

# Fotogrammetrie v lesnictví

Ing. Marek Hrdina

# Obsah přednášky

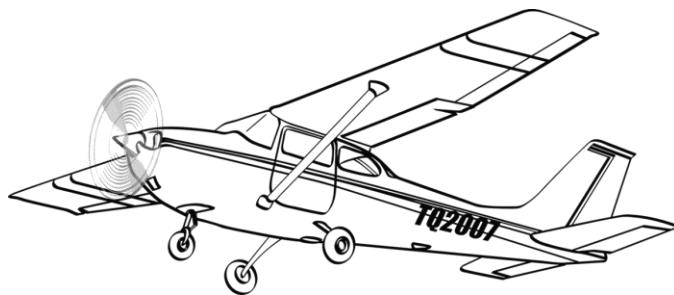
- Obecněji o dálkovém průzkumu Země
- O fotogrammetrii v lesnictví
- O využití fotogrammetrie na KHÚL

# O dálkovém průzkumu Země

- Získání údajů o povrchu Země
- Viditelné spektrum / Neviditelné spektrum
- Rychlý způsob
- Přesný způsob

# Odkud snímat Zemi

- Z vesmíru
- Ze vzduchu
- Ze země





# Čím snímat Zemi

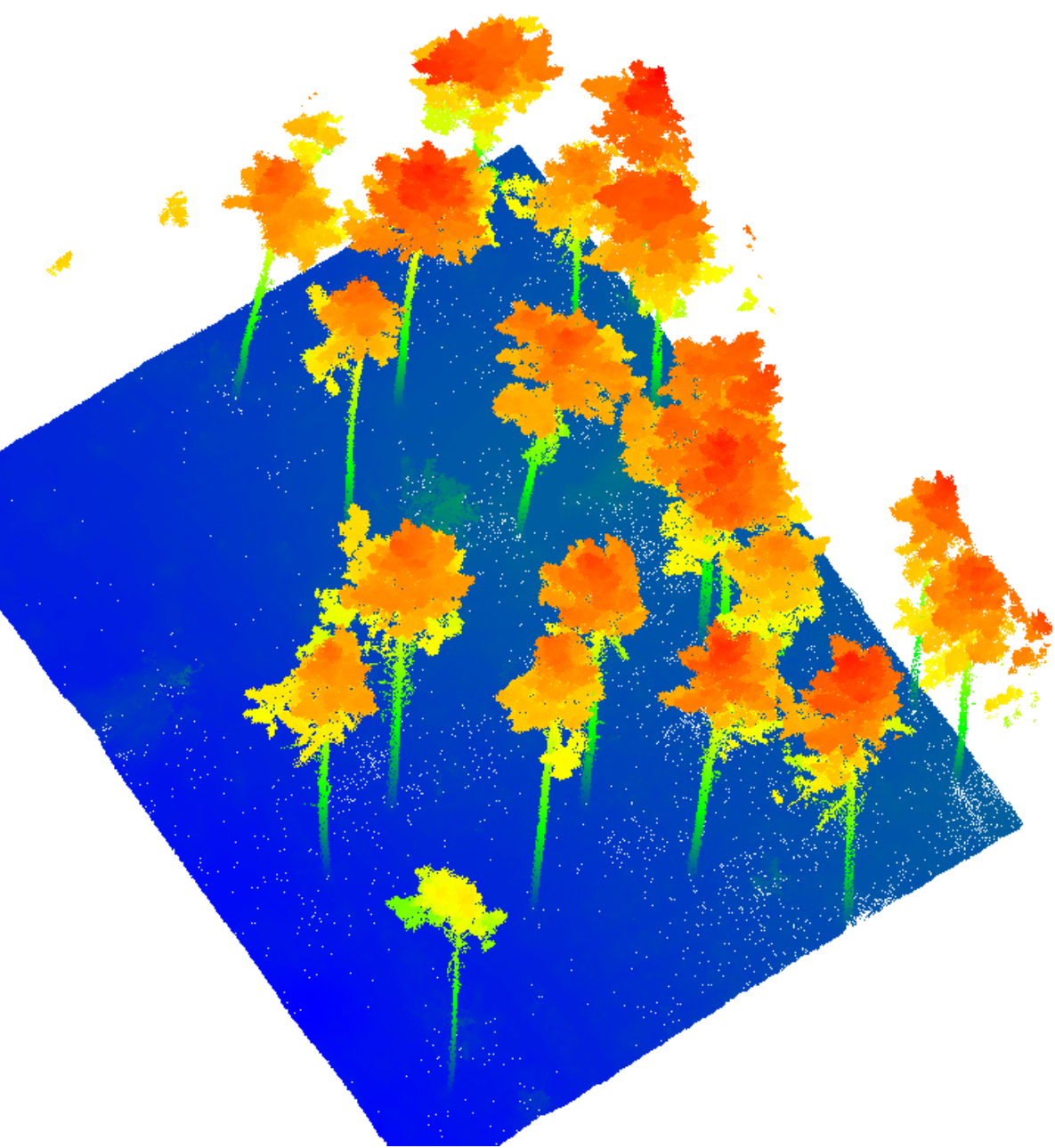
- Fotoaparát
- Hyper-/ Multi- spektrální snímač
- Laserový skener (LiDAR)
- Radar...

# Co je a není vidět

- Závisí na zvolené metodě
- Čím větší vzdálenost od Země, tím méně detailů
- Čím větší „prostupnost materiálem“, tím méně detailů

# Co je a není vidět

- **Detaily** – důležité pro odlišení objektů
- **Barvy** – důležité pro identifikaci/ klasifikaci objektů
- **Terén** – důležitý pro výpočet výšky objektů



Laserový (LiDAR) sken



Fotogrammetrie

# Potřebujeme znát detaily?

- Zjišťování tvaru terénu státu – Ne
- Zjišťování výšky lesních porostů – Ne
- Zjišťování výšky jednotlivých stromů – Ano
- Zjišťování dřevinné skladby – Ano



# Prostorové rozlišení

- Kolik centimetrů povrchu zachycuje jeden pixel?

Vysoké rozlišení



Střední rozlišení

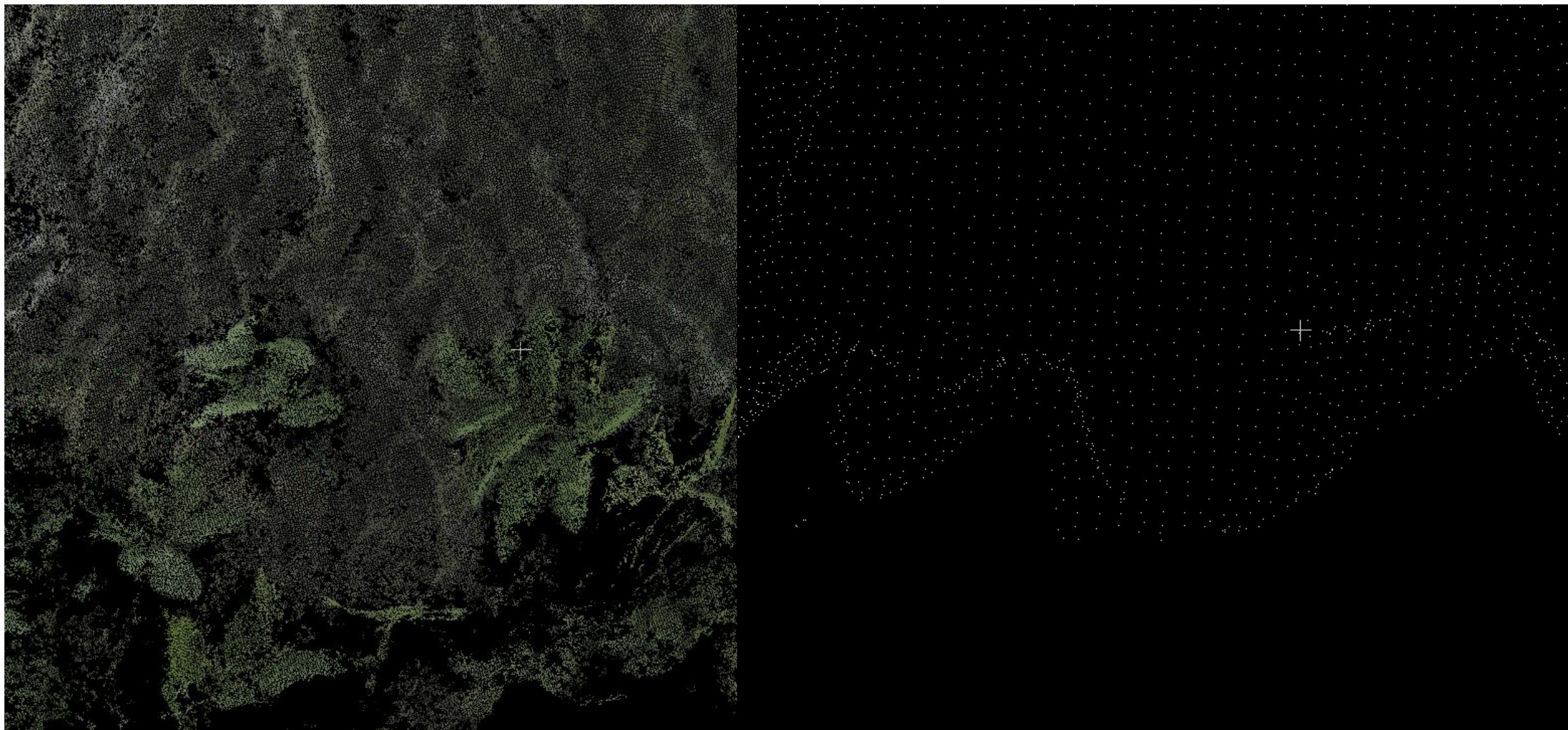


Nízké rozlišení





- Příp. kolik bodů připadá na plošnou jednotku [pts/m<sup>2</sup>]



