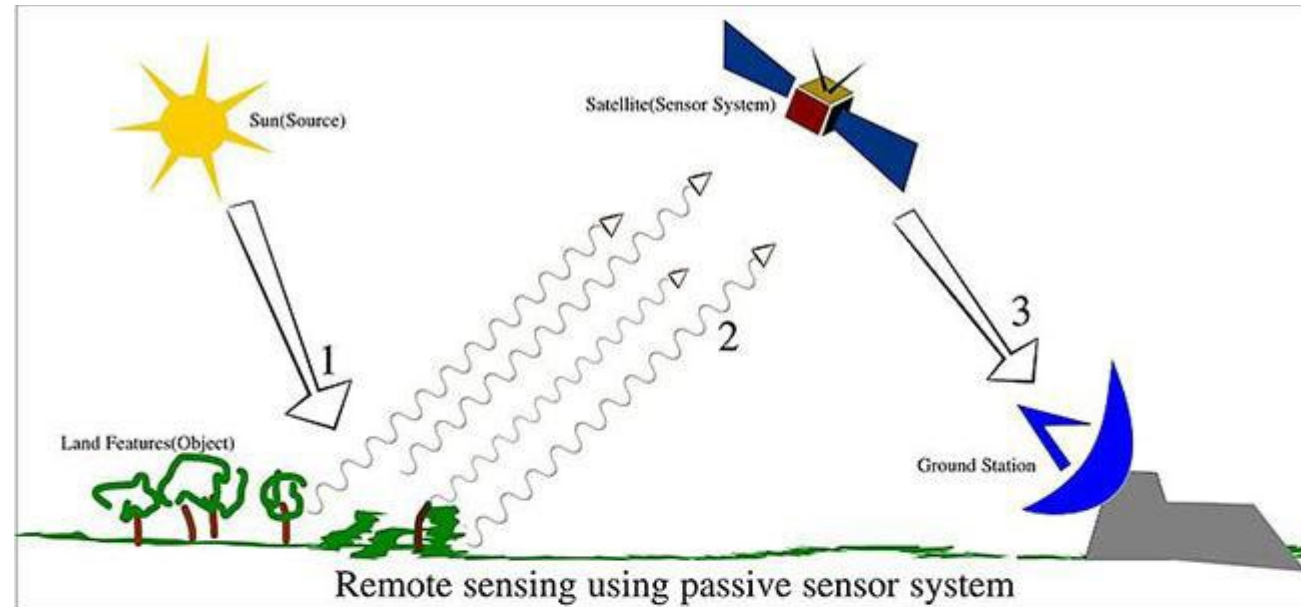
ELEKTROMAGNETICKÉ SPEKTRUM PRO POTŘEBY DPZ



Ultrafialové záření	UV	0,1 - 0,4 μ m
Viditelné záření	VIS	0,4 - 0,7 μ m
Infračervené blízké záření	NIR	0,7 - 1,4 μ m
Infračervené střední záření	MIR	1,4 - 3 μ m
Tepelné záření	TIR	3 μ m – 1 mm
Mikrovlnné záření		1 mm – 1 m

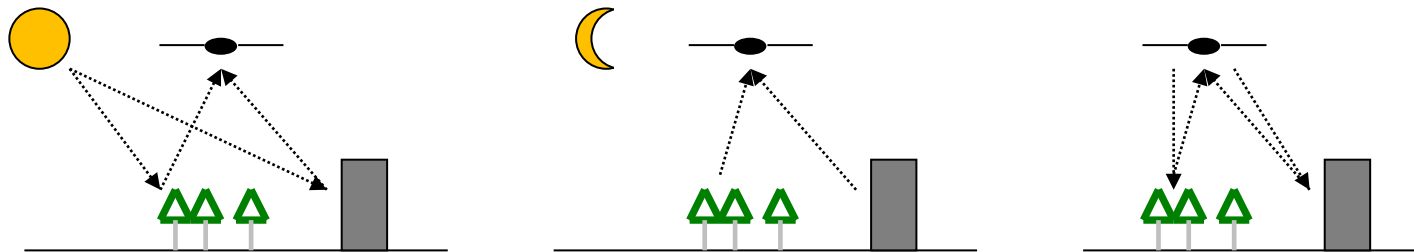
Záznam dat





Metody záznamu energie snímacím zařízením:

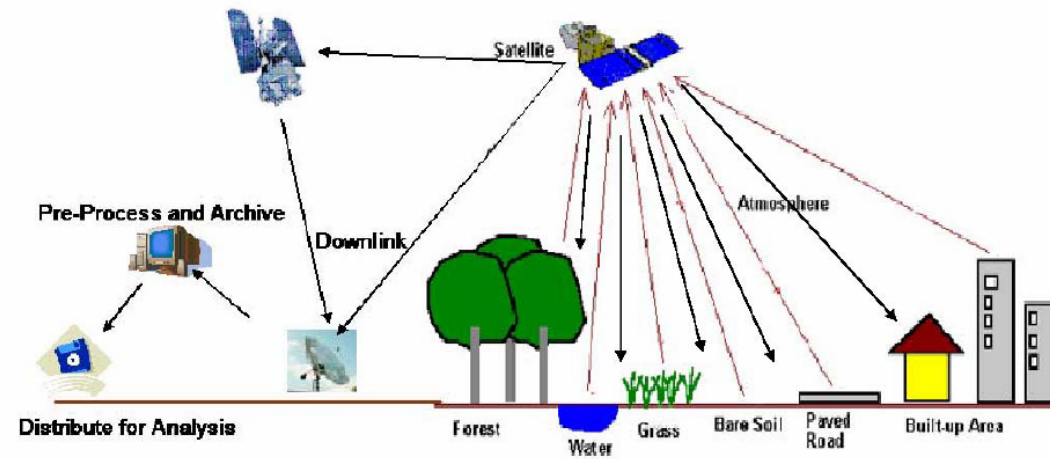
- **Pasivní systémy:** měří přirozeně existující energii. Lze je proto použít pouze tam, kde je taková energie k dispozici
 - Přímé metody – měření odraženého slunečního záření (ve dne)
 - Nepřímé metody – měření záření emitovaného objekty (v noci)
- **Aktivní systémy:** disponují svou vlastní energií, např. RADAR, LIDAR



AKTIVNÍ METODY

Výhodou aktivních metod je, že je možno získávat data kdykoli, bez ohledu na denní dobu.

Typickými představiteli aktivních snímačů jsou radary, především radar se syntetickou aperturou (SAR) a laserová zařízení (Lidar).



Rozdělení dálkového průzkumu Země podle platformy

Dálkový průzkum Země lze rozdělit podle platformy, na které je umístěn senzor. Platforma představuje nosič senzoru, který zaznamenává data o zemském povrchu.

Základní rozdělení platforem:

. Satelitní platformy

Senzory jsou umístěny na družicích obíhajících kolem Země. Satelitní data umožňují sledování rozsáhlých území a dlouhodobé změny krajiny.

2. Letecké platformy

Senzory jsou umístěny na letadlech nebo vrtulnících. Letecké snímkování poskytuje vyšší prostorové rozlišení než satelitní data.

3. UAV (bezpilotní prostředky)

Senzory jsou umístěny na dronech. UAV umožňují velmi detailní snímkování menších území.

4. Mobilní platformy

Senzory jsou umístěny na pohyblivých pozemních prostředcích, například:

- Automobil, čtyřkolka, batoh s mobilním skenerem

5. Pozemní platformy

Senzory jsou umístěny přímo na zemi.

- fotopasti
- pozemní laserové skenování
- ruční kamery

Satelitní platformy

Satelitní platformy představují nejvýznamnější zdroj dat dálkového průzkumu Země. Senzory jsou umístěny na družicích obíhajících kolem Země, které pravidelně snímají zemský povrch.

Satelitní data umožňují sledovat rozsáhlá území, analyzovat změny krajiny a monitorovat vegetaci, vodní plochy nebo zemědělské plodiny.

Hlavní vlastnosti satelitních dat

velké územní pokrytí

pravidelné opakování snímků

dlouhodobé časové řady

možnost sledování změn v krajině

často volně dostupná data



Nejčastěji používané satelitní mise

Sentinel (program Copernicus)

- evropský program
- volně dostupná data
- multispektrální snímky
- vhodné pro vegetaci a krajinu

Landsat

- americký program NASA
- dlouhodobá časová řada (od roku 1972)
- vhodné pro sledování změn krajiny

Komerční satelity (Planet, WorldView)

velmi vysoké rozlišení

placená data

detailní analýza menších území

Nevýhody satelitních dat Výhody satelitních dat

- nižší prostorové rozlišení
 - závislost na oblačnosti (optická data)
 - nižší flexibilita snímkování
- velké územní pokrytí
 - pravidelné snímkování
 - historická data
 - vhodné pro monitoring změn

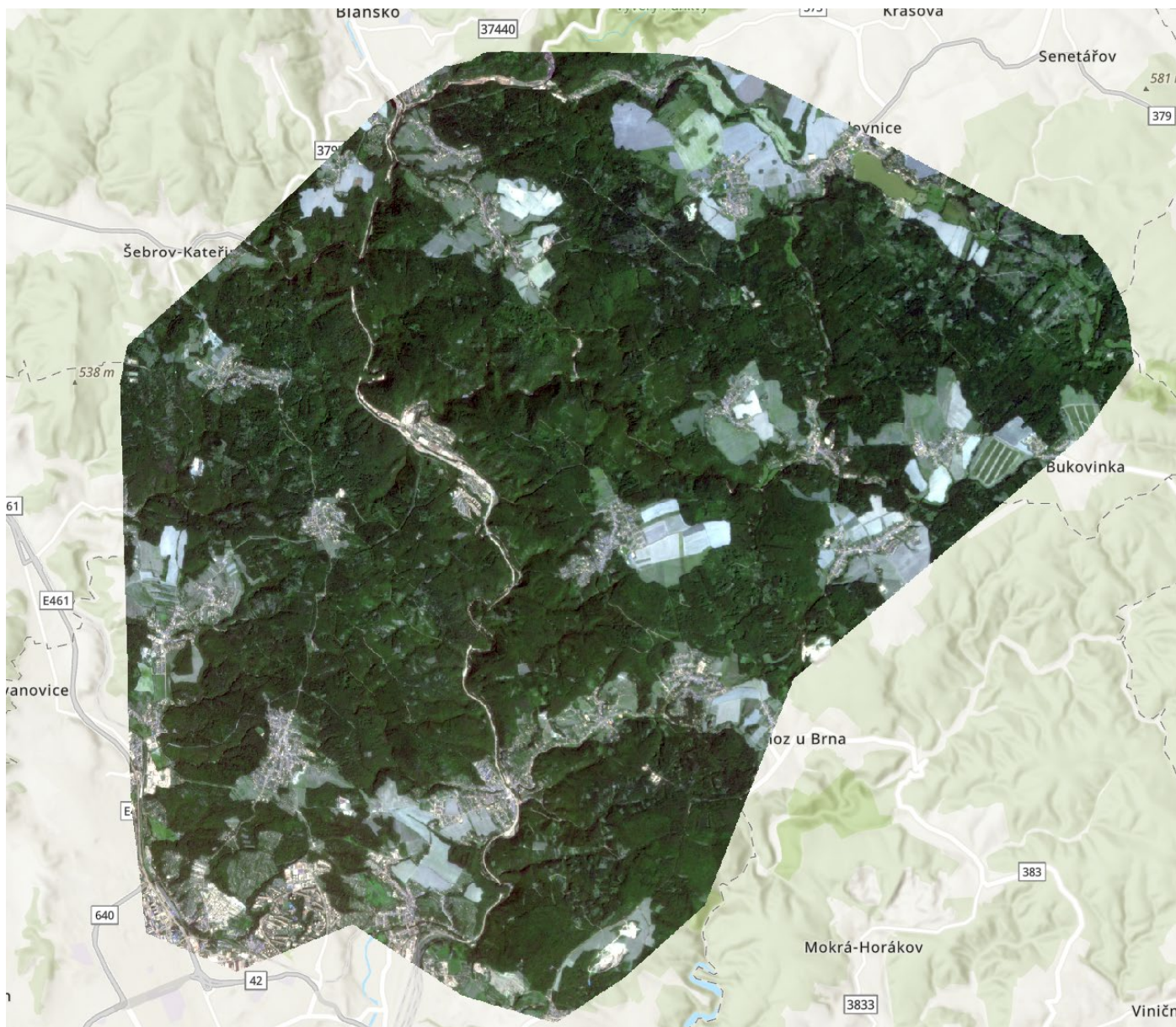
Základní srovnání družic

System	Typ dat	Prostorové rozlišení	Počet pásem	Časové rozlišení / revisit	Šířka záběru	Dostupnost
Sentinel-2 MSI	multispektrální optická data	10 m, 20 m, 60 m podle pásma	13	cca 5 dní pro konstelaci	290 km	volně dostupné
PlanetScope / SuperDove	denní multispektrální snímky	cca 3 m	zpravidla 8 pásem u SuperDove	velmi časté, prakticky denní pokrytí ve velké části území	scény cca 25 × 23 km	komerční
Landsat 8/9 OLI/TIRS	multispektrální + termální data	30 m multispektrální, 15 m panchromatické, 100 m termální	11	16 dní jeden satelit; kombinace Landsat 8 + 9 zhruba 8 dní	185 km	volně dostupné
WorldView-3	velmi vysoké rozlišení, PAN, VNIR, SWIR, CAVIS	0,31–0,30 m PAN, 1,24 m multispektrální , 3,7 m SWIR, 30 m CAVIS	až 29–31 pásem podle započtení senzorů	méně než 1 den / jednotky dní podle podmínek a taskingu	cca 13 km	komerční

Sentinel-2



Planetscope



- MENDELU
- Lesnická
- a dřevařská
- fakulta

PlanetScope - detail



- MENDELU
- Lesnická
- a dřevařská
- fakulta

WorldView-3



DigitalGlobe

● MENDELU
● Lesnická
● a dřevařská
● fakulta

Cena pořízení dat

Systém

Cena za 100 km²

Sentinel-2

0 Kč

PlanetScope archiv

cca **4 700 Kč**

**WorldView archiv, levnější
varianta**

cca **47 000 Kč**

**WorldView archiv / lepší
produkt**

cca **94 000 Kč**

WorldView nové snímkování

cca **84 000–136 000+ Kč**

Úloha

Nejvhodnější ekonomická volba

Regionální monitoring porostů, disturbance,
holiny

Sentinel-2

Časté sledování změn, kalamity, fenologie

PlanetScope

Detailní mapování korun, cest, malých pasek,
objektů

WorldView / VHR

Přímé odvozování taxačních veličin

samotný optický snímek nestačí; ideálně
kombinace s **LiDARem, DSM/stereo daty
nebo terénním měřením**

Příklady

<https://mapserver-slp.mendelu.cz>

<https://www.kurovcovamapa.cz/>

<https://nli.gov.cz/portfolio/katalog-mapovych-informaci/>

Letecké platformy

Letecké platformy představují důležitý zdroj dat dálkového průzkumu Země. Senzory jsou umístěny na letadlech nebo vrtulnících, které snímají zemský povrch z relativně malé výšky. Díky tomu poskytují letecká data vyšší prostorové rozlišení než satelitní snímky.

Letecké snímkování se používá především pro detailní mapování krajiny, lesních porostů a zemědělské půdy.

Typy leteckých dat

Mezi nejčastější typy leteckých dat patří:

- letecké ortofoto
- letecké multispektrální snímky
- letecké laserové skenování (LiDAR)
- termální letecké snímky

Hlavní vlastnosti leteckých dat

vyšší prostorové rozlišení než satelitní data

detailní zobrazení krajiny

vhodné pro mapování menších území

vysoká přesnost

Prostorové rozlišení leteckých snímků bývá například:

25 cm

12,5 cm

5 cm (speciální snímkování)



<https://olc.czechglobe.cz/flis/>

Výhody leteckých dat

- velmi detailní snímky
- vysoká přesnost
- vhodné pro mapování krajiny
- vhodné pro analýzu biotopů

Nevýhody leteckých dat

- menší územní pokrytí než satelity
- vyšší cena (u některých dat)
- nižší frekvence snímkování



Využití v myslivosti

Letecká data lze využít například pro:

- mapování krajinných prvků
- identifikaci biotopů
- analýzu struktury lesa
- sledování změn krajiny

Letecké snímky jsou vhodné zejména pro **detailní analýzu krajiny a biotopů**, zatímco satelitní data jsou vhodnější pro sledování větších území.

Letecké snímky v ČR (Ortofoto)

V České republice patří mezi nejdůležitější letecká data **ortofoto**, které představuje letecký snímek upravený tak, aby měl přesnou geografickou polohu. Ortofoto je tedy možné používat podobně jako mapu a provádět na něm měření vzdáleností, ploch nebo analýzu krajiny.

Ortofoto vzniká z leteckých snímků, které jsou následně geometricky opraveny pomocí digitálního modelu terénu. Výsledkem je přesný obraz zemského povrchu bez perspektivního zkreslení.

Hlavní vlastnosti ortofota

- vysoké prostorové rozlišení (např. 12,5–25 cm)
- přesná geografická poloha
- realistické zobrazení krajiny
- vhodné pro analýzu krajinných prvků

Aktualizace ortofota v ČR

Ortofoto České republiky je pravidelně aktualizováno, obvykle v cyklu:

- 2–3 roky (celá ČR)
 - někdy častěji u vybraných oblastí
- To umožňuje sledovat změny krajiny v čase.

Co lze na ortofotu identifikovat

Na ortofotu lze velmi dobře identifikovat:

- lesní porosty
- zemědělské plochy
- remízky
- vodní plochy
- krajinné prvky
- polní cesty
- okraje lesa

Příklady

<https://ags.cuzk.gov.cz/geoprohlizec/>

UAV (bezpilotní prostředky)

UAV (bezpilotní prostředky)

Bezpilotní prostředky (UAV – Unmanned Aerial Vehicles), běžně označované jako drony, představují v současnosti jednu z nejrychleji se rozvíjejících platforem dálkového průzkumu Země. Díky nízké letové výšce umožňují získávat velmi detailní data s vysokým prostorovým rozlišením.

UAV jsou vhodné zejména pro mapování menších území a detailní monitoring krajiny nebo zvěře.

Hlavní vlastnosti UAV

- velmi vysoké prostorové rozlišení (např. 1–5 cm)
- flexibilní nasazení
- možnost snímkování na vyžádání
- nízká letová výška
- vysoká aktuálnost dat

Typy senzorů na UAV

Na dronech mohou být umístěny různé typy senzorů:

- RGB kamera
- multispektrální kamera
- termální kamera
- LiDAR

Každý typ senzoru poskytuje jiný typ informací o krajině.

Výhody UAV

- velmi detailní data
- rychlé získání dat
- flexibilní nasazení
- vhodné pro malé oblasti

Nevýhody UAV

- omezené územní pokrytí
- závislost na počasí
- legislativní omezení
- nutnost plánování letu

Termální snímkování pomocí UAV

Termální snímkování pomocí UAV

Termální snímkování představuje jednu z nejvýznamnějších aplikací dálkového průzkumu Země v myslivosti. Termální kamery zaznamenávají tepelné záření objektů, což umožňuje detekovat zvěř i v podmínkách, kdy není viditelná v běžném (RGB) snímku.

Termální snímkování je založeno na skutečnosti, že každý objekt s teplotou vyšší než absolutní nula vyzařuje elektromagnetické záření v oblasti tepelného infračerveného spektra.

Hlavní vlastnosti termálního snímkování

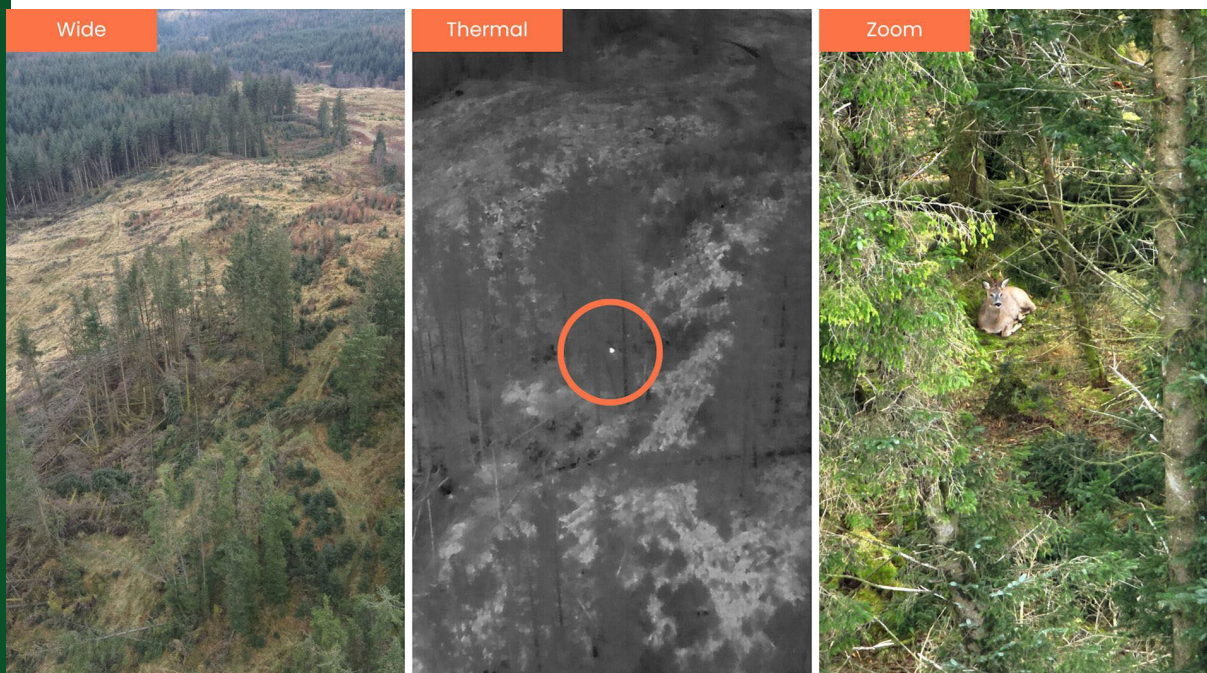
- detekce objektů podle teploty
- nezávislost na viditelném světle
- možnost snímkování v noci
- vysoká efektivita při detekci zvěře

Výhody termálního snímkování

- detekce zvěře ve vysoké vegetaci
- možnost snímkování za šera nebo v noci
- rychlé pokrytí území
- vysoká úspěšnost detekce

Nevýhody termálního snímkování

- nižší detail snímků
- ovlivnění teplotou prostředí
- horší výsledky při vysokých teplotách
- vyšší pořizovací cena



Využití termálního snímkování

Termální snímkování se v myslivosti využívá například pro:

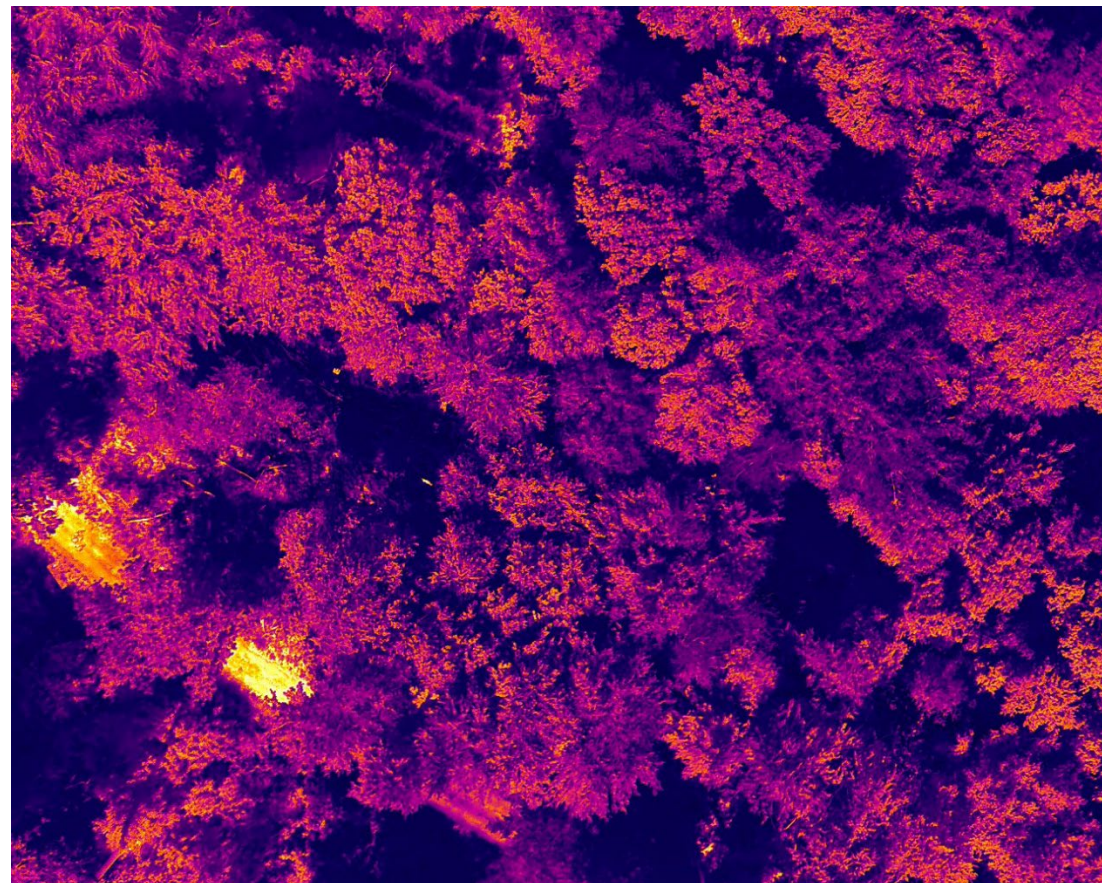
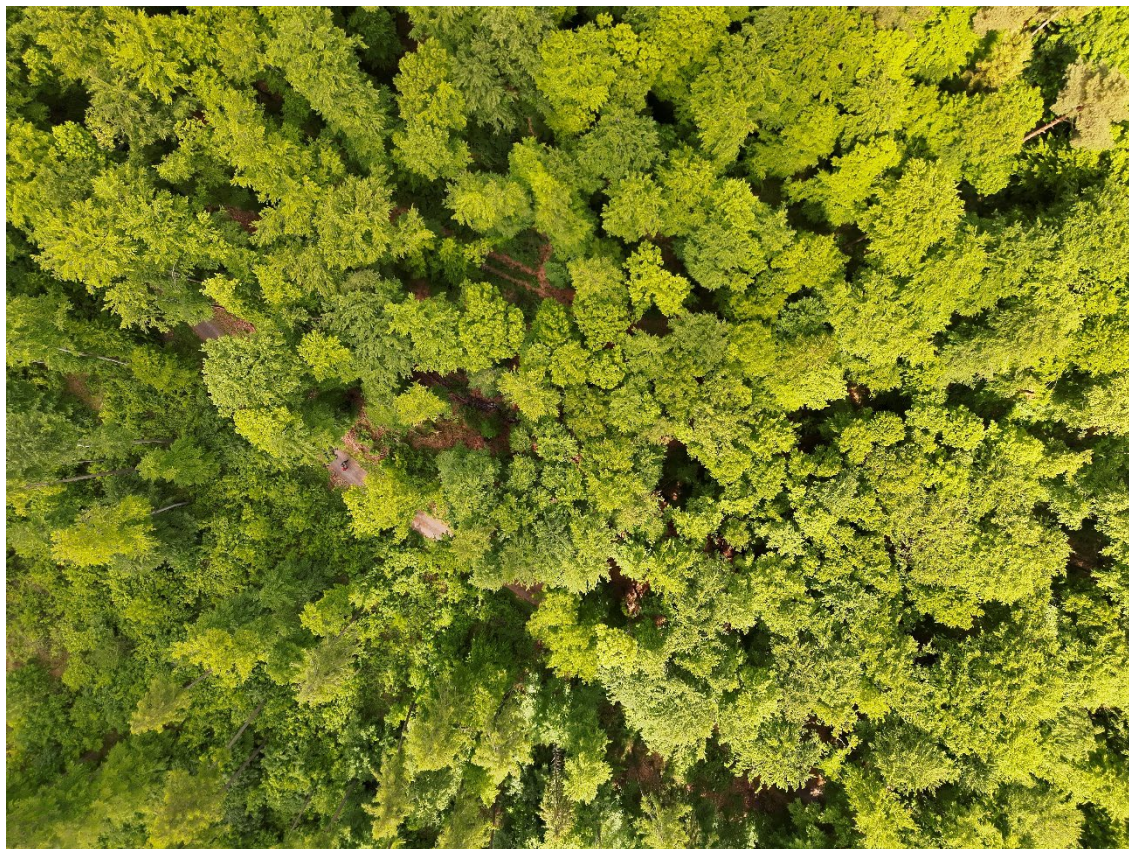
vyhledávání srnčat před sečením
sčítání zvěře

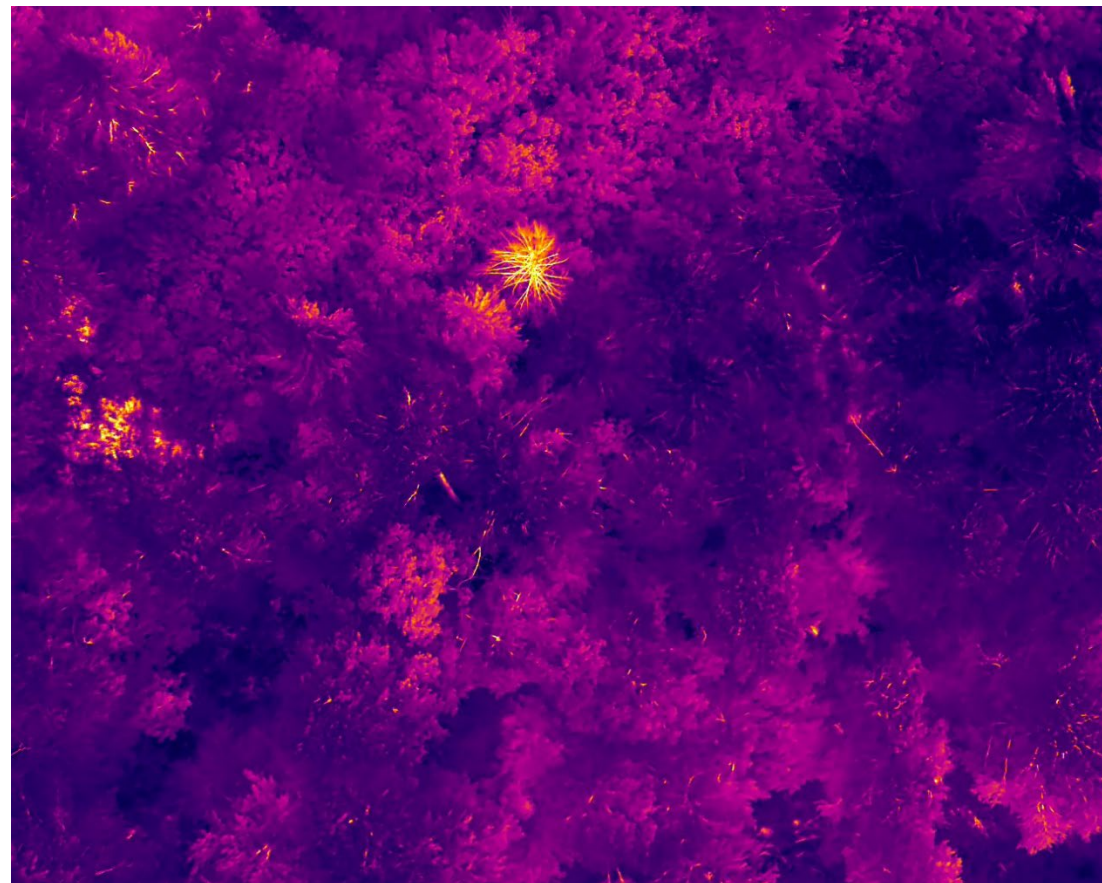
monitoring noční aktivity zvěře

detekci zvěře ve vysoké vegetaci

monitoring černé zvěře

Podpůrná data pro stres vegetace





Mobilní platformy dálkového průzkumu Země

Mobilní platformy dálkového průzkumu Země

Mobilní platformy představují senzory umístěné na pohyblivých pozemních prostředcích. Tyto platformy umožňují sběr dat přímo v terénu při pohybu vozidla nebo osoby. Mobilní systémy poskytují velmi detailní data a jsou vhodné zejména pro mapování menších území nebo liniových objektů.