# Časové rozlišení

- Jak často je území opětovně nasnímáno
- Možnost pozorování změn
- Riziko zakrytí mraky

1 x za rok	Nízké rozlišení
1 x za měsíc	Střední rozlišení
1 x denně	Vysoké rozlišení



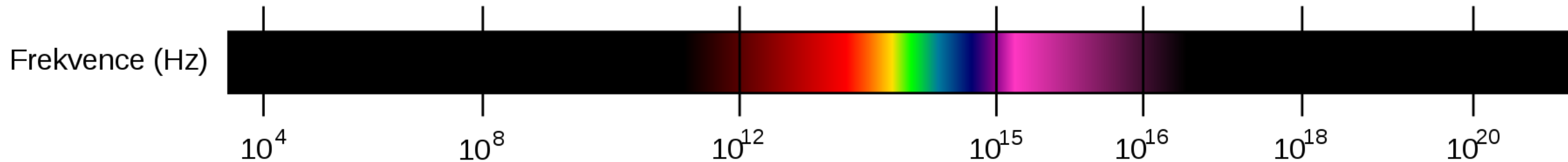
# Druhy snímačů

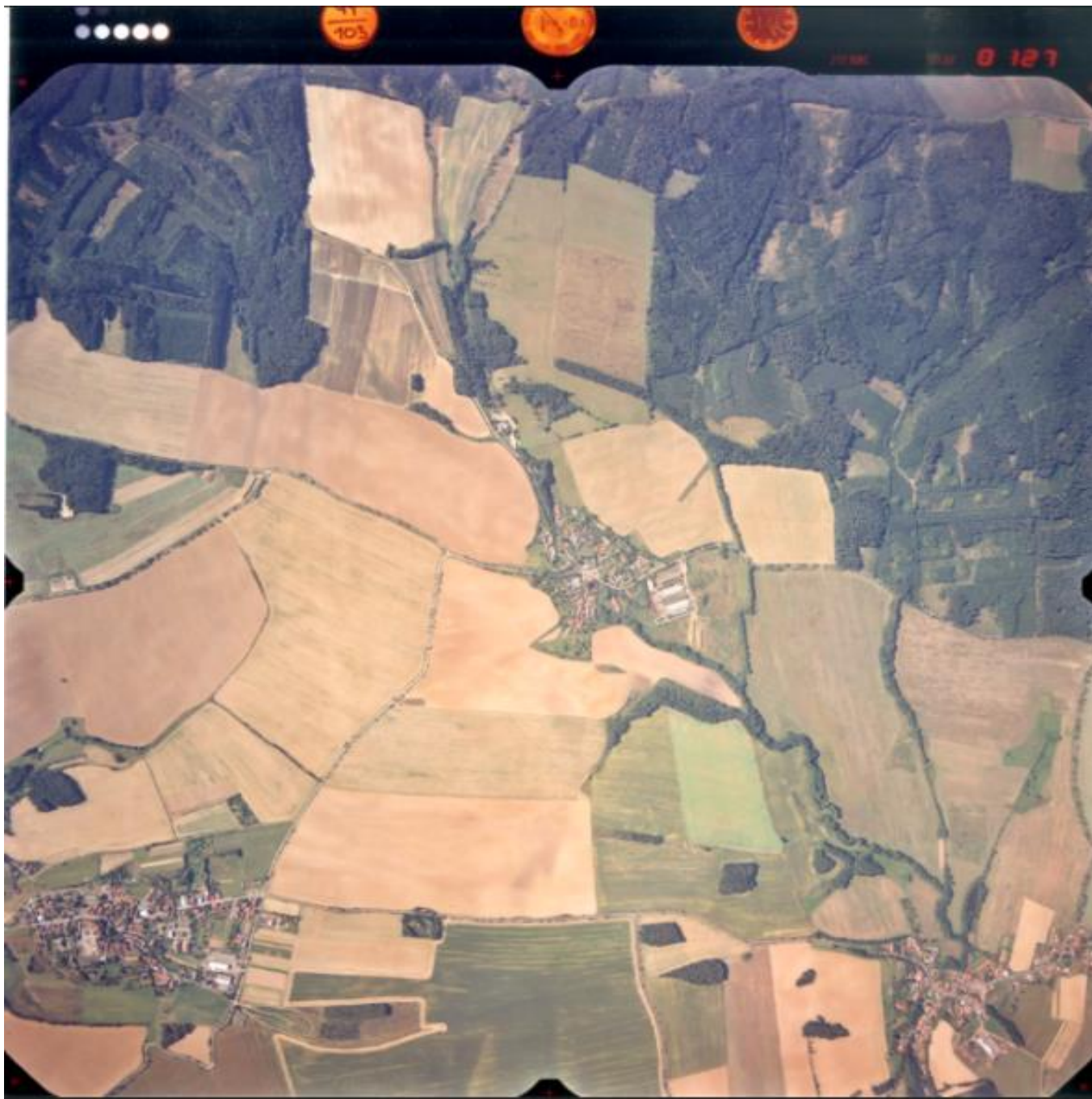
- Fotoaparát
- Hyper-/ Multi- spektrální snímač
- Laserový skener (LiDAR)

~~• Radar~~

# RGB fotografie

- Běžná 2D fotografie
- Viditelné světlo
- Tři světelná pásma: Červené, Zelené a Modré





# Multispektrální fotografie

- Krom viditelného spektra i **neviditelné**
- Obsahuje **desítky** světelných pásem (multi-)
- Nejčastěji...
  - NIR (Near Infra Red = Blízké infračervené světlo)
  - SWIR (Short Wave Infra Red = Krátkovlnné IČ světlo)



# Zobrazení v nepravých barvách – IČ světlo



# Hyperspektrální fotografie

- Obsahuje i neviditelná pásma
- Obsahuje **stovky** světelných pásem (hyper-)
- Lze sledovat projevy pouze na malé části spektra







# Multispektrální



# Hyperspektrální





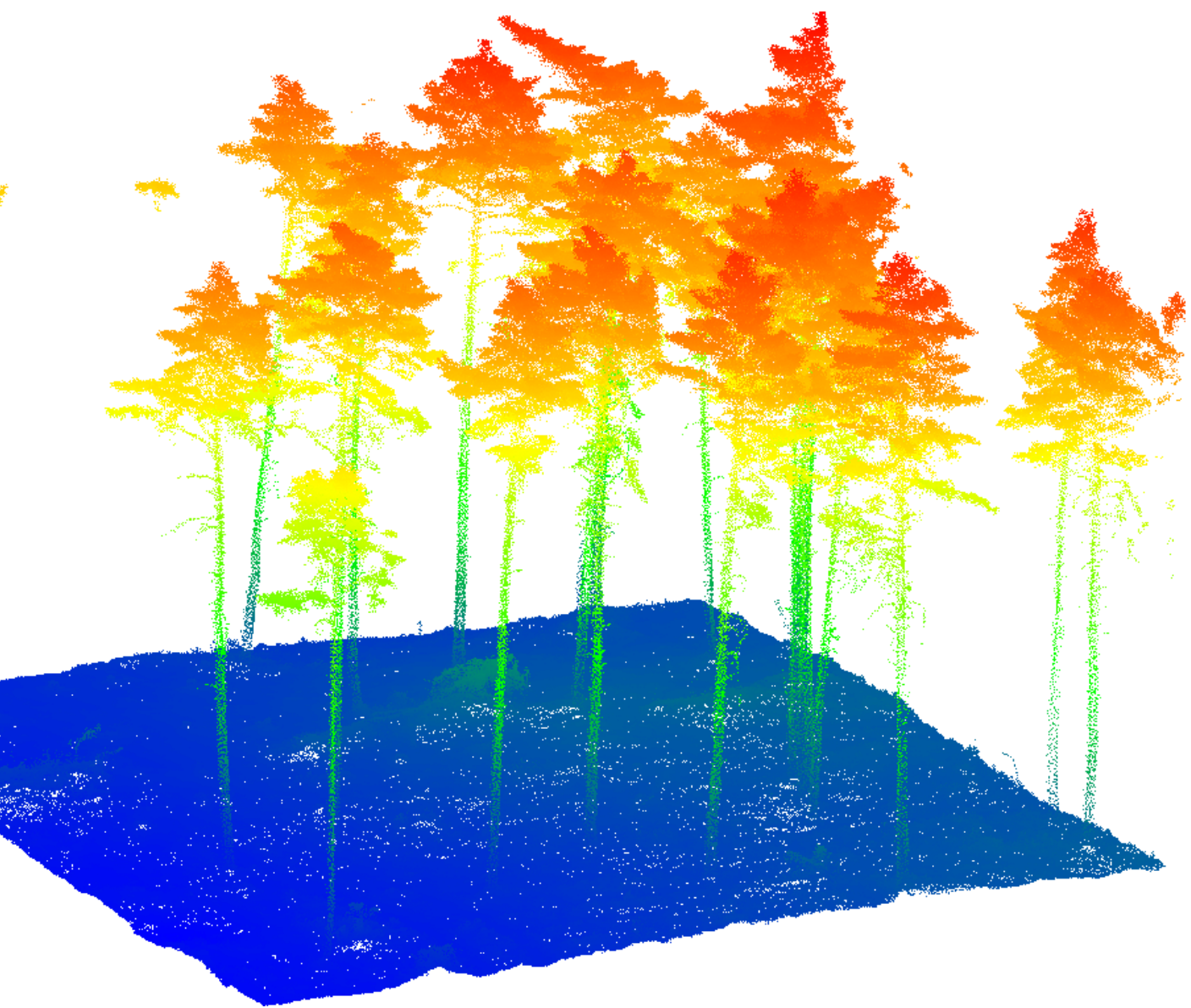
# Laserový sken

- Údaje o místech zasažených laserovým paprskem
- Často bezbarvý
- 3D bodové mračno ( *Point Cloud* )
- Omezený dosah paprsků



LiDAR skenery





Z 2D fotografií lze také udělat 3D modely...

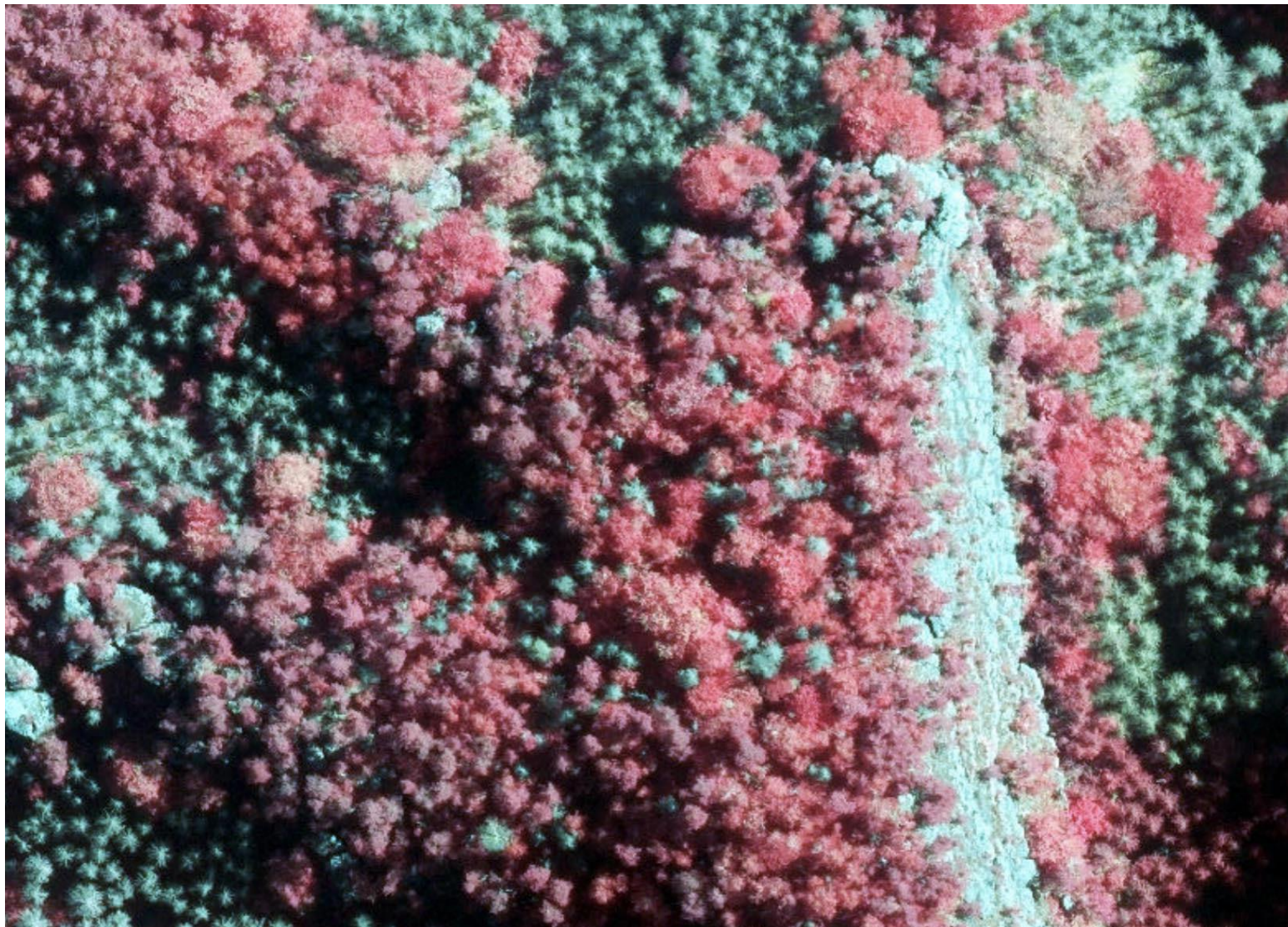
# Fotogrammetrie

# Účel fotogrammetrie

- Získání prostorových údajů z fotografií
- Prostorové údaje – tvary a rozměry ve 3D prostoru
- Vstupní data jsou sada 2D fotografií
- Výstup je **3D rekonstrukce objektu**