Mobilní platformy mohou být umístěny například na:

- automobilech
- čtyřkolkách
- traktorech
- batohových systémech
- ručních zařízeních

Typy mobilních senzorů

Mobilní platformy mohou být vybaveny různými typy senzorů:

- RGB kamery
- multispektrální kamery
- LiDAR (laserové skenování)
- GNSS přijímače
- inerciální jednotky (IMU)

Tyto senzory jsou často kombinovány do jednoho systému, který umožňuje přesné mapování terénu.

Výhody mobilních platforem

velmi vysoké prostorové rozlišení
detailní mapování prostředí
možnost sběru dat v terénu
vysoká přesnost

Nevýhody mobilních platforem

omezené územní pokrytí
nutnost přístupu do terénu
časově náročnější sběr dat

Využití mobilních platforem v myslivosti

Mobilní platformy lze využít například pro:

mapování lesních cest
mapování biotopů
dokumentaci prostředí
mapování krajinných prvků
monitoring škod zvěří

Mobilní platformy představují doplněk k satelitním, leteckým a UAV datům a umožňují získat detailní informace přímo v terénu.

Pozemní platformy dálkového průzkumu Země

Pozemní platformy představují senzory umístěné přímo na zemském povrchu. Tyto platformy umožňují velmi detailní sběr dat na lokální úrovni a často slouží k doplnění dat získaných ze satelitů, letadel nebo bezpilotních prostředků.

Pozemní dálkový průzkum Země je důležitý zejména pro detailní analýzu prostředí, monitoring zvěře a validaci dat získaných z jiných platform.

Typy pozemních platform

Mezi nejčastější pozemní platformy patří:

- fotopasti
- pozemní laserové skenování (TLS)
- ruční kamery
- ruční multispektrální senzory
- ruční termální kamery

Výhody pozemních platform

- velmi vysoké prostorové rozlišení
- detailní informace o prostředí
- přesná identifikace objektů
- možnost dlouhodobého monitoringu

Nevýhody pozemních platform

- malé územní pokrytí
- časově náročný sběr dat
- nutnost práce v terénu



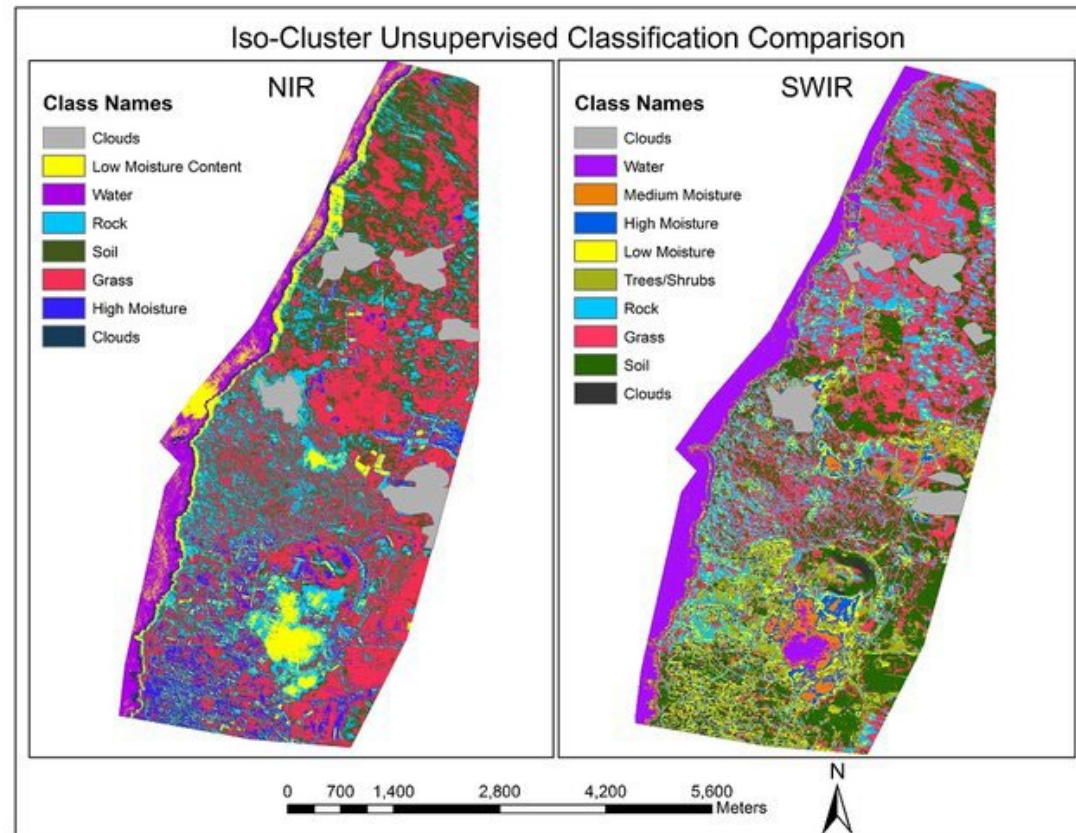
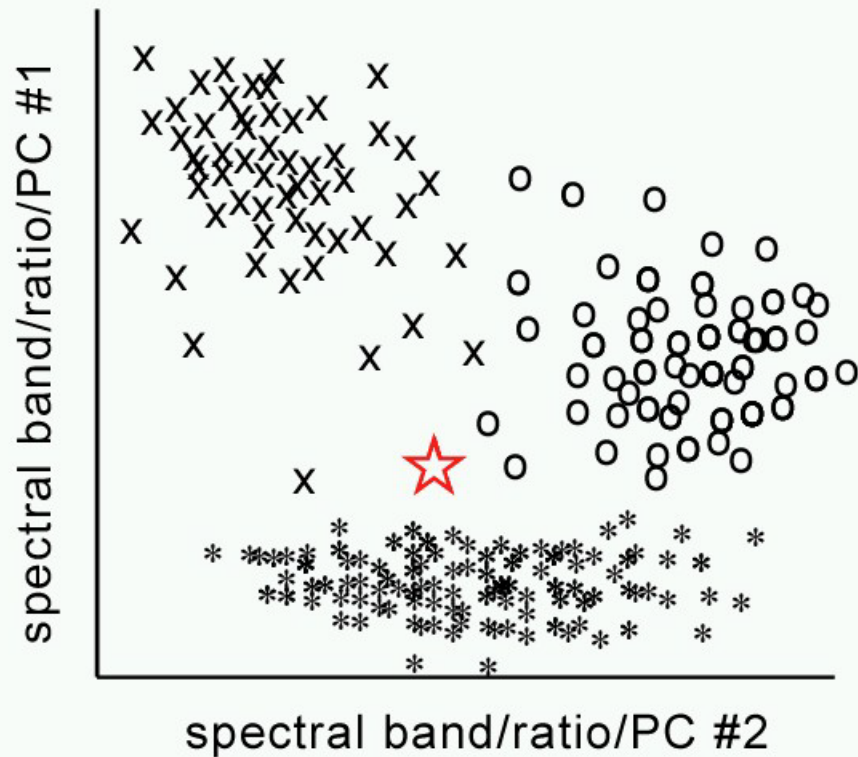
Klasifikace

- Klasifikace v datech DPZ je proces rozdělování pixelů nebo oblastí na snímcích získaných ze satelitů, letadel nebo dronů do různých kategorií. Tyto kategorie mohou zahrnovat různé typy povrchů, jako jsou lesy, vodní plochy, města nebo pole. Cílem je získat informace o rozložení a charakteristikách různých prvků na Zemi. Každý typ klasifikace využívá **klasifikátor**, podle kterého je možné prvky roztrždit do určitých tříd
- **Řízená (supervised)**
- **Neřízená (unsupervised)**
- **Objektová (object-oriented)**

Neřízená klasifikace

- V tomto typu klasifikace se algoritmus zabývá neoznačenými daty, snaží se je seskupit do shluků na základě podobnosti mezi nimi. Na rozdíl od řízené klasifikace, kde máme k dispozici trénovací dataset s předem označenými kategoriemi, neřízená klasifikace pracuje s daty, která neobsahují žádné předem známé štítky. V průběhu neřízené klasifikace algoritmus autonomně hledá vzorce, struktury a skupiny v datech. Na rozdíl od řízené klasifikace není algoritmus předem informován o tom, jaké jsou správné kategorie nebo štítky pro každý záznam. Místo toho se algoritmus snaží identifikovat přirozené shluky nebo vzory v datech na základě podobnosti mezi nimi.
- Př. **Iso-Cluster Unsupervised Classification**

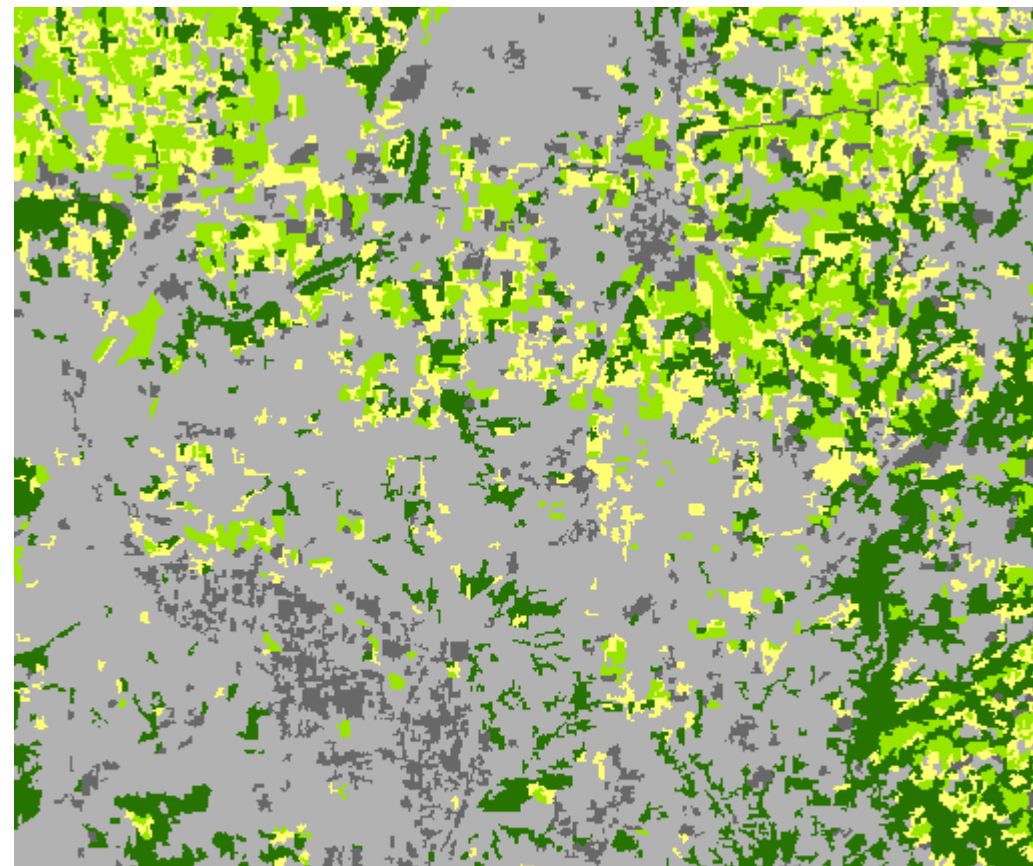
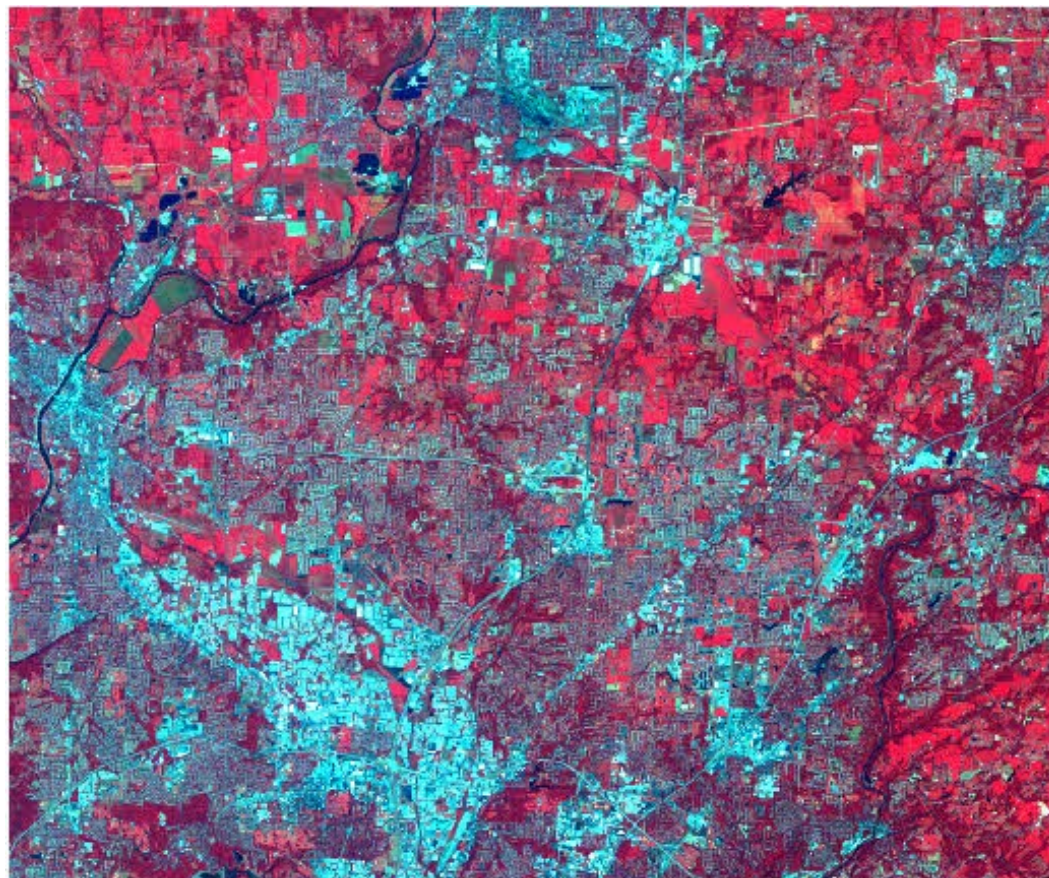
Neřízená klasifikace



Řízená klasifikace

- V tomto přístupu je algoritmu předložen trénovací dataset, který obsahuje označené příklady, tj. data s přiřazenými kategoriemi nebo štítky. Hlavním cílem algoritmu v rámci řízené klasifikace je naučit se přiřazovat správné kategorie novým, neoznačeným datům na základě informací z trénovacího datasetu.
- Klíčovým aspektem úspěšné řízené klasifikace je kvalita trénovacích dat.
- Formu učení s učitelem, kde model, nazývaný "učitel", instruuje algoritmus, jak kategorizovat data na základě správných odpovědí v trénovacím setu
- Př. **Maximum Likelihood Classification** – vektor a kovarianční matice třídy

Řízená klasifikace



Commercial / Industrial

Residential

Cropland

Forest

Pasture

● Lesnická
● a dřevařská
● fakulta

Objektová klasifikace

- Object-based classification, object-based image analysis – OBIA
- Identifikace a klasifikace vizuálních objektů na základě jejich fyzikálních vlastností a prostorových vztahů.
- Tato metoda se odlišuje od klasifikace na úrovni jednotlivých pixelů a namísto toho pracuje s celými objekty, které jsou definovány jako skupiny sousedících pixelů s podobnými charakteristikami, například barvou, texturou nebo tvarem.
- **Segmentace:** Nejprve se data (např. snímek) rozdělí na menší části – **objekty** – které jsou homogenní podle nějakých kritérií (barva, textura, tvar, velikost atd.).
- **Výpočet atributů objektů:** Každý objekt má své atributy – průměrnou barvu, texturu, velikost, tvar, polohu apod.
- **Klasifikace objektů:** Pak se pomocí strojového učení (například rozhodovacích stromů, random forest, SVM) tyto objekty zařadí do kategorií (třeba: les, pole, voda, budova).

Výhody objektové klasifikace oproti per pixel

- **Vyšší přesnost:** Objekt obsahuje více informací než jeden pixel, takže rozhodování je robustnější.
- **Lepší zachycení reality:** V reálném světě objekty (např. budovy, stromy) mají určitý tvar a velikost, což objektová klasifikace respektuje.
- **Snížení šumu:** Pokud klasifikuješ každý pixel zvlášť, můžeš dostat „rozsekaný“ výsledek. Objektová klasifikace dává hladší, ucelenější mapy.

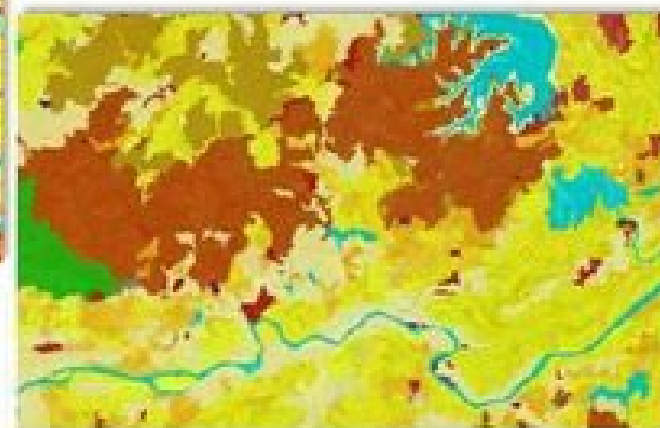
Pixel based VS Object Based



Original image



Pixel based



Object based

Strojové učení

- Oblast umělé inteligence, která se zabývá tím, **jak naučit počítače automaticky se zlepšovat v určitém úkolu na základě dat, bez toho**, aby byly explicitně naprogramovány na každou možnou situaci.

Základní myšlenka:

- **Místo** toho, aby člověk přesně řekl „když je pixel červený, je to střecha“, **počítač sám hledá vzory** v datech (například barvy, tvary, velikosti) a na jejich základě se učí rozhodovat.
- Počítač dostane **trénovací data** (s příklady, kde víme správnou odpověď) a **naučí se** obecná pravidla, která pak dokáže aplikovat na nová, neznámá data.

Typy strojového učení

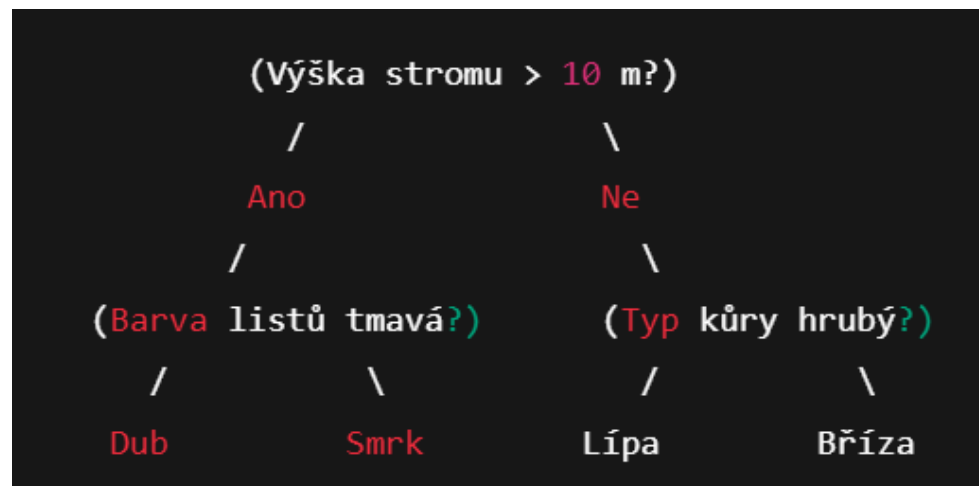
- Učení s učitelem (supervised learning)
 - Data mají známé „správné odpovědi“ (tzv. labels).
 - Příklad: ukážete počítači 1000 fotek stromů a ke každé fotce řeknete, jaký je to druh. On se pak učí poznávat druhy stromů na nových fotkách.
- Učení bez učitele (unsupervised learning)
 - Data nemají žádné odpovědi – hledají se v nich skryté vzory.
 - Příklad: rozděl fotky stromů do skupin podle podobnosti, aniž bys věděl, jaký je to druh.
- Učení posilováním (reinforcement learning)
 - Algoritmus se učí tím, že získává odměny nebo tresty za své akce.
 - Příklad: robot se učí chodit tak, aby nespadl a došel do cíle.

Modely

- Klasifikační a regresní stromy, rozhodovací stromy (CART)
- Random Forest (RF) – náhodné lesy
- Support Vector Machine (SVM) – metoda podpůrných vektorů
- Neuronové sítě

Rozhodovací stromy

- Na začátku je celý soubor dat (tzv. **kořen** stromu).
- Strom klade otázky typu:
 - „Je průměrná výška stromu větší než 10 m?“
 - „Má objekt barvu blízkou zelené?“
- Podle odpovědi (ano/ne) tě posílá **doleva** nebo **doprava**.
- Postupně procházíš jednotlivými **větvemi** stromu, až dorazíš k **listu** (konečnému rozhodnutí).
- List říká například: „Toto je dub“, „Toto je smrk“, nebo „Toto je voda“.



Random Forest

Soubor mnoha rozhodovacích stromů, které spolupracují, aby dosáhly lepší přesnosti než jednotlivý strom.

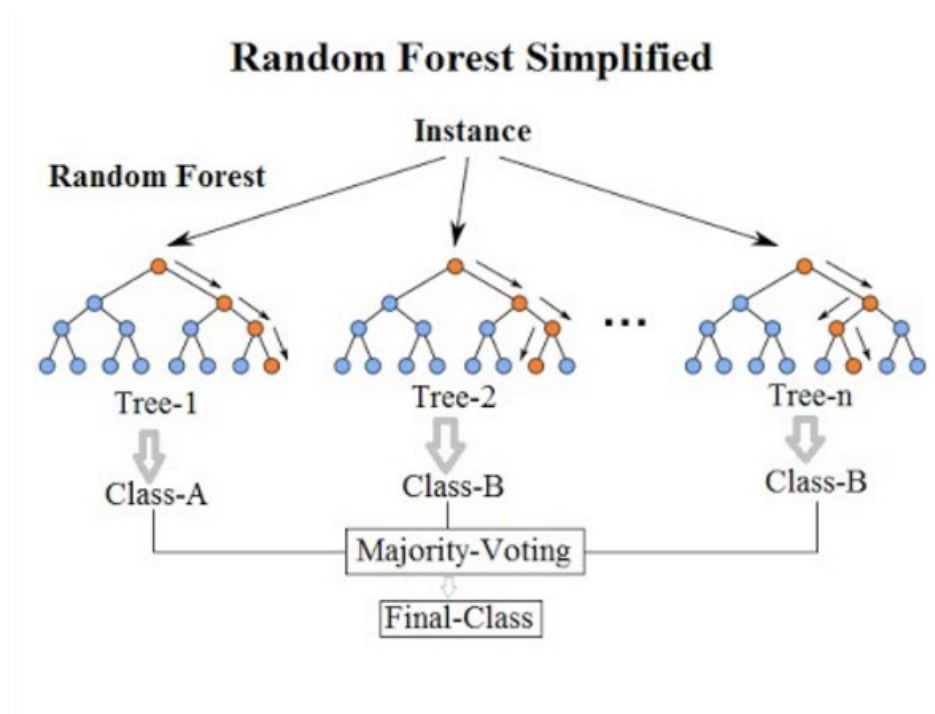
Hlavní myšlenka:

- Místo toho, aby ses spoléhal/a na **jeden** rozhodovací strom (který se může splést nebo přeučit),
- Vytvořeno **mnoho stromů** (třeba 100 nebo 500),
- každý strom dostane **jiný náhodný výběr trénovacích dat a náhodný výběr vlastností** (atributů),
- **Všechny stromy hlasují** a vítězí většina (tzv. **majoritní hlasování**).

Random Forest

Jak to funguje?

- Z trénovacích dat se náhodně vybírají podmnožiny dat (**bootstrapování**).
- Pro každé rozdělení stromu (každý uzel) se náhodně vybírá jen určitý počet vlastností (atributů) – například místo všech 100 vlastností vybíráme náhodně 10.
- Vytvoří se velký počet **nezávislých stromů**.
- Při klasifikaci:
 - Každý strom udělá svůj návrh (např. "toto je dub"),
 - Random Forest spočítá hlasy a určí výsledek podle většiny.



Moderní algoritmy používané v GIS a DPZ

V současnosti se kromě klasických metod (např. Random Forest) stále více využívají **boostingové algoritmy**, které často dosahují vyšší přesnosti a lepší schopnosti generalizace.

Gradient Boosting

Metoda postupně vytváří sérii rozhodovacích stromů, kde každý další strom opravuje chyby předchozího modelu. Vhodné pro klasifikaci krajinných prvků, predikce a analýzu komplexních dat.

XGBoost

Pokročilá a velmi rychlá implementace Gradient Boostingu. Patří mezi nejúspěšnější algoritmy v datové analytice a soutěžích strojového učení.

LightGBM

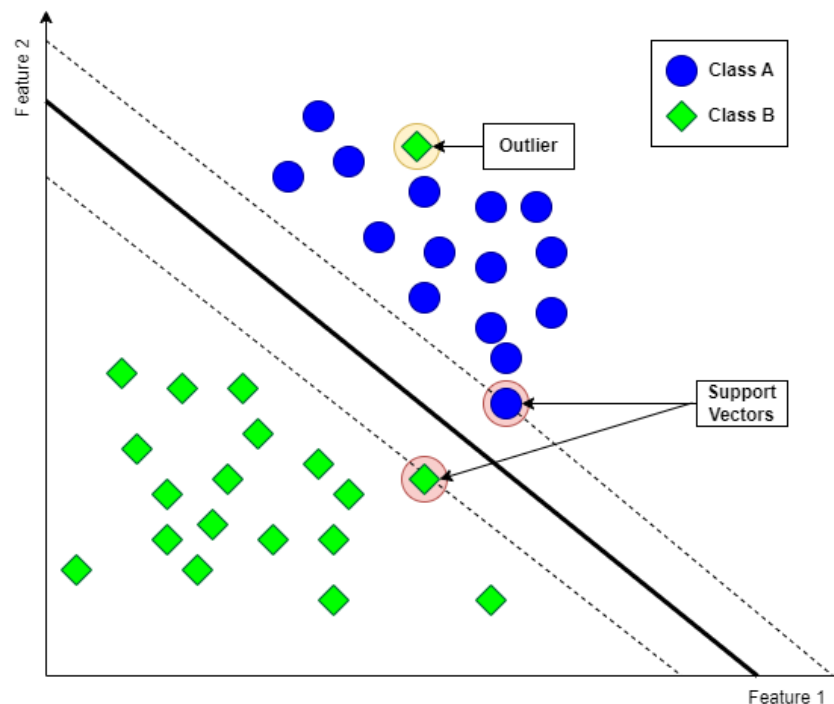
Optimalizovaný boostingový algoritmus určený pro velké datasety. Vyniká vysokou rychlostí výpočtu a nízkou paměťovou náročností.

CatBoost

Algoritmus vhodný zejména pro data s kategoriálními proměnnými. Dobře funguje i při menším množství trénovacích dat a vyžaduje méně nastavování.

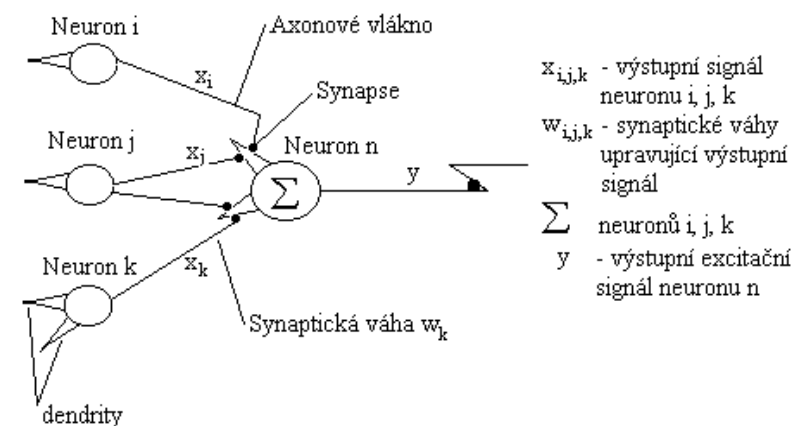
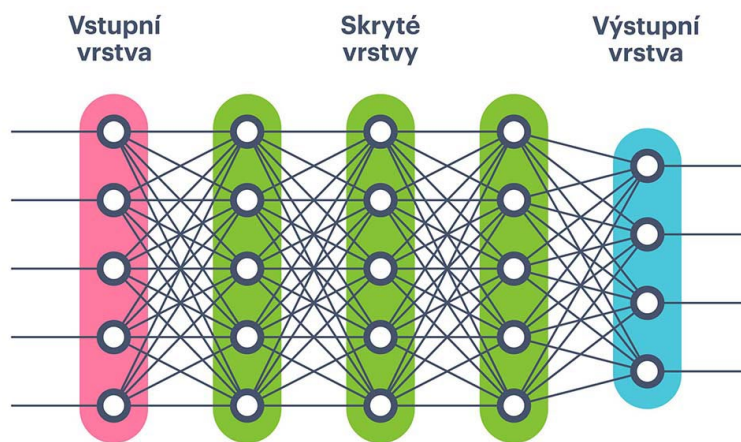
Support Vector Machine

- SVM se snaží **najít nejlepší možnou hranici (čáru, plochu)**, která **co nejlépe oddělí** jednotlivé třídy v datech.
- Ta hranice se nazývá **hyperrovina** (v 2D je to čára, ve 3D je to rovina).
- Nejlepší hranice je ta, která **maximalizuje vzdálenost** od nejbližších bodů každé třídy (tzv. **support vectors** – podpůrné body).