# Je to fotogrammetrie?



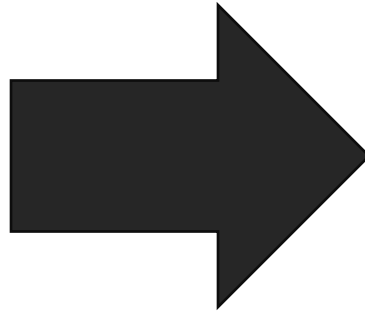
Zelené stromy = Mrtvé

Červené stromy = Živé

Odrazivost NIR světla v nepravém barevném zobrazení



# Je to fotogrammetrie?



Tvorba 3D modelu z fotografií



# Využití v lesnictví

- Určení parametrů porostů nebo stromů

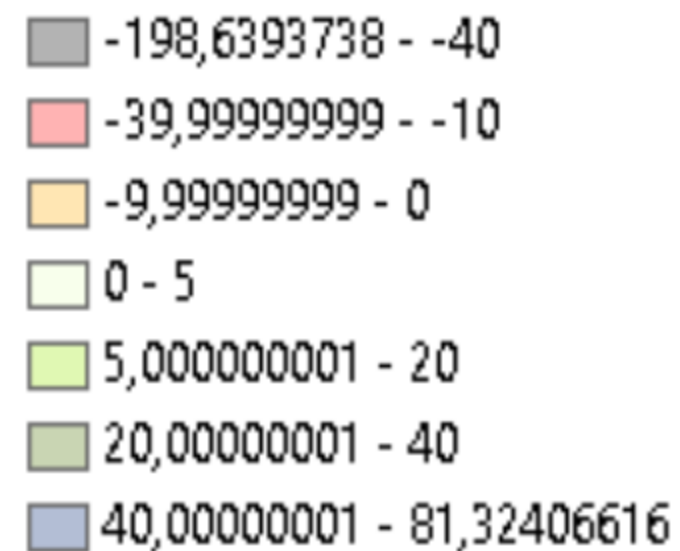
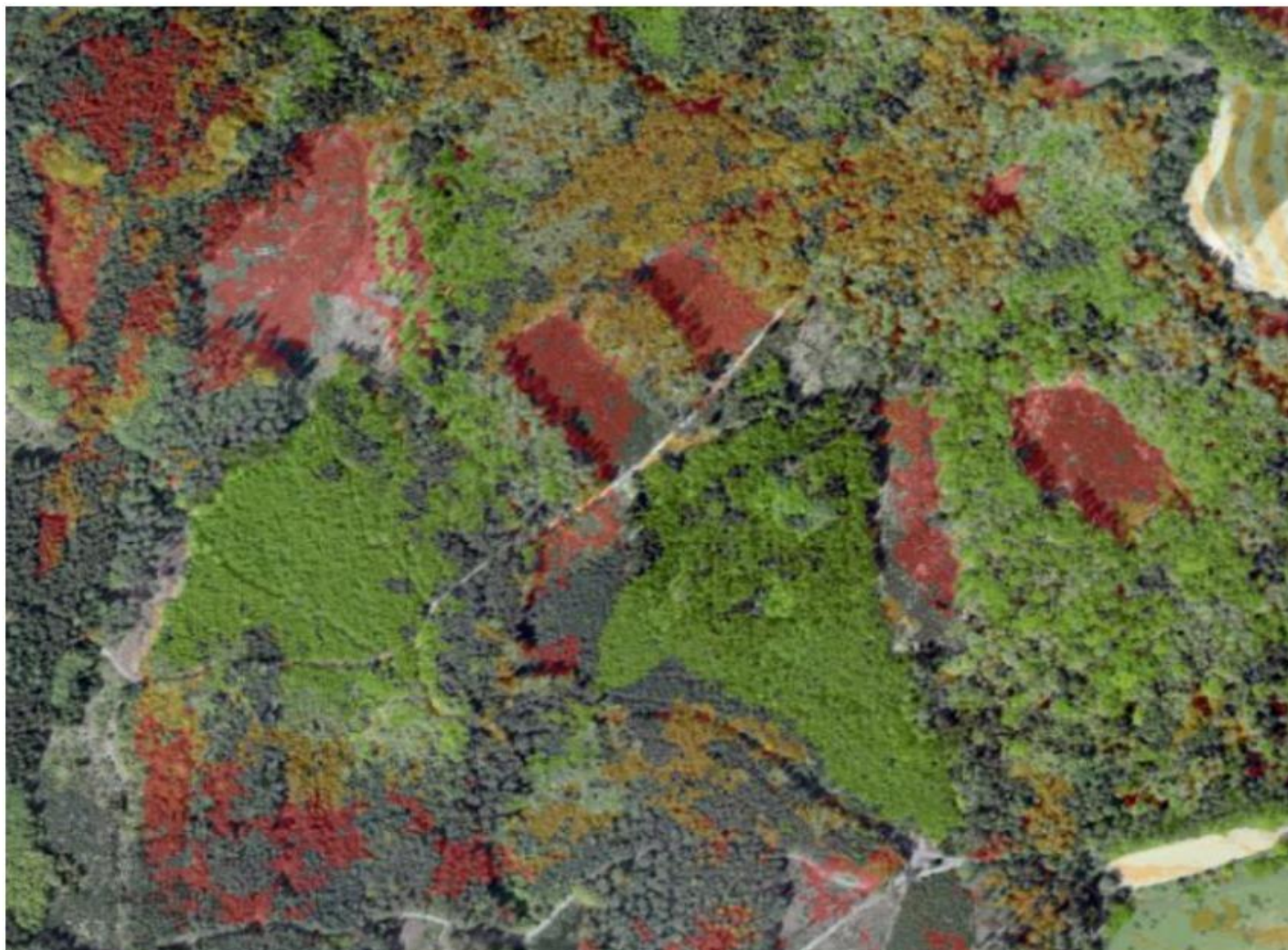
## **Stromy**

- Výška
- Tloušťka
- Objem
- Průmět koruny
- Zdravotní stav
- aj.

## **Lesní porosty**

- Výška
- Druhovú skladba
- Přírůst
- Objem dříví
- Monitoring změn
- aj.

# Využití v lesnictví



Změny výšky lesa [m] mezi roky 1999 a 2020

# Využití v lesnictví



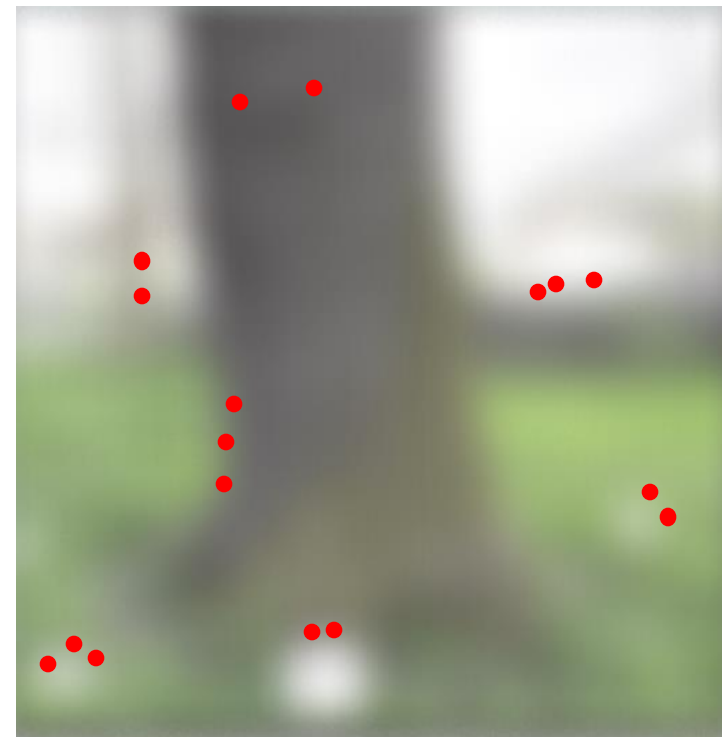
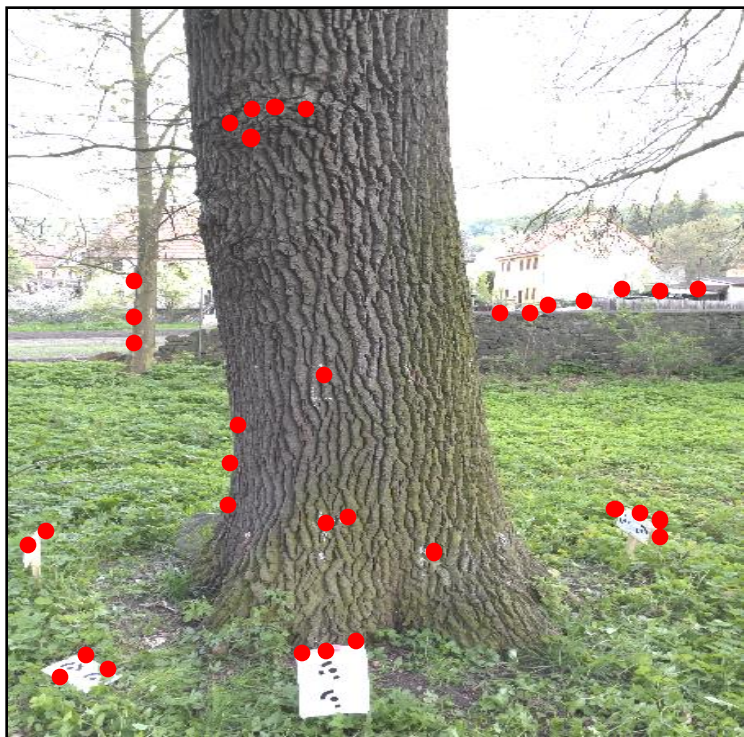
Určení parametrů jednotlivých stromů

# Princip fotogrammetrie

- **Algoritmus Structure from Motion (SfM)**
  - Fotografie pořízené z různých úhlů a s velkým překryvem (< 60 %)
  - SfM detekuje výrazné body na sousedních fotografiích (SIFT, SURF)
  - Spočítá vzájemné relativní polohy bodů (využívá tzv. paralaxu)
  - Zhustí bodové mračno méně výraznými body