Neuronové sítě

- **model inspirovaný fungováním mozku**, složený z **umělých neuronů** (malých výpočetních jednotek), které spolu komunikují.
- Každý **neuron**:
 - Dostane vstupy (čísla),
 - Nějak je **sečte a transformuje** pomocí **aktivační funkce**
 - Výsledek pošle dál do dalších neuronů
- Neuronová síť se učí **úpravou vah spojení** mezi neurony na základě chyb v předpovědích



Typy sítí

1. Plně propojená síť (Feedforward Neural Network, FNN)

- Nejjednodušší typ: každý neuron je propojený se všemi neurony v další vrstvě.
- Používá se na základní klasifikaci, regresi.

2. Konvoluční neuronová síť (CNN – Convolutional Neural Network)

- Specializovaná na **zpracování obrazů a rastrů**.
- Umí najít **prostorové vzory** (hrany, rohy, textury).
- Struktura:
 - **Konvoluční vrstvy**: hledají místní vzory,
 - **Pooling vrstvy**: zmenšují rozměry a generalizují informace,
 - **Plně propojené vrstvy**: dělají klasifikaci.

Použití: rozpoznávání obrázků, klasifikace satelitních snímků, detekce objektů.

Typy sítí

3. Rekurentní neuronová síť (RNN – Recurrent Neural Network)

- Navržena pro **sekvenční data** (časové řady, texty, řeč).
- Každý neuron si **pamatuje minulý stav** (má zpětnou vazbu).
- Umí zpracovávat data, kde záleží na pořadí.

Použití: strojový překlad, predikce počasí, generování textu.

Deep Learning

Deep Learning = hluboké učení znamená:

- Používání **více vrstev neuronových sítí** (hlubokých architektur),
- Každá vrstva **automaticky extrahuje složitější rysy** ze vstupních dat.
- Síť sama objevuje reprezentace (např. hrany, tvary, objekty).

Rozdíl od klasického strojového učení:

- Deep learning **potřebuje hodně dat a velký výpočetní výkon** (GPU).
- Ale **není třeba ručně vytvářet rysy** – síť se je naučí sama.
- Frameworky – TensorFlow, PyTorch, Keras, OpenCV
- Předtrénované modely – Segment Anything, YOLO, ResNet (scikit-learn, OpenCV)

Historie

Rok	Událost
1943	McCulloch–Pitts neuron – první matematický model umělého neuronu. Ukázal, že logické operace lze simulovat pomocí jednoduché sítě neuronů. Tento koncept položil základy umělých neuronových sítí.
1958	Perceptron (Frank Rosenblatt) – první prakticky použitelný model neuronové sítě schopný učit se z dat. Dokázal rozlišovat jednoduché vzory a odstartoval první vlnu zájmu o umělou inteligenci.
1986	Backpropagation – algoritmus zpětného šíření chyby, který umožnil efektivní učení vícevrstevných neuronových sítí. Díky tomu bylo možné trénovat složitější modely s vyšší přesností.
1997	LSTM (Long Short-Term Memory) – speciální typ rekurentní neuronové sítě určený pro sekvenční data. Umožňuje „pamatovat si“ dlouhodobé závislosti v textech, řeči nebo časových řadách.

Historie

Rok

Událost

2012
AlexNet vítězí v soutěži ImageNet – hluboká konvoluční neuronová síť výrazně překonala ostatní metody v rozpoznávání obrazu. Tento úspěch odstartoval éru moderního deep learningu.

2014
GAN modely (Generative Adversarial Networks) – dva modely spolu soupeří: jeden generuje data a druhý je hodnotí. Výsledkem je schopnost vytvářet realistické obrázky, videa nebo syntetická data.

2017
Transformers – nová architektura neuronových sítí založená na mechanismu pozornosti (attention). Stala se základem moderních jazykových modelů a současné generativní AI.

2022
ChatGPT – široce dostupný jazykový model schopný generovat text, odpovídat na otázky, programovat a analyzovat data. Významně popularizoval umělou inteligenci mezi veřejností.

Dnes
AI v GIS, dronech a myslivosti – umělá inteligence se využívá při klasifikaci satelitních snímků, detekci zvířete z fotopastí a dronů, mapování biotopů, analýze krajiny a predikci škod zvířat.

Deep learning v dálkovém průzkumu Země (DPZ)

Metody **deep learningu** se dnes běžně využívají pro automatickou analýzu leteckých a satelitních snímků.

Na rozdíl od klasických metod se model učí rozpoznávat objekty a vzory přímo z obrazových dat.

U-Net

Specializovaná neuronová síť určená pro **segmentaci obrazu**.

Každému pixelu přiřazuje konkrétní třídu (např. les, voda, pole, budova).

Velmi často se používá v DPZ.

Semantic segmentation

Metoda, při které je **každý pixel snímku klasifikován** do určité kategorie.

Příklad:

- les
- pole
- vodní plocha
- silnice
- budova

Výsledkem je tematická mapa krajiny.

CNN pro ortofota

CNN pro ortofota

Konvoluční neuronové sítě (CNN)

jsou vhodné pro práci s ortofotomapami a dronovými snímky.

Dokážou rozpoznávat:

- stromy
- remízky
- vodní plochy
- polní kultury
- zvěř na snímcích

Využití v myslivosti

mapování biotopů zvěře

detekce změn v krajině

monitoring krajinných prvků

detekce zvěře z dronů

hodnocení krytových podmínek

Předtrénované modely v ArcGIS

ArcGIS nabízí hotové AI modely, které lze použít bez vlastního trénování.

<https://doc.arcgis.com/en/pretrained-models/latest/get-started/intro.htm>

LiDAR

- **Laserové skenování** nebo také **LiDAR** (z anglického Light Detection And Ranging)
- Metoda dálkového měření vzdálenosti na základě výpočtu doby šíření pulsu laserového paprsku odraženého od snímaného objektu.
- Moderní technologie bezkontaktního sběru dat, blízkého a dálkového snímání, detekce objektů a měření vzdáleností, ze kterého jsou výsledkem 3D struktury objektů a jevů na zemském povrchu.
- 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 mračna bodů, na jehož základě může být vytvořen model objektu, který lze přenést do CAD systému.
- Světelné pulsy byly poprvé použity k měření výšky oblačnosti v roce 1938 – výška byla stanovena na principu měření času od vyslaného pulsu po jeho dopad na cíl.

LiDAR

Rozdělení dle způsobu sběru dat:

- **Letecké laserové skenování** – Airborne Laser Scanning (ALS)
 - Skener umístěn na letadle, družici, vrtulníku či jiném létajícím nosiči
- **Pozemní laserové skenování** – Terrestrial Laser Scanning (TLS)
 - Skener umístěn stacionárně na stativu
- **Mobilní laserové skenování** – Mobile Laser Scanning (MLS)
 - Skener umístěn na dopravním prostředku (nejčastěji automobil)
- **Ruční laserové skenování** – Hand-held Mobile Laser Scanner (HMLS)
 - Skener nesený v ruce

Využití LiDARu

- **Letecké skenery**

- 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

- **Ruční skenery**

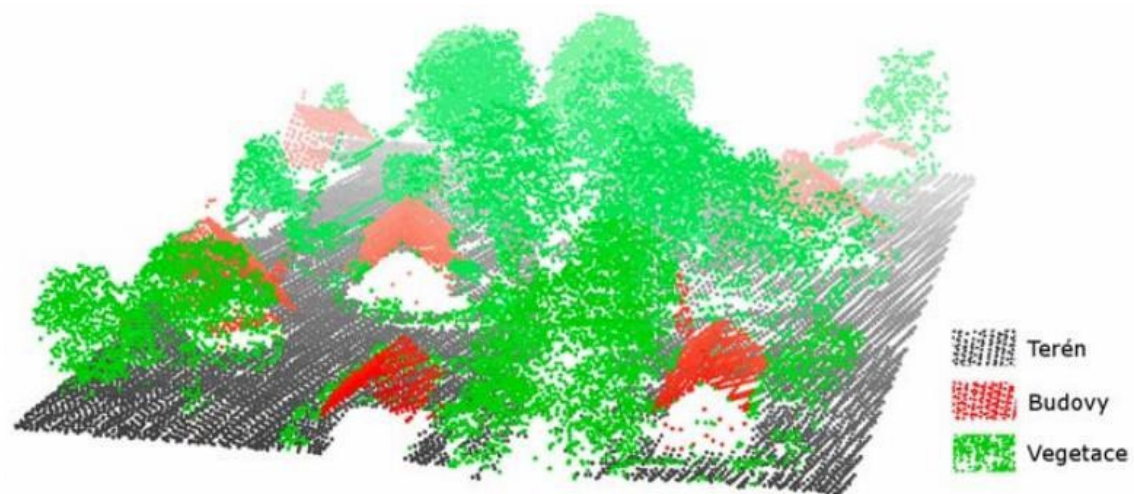
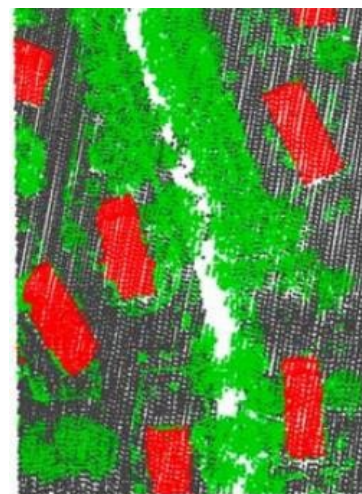
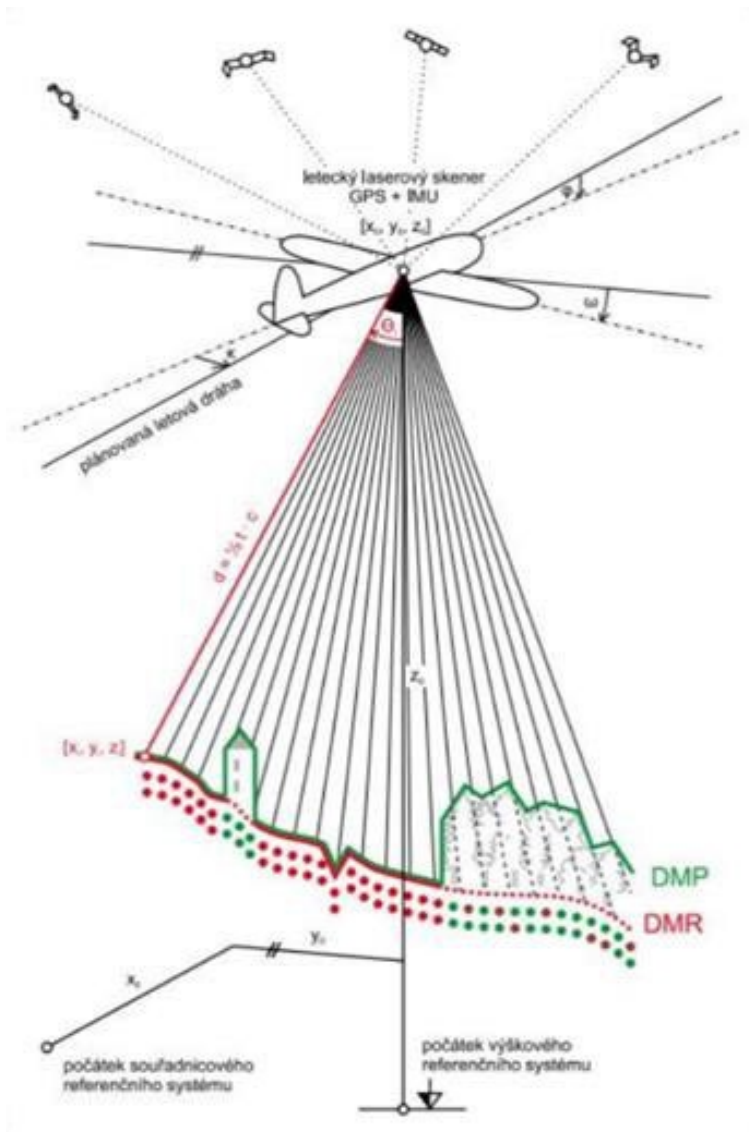
- malé, lehké, variabilní, nesené v ruce, sběr dat ve špatně přístupném terénu

Letecké laserové skenování

- Letecké laserové skenování (LLS) je jednou z technologií dálkového průzkumu Země (DPZ)
- Tato technologie umožňuje hromadný neselektivní sběr podrobných bodů terénu (mračno bodů) pro vytváření digitálního modelu reliéfu a povrchu
- Významné je především v nepřístupných a zalesněných oblastech – metoda LLS byla vyvinuta hlavně za účelem rychlého a automatizovaného mapování území, ve kterých standardní měřické metody nepřinášejí očekávaný výsledek – například zalesněná či nepřístupná území
- 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

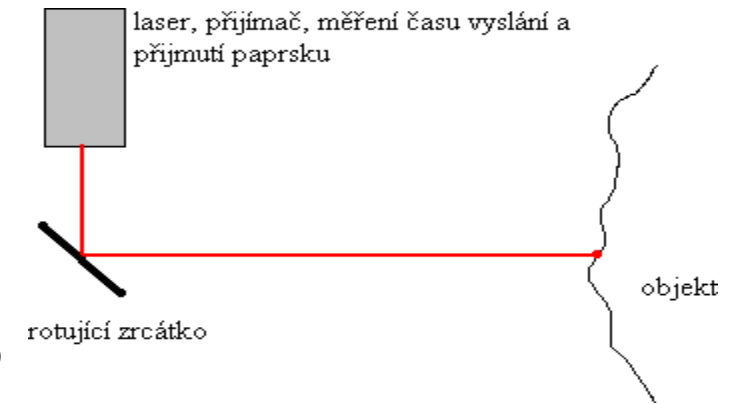


Letecké laserové skenování

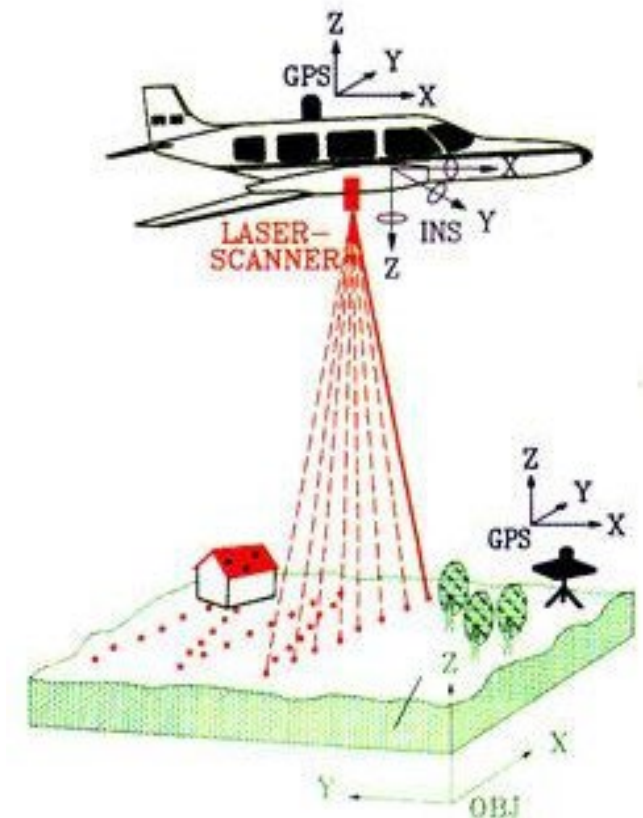


Princip LLS

- 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 měřicí 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).



Zdroj: Pavelka et al, 2011

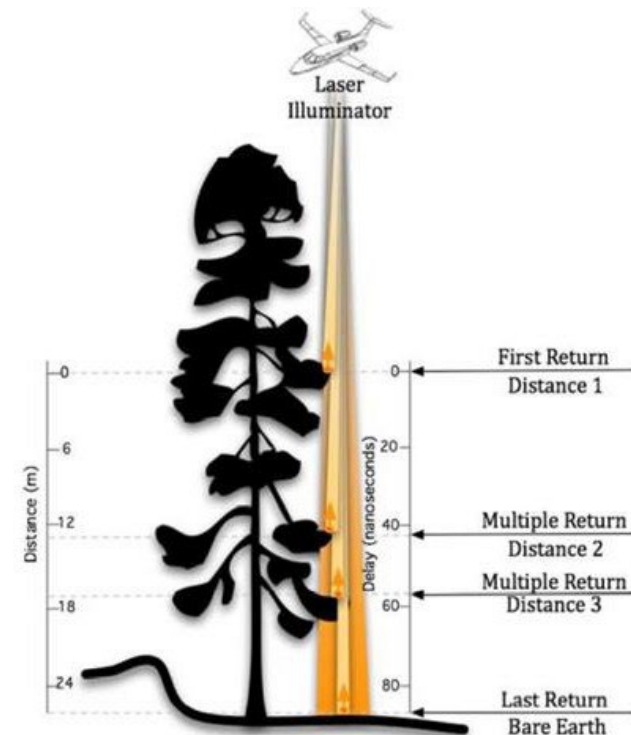


Princip LLS

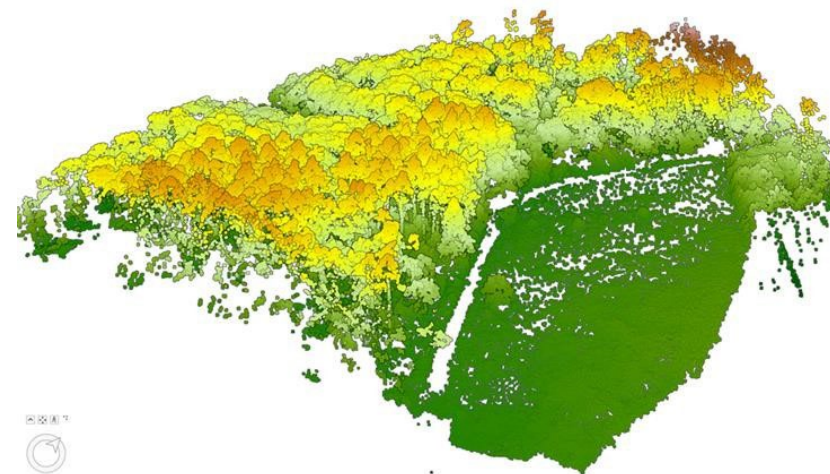
- Letecké laserové skenovací systémy se skládají z **laserové jednotky** (laser), **skenovací jednotky** (rotující zrcátko), **GNSS** (Globální navigační satelitní systém) a **IMU** (Inertial Measurement Unit) – inerciální navigace – gyroscopy a akcelerometry). Před měřením je nutno každou část kalibrovat.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



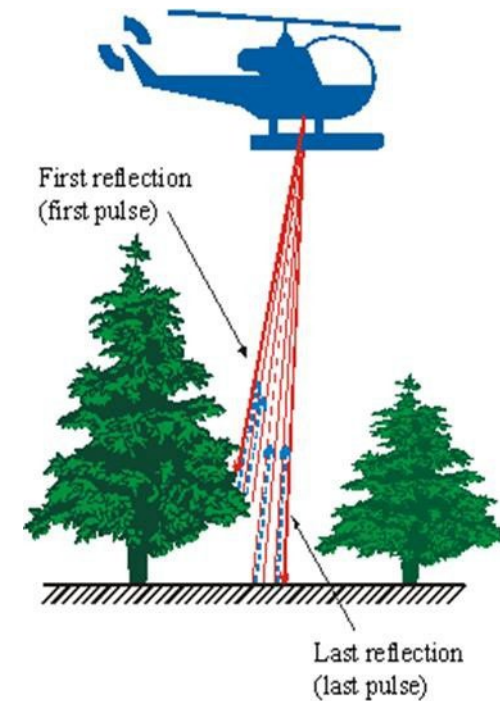
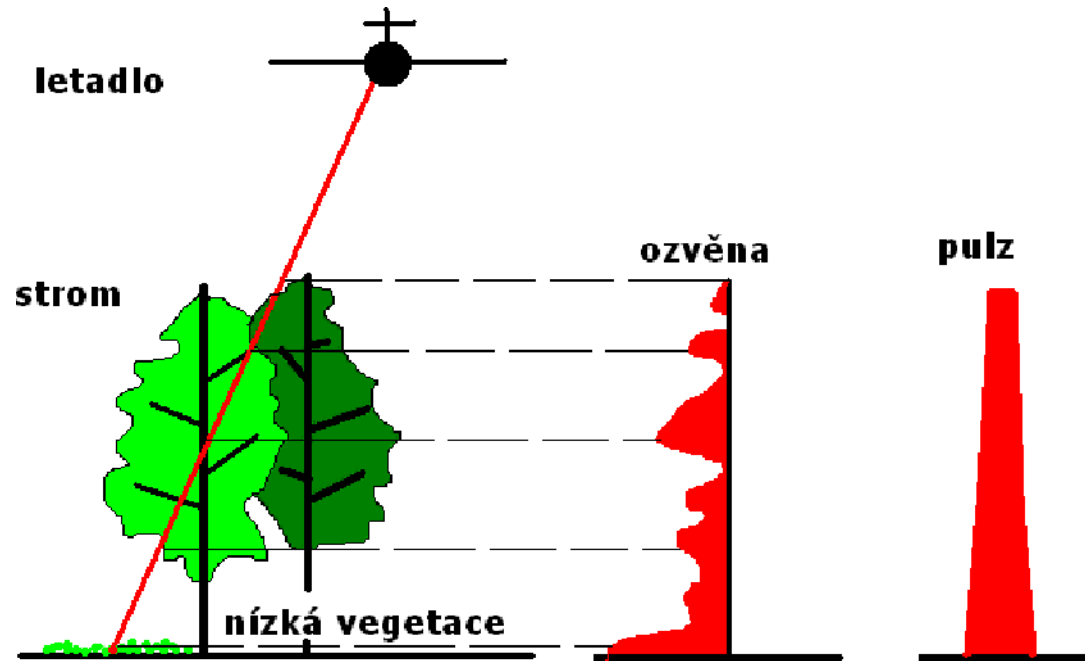
Zdroj: Lefsky et al., 2002)



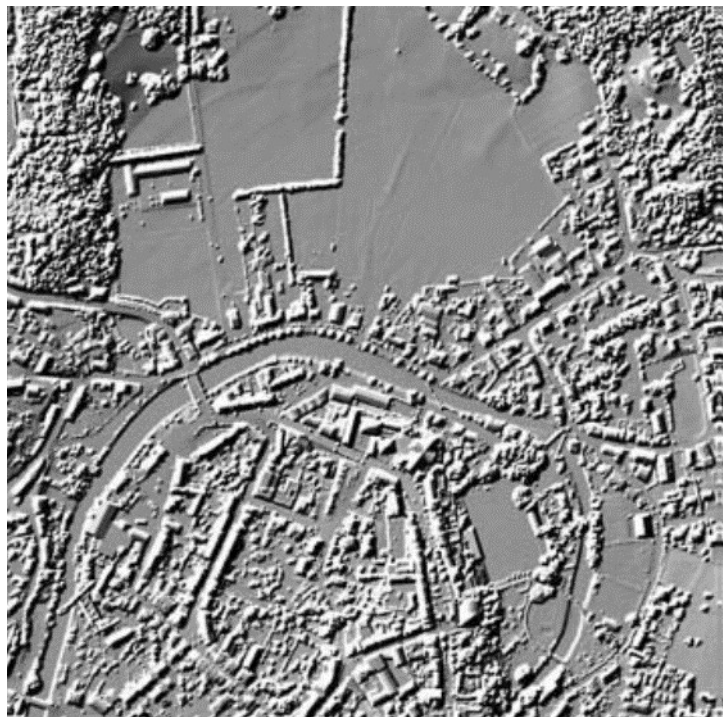
Typy leteckých skenerů

Letecké laserové skenery můžeme rozdělit:

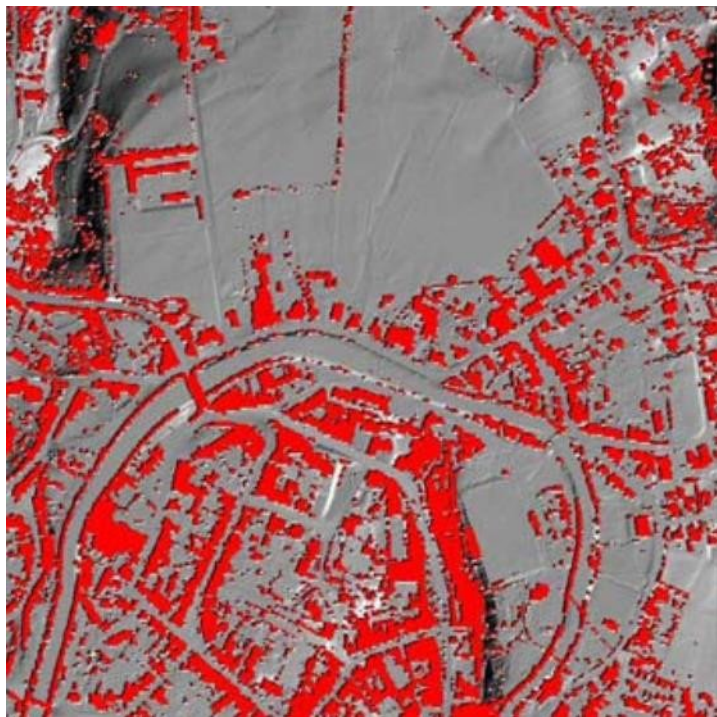
- skenery snímající jednotlivé diskrétní odrazy (Discrete Return, DR), typicky čtyři
- tzv. full-waveform skenery (FWF skenery), umožňují zachytit neomezený počet odrazů (celý průběh celé křivky návratu signálu v pevných časových intervalech)



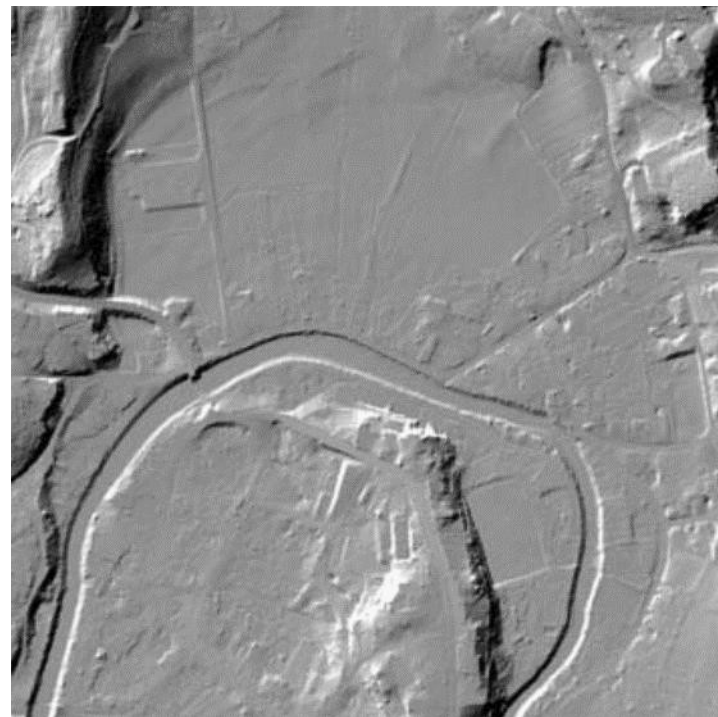
Filtrace informací z lidarových dat



Digitální model povrchu



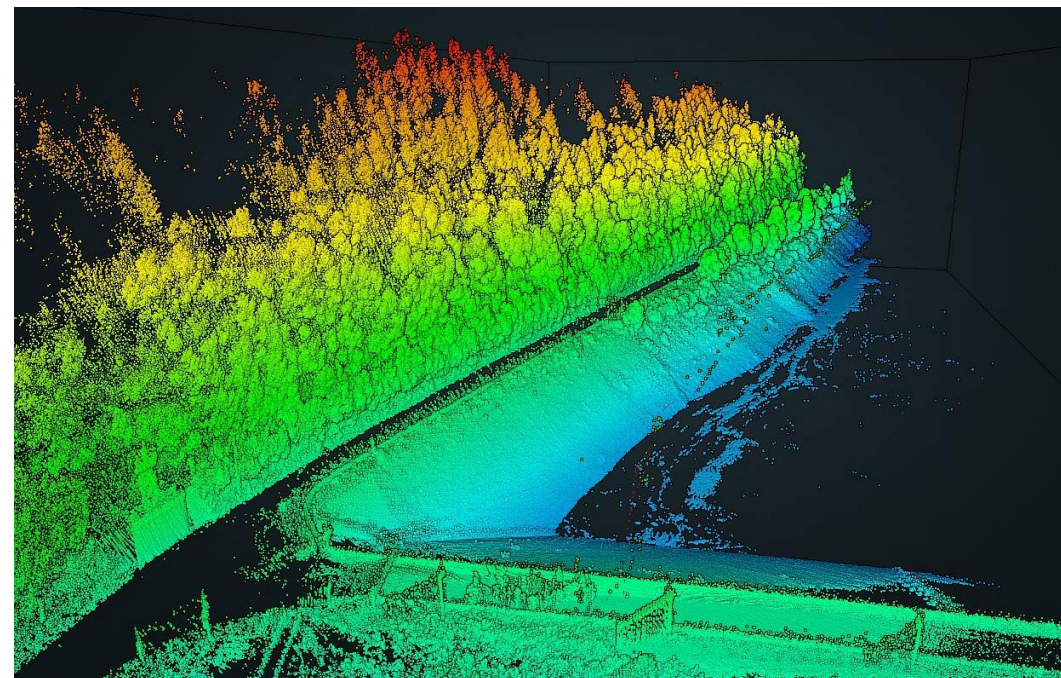
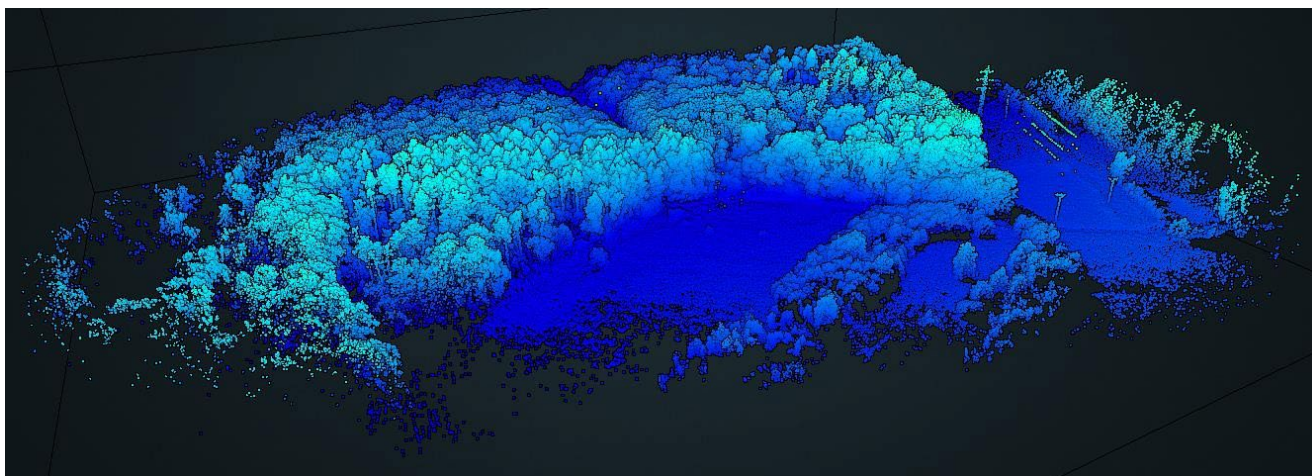
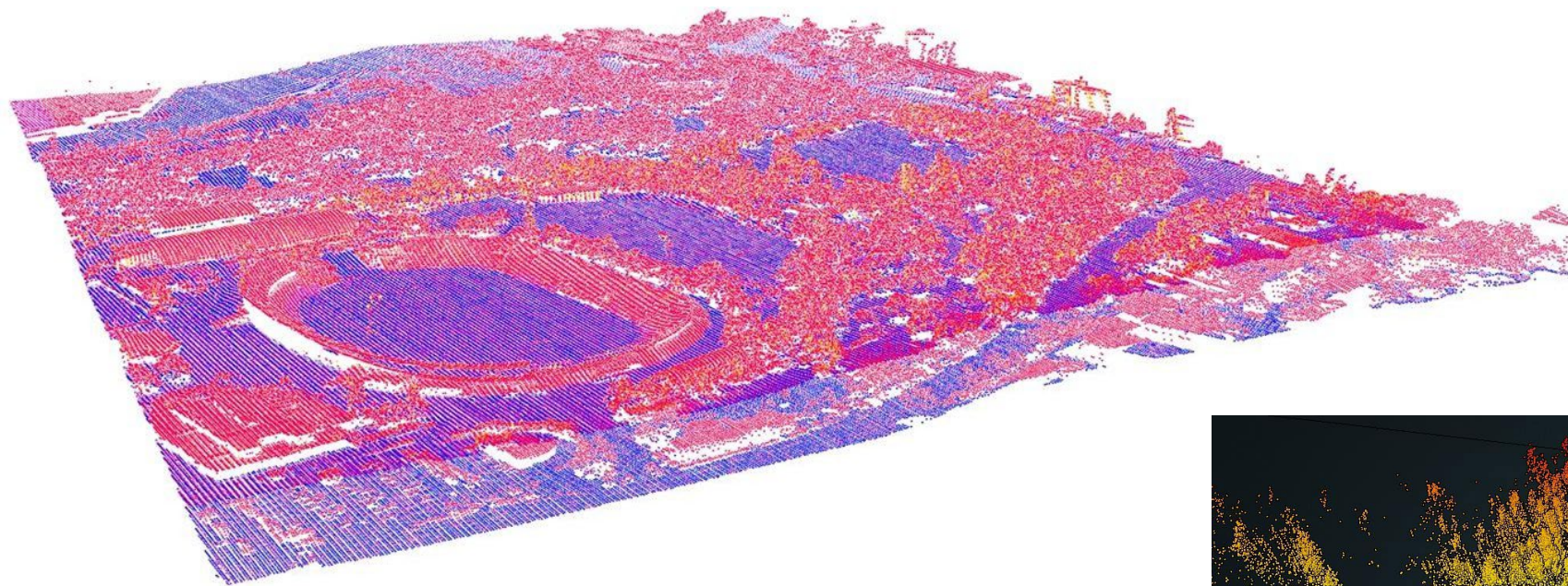
Filtrace objektů