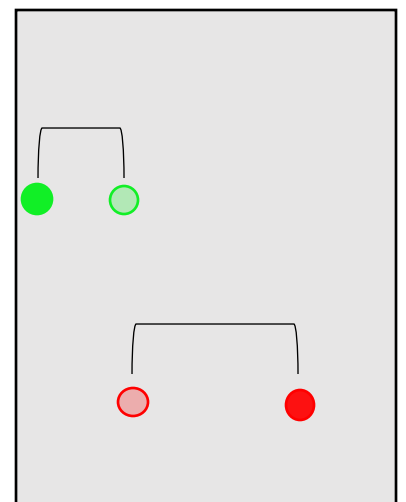
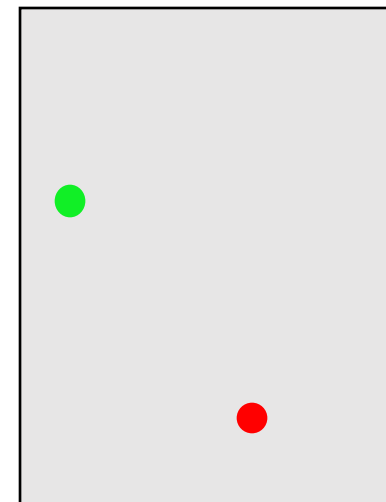
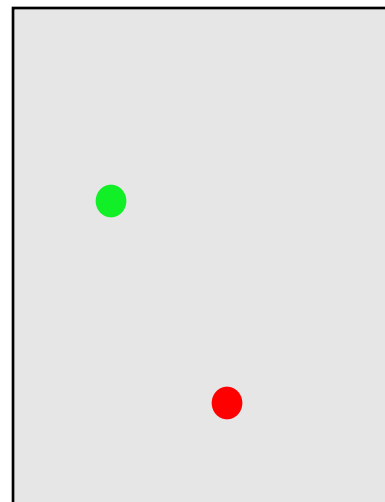
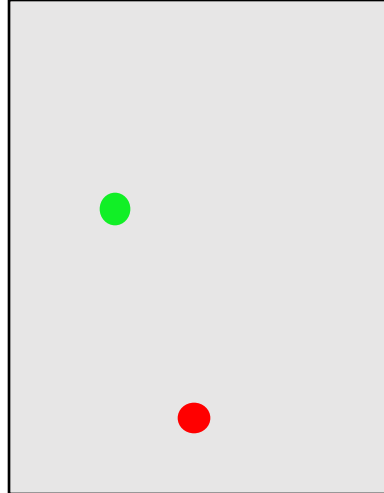
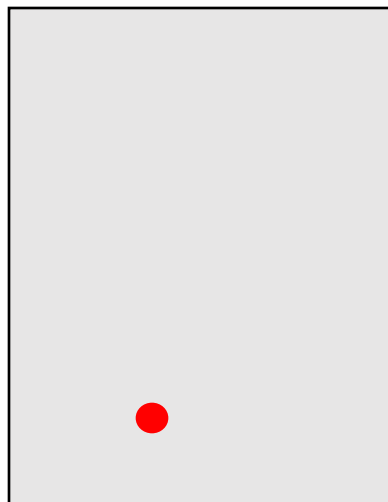
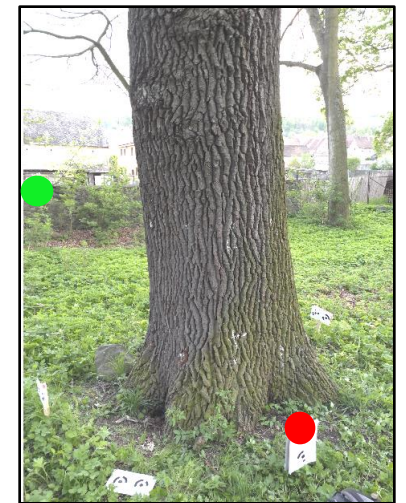
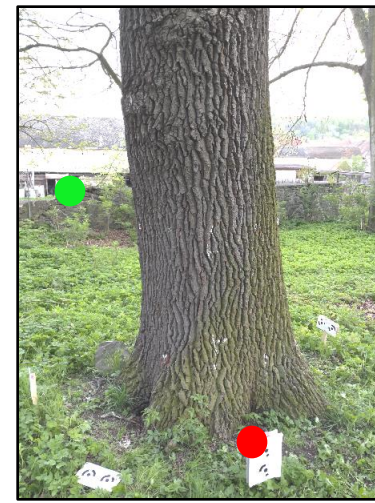
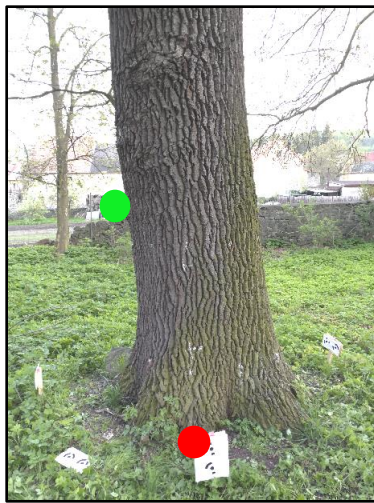
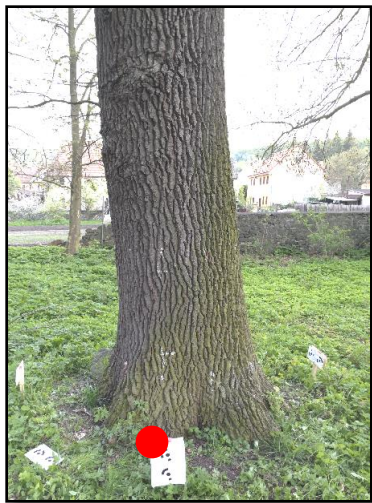


# SfM



Detekce výrazných bodů (Tie Points) na fotografii

# SfM



Odhad polohy bodů pomocí paralaxy



SfM



# Měřítka modelu

- Fotogrammetrické modely jsou bezrozměrné
  - *Je to 1 cm nebo 1 metr?*
- **Nutnost použití měřítek**
  - Značky s údajem o velikosti
  - Jsou použity v postprocesingu

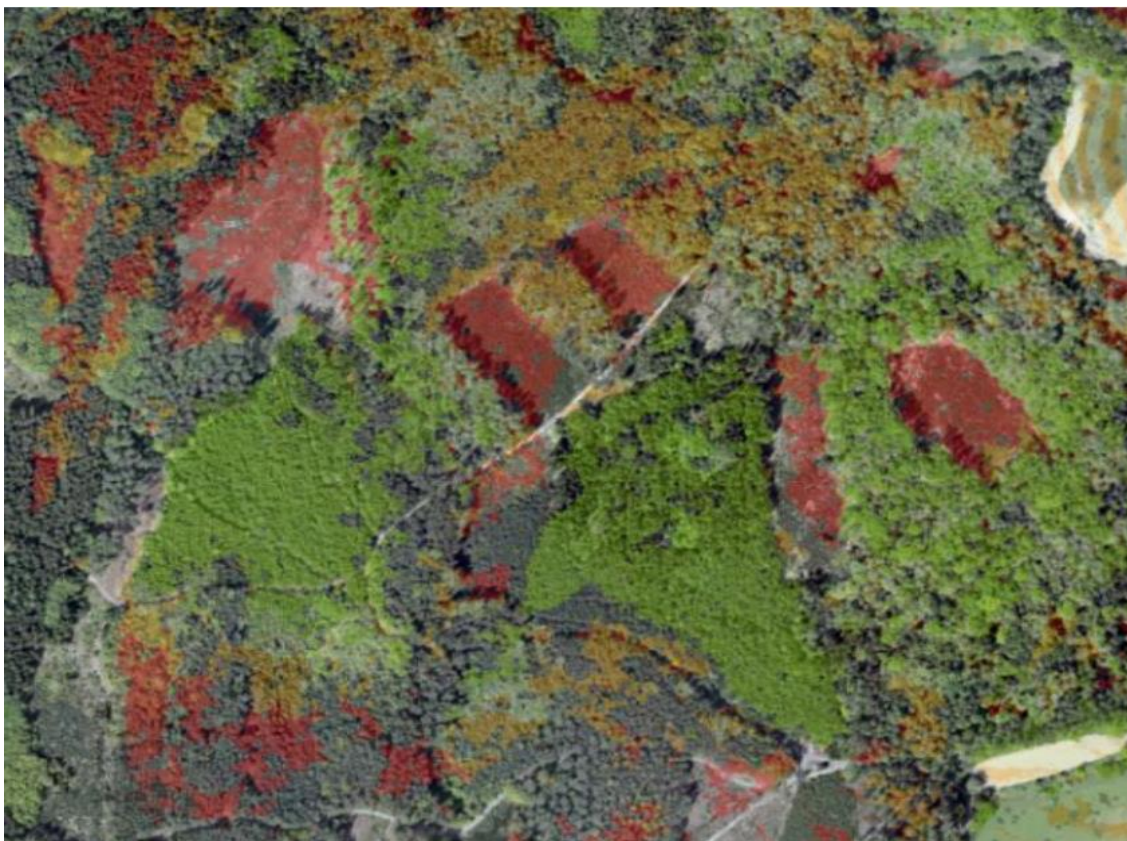
± 14 cm



Bitové značky z programu Agisoft Metashape



# Pozemní nebo letecká?



Výsledky letecké (vlevo) a pozemní (vpravo) fotogrammetrie

# Letecká fotogrammetrie (DAP)

## Výhody

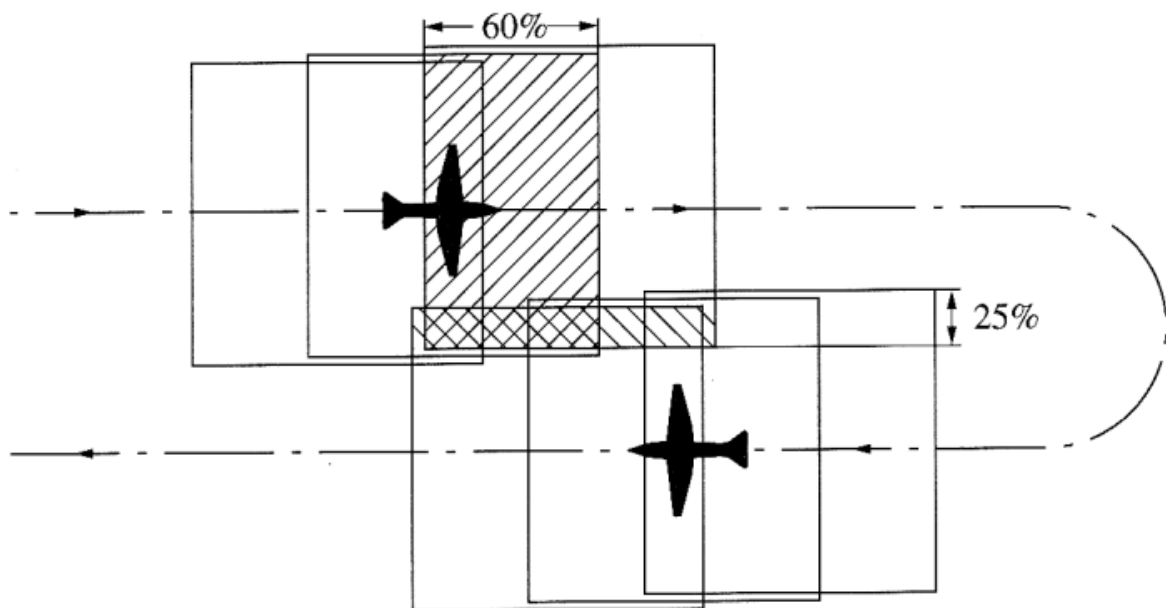
- Velké území
- Rychlost
- Nízká cena

## Nevýhody

- Nevhodná k určení tloušťek stromů
- Může potřebovat doplňující info o terénu
- Vytváří špatný model terénu
- Závislost na světelných podmínkách