Digitální model terénu

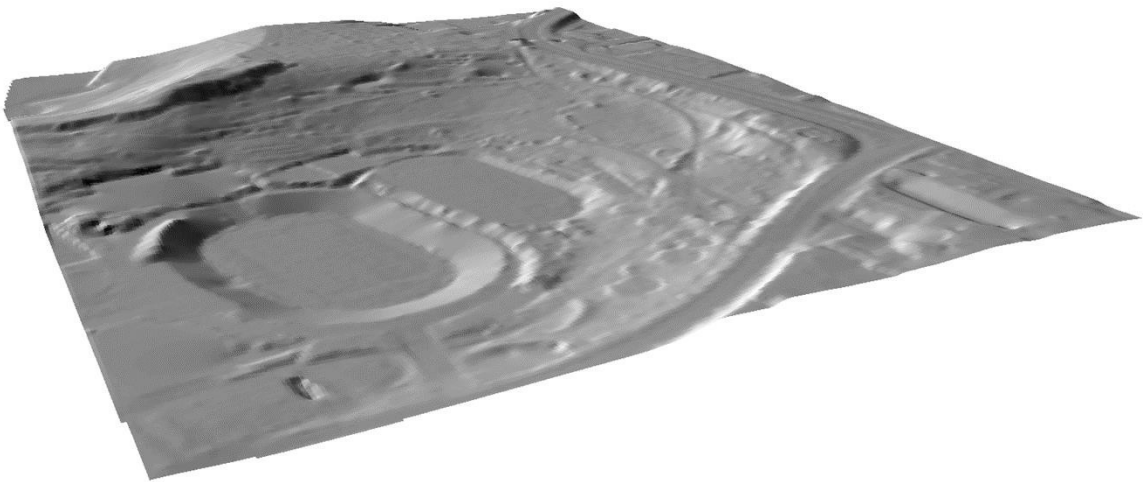
Zpracování dat

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



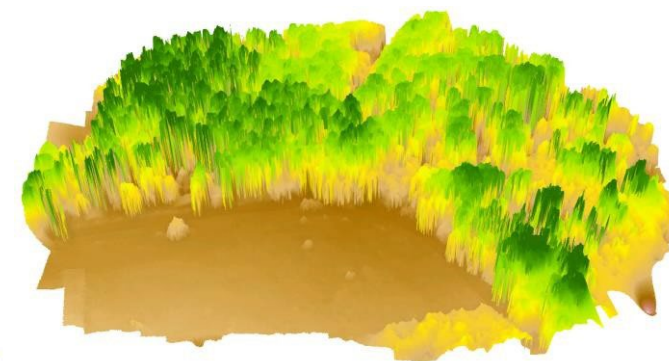
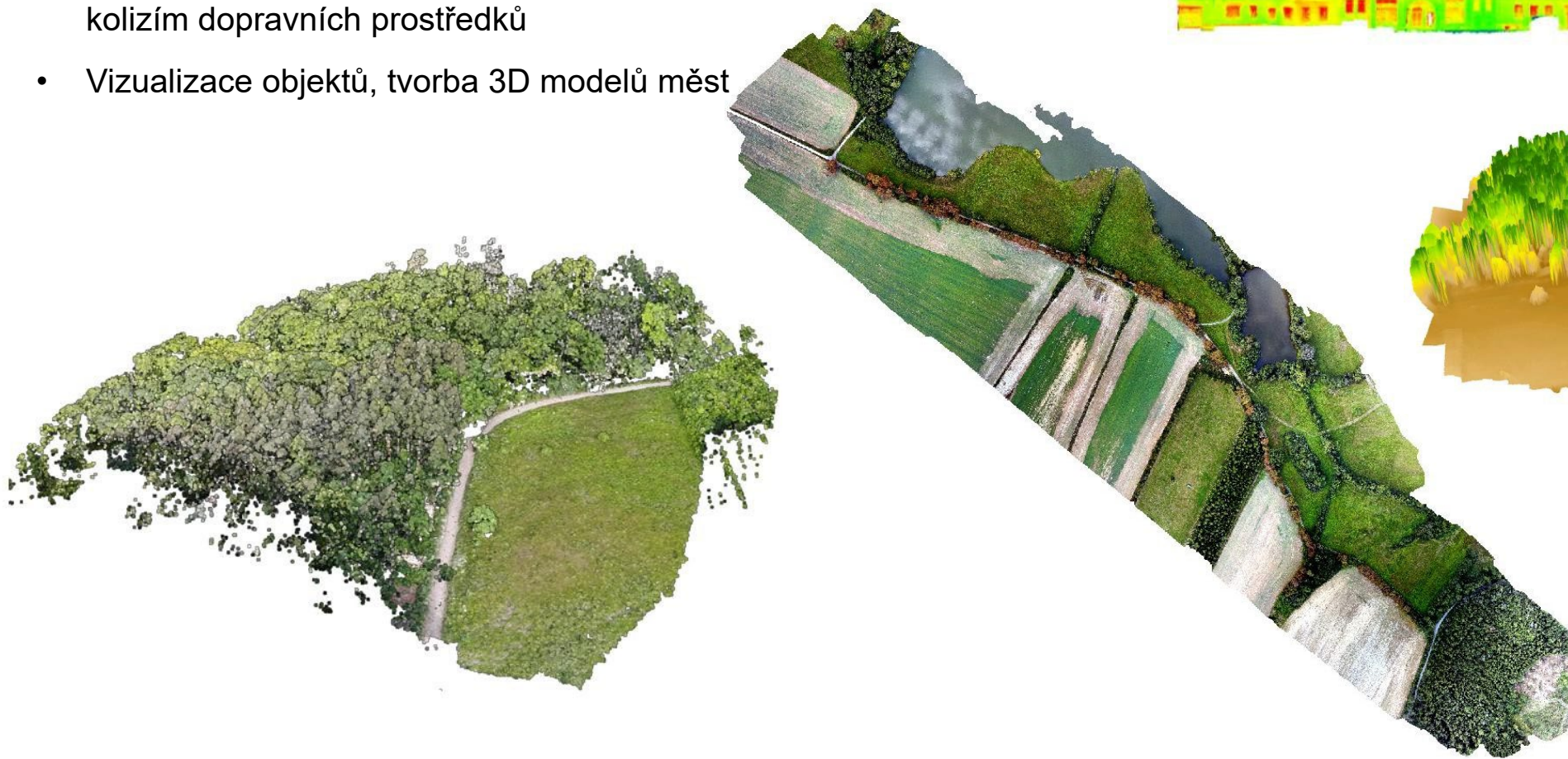
Zpracování dat

- 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.



Využití laserového 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 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 na kamerové a panoramatické skenery.

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.
- Kamerový systém se s výhodou uplatní při skenování vzdálených objektů.

Panoramatické skenery:

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



Ruční laserové skenování

- Nosičem skeneru je člověk, ale lze jej upevnit i na UAV.
- Již několik let jsou na trhu dostupné také malé laserové skenery, které je možné instalovat na drony s větší nosností a provádět tak laserové skenování z nižších výšek.
- Do nedávné doby byl však tento způsob sběru dat omezen, neboť pro vytvoření přesného výstupu v podobě tzv. mračna bodů je nutné paralelně měřit polohu dronu v čase pomocí inerciální navigace a GNSS s vysokou přesností. V lesním prostředí však často dochází k výpadku signálu, navíc přesné GNSS přístroje jsou velmi drahé.
- Řešením se stává využití nových pokročilých metod zpracování dat pomocí tzv. SLAM algoritmů, kdy jsou data vzájemně v průběhu sběru registrována na sebe na základě identifikace shodných objektů (např. rohů budov, kmenů, vrcholků stromů apod.). Tyto algoritmy jsou nezávislé na GNSS signálu a umožňují tak sběr dat i tam, kde není dostupný GNSS signál.



Rapid Scanning

Within minutes you can be collecting data with our [handheld LiDAR scanners](#), and our intelligent software can map a 3-storey building in just 10 minutes to an accuracy level of 15mm.



Go-anywhere mapping

The versatile 3D mapping laser technology is adaptable to any environment in all industries, especially complex and enclosed spaces, without the need for GPS.



Saving time & money

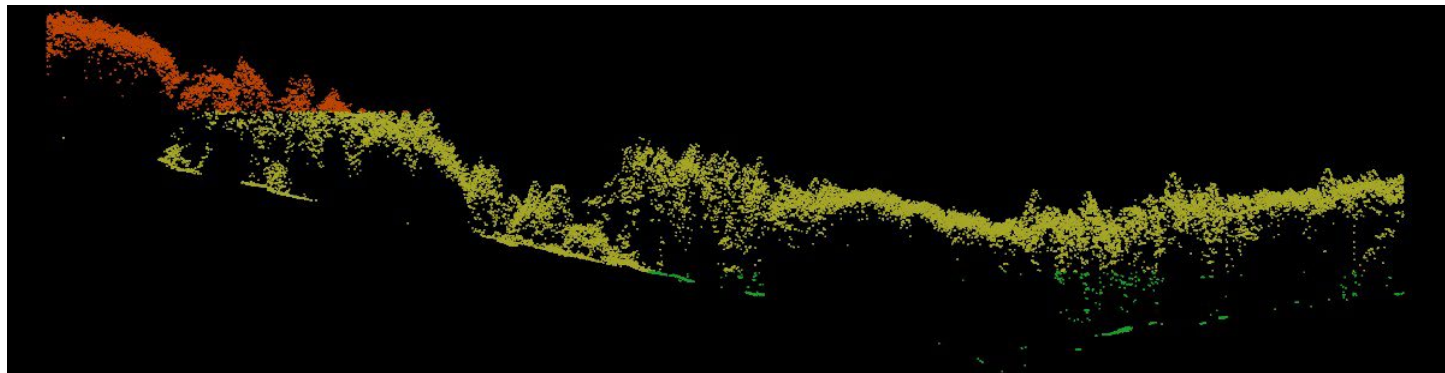
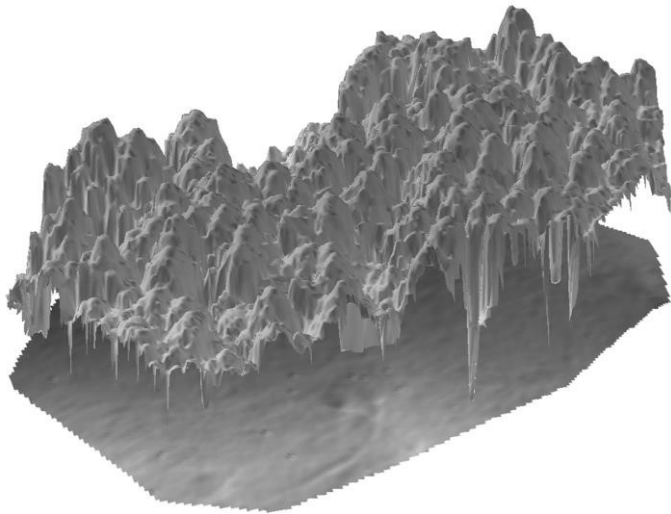
You can capture and model complex data up to 10 times faster, enabling you to successfully complete projects in minimum time with little or no disruption at the project site.

Ruční laserové skenování



Modelování DMT a DMP

- Na základě klasifikace a filtrace dat získáme přesný model terénu a 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 objem dřevní hmoty jsou zjišťovány na základě statistických a empirických analýz
- 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).
- Například nejčastěji zjišťovaný parametr – výška – kolísá v rozsahu od 1 do 5 metrů, výčetní tloušťka od 0,025 do 0,10 metru a objem dřevní hmoty od 5 do 35 %.
- Inventarizace lesa z dat leteckého laserového skenování je prakticky rozšířena v severských zemích, kde má již dlouhou historii. 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)

Inventarizace lesa

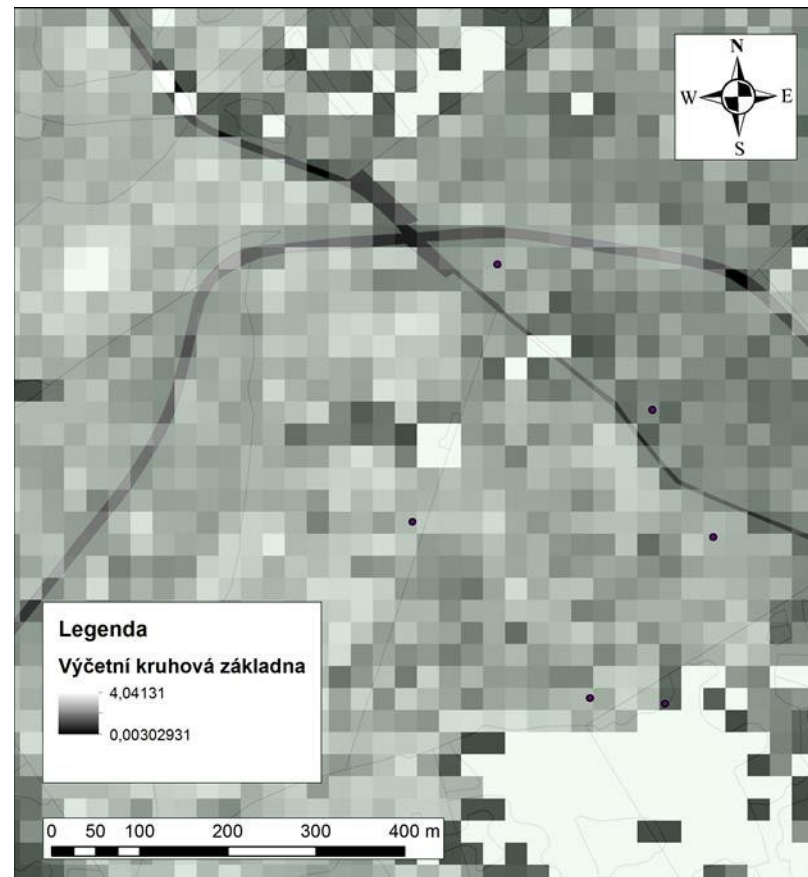
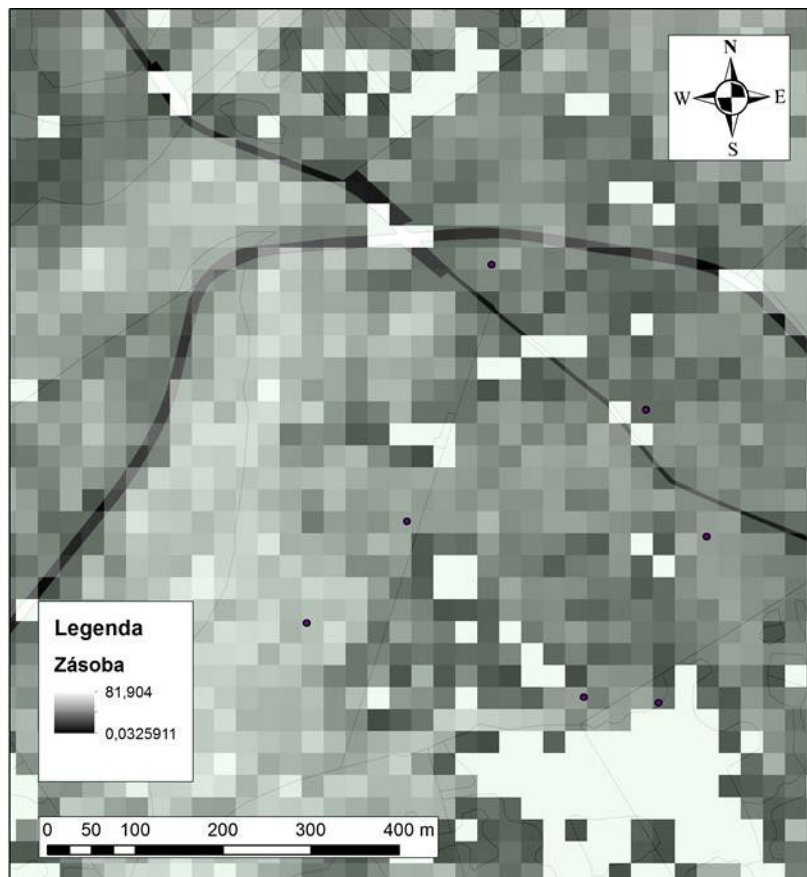
ITD – Individual tree detection method

- Základním principem této metody je detekce jednotlivých stromů a zjišťování výšky přímo z mračna nebo výškového modelu korun, výčetní tloušťka a objem kmene pak na základě regresních modelů (modely výška-tloušťka).
- 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 dat na předem stanoveném počtu ověřovacích ploch. Výhodou je až třikrát nižší potřebný počet ploch a tím finanční a časová úspora.
- Proces implementace technologie LLS bude vyžadovat také změnu legislativy v oblasti lesnicko-hospodářského plánování na úrovni tvorby LHP a LHO.

Plošný odhad zásob a výčetní kruhové základny



Národní produkty z dat leteckého laserového skenování

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 neohrazené (lesy a další prvky rostlinného půdního krytu)

Proč existují pravidla pro létání s drony

 **Dron je letadlo, ne hračka.**

Ve vzduchu sdílí prostor s letadly, vrtulníky i záchranáři.

Pravidla pomáhají chránit **bezpečnost, majetek i soukromí.**

Každý pilot je **zodpovědný** za svůj let.

 **Mýtus:** „Když mám malý dron, nic se nestane.“

 **Fakt:** I malý dron může spadnout, poškodit auto nebo ohrozit lidi.

 *Vizuál:* dron, vrtulník a člověk na louce, symbol varování 

Kdo dohlíží na drony v Česku

Všechna pravidla vznikají na úrovni **Evropské unie (EASA)**.

V Česku je prosazuje **Úřad pro civilní letectví (ÚCL)**.

Stejná pravidla platí **ve všech zemích EU**.

Informace pro veřejnost: www.caa.cz/drony

💬 **Mýtus:** „Každá země má svá vlastní pravidla.“

☑ **Fakt:** V EU platí jednotný systém – stačí dodržovat českou legislativu.

Tři kategorie létání (A1, A2, A3)

Tři kategorie létání (A1, A2, A3)

A1 – Nad lidmi: malé drony do 250 g (např. DJI Mini).

A2 – Blízko lidí: větší drony do 4 kg, nutná písemná zkouška na ÚCL.

A3 – Daleko od lidí: létání mimo obce, v poli nebo lese. Drony do 20 kg

Vždy dodržovat výšku do **120 m** a mimo zakázané zóny.

💬 **Mýtus:** „S malým dronem můžu kamkoliv.“

☑ **Fakt:** I pro nejmenší drony platí omezení a bezpečné vzdálenosti.



Registrace a test pilota

Každý dron s kamerou nebo hmotností nad 250 g → **registrace**.

Test A1/A3 je **zdarma a online** na drony.caa.cz.

Po registraci získáte **číslo provozovatele (UAS ID)** – to se napíše na dron.

Doporučeno: **pojištění odpovědnosti**.

💬 **Mýtus:** „Test je jen pro profesionály.“

☑ **Fakt:** Test obsahuje jednoduché otázky o bezpečnosti, zvládne ho každý.

Registrace a test pilota

Každý dron s kamerou nebo hmotností nad 250 g → **registrace**.

Test A1/A3 je **zdarma a online** na drony.caa.cz.

Po registraci dostaneš **číslo provozovatele (UAS ID)** – to se napíše na dron.

Doporučeno: **pojištění odpovědnosti**.

💬 **Mýtus:** „Test je jen pro profesionály.“

☑ **Fakt:** Test obsahuje jednoduché otázky o bezpečnosti, zvládne ho každý.

Kde se nesmí létat

Zakázané zóny: **letišťe, vojenské oblasti, elektrárny, záchranné akce, chráněné oblasti**

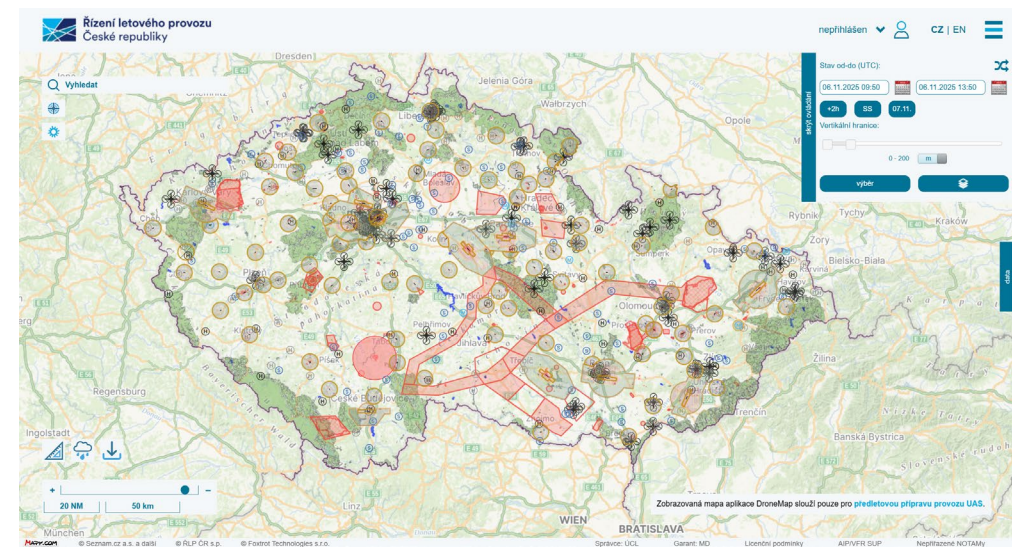
Nad lidmi a městy pouze s povolením.

Přehlednou mapu najdete na dronview.rlp.cz.

Vždy sledovat počasí, vítr a viditelnost.

💬 **Mýtus:** „Když tam není zákaz, můžu letět.“

✅ **Fakt:** Pilot musí sám zkontrolovat, jestli je oblast povolená.



Ochrana soukromí a zodpovědné chování

Nefotografovat a nenatáčet **cizí lidi bez souhlasu**.

Nahrávky cizích domů a zahrad **nesdílet veřejně**.

Respektovat **GDPR a pravidla slušnosti**.

Užívej si létání – ale vždy s ohledem na ostatní.

💬 **Mýtus:** „Když točím pro zábavu, GDPR neplatí.“

☑ **Fakt:** Pravidla ochrany soukromí platí pro všechny piloty.

UAV – rozdělení

Na základě konstrukce to mohou být:



- s pevnými křídly (fixed wing)

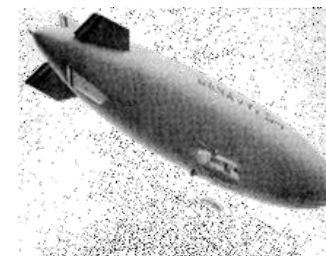


- s rotujícími křídly (rotorcraft)



- s mávajícími křídly (flapping Wing)

- heliostaty (upoutané balony a vzducholodě)



- padákové



DJI Matrice 350 RTK (M350)

⚙️ Technické parametry

Dolet: až **55 minut**, max. vzdálenost 20 km

Nosnost: **2,7 kg**

Přesnost RTK: **± 1 cm + 1 ppm (horizontálně)**

Odolnost: IP55, let do 7000 m n. m.



Senzor	Model	Účel
RGB kamera	DJI Zenmuse P1 (45 MP, plnoformát)	Fotogrammetrie, ortofoto, CHM
LiDAR skener	DJI Zenmuse L2	3D mračno bodů, DTM/DSM, výšková analýza
Termální kamera	Zenmuse H20T / XT2	Tepelné mapy, detekce zvířat, požáry
Multispektrální kamera	MicaSense Altum-PT	Vegetační analýzy, NDVI, zdraví porostu

senseFly eBee Plus

Rozpětí křídel: 110 cm

Max. doba letu: 59 min

Hmotnost: 1,1 kg

Dosah radiového spojení: 3 km

Cestovní rychlost: 40–110 km/h

Odolnost proti větru: až 45 km/h

Nominální pokrytí při výšce 120 m: 220 ha

RTK/PPK: nejsou vyžadovány GCP body

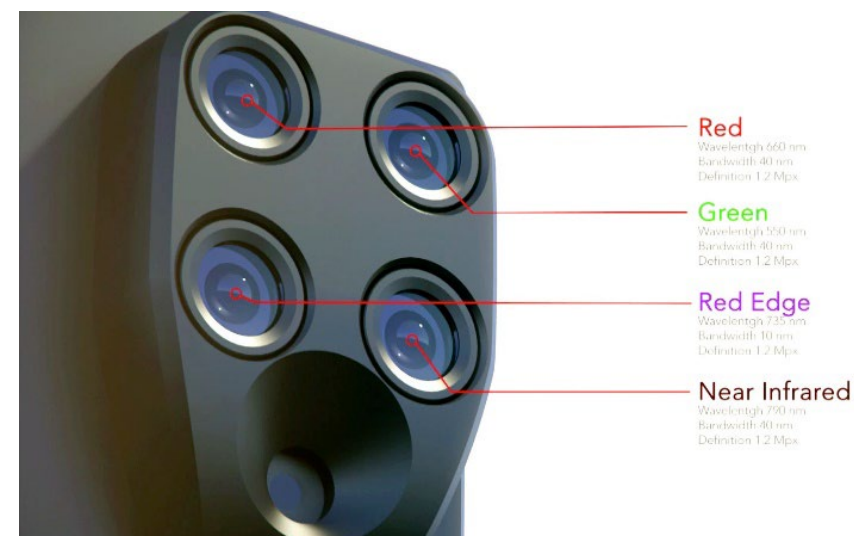
Přesnost: až 3 cm

Parrot Sequoia:

čtyři 1,2 Mpx spektrální kamery,

jedna 16 Mpx RGB kamera,

senzor slunečního záření orientovaný vzhůru.



DJI Mavic 3 Enterprise (Mavic 3E)

⚙️ Technické parametry

Hmotnost: 915 g

Doba letu: až **45 minut**

Kamera: **4/3 CMOS (20 MP)**, mechanická závěrka

Přesnost RTK (s modulem): ± 3 cm

Dosah: až 15 km

🎯 Použití

Ortofotomapy a 3D modely malých území

Monitoring plodin, regenerace lesa, inventarizace stromů

Rychlé mapování menších oblastí do 100 ha

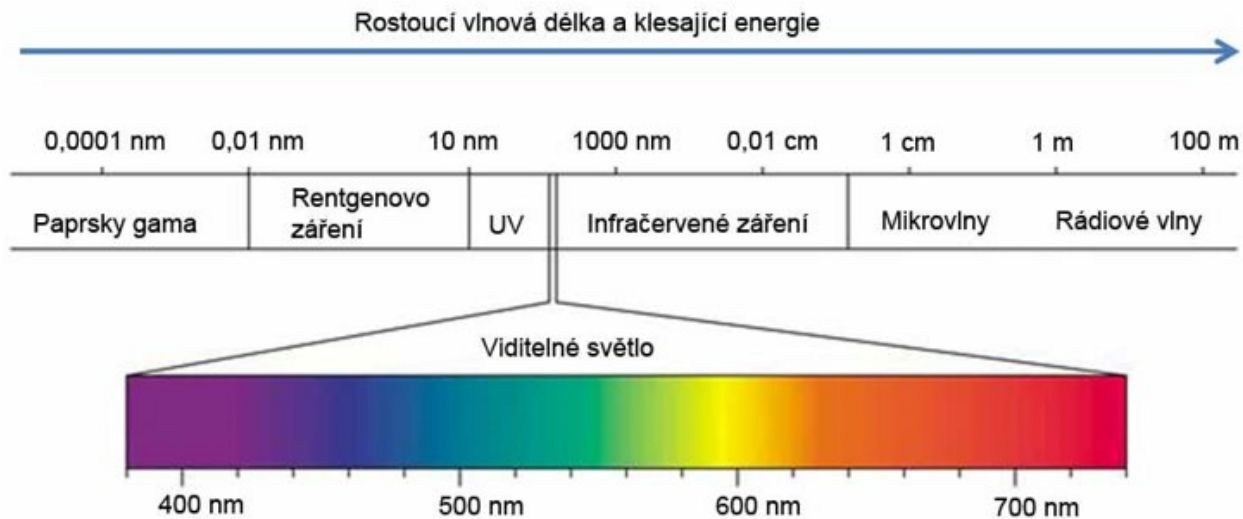


Primoco One 150

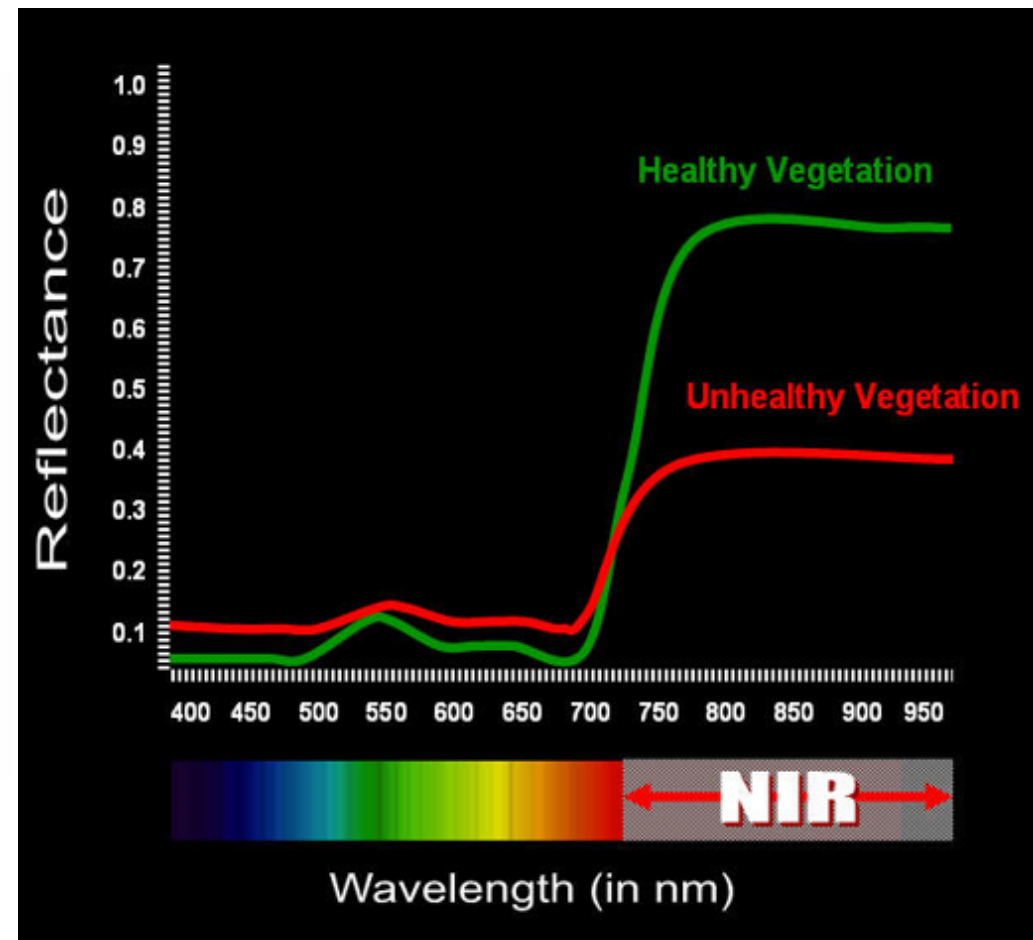
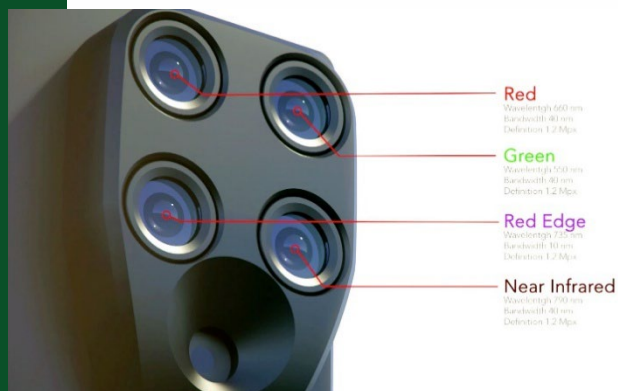
https://youtu.be/Sxcoh29-75M?si=gN4w6fUQ_sQ5Drr

Spektrální chování vegetace

Multispektrální vs. hyperspektrální data



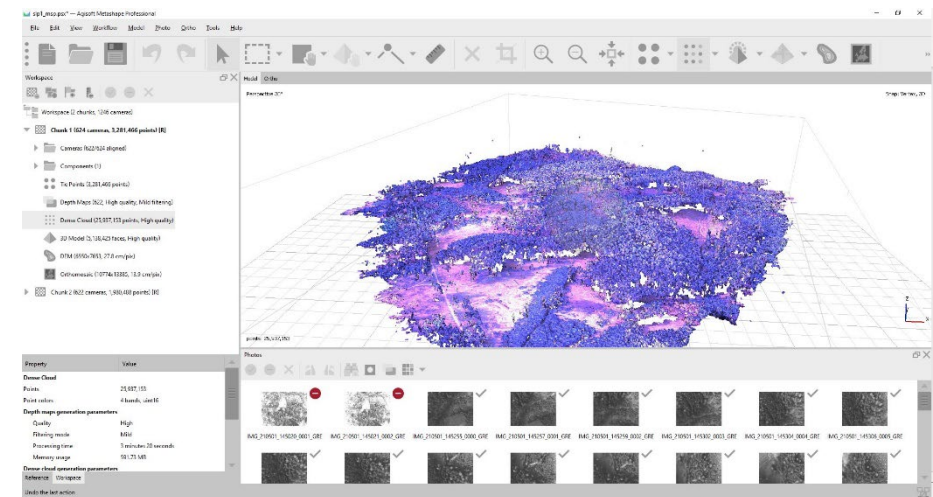
Obr. Elektromagnetické spektrum





Agisoft Metashape

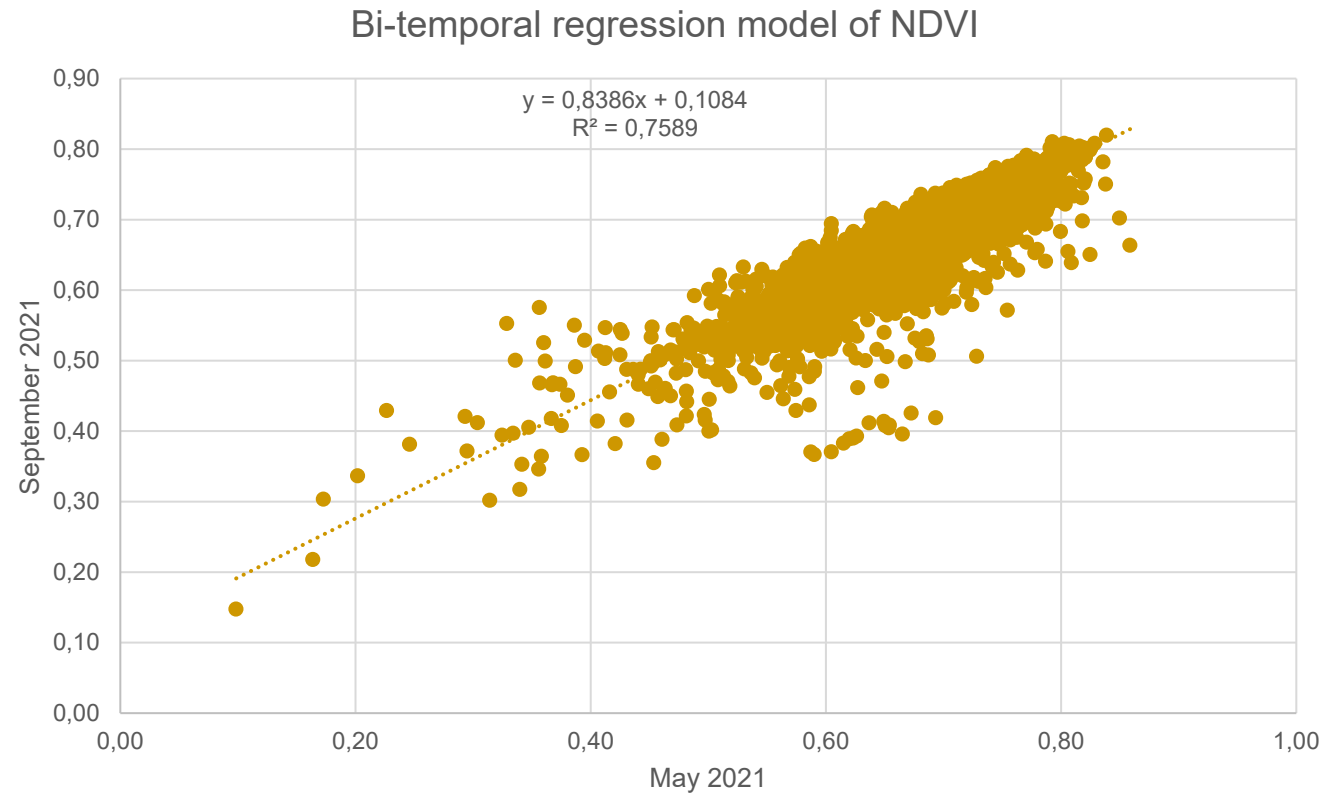
- Import zpřesněných souřadnic snímků
 - VRS z CZEPOS – 3 cm přesnost
- Radiometrická kalibrace pomocí kalibračního terče and světelného senzoru
- Obecný postup– Align Photos, Build Dense Cloud, Build DEM, Build Orthomosaic
- Výsledná data – DSM, multispektrální ortofoto, NDVI, NDRE



Multi- nebo bi-temporální regresní model spektrálního chování vegetace

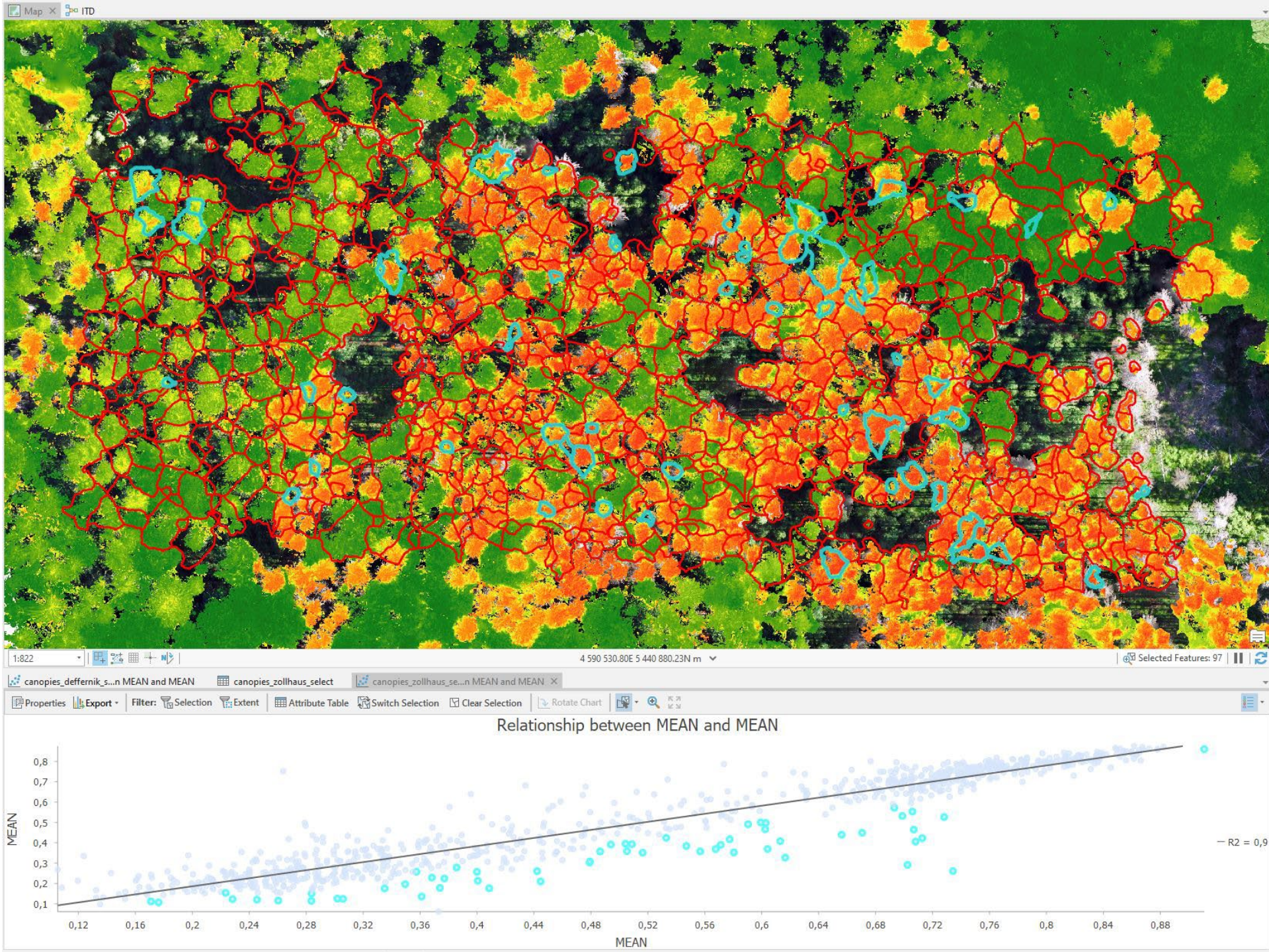
Adaptováno z metody využívané pro satelitní snímky (Abdullah et al. 2019, Fernandez-Carrillo et al., 2020)

- x (nezávislá proměnná) první dataset in časové řadě, y (závislá proměnná) další dataset v časové řadě
- Rezidua modelu reprezentují napadené stromy



Abdullah, H.; Skidmore, A.K.; Darvishzadeh, R.; Heurich, M. Sentinel-2 accurately maps green-attack stage of European spruce bark beetle (*Ips typographus*, L.) compared with Landsat-8. *Remote Sens. Ecol. Conserv.* 2019, 5, 87–106.

Fernandez-Carrillo, A.; Patočka, Z.; Dobrovolný, L.; Franco-Nieto, A.; Revilla-Romero, B. Monitoring Bark Beetle Forest Damage in Central Europe. A Remote Sensing Approach Validated with Field Data. *Remote Sens.* 2020, 12, 3634.



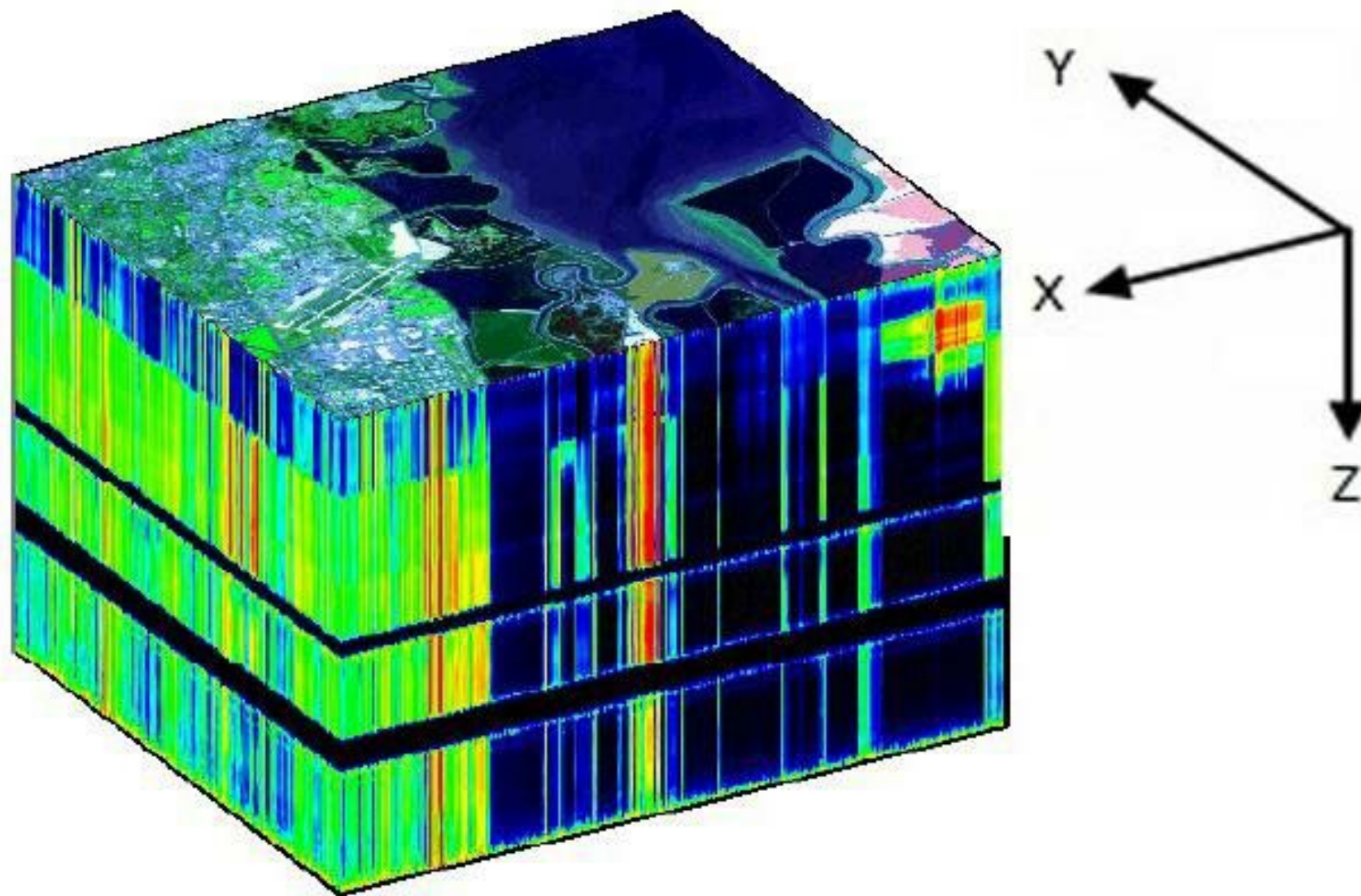
Zollhaus

- negative residues

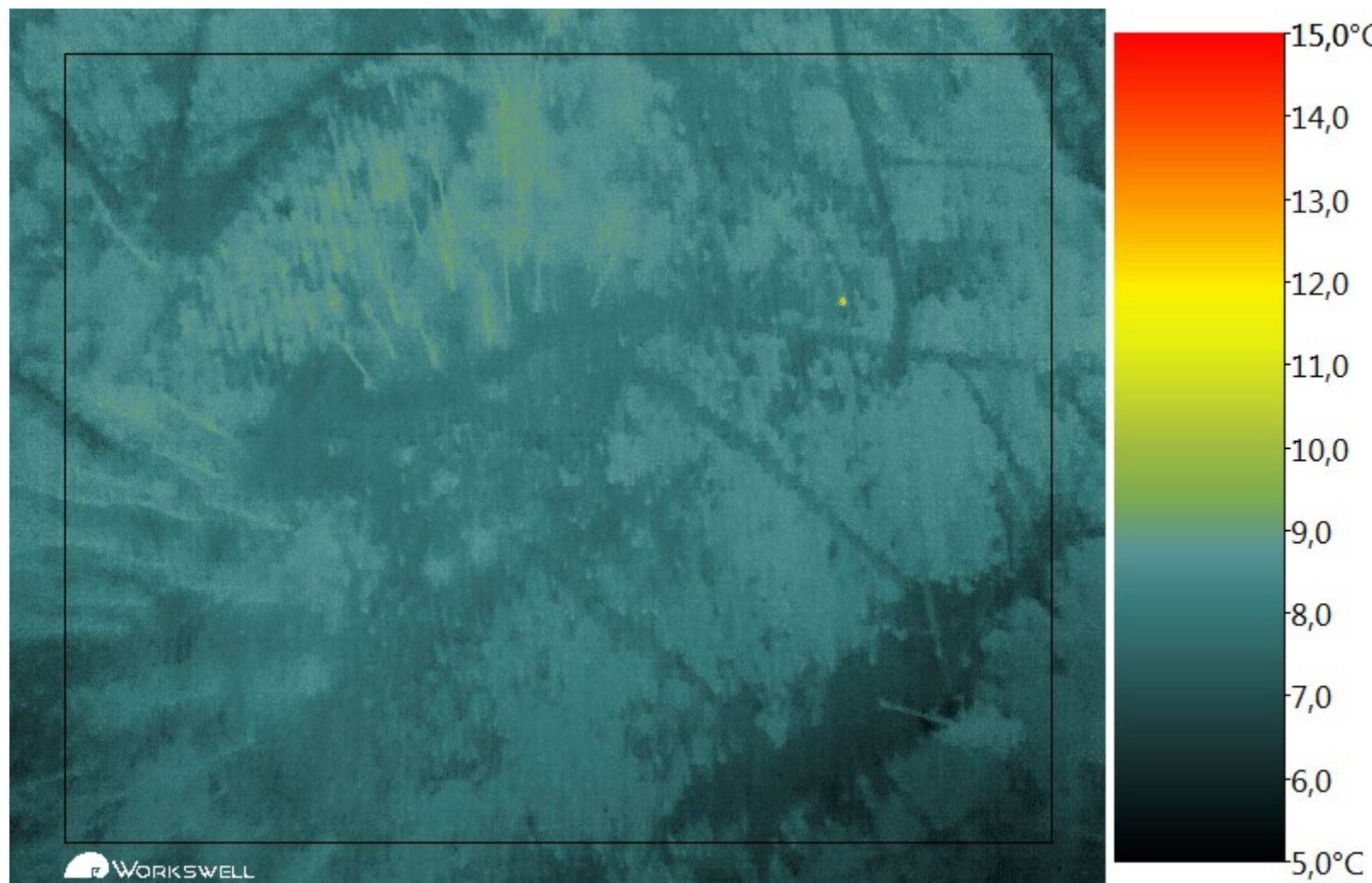
Hyperspektrální snímkování



Hyperspektrální data



Termální snímkování



<https://enterprise.dji.com/zenmuse-h30-series?site=enterprise&from=nav>

- MENDELU
- Lesnická
- a dřevařská
- fakulta

Fotogrammetrie

- vědní disciplína, která se zabývá **zpracováním informací získaných z fotografických snímků**
získávání **3D informací o terénu a objektech**



Středová projekce



Ortogonální projekce

Ortorektifikace – transformace do ortogonální projekce

Digital photogrammetry

- **Algoritmus Structure from Motion (SfM)** – zobrazovací metoda založená na **odhadování trojrozměrné struktury z dvojrozměrné sekvence snímků**.
Inspirace **biologickým zrakem** – detekce 3D struktury z 2D obrazu pomocí pohybu kolem objektu nebo pohybu v zobrazované scéně.
Obvykle se používá **70 % podélné a 60 % příčné překrytí snímků**,
v případě **lesů a husté vegetace** se doporučuje **85 % podélné i příčné překrytí**.

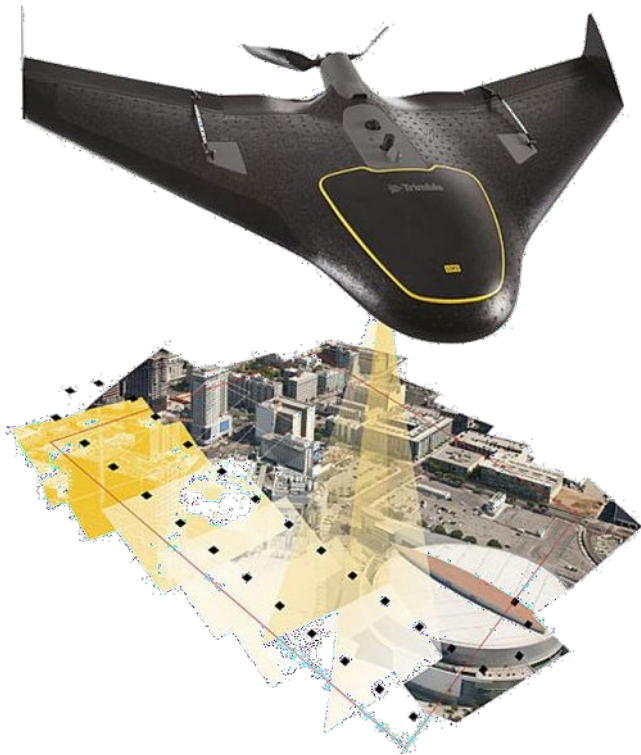


Kombinace letecké a pozemní fotogrammetrie



UAV (RPA) – obecná definice

- Bezpilotní letoun, dálkově pilotovaný létající systém (**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.



Fotogrammetrie

- podobně jako v případě laserového skenování rozdělujeme na:
 - leteckou
 - pozemní
- v běžném fotografickém snímku není možné měřit vzdálenosti kvůli tzv. radiální distorzi snímků (jiné vzdálenosti jsou ve středu a jiné na okraji snímku, stromy na krajích snímku vybíhají směrem k okrajům snímku, ve středu snímku směřují kolmo k fotoaparátu)
- fotografické snímky je nutné převést z tohoto středového promítání na promítání pravoúhlé (ortogonální)
- během snímkování je nutné zajistit dostatečné překryvy snímků
 - u digitální fotogrammetrie alespoň 80% v rámci řady, 60% mezi řadami, v zalesněné oblasti lépe 80%-85% i mezi řadami
- Pro zpracování se využívá nyní algoritmus Structure from Motion
- **Zpracování**
 - vyhledání identických bodů ve snímcích, tzv. klíčové a vazací body, výsledkem je mračno těchto bodů
 - mračno se dále zahustí a interpoluje do podoby digitálního modelu povrchu
 - pomocí tohoto modelu se pak jednotlivé snímky překreslí do ortogonálního promítání a spojí do mozaiky, výstupem je ortofoto mozaika

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 snímků 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)