# Letecká fotogrammetrie






Správný překryv leteckých snímků



Důsledek malého překryvu snímků

# Models

- DSM („*Digital Surface Model*“)
  - Viditeľný povrch 
- DTM („*Digital Terrain Model*“)
  - Pouze terén 
- CHM („*Canopy Height Model*“)
  - Pouze vegetace 

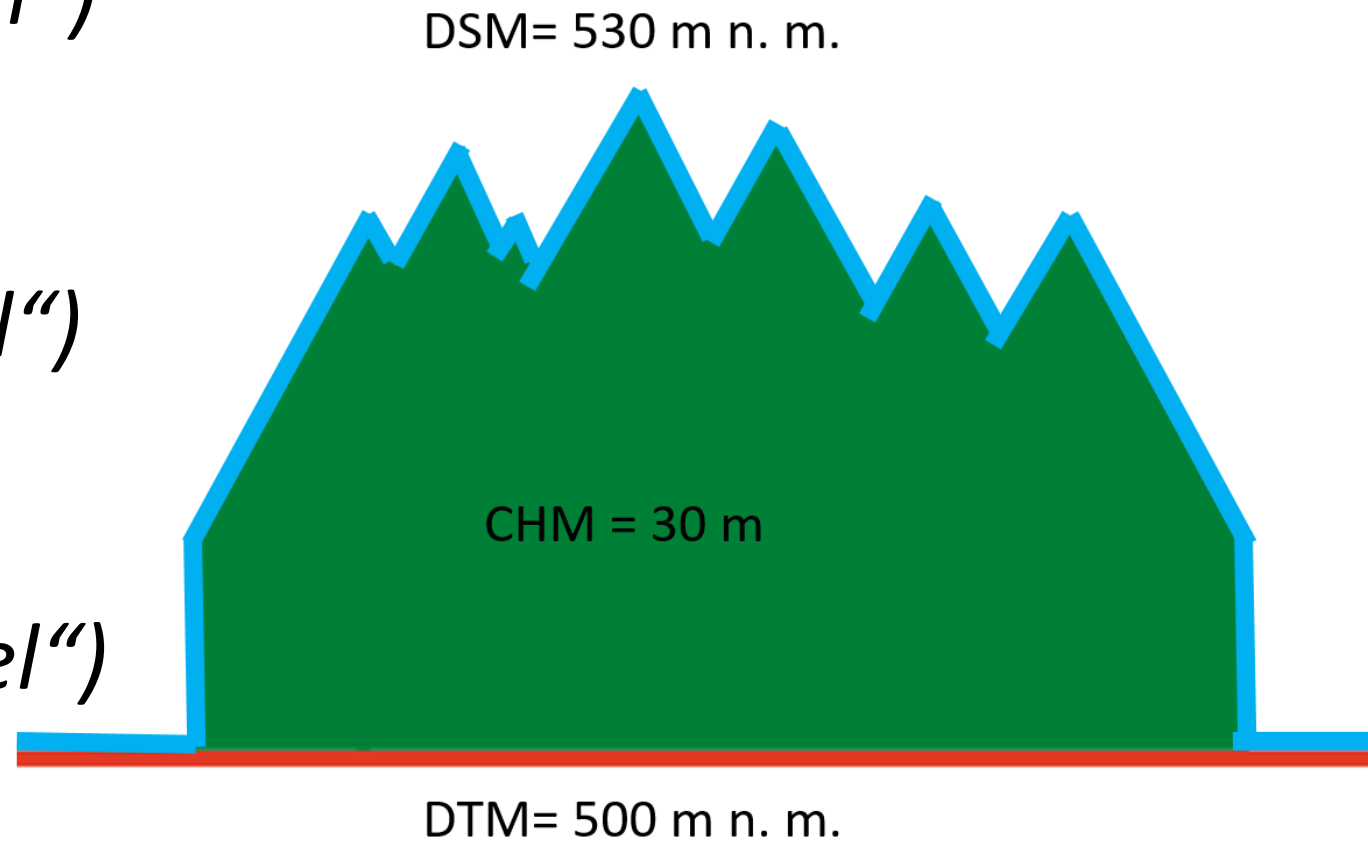


Schéma DSM, CHM a DTM



# Pozemní fotogrammetrie (CRP)

## Výhody

- Nízká cena
- Mnoho detailů
- Vysoká přesnost

## Nevýhody

- Bez výšek stromů
- Překážky ve viditelnosti
- Malé území
- Závislost na světelných podmínkách

# Pozemní fotogrammetrie



Překážky ve výhledu v husté mlazině



Závislost na světelných podmínkách

# Alternativní metody

- (RADAR)
- **LiDAR** (Letecký nebo pozemní → ALS nebo TLS)

## Výhody

- Přesné výsledky
- Projde zápojem
- Nezávislost na světle

## Nevýhody

- Drahé vybavení
- Drahý sběr dat
- Méně detailů
- Omezený dosah





LEVO –Photogrammetry, PRAVO – LiDAR



# Výsledky výzkumu

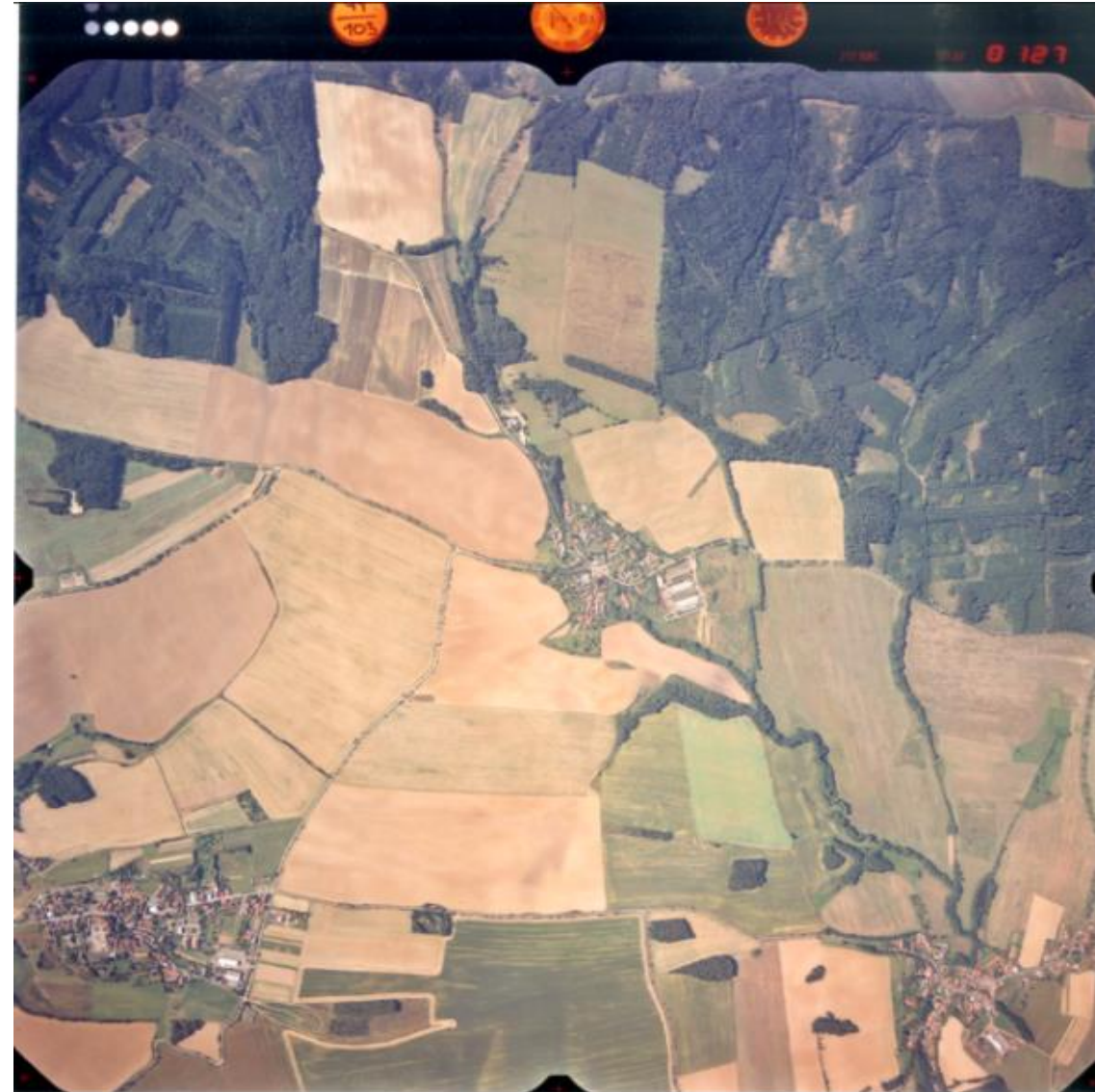
- Chyby metod (RMSE)
  - **CRP** je málo využívána k určení výšky a objemu kmene
    - Používá se jen pro malé stromy
  - **DAP** je málo využívána k odvození výčetní tloušťky a objemu jednotlivých stromů
  - **ALS** je málo využíváno k odvození objemu jednotlivých stromů
  - **TLS** je málo využíváno k odvození výšky stromů