Porovnání fotogrammetrie a laserové skenování

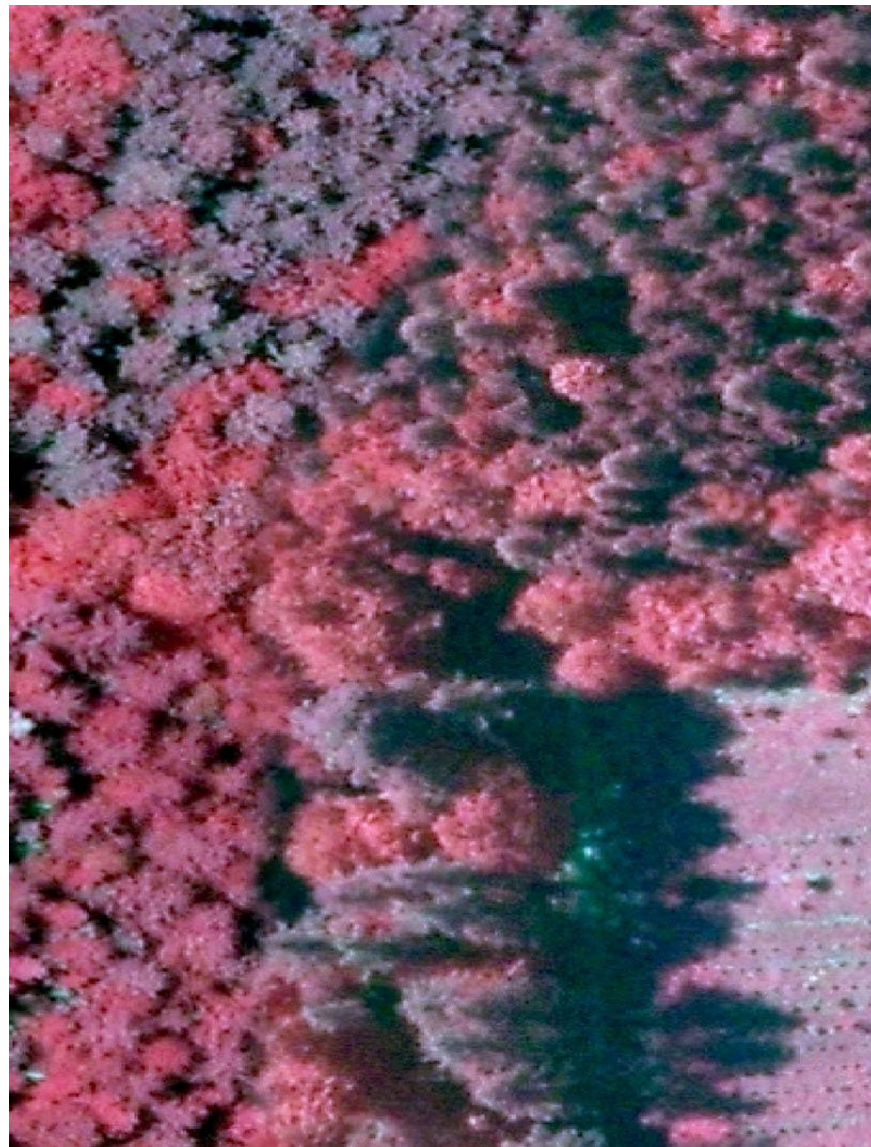
Fotogrammetrie

- 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

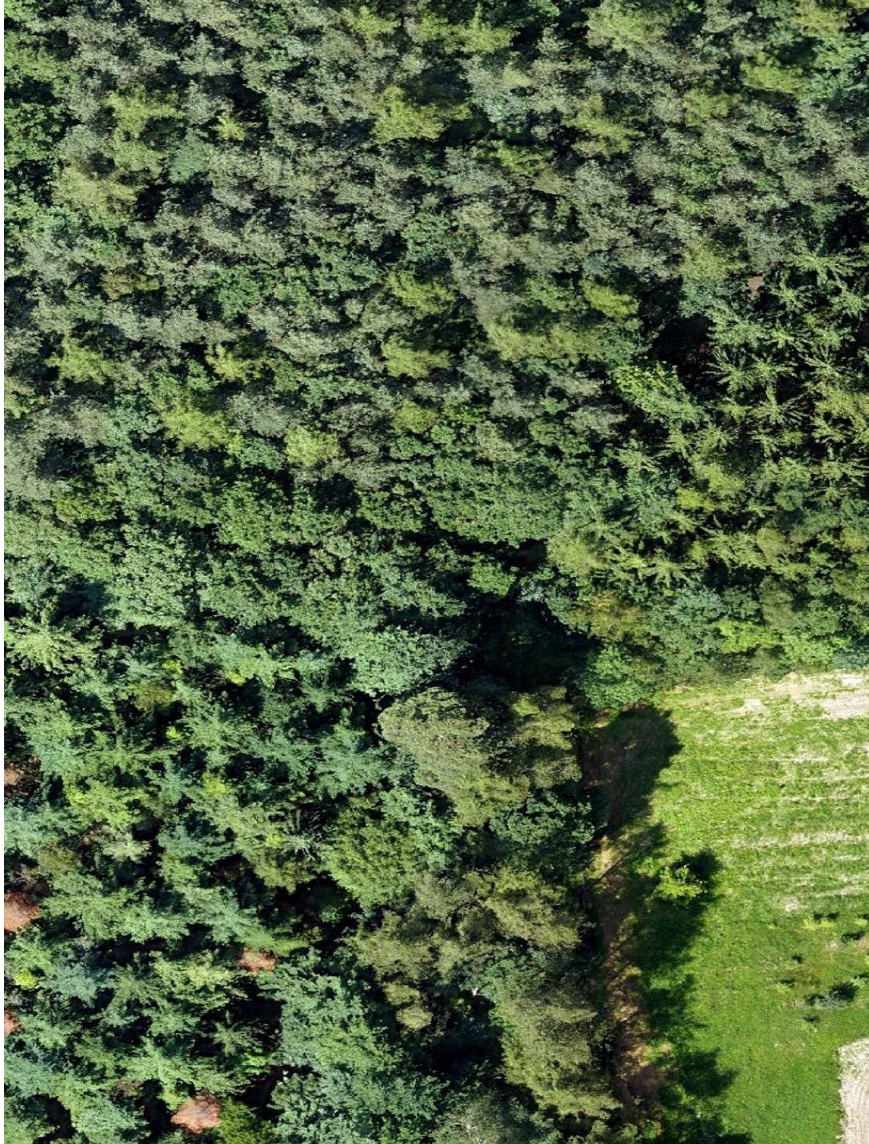
Laserové skenování

- 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

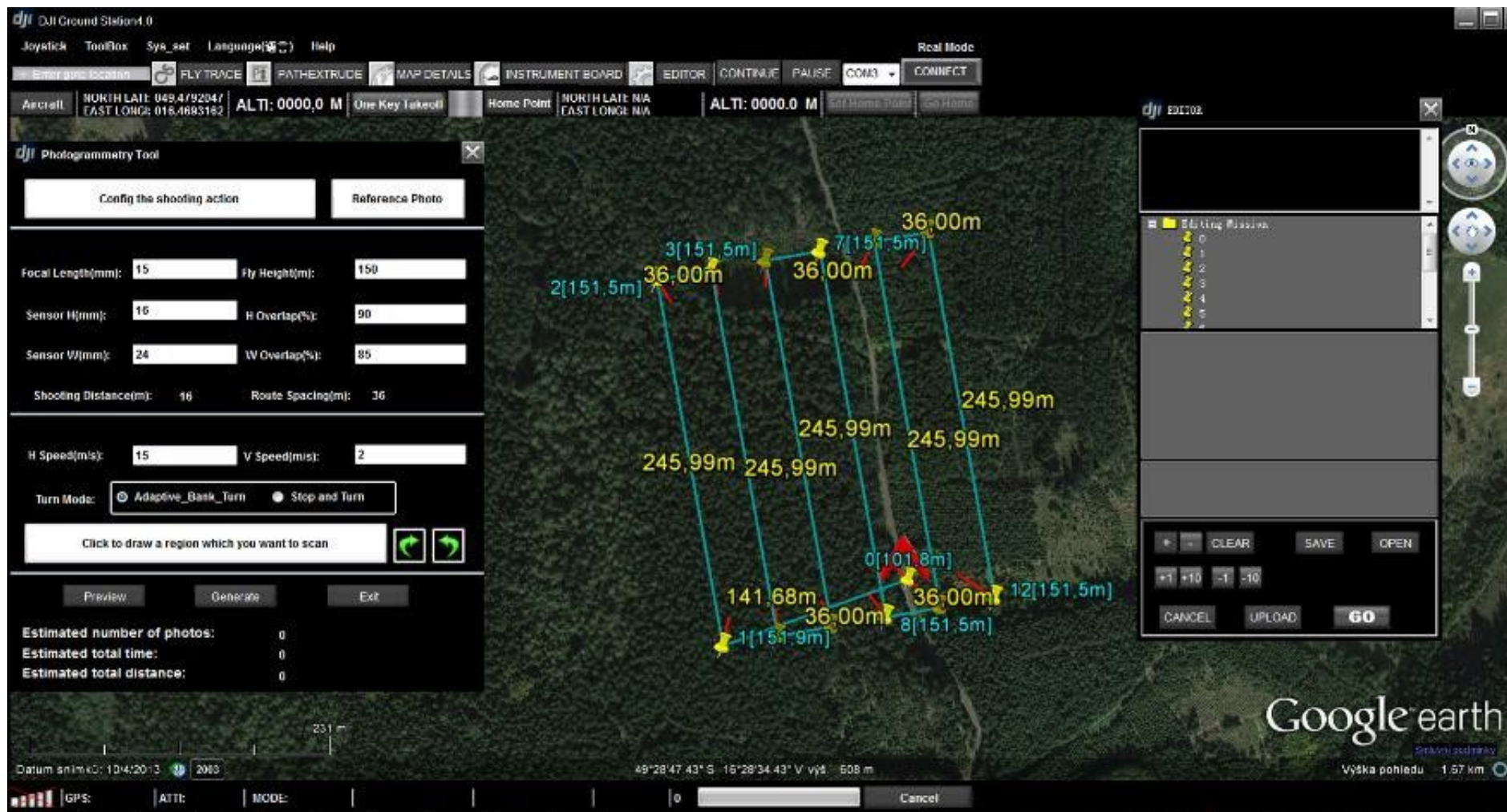
Porovnání různých zdrojů dat – konvenční letecký snímek



Porovnání různých zdrojů dat – UAV

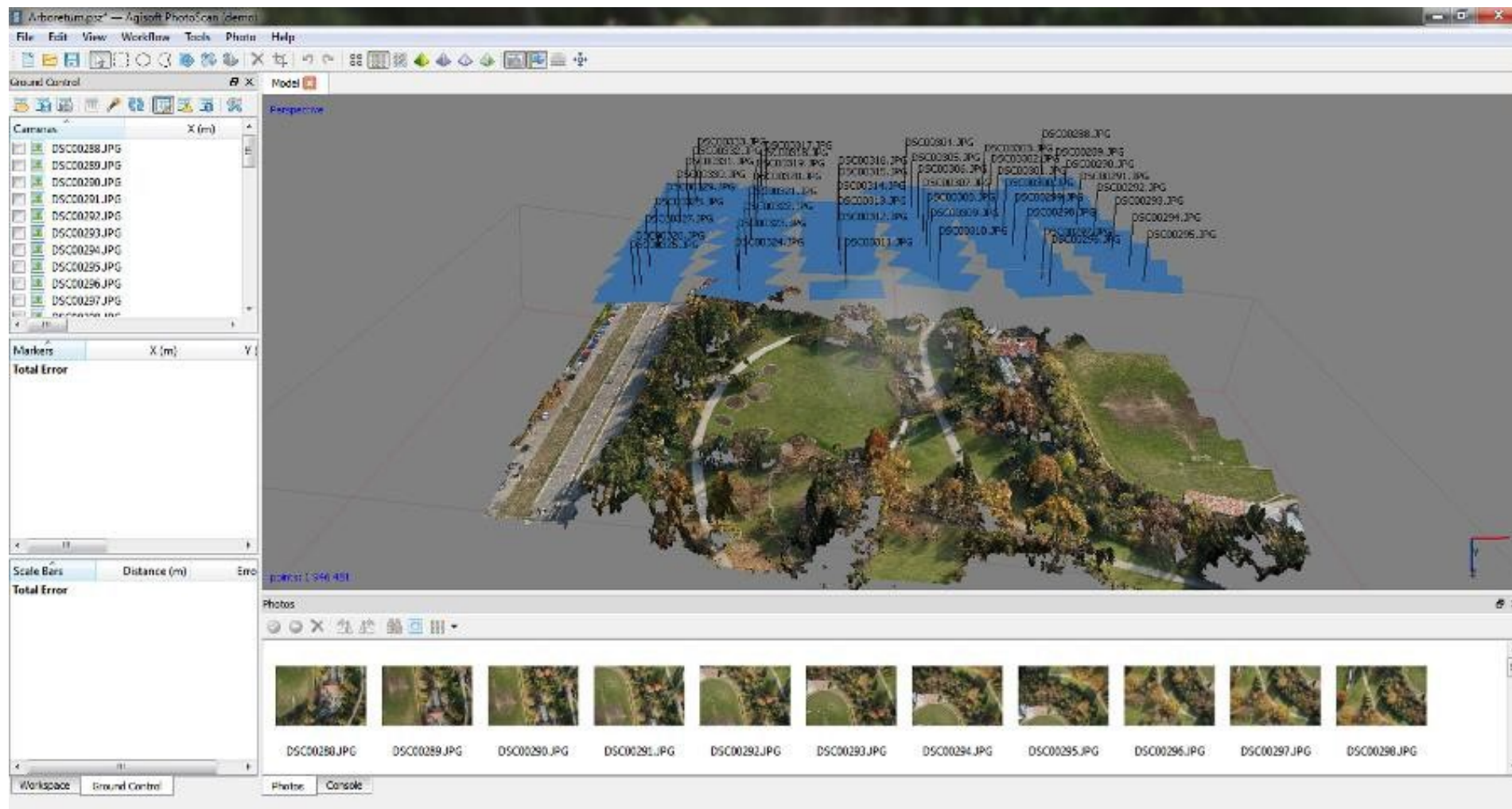


Příprava terénní mise s UAV

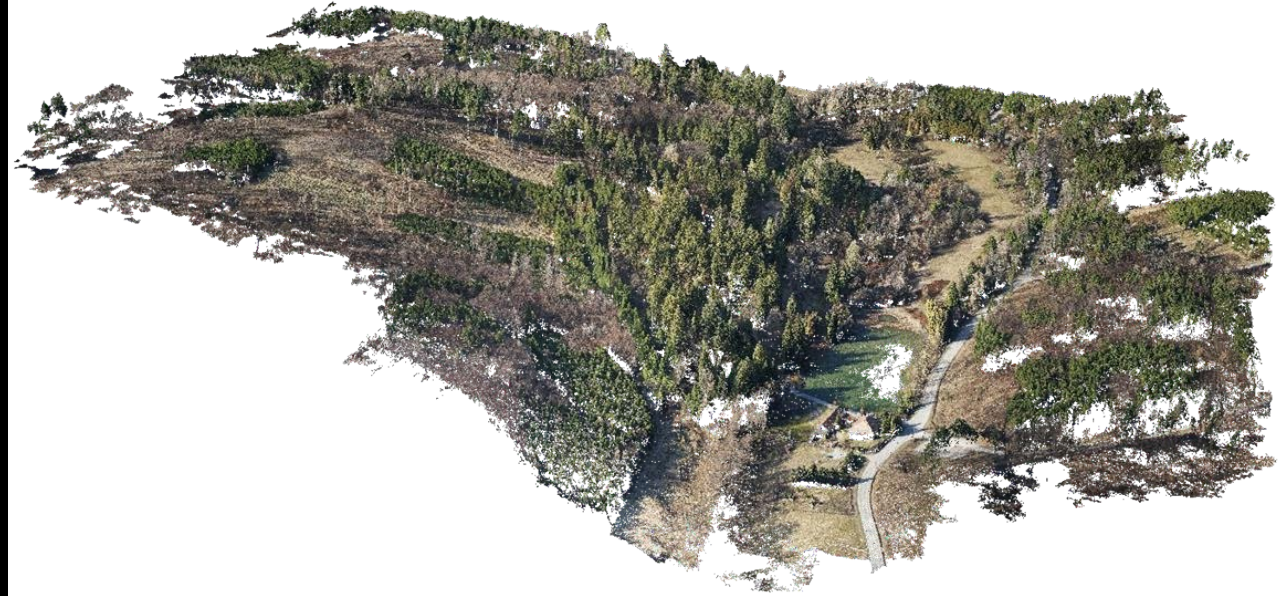


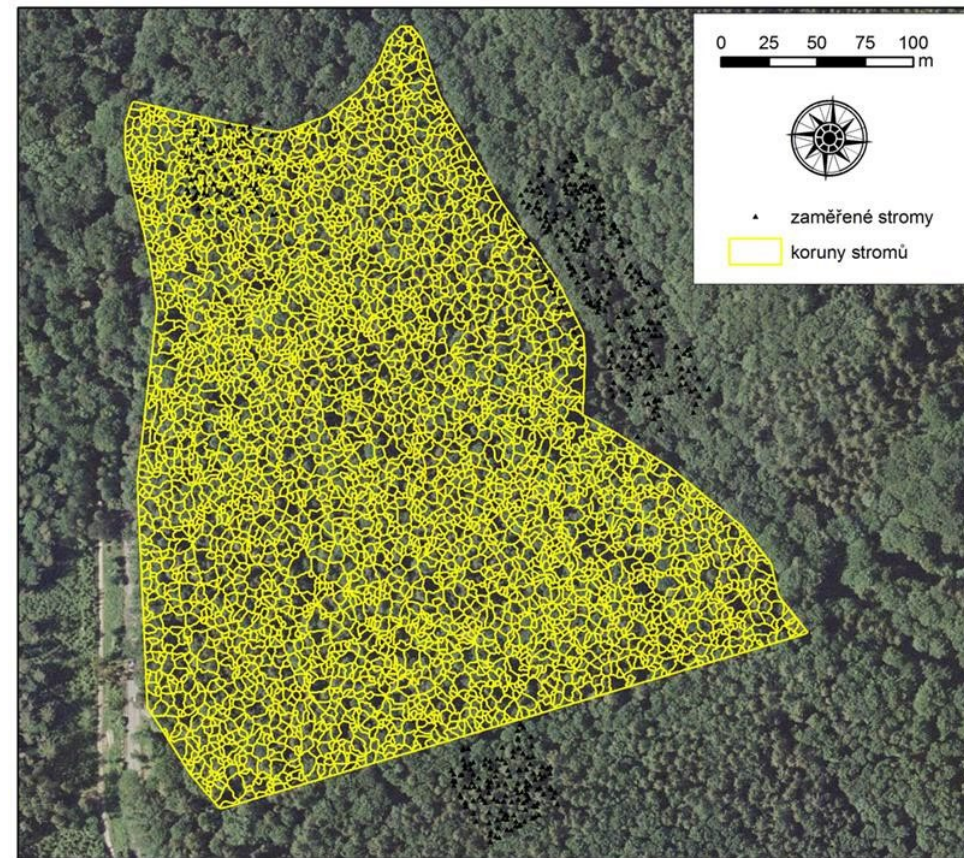
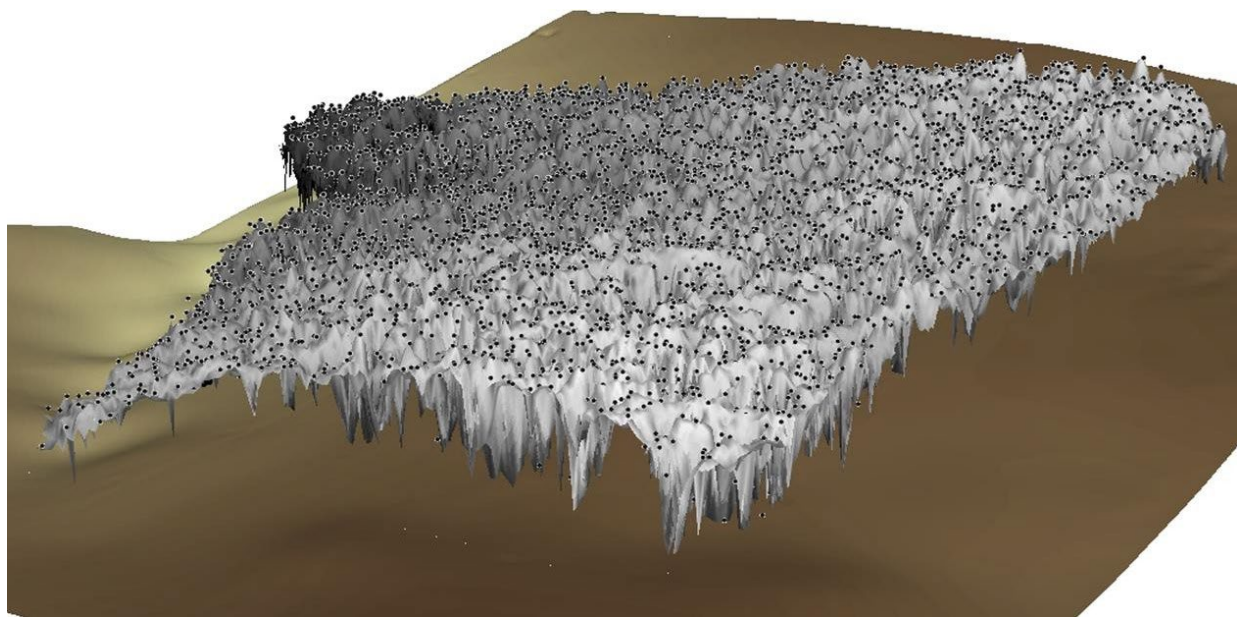
Zpracování obrazových dat

SW Agisoft PhotoScan:



Výstupy:

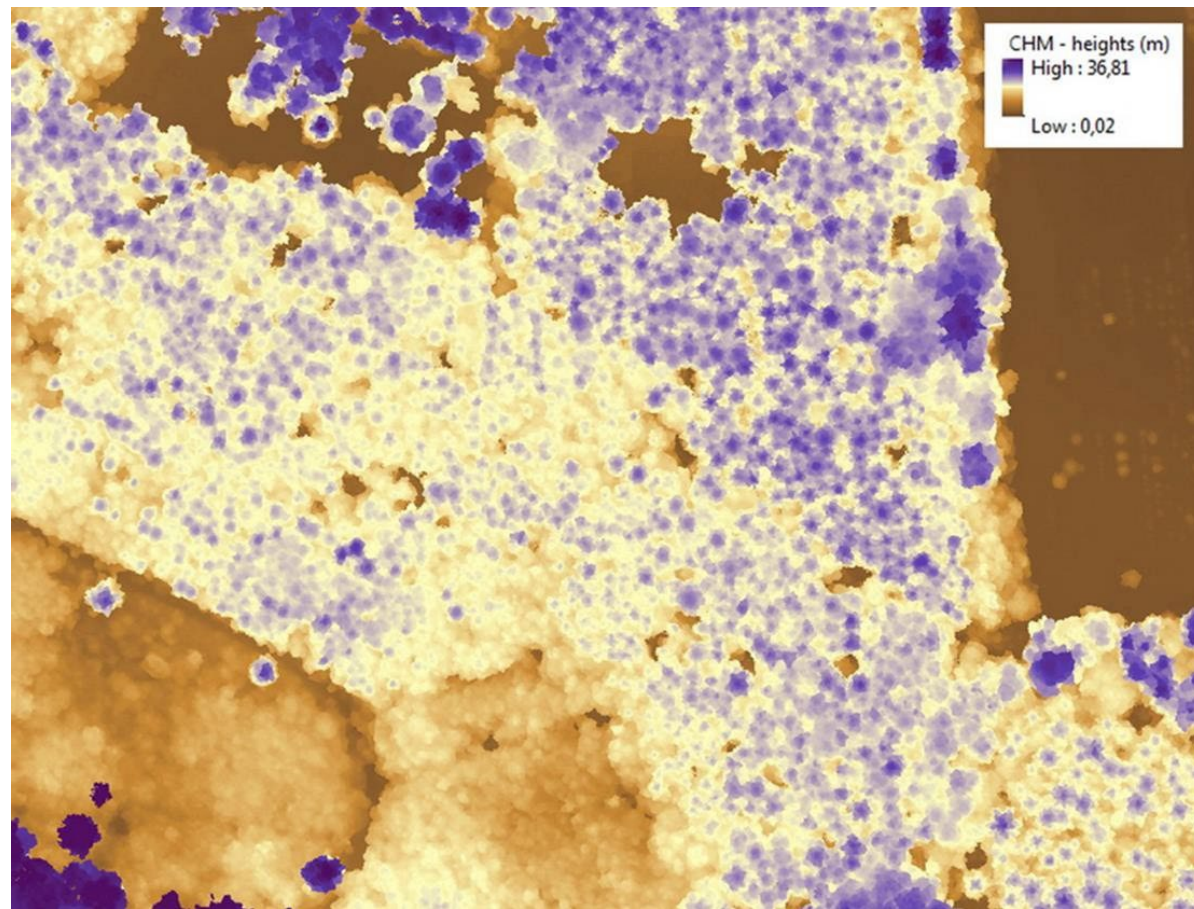




Detekce stromů a jejich výšek z dat UAV

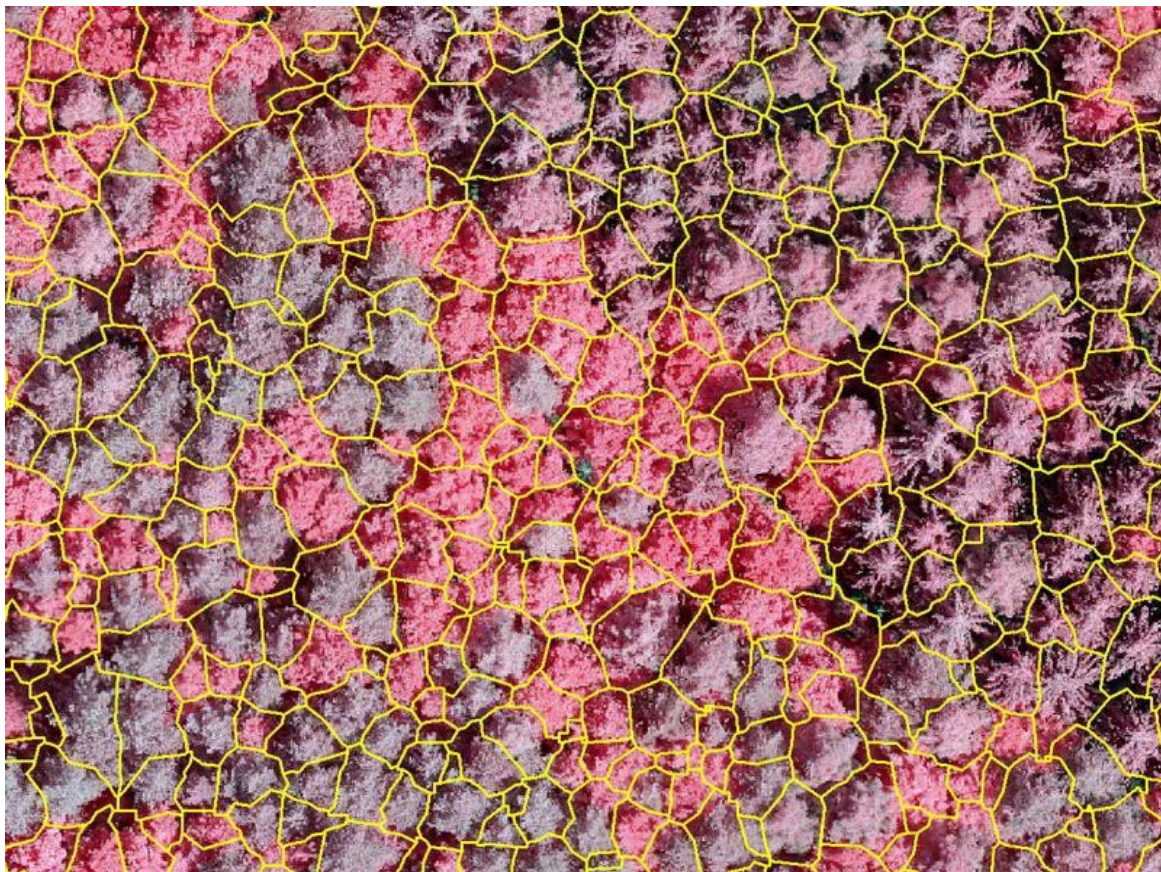


CIR Ortofoto



Canopy Height Model

Detekce stromů a jejich výšek z dat UAV

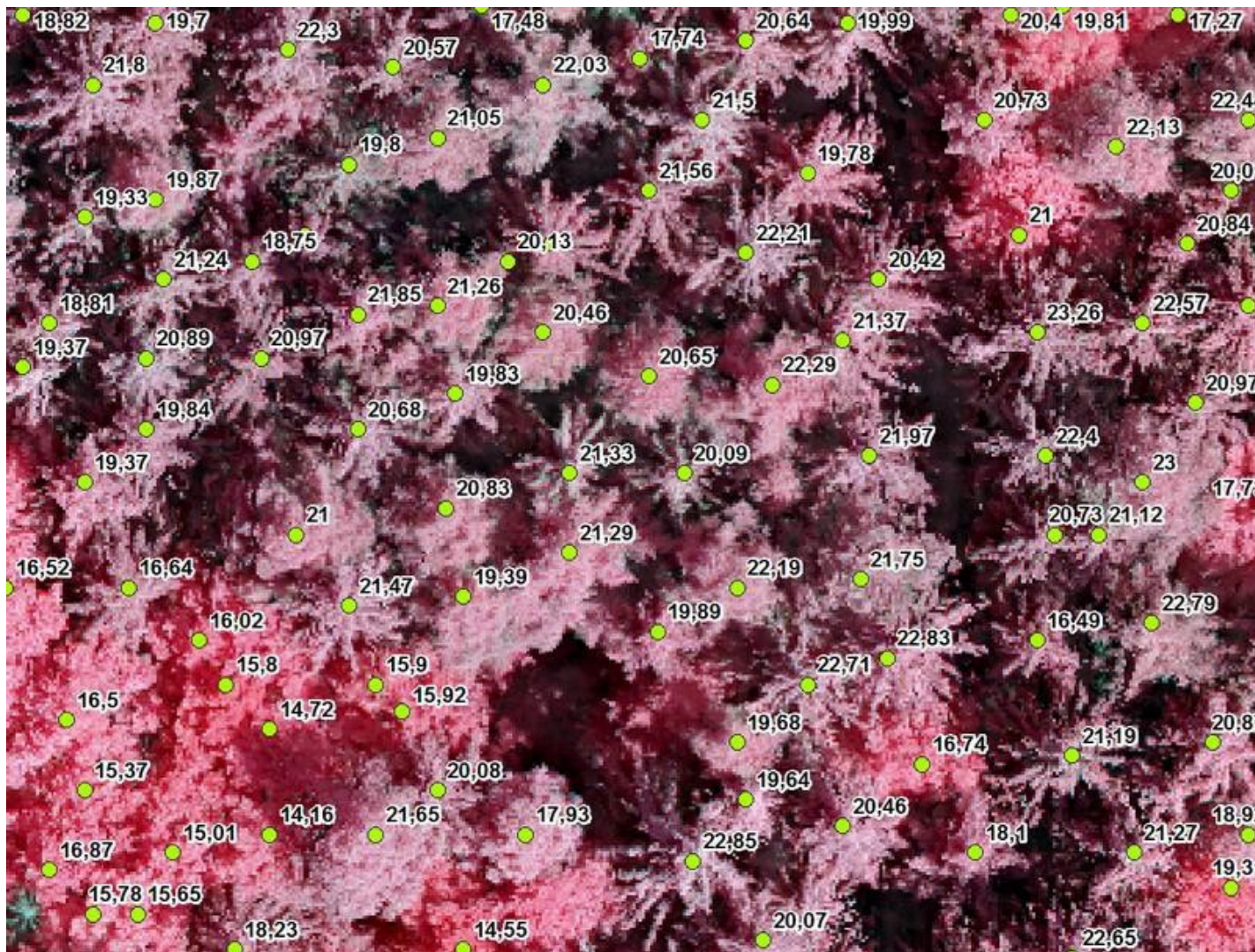


Ohraničení korun jednotlivých stromů



Detekované vrcholky stromů

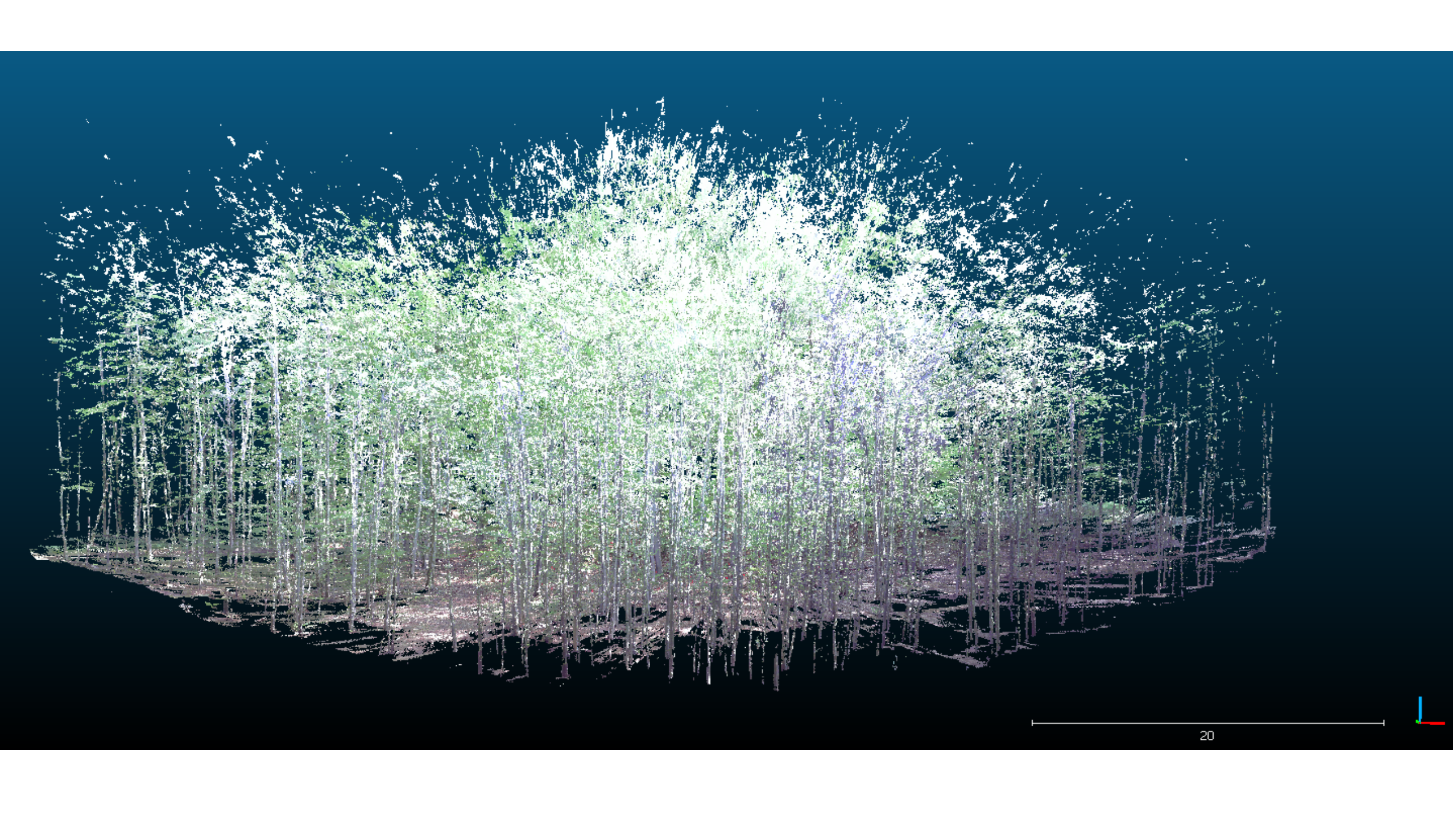
Detekce stromů a jejich výšek z dat UAV



Pozemní laserové skenování



Skenování odkrytého
kořenového systému v areálu
Výzkumného ústavu Silva
Taroucy pro krajinu a okrasné
zahradnictví v Průhonicích





Aplikace 3D Forest, VÚKOZ

Automatická detekce stromů,
extrakce výšek a tloušťek

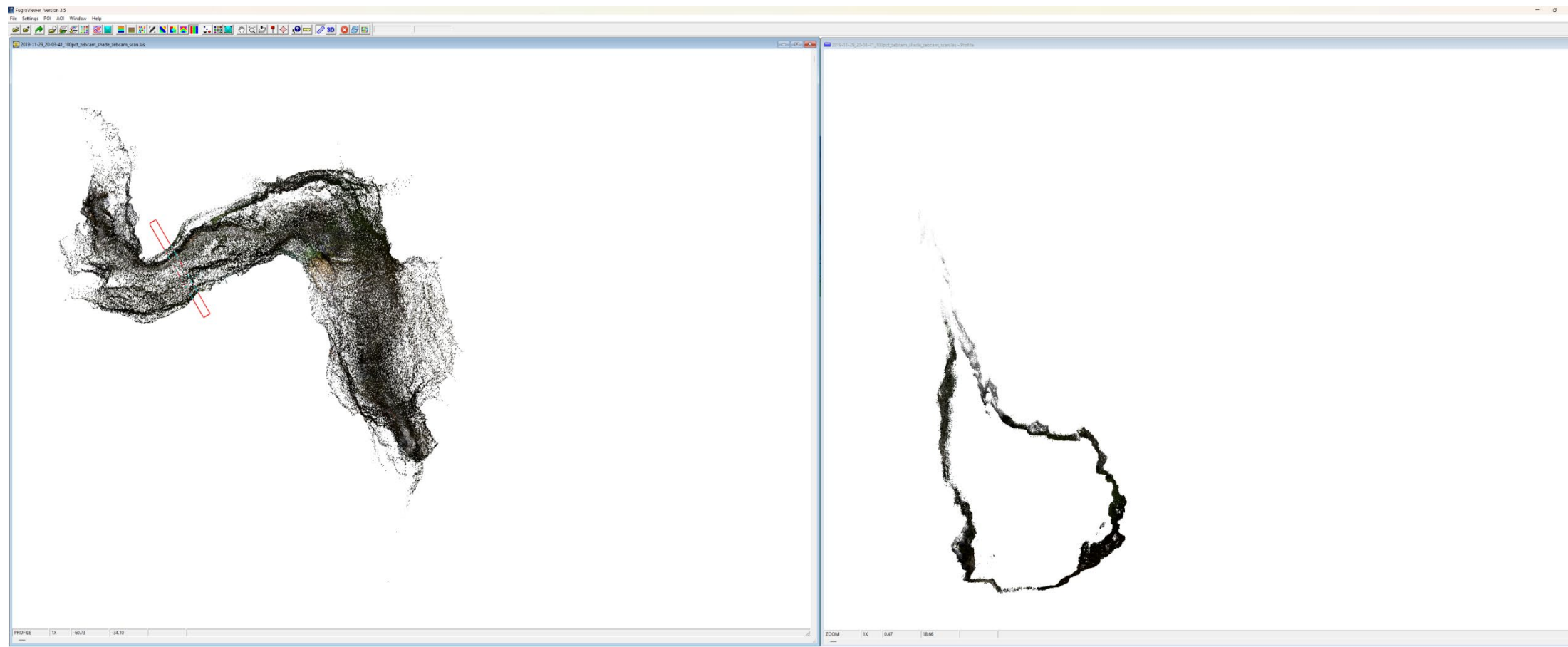


Technologie SLAM

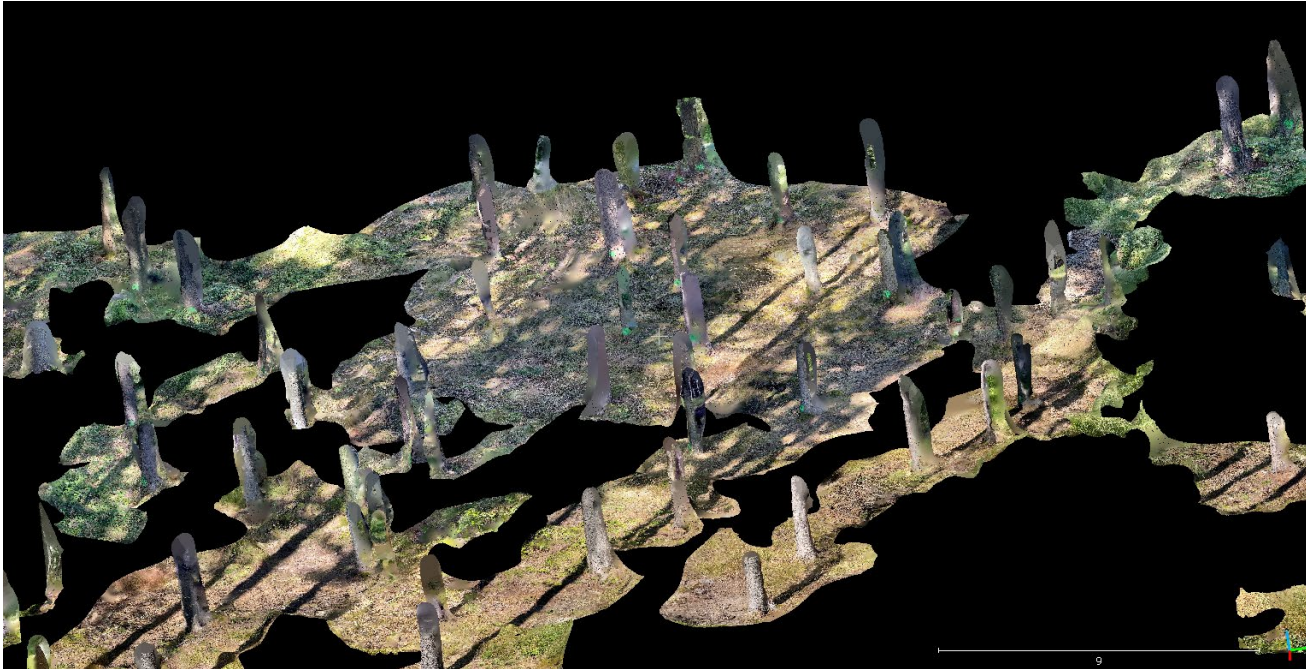
- Bez nutnosti použití tzv. referenční sféry, skeny jsou na sebe průběžně navazovány pomocí detekce hran a tvarů objektů v bodovém mračku



SLAM skenování jeskyně Býčí skála



LiDAR v Apple iPhone



- maximální dosah skeneru – 5 m
- přesnost určení výčetní tloušťky cca 5 cm
- aplikace využívající lidar pro určování pozic stromů, tlouštěk a výšek – iScan Forest, Arboreal, Katam Forest

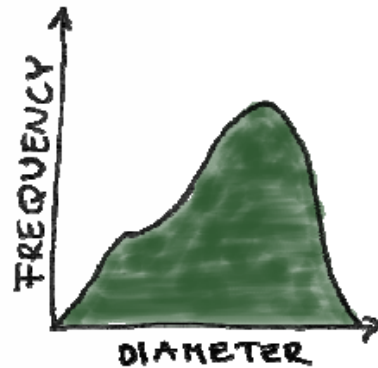
Letecké laserové skenování

- Sestava leteckého laserového skeneru:
 - Laserová jednotka
 - Skenovací jednotka
 - Inerciální navigační systém
 - IMU (akcelerometry, gyroskopy)
 - RTK GNSS



Metody v inventarizaci lesa

Stand level



Tree group level



Tree level



ABA-MV

Area-based approach
Mean stand values

ABA-DD

Area-based approach
Diameter distributions

SITC

Semi-Individual
tree crowns

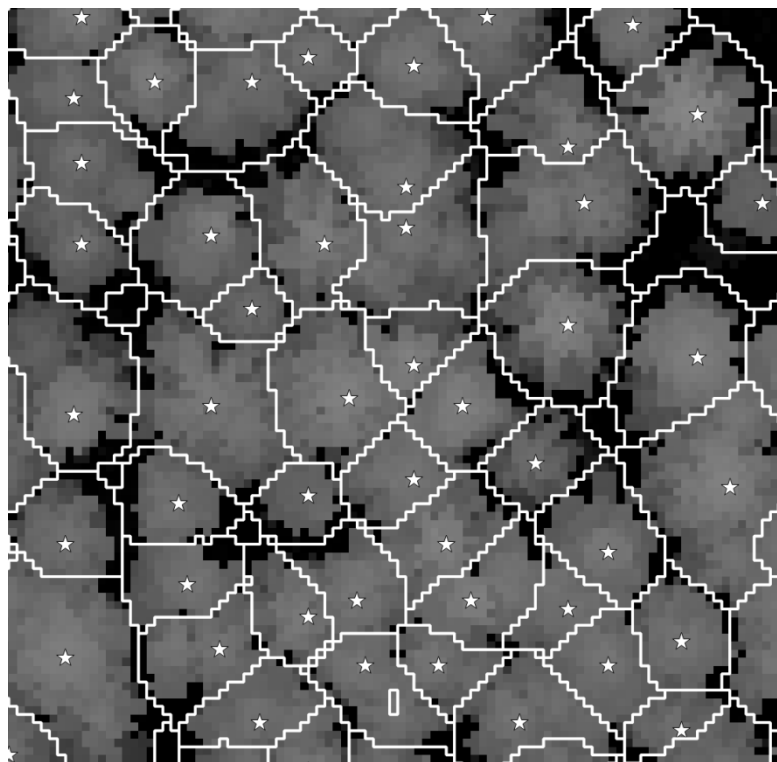
ITC

Individual
tree Crowns

Increasing spatial detail

- ABA – provozní aplikace ve Skandinávii (Norsko od roku 2002, v současnosti 98 % plochy lesa)
- ITD (ITC) – výzkum, problémy s detekcí stromů, podhodnocovány výšky

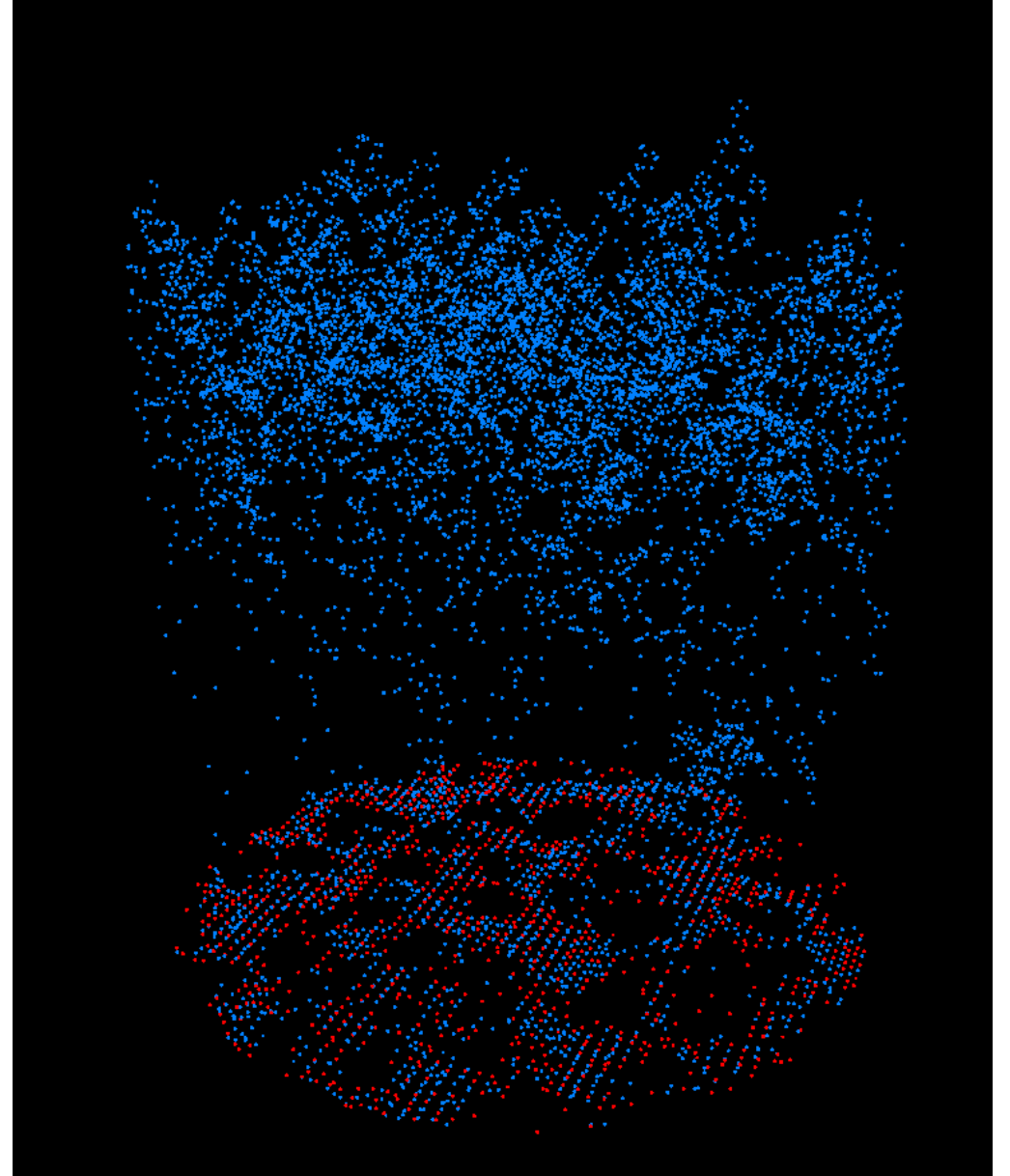
Detekce individuálních stromů



- vyhledávání lokálních maxim a následně delineace koruny pomocí hydrologického modelování nebo algoritmu Region Seeded Growing
- „měřit“ lze většinou jen výšky, výčetní tloušťky se pak určují pomocí výškových modelů, objemy pak pomocí objemových rovnic

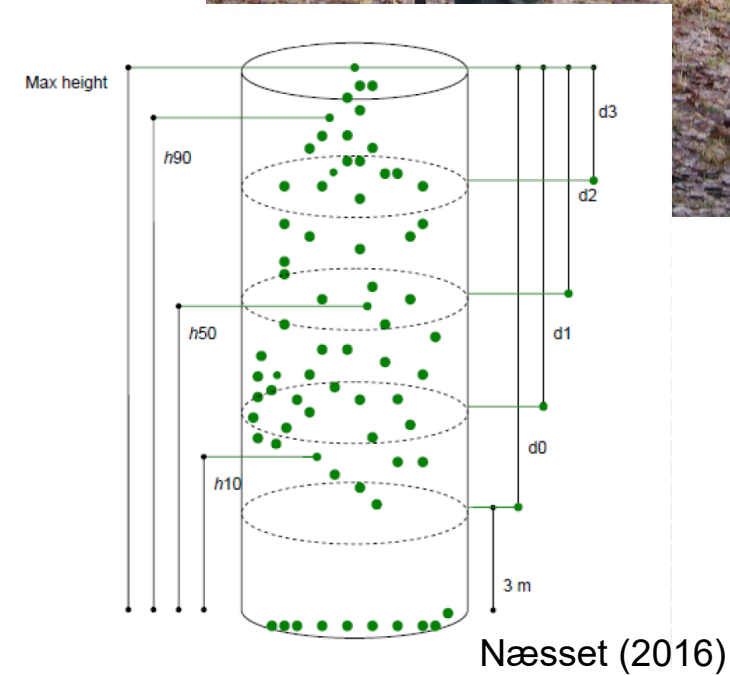
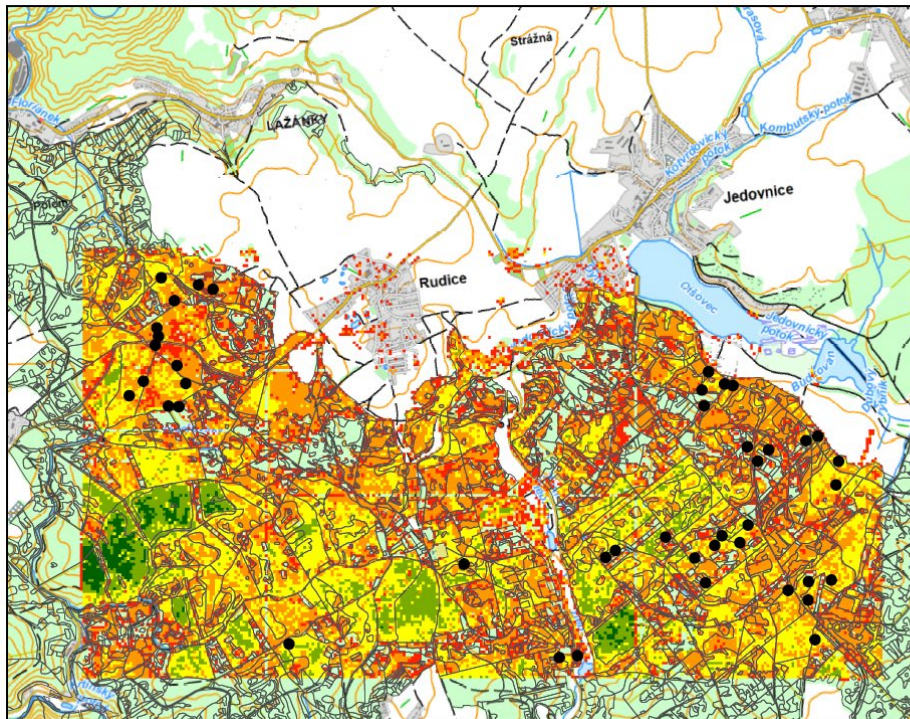
Area-based approach

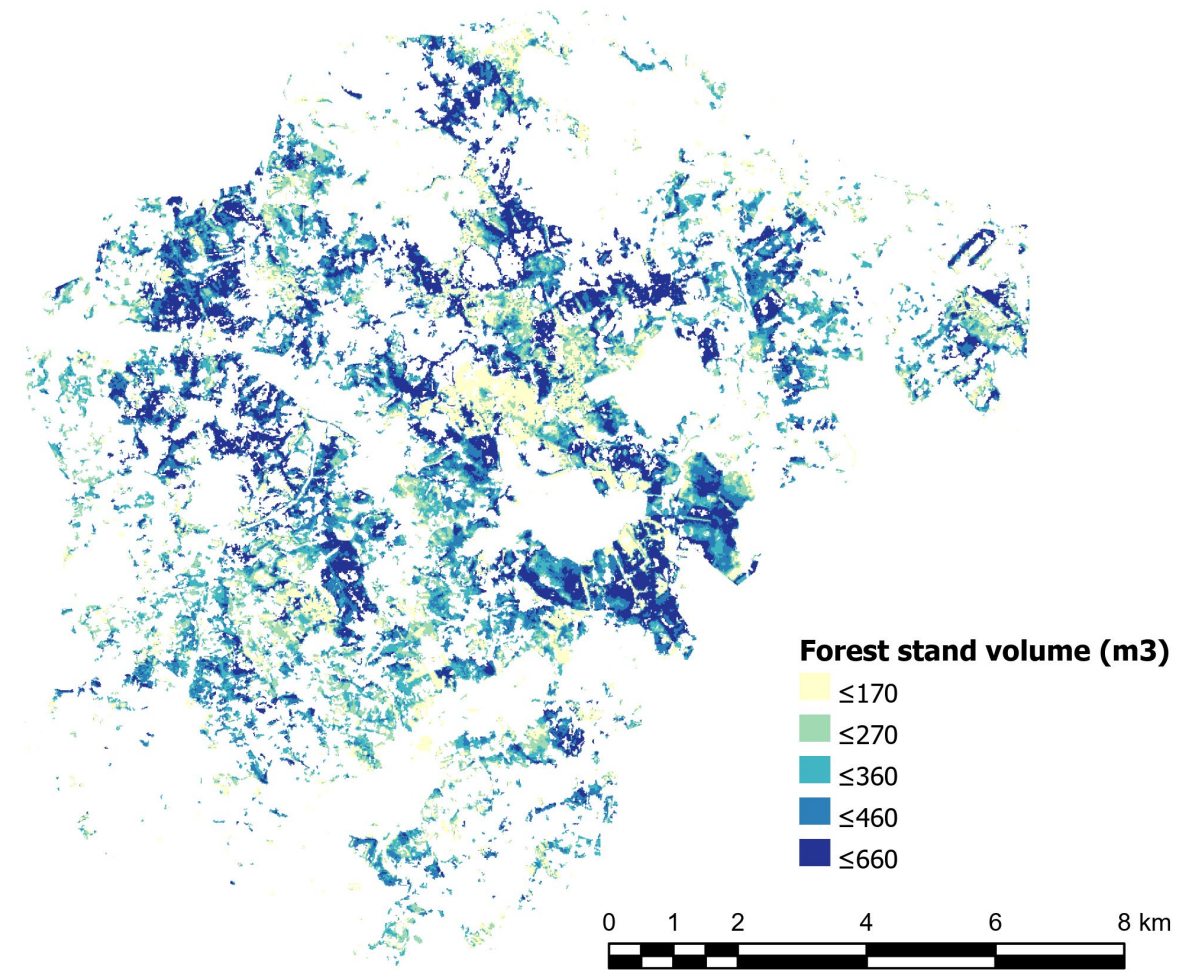
- Metoda založená na statistické analýze distribuce bodů v bodovém mračnu, na tvorbě tzv. lidar metrik



Area-based approach

1. Zkusné plochy
2. LiDAR metriky
 - Distribuce bodů v mračnu, intenzita odrazu
3. Regresní analýza – tvorba modelu
4. Aplikace modelu na celé mračno bodů



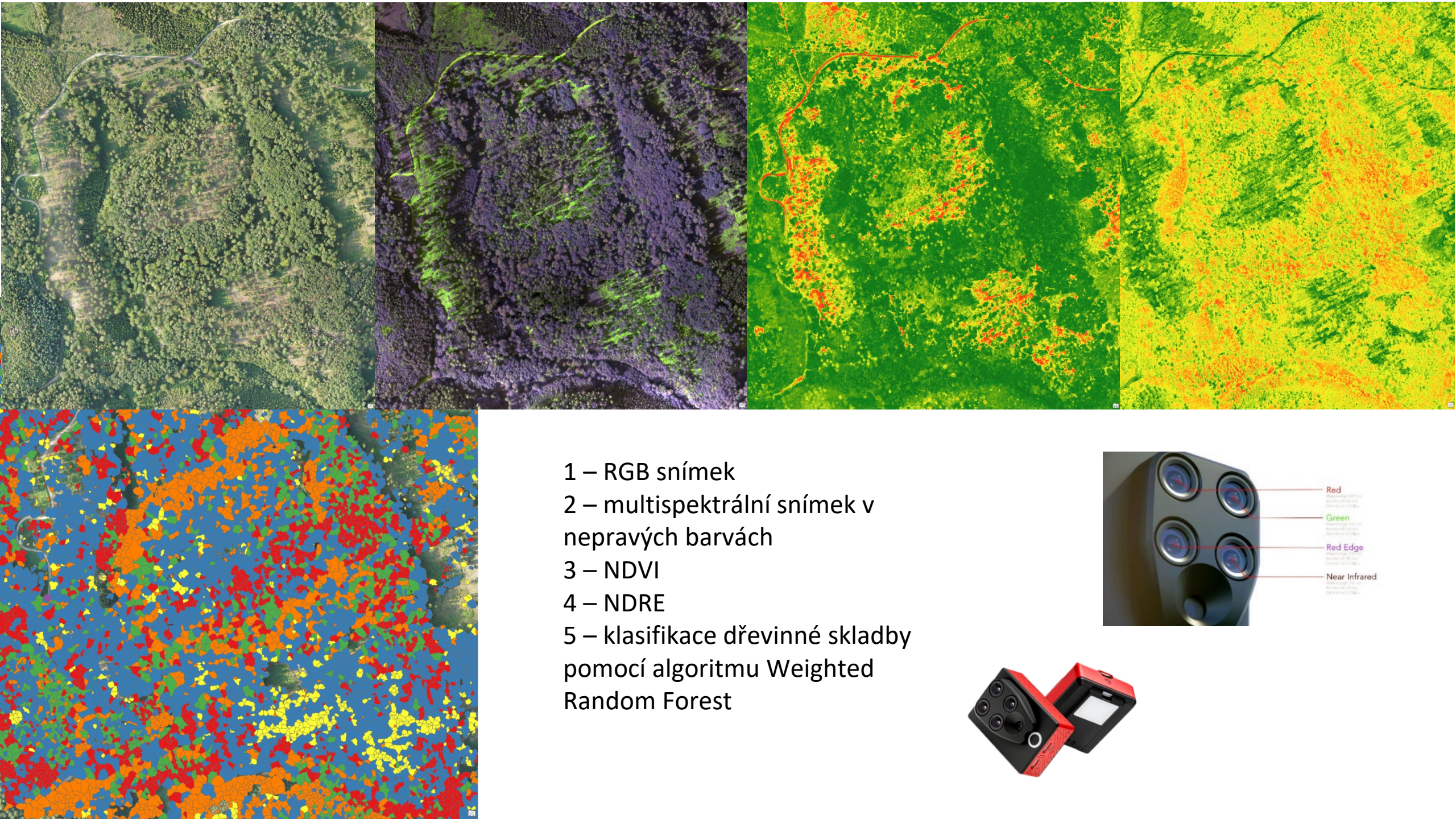


Forest variable	R ²	NRMSE (%)	cvR ²	cvNRMSE (%)
V (m ³ /ha)	0.72	14	0.70	15
BA (m ² /ha)	0.74	12	0.70	14
H _{dom} (m)	0.97	3	0.97	3
N _{trees}	0.65	20	0.61	25

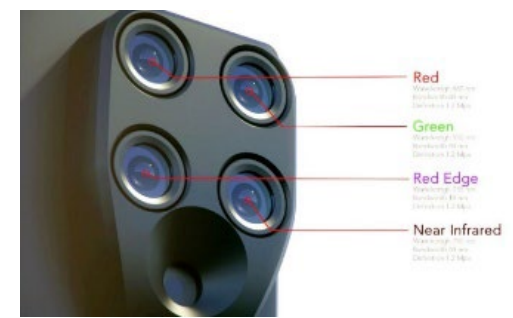
Letecká fotogrammetrie



- Snímky se pořizují s příčnými a podélnými překryvy. Vyhledáním identických (klíčových a vázacích bodů) lze konstruovat bodová mračna a dále interpolovat do podoby 3D modelů a digitálních modelů povrchu (DMP). Jednotlivé snímky lze pomocí DMP překreslit do ortogonálního promítání a spojit do mozaiky – ortofoto
- Na bodová mračna fotogrammetrie lze aplikovat obdobné přístupy jako na data leteckého laserového skenování

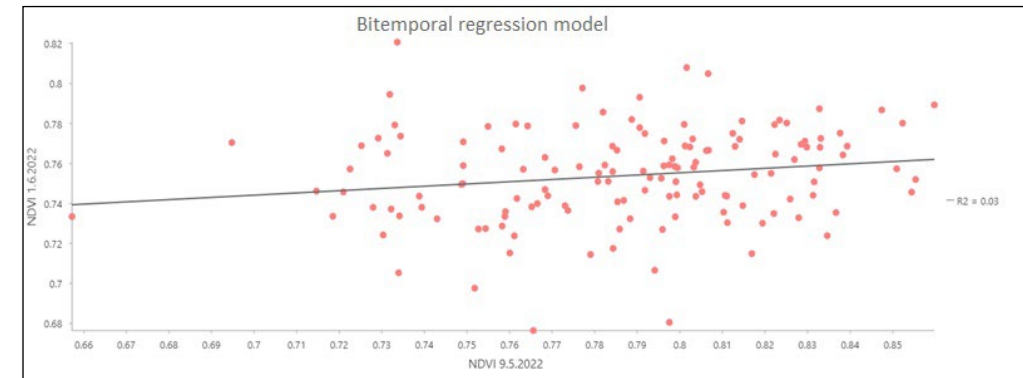
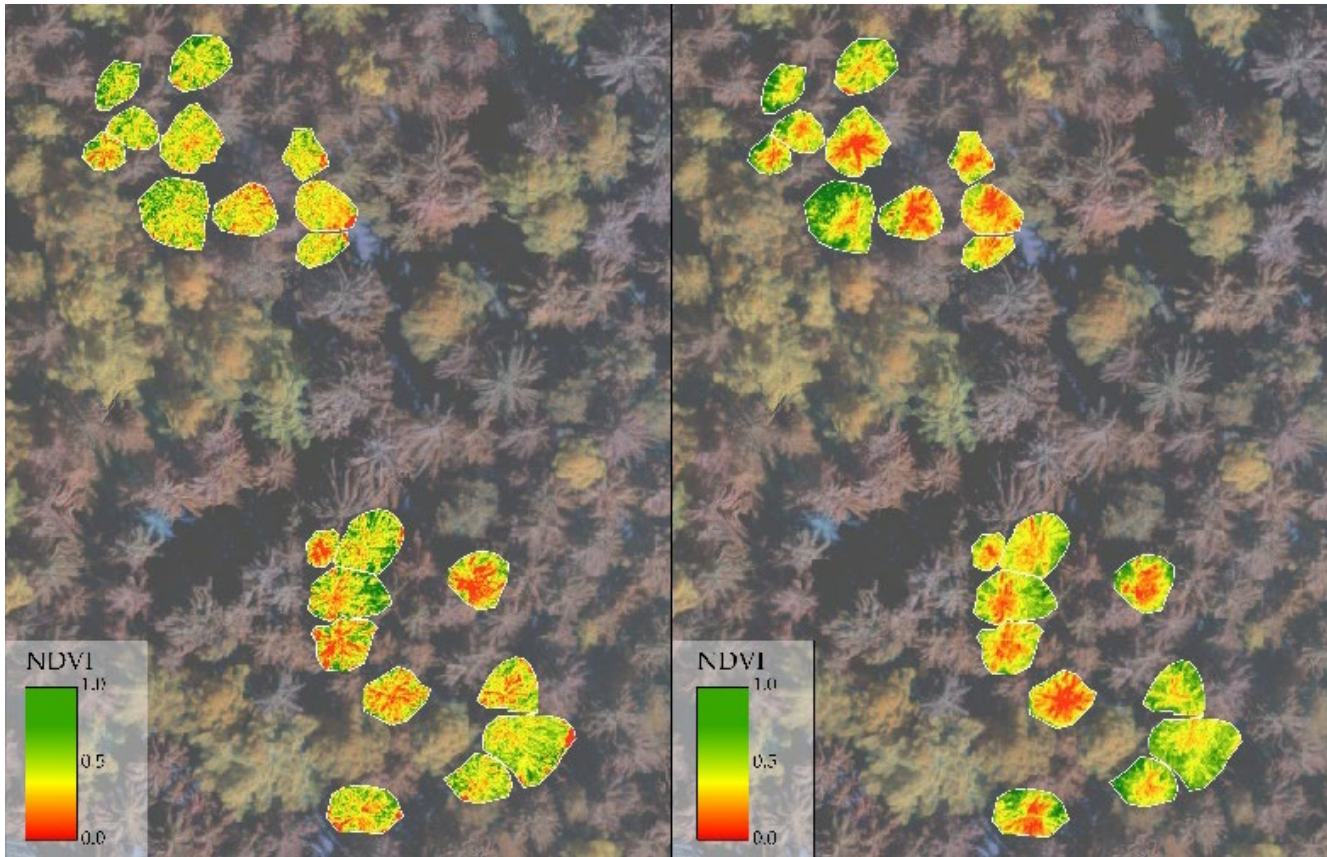