Method	DBH [cm]	Height [m]	Volume [m <sup>3</sup> ]
CRP	0,3 - 9,5	0,128 - 1,67	0,125 !
DAP	3 !	0,2 - 3,2	0,2 !
ALS	1,1 - 22	0,3 - 1,9	0,026 !
TLS	0,9 - 8,2	2 !	0,4 - 1,8

Využití fotogrammetrie v našem výzkumu

# Detekce výškových změn mezi 1999 a 2020

- Analogové i digitální fotografie
- Letecké snímky
- Školní lesní podnik v Kostelci n. Č. l.

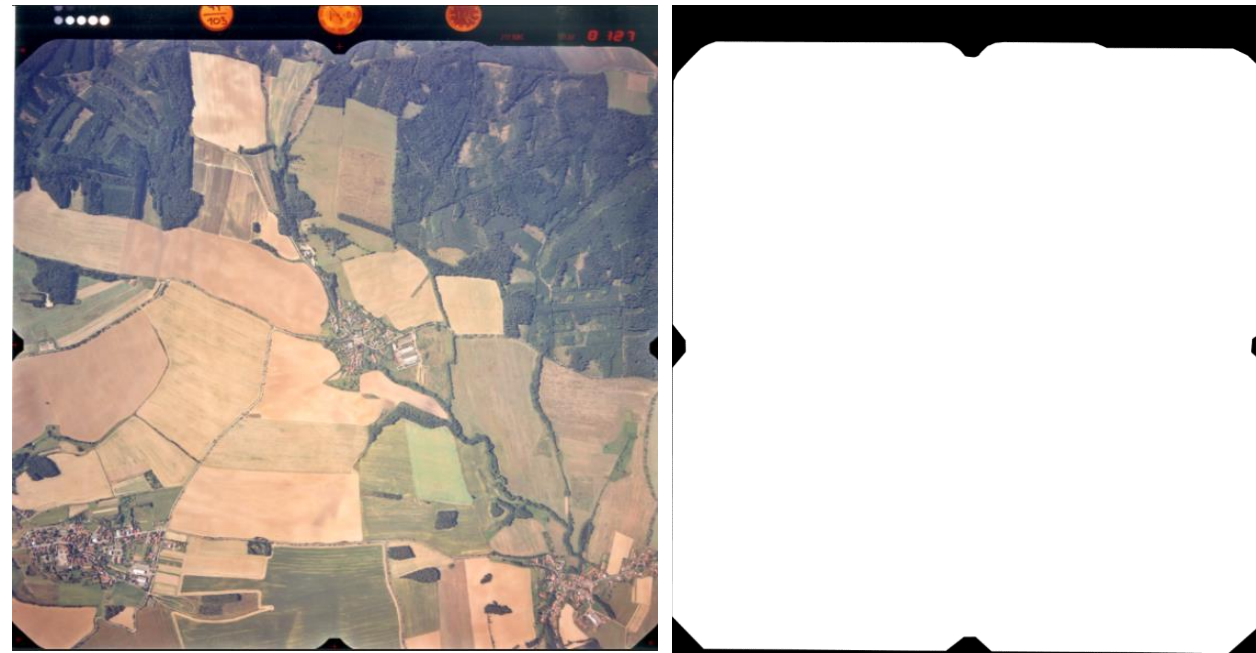




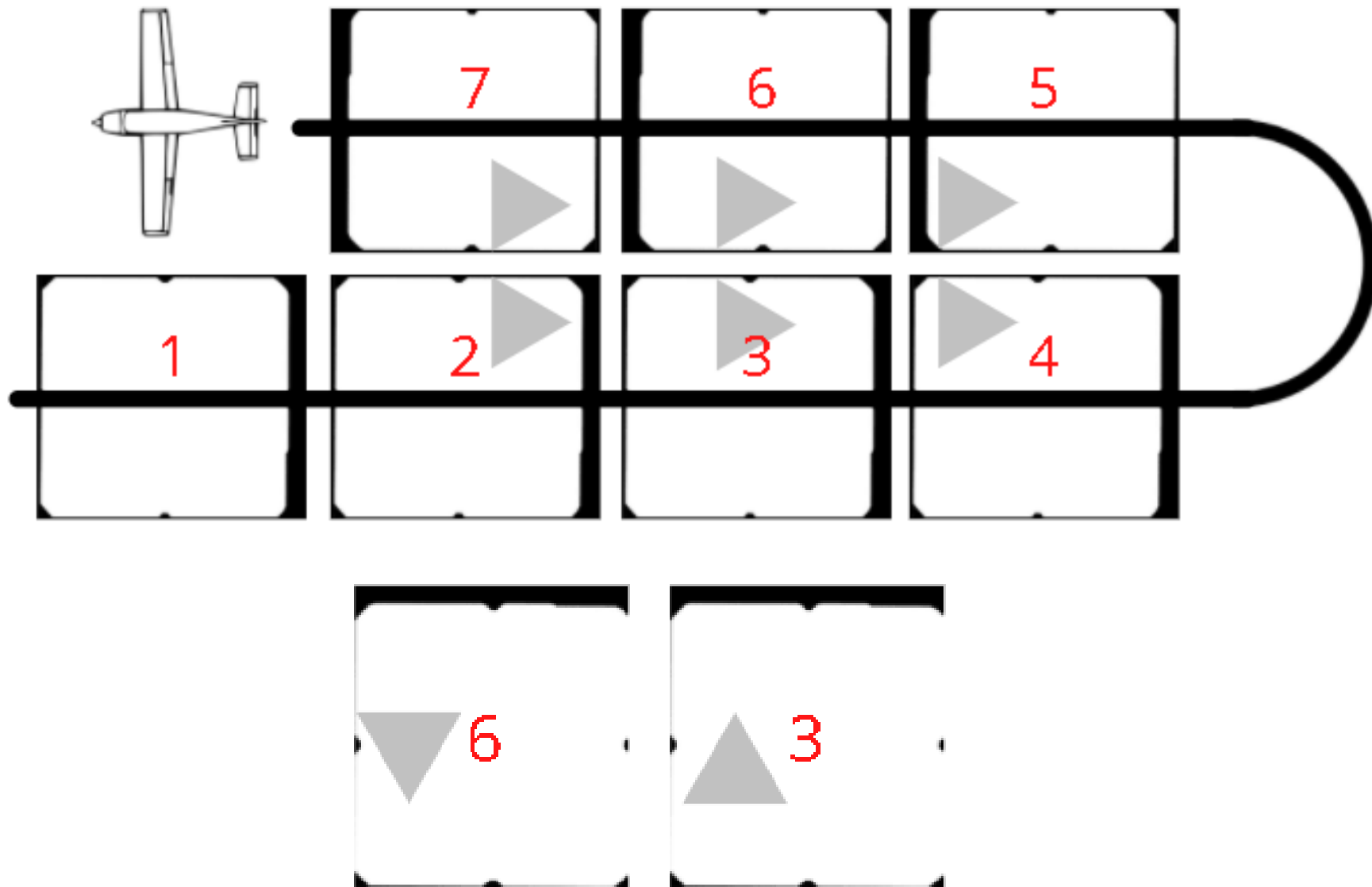
# Agisoft Metashape



- Nahrání snímků
  - Chunk → Add → Add Folder/ Photos
- Workflow
  - Align Photos –
    - „maskovat“ přístrojovou lištu
    - otočit snímky stejným směrem
  - Build Dense Cloud
  - Build DEM