- 1 – RGB snímek
- 2 – multispektrální snímek v nepravých barvách
- 3 – NDVI
- 4 – NDRE
- 5 – klasifikace dřevinné skladby pomocí algoritmu Weighted Random Forest



Monitoring kůrovce pomocí spektrálního snímkování

-zhoršování zdravotního stavu porostu sledujeme pomocí bitemporálních regresních modelů



Kombinace pozemní a UAV fotogrammetrie



Article

Forest Stand Inventory Based on Combined Aerial and Terrestrial Close-Range Photogrammetry

Tomáš Mikita ^{1,*}, Přemysl Janata ¹ and Peter Surový ²

¹ Faculty of Forestry and Wood Technology, Mendel University in Brno, Zemědělská 1, Brno 613 00, Czech Republic; premyl.janata@mendelu.cz

² Faculty of Forestry and Wood Sciences, Czech University of Life Sciences Prague, Kamýcká 129, Praha 165 21, Czech Republic; surovyp@fd.czu.cz

* Correspondence: tomas.mikita@mendelu.cz; Tel.: +420-54513-4021

Academic Editors: Juha Hyypä, Xinlian Liang and Eetu Puttonen

Received: 29 June 2016; Accepted: 27 July 2016; Published: 30 July 2016

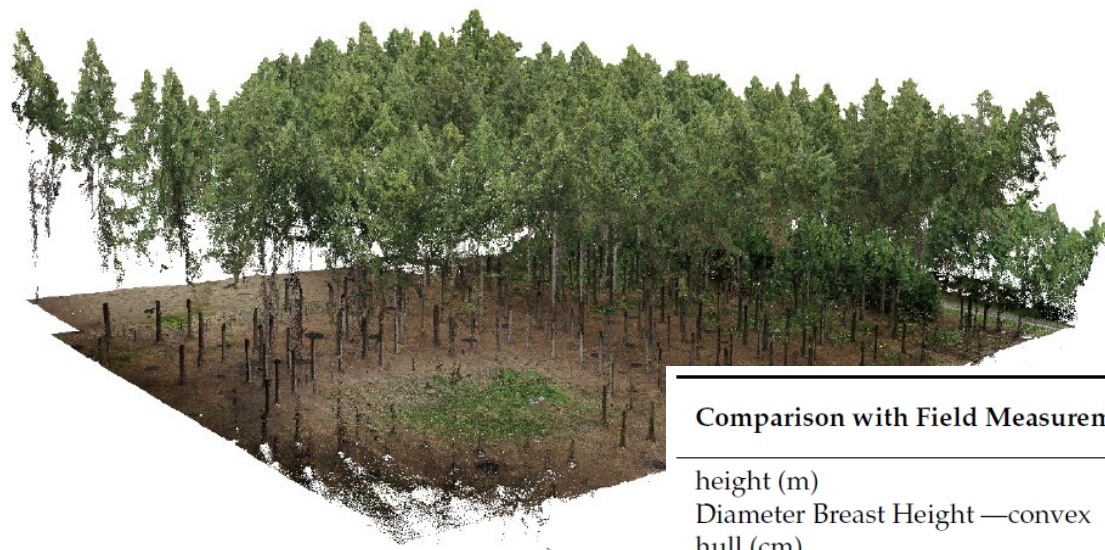


Figure 4. Camera holder for terrestrial photogrammetry.



Comparison with Field Measurement	Min	Max	Mean	Standard Deviation	Root Mean Square Error
height (m)	−4.149	2.869	−0.152	1.00	1.016
Diameter Breast Height —convex hull (cm)	−3.400	2.400	−0.005	0.911	0.911
Diameter Breast Height —circumscribed circle (cm)	−4.600	3.800	−1.345	1.192	1.797
Stem volume—convex hull (m ³)	−0.345	0.157	−0.006	0.082	0.082
Stem volume—circumscribed circle (m ³)	−0.95	0.023	−0.121	0.134	0.180

Zjišťování poškození lesních cest pomocí různých metod DPZ



remote sensing



Article

Detecting Forest Road Wearing Course Damage Using Different Methods of Remote Sensing

Petr Hruza ^{1,*}, Tomáš Mikita ^{2,*}, Nataliya Tyagur ³, Zdenek Krejza ⁴, Miloš Cibulka ² ,
Andrea Procházková ² and Zdeněk Patočka ²

¹ Department of Landscape Management, Faculty of Forestry and Wood Technology, Mendel University in Brno, Zemědělská 3, 613 00 Brno, Czech Republic

² Department of Forest Management and Applied Geoinformatics, Faculty of Forestry and Wood Technology, Mendel University in Brno, Zemědělská 3, 613 00 Brno, Czech Republic; milos.cibulka@mendelu.cz (M.C.); xprocha4@node.mendelu.cz (A.P.); zdenek.patocka@mendelu.cz (Z.P.)

³ Institute of Geodesy, Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology, Veverí 3, 602 00 Brno, Czech Republic; Nataliya.Tyagur@vut.cz

⁴ Centre AdMaS, Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology, Purkyňova 6, 612 00 Brno, Czech Republic; krejza.z@fce.vutbr.cz

* Correspondence: petr.hruza@mendelu.cz (P.H.); tomas.mikita@mendelu.cz (T.M.); Tel.: +420-545-134-021 (P.H. & T.M.)

The aim of the study is to verify the possibility and the accuracy of the road wearing course damage detected by four different remote sensing methods: close range photogrammetry, terrestrial laser scanning, mobile laser scanning and airborne laser scanning compared to geodetic survey.



1. Close range photogrammetry



2. Terrestrial laser scanning



3. Mobile laser scanning



4. Airborne Laser Scanning *



Point cloud (an example of photogrammetric point cloud with cross profiles surveyed geodetically).

Statistical evaluation of created models—vertical differences in metres were evaluated using RMSE.

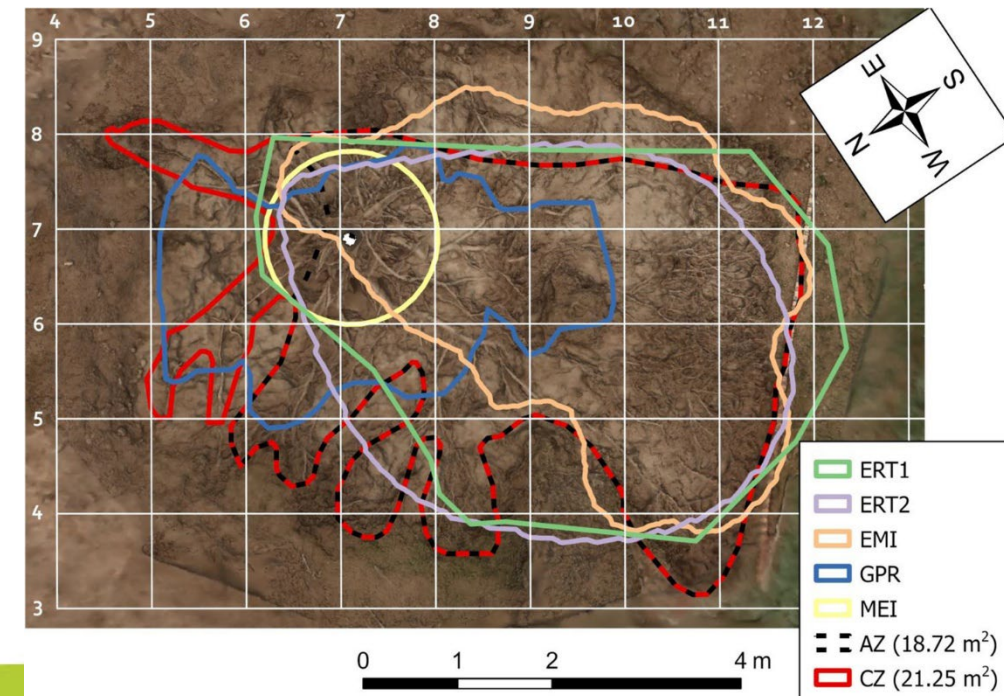
Method	Mean	Max	Min	Std. Dev.	RMSE
Mobile laser scanning	-0.2421	0.0040	-0.6579	0.2042	0.3167
Terrestrial laser scanning	0.0011	0.0880	-0.0701	0.0243	0.0243
Close range photogrammetry	-0.0005	0.0242	-0.0438	0.0110	0.0110
Airborne laser scanning	0.1320	0.2773	0.0159	0.0442	0.1392

* (From Spencer B. Gross, adapted from Flood and Gutelius, 1997)

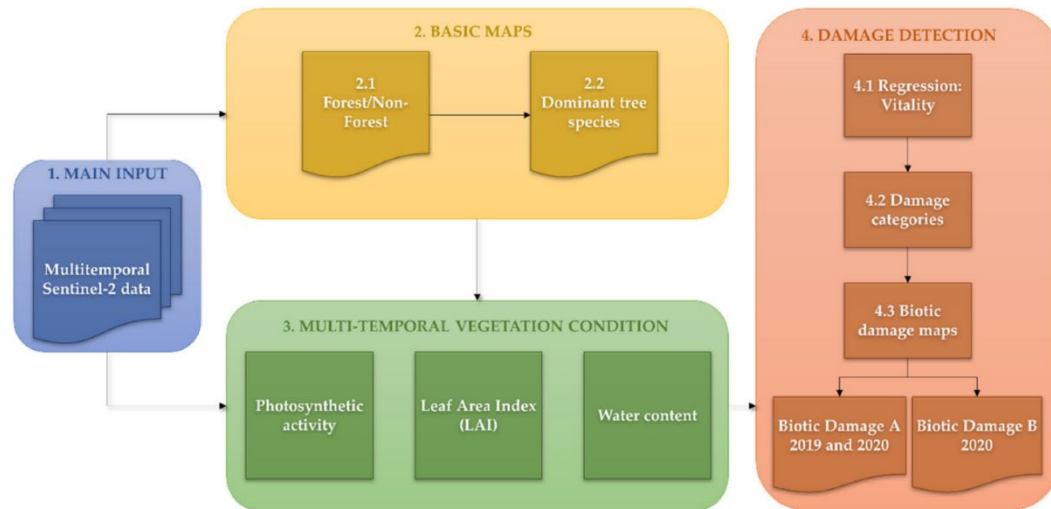
Pozemní fotogrammetrie



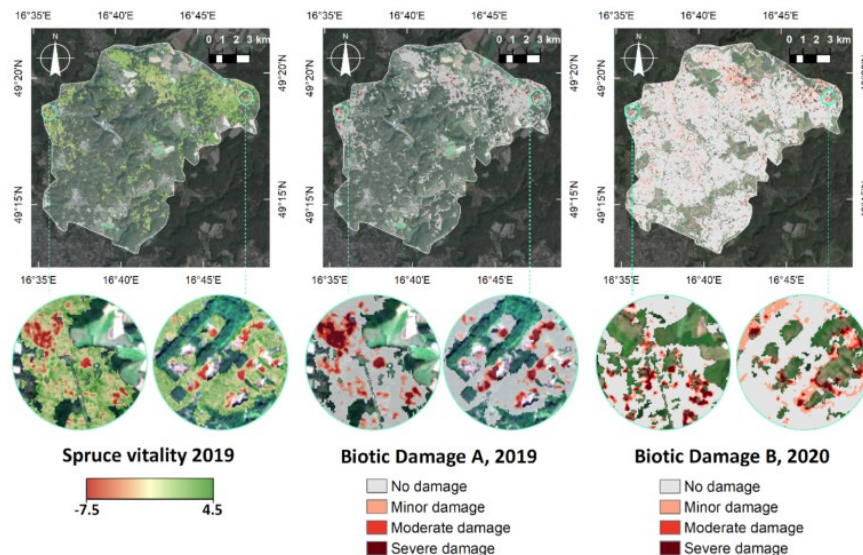
- Dokumentace kořenového systému
- Pozemní fotogrammetrie může být rovněž nástrojem pro validaci geofyzikálních metod kvantifikace kořenového systému



Satelitní data – monitoring kůrovce

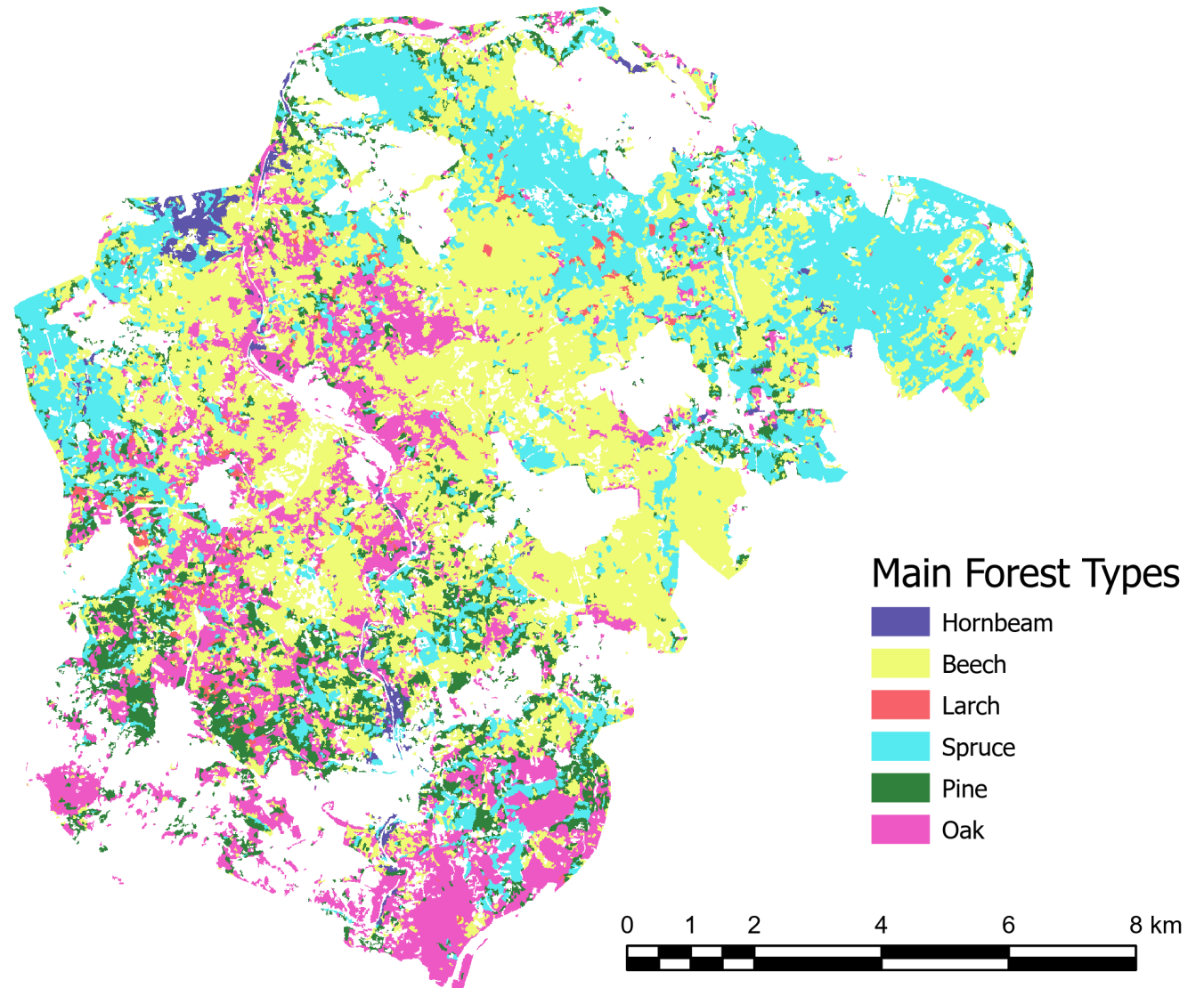


- Bittemporální regrese ve vegetačních indexech odvozených z Sentinel-2
- NDVI, MSAVI, NDMI a LAI_{green}
- Rezidua regresních modelů jsou poškozené stromy
- Fernandez-Carrillo, A.; Patočka, Z.; Dobrovolný, L.; Franco-Nieto, A.; Revilla-Romero, B. Monitoring Bark Beetle Forest Damage in Central Europe. A Remote Sensing Approach Validated with Field Data. Remote Sens. 2020, 12, 3634.



Satelitní data – dřevinná skladba

- Vegetační indexy z letních a zimních datových sad
- R, G, B, RE1, RE2, RE3, NIR, SWIR1, SWIR2, NDVI, MSAVI, TCVEGET, TCARI, BSI
- Algoritmus Random Forest, trénovací data z inventarizačních ploch ŠLP
- Celková přesnost 93 %



Znalecká praxe

- MENDELU
- Lesnická
- a dřevařská
- fakulta

Škody zvěří

1. Cíl analýzy

Stanovit:

přesnou výměru poškozených ploch,
podíl poškození na celkové ploše,
odhad ztráty produkce,
finanční vyčíslení škody.

<https://www.mdpi.com/2077-0472/13/6/1184>

2. Vstupní data

Dronová data

- UAV ortofoto (RGB)
- DSM (Digital Surface Model)

Referenční údaje

- hranice pozemku (LPIS / katastr)
- skutečný nebo očekávaný výnos (t/ha)
- realizační cena produkce (Kč/t)

Volitelná data

- Sentinel-2 (EVI, NDVI)
- terénní fotodokumentace
- sklizňová data

3. Princip detekce poškození

Poškozené porosty:

mají nižší výšku,

vytvářejí nepravidelné „hnízdové“ struktury,

jsou dobře patrné na ortofotu i DSM.

4. Postup zpracování v ArcGIS Pro

1. Focal Statistics (Mean)

Odstranění celkového trendu povrchu.

2. Výpočet reziduí

$$resid = DSM - DSM_{mean}$$

3. Prahování

Např.:

$$resid < -0.20 \text{ m}$$

4. Vyčištění

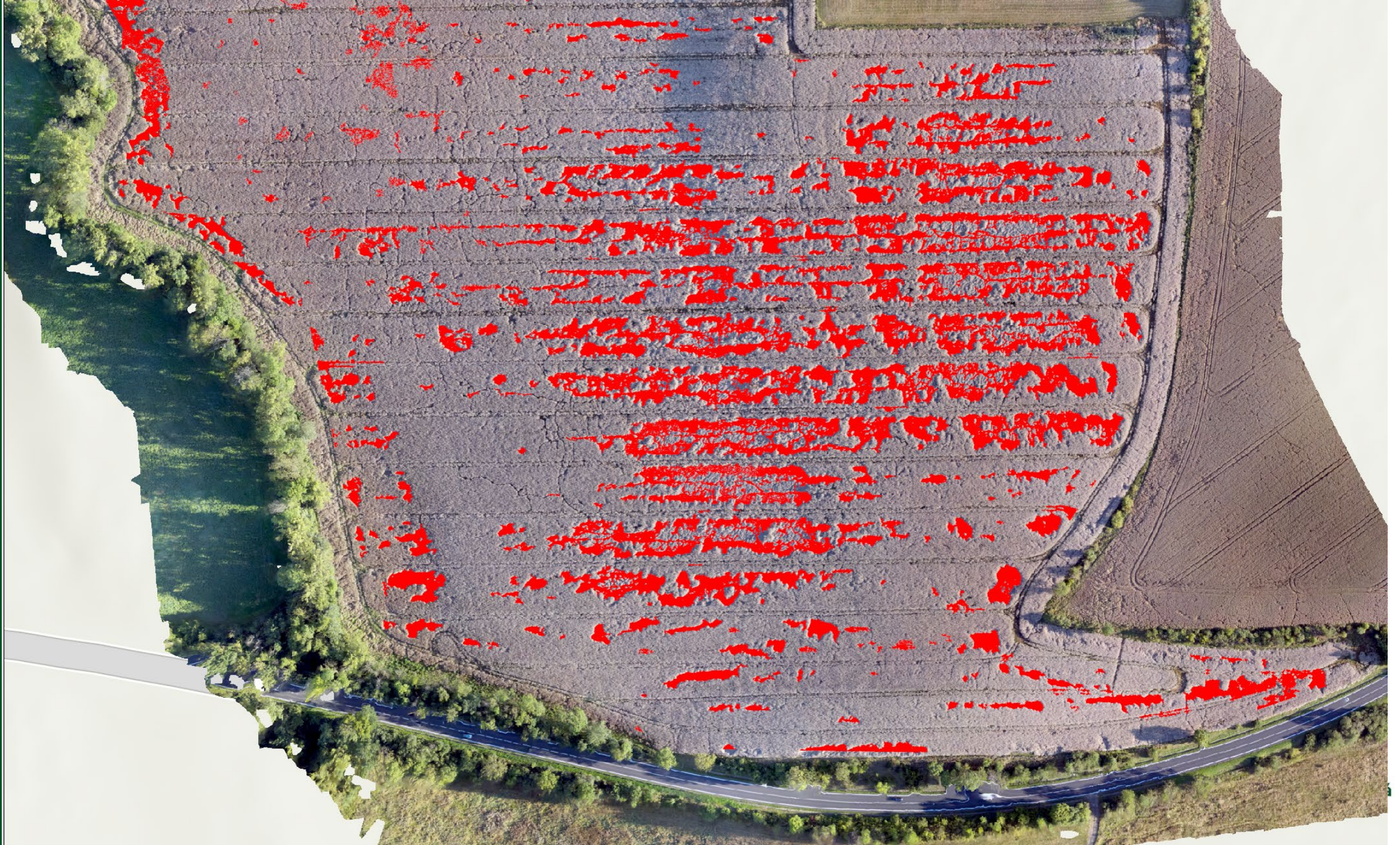
- Majority Filter
- Region Group
- odstranění ploch $< 10 \text{ m}^2$

5. Vektorizace

Raster to Polygon

6. Ruční kontrola

Odstranění kolejí a okrajových efektů.



6. Příklad z praxe

Celková plocha: 24,67 ha

Poškozená plocha: 11,13 ha

Výnos: 5,83 t/ha

Cena: 4 300 Kč/t

Výsledná škoda:

279 027 Kč

7. Výhody metody

vysoké prostorové rozlišení

(2–5 cm),

objektivní a opakovatelné

měření,

možnost vizuální kontroly,

transparentní dokumentace.

8. Omezení metody

citlivost na volbu parametrů,
nutnost ruční korekce,
závislost na kvalitě DSM,
jednorázový časový snímek.

1. Původní znalecký posudek

Poškození porostu bylo stanoveno pomocí:

- UAV ortofota,
- digitálního modelu povrchu (DSM),
- analýzy výškových rozdílů,
- následné manuální korekce.

Výsledná poškozená plocha: **11,13 ha.**

2. Oponentní znalecký posudek

Posudek zpochybnil závěry původního posudku.

Hlavním podkladem byla:

- vlastní terénní prohlídka,
- jeden satelitní vegetační index **EVI** ze Sentinel-2 (10 m),
- subjektivní interpretace variability porostu.

Dospěl k závěru, že značná část ztráty mohla být způsobena:

- suchem,
- pleveli,
- herbicidem,
- heterogenitou stanoviště, nikoli pouze zvěří.

3. Moje nezávislá kontrola EVI

Použitá data

Sentinel-2 L2A (BOA reflectance)

Snímek:

S2A_MSIL2A_20230719T100031_N0510_R122_T3
3UXQ_20241021T091658.SAFE

Rozlišení: **10 m**

Výpočet EVI:

$$EVI = 2.5 \times \frac{NIR - RED}{NIR + 6 \cdot RED - 7.5 \cdot BLUE + 1}$$

Zjištěné hodnoty EVI (19. 7. 2023)

Minimum: 0,125

Maximum: 0,494

Průměr: 0,164

Směrodatná odchylka: 0,040

Datum

Průměr EVI

11. 7. 2023

0,219

19. 7. 2023

0,164

13. 8. 2023

0,192

4. Hlavní zjištění

EVI se výrazně mění v čase

- O týden dříve byly hodnoty výrazně vyšší.
- Poté poklesly.
- Následně opět vzrostly.

EVI je ovlivněn:

- vlhkostí půdy,
- srážkami,
- fenologickou fází,
- půdním pozadím,
- atmosférickými podmínkami.

Jeden snímek není dostatečný

- Nelze z něj určit výnos.
- Nelze z něj kvantifikovat škody.
- Nelze jím vyvrátit přesně změřenou plochu poškození.

Fotogrammetrický nápočet a stanovení kubatury

). Potřebuji vypracovat odborné posouzení (nápočet korun a odhad kubatury dřeva - smrk) pro lesní pozemek **XXX** o výměře **7933 m²**, na základě ortofotomapy ČÚZK ze dne **16.5.2022**. Přibližné souřadnice středu pozemku jsem zjistil: **XX.XXX, XX.XXX**. V květnu 2022 se na pozemku nacházely v důsledku kůrovcové kalamity u smrku pouze souše.

Podle sdělení Magistrátu Města XXX se dle map LHO na pozemku nacházel lesní porost kód XXX zastoupení dřevin: smrk 95%, buk 5%. Stáří lesního porostu se uvádí k roku 2022 **109 let**.



Fotogrammetrický nápočet a stanovení kubatury

- Nedostatek dat
- A) ALS / DMR / DSM kolem roku 2022
- B) CHM = DSM – DTM
- C) LHO / LHP taxační údaje
- D) Archivní ortofota / historické snímky
 - Porovnat stav před rozpadem, během rozpadu a po těžbě

Z ortofota 2022 by šlo vymezit:

plochu bezlesí / holiny,

plochu se zbytky stojících souší,

plochu s mladšími porostními skupinami / nárosty,

přibližný počet výrazných jednotlivých stojících stromů, pokud jsou viditelné,

přibližnou míru rozvolnění porostu.

Úroveň odhadu	Co se odhaduje	Realistická nejistota
plocha porostu / holiny	výměra kategorií z ortofota	$\pm 2\text{--}10 \%$
výška porostu z CHM	dominantní / horní výška	$\pm 1\text{--}3 \text{ m}$, někdy více
počet viditelných korun	segmentace + ruční korekce	$\pm 10\text{--}30 \%$
zásoba celé parcely	kombinace CHM + LHO + ortofoto	cca $\pm 20\text{--}40 \%$
zásoba jednotlivých stromů	individuální koruny + výška + model DBH	často $\pm 30\text{--}60 \%$
přesná kubatura pro právní spor	bez terénní kontroly	problematická

Odhad zásoby z pařezů – doporučený postup

Cíl: zpětně rekonstruovat zásobu vytěženého porostu na základě terénního měření pařezů, výškových dat a objemových rovnic.

Terénní zaměření pařezů

- zaměřit polohu všech pařezů v řešené ploše,
- u každého pařezu určit dřevinu,
- změřit pařezový průměr ve dvou kolmých směrech,
- zaznamenat výšku pařezu nad terénem,
- označit nejisté, poškozené nebo deformované pařezy.

Převod pařezového průměru na DBH

- sestavit nebo převzít regresní vztah mezi pařezovým průměrem a výčetní tloušťkou,
- ideálně využít lokální kalibraci na stojících stromech stejné dřeviny,
- vypočítat odhad DBH pro každý pařez.

$DBH = f(d_{\text{pařezu}}, h_{\text{pařezu}}, \text{dřevina})$

Odhad výšek stromů

- při dostupnosti CHM přiřadit každému pařezu odpovídající výšku z modelu korunového povrchu,
- případně vytvořit výškovou křivku z LHO/LHP, CHM nebo sousedního porostu,
- pro každý strom odhadnout výšku podle DBH a porostních podmínek.

$h = f(DBH)$

Výpočet objemu jednotlivých stromů

- použít vhodné objemové rovnice nebo objemové tabulky pro danou dřevinu,
- objem počítat z odhadnutého DBH a výšky stromu,
- podle potřeby rozlišit hroubí, sortimenty nebo znehodnocenou hmotu.

$V_{\text{stromu}} = f(\text{DBH}, h, \text{dřevina})$

Součet zásoby a kontrola výsledku

- sečíst objemy všech rekonstruovaných stromů,
- přepočítat zásobu na hektar,
- porovnat výsledek s údaji LHO/LHP, porostní zásobou, bonitou a stavem na ortofotu/CHM.

Stanovení nejistoty

- zohlednit chybu dohledání pařezů,
- chybu měření pařezového průměru,
- chybu převodu pařez → DBH,
- chybu odhadu výšky,
- chybu objemového modelu,
- výsledek uvádět jako interval, nikoliv jako jediné číslo.

Výstup:

počet pařezů → odhad DBH → odhad výšky → objem stromu → celková zásoba → interval nejistoty

Hlavní myšlenka:

Pařezová metoda je vhodná pro zpětnou rekonstrukci zásoby, protože vychází z fyzicky doloženého počtu stromů. Největší nejistota nevzniká při samotném měření pařezů, ale při převodu pařezového průměru na DBH, odhadu výšek a použití objemových rovnic.

Děkuji za pozornost

zdenek.patocka@mendelu.cz

- MENDELU
- Lesnická
- a dřevařská
- fakulta