Maskování přístrojové lišty



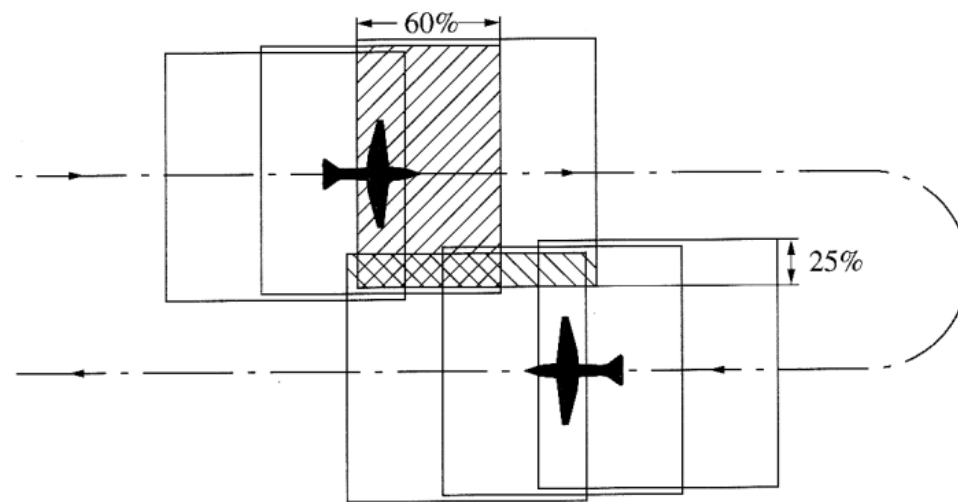
Objekty na snímcích nejsou otočeny stejným směrem

# Husté bodové mračno

- Build Dense Cloud
  - Lze zvolit požadovanou kvalitu a míru filtrování šumu

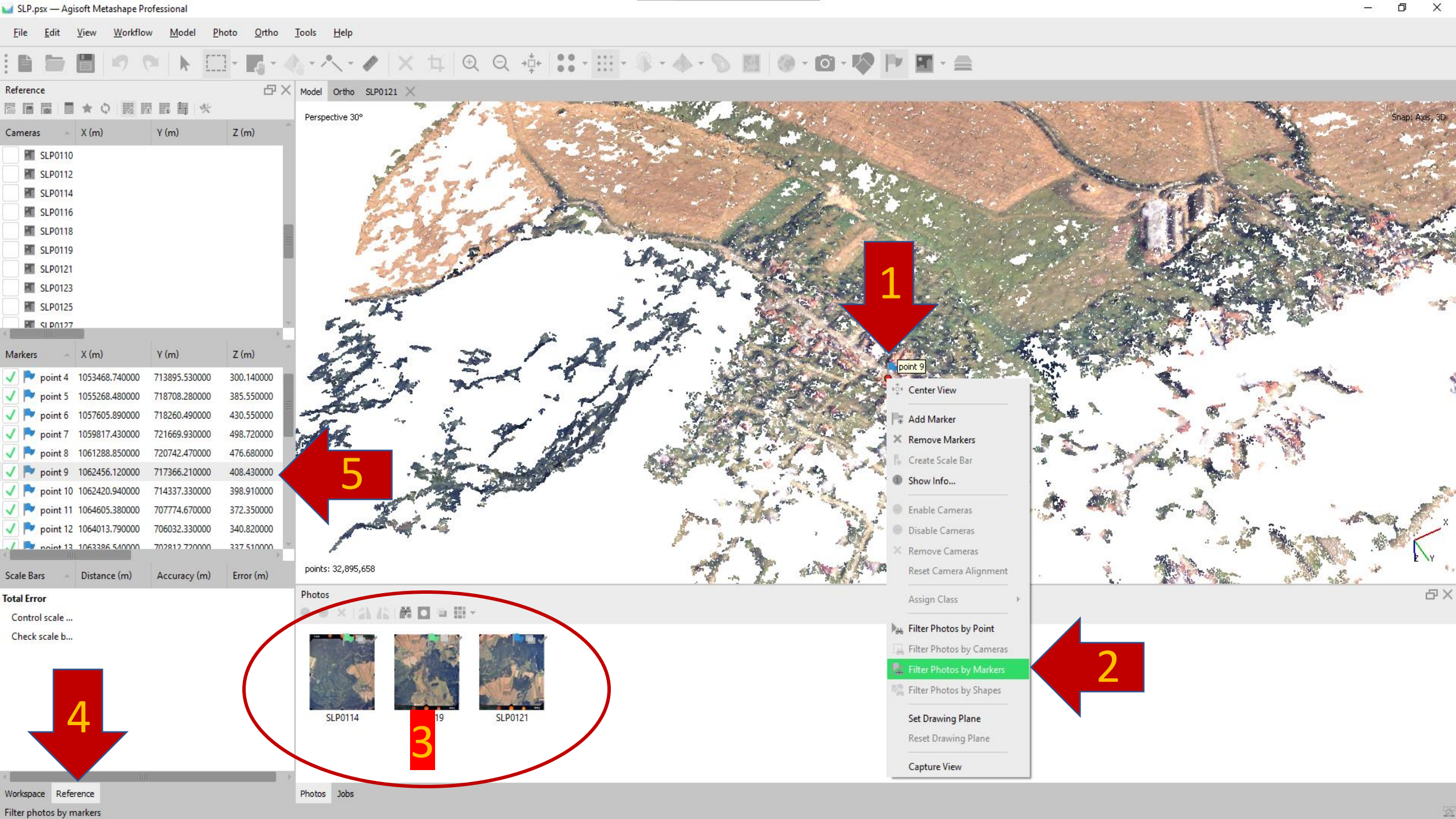


Husté bodové mračno ze snímků s  
nedostatečným překryvem

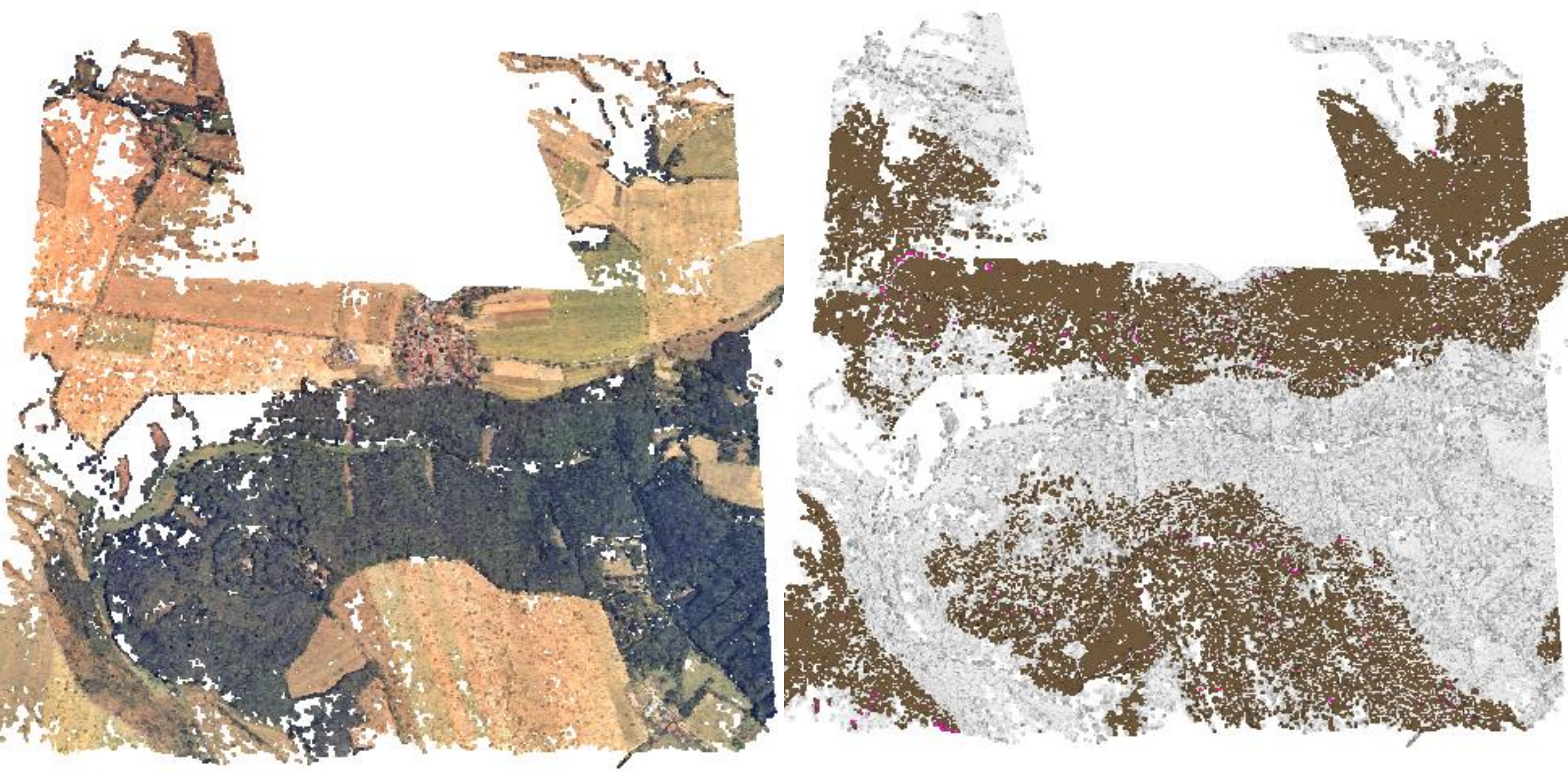


Správný překryv leteckých snímků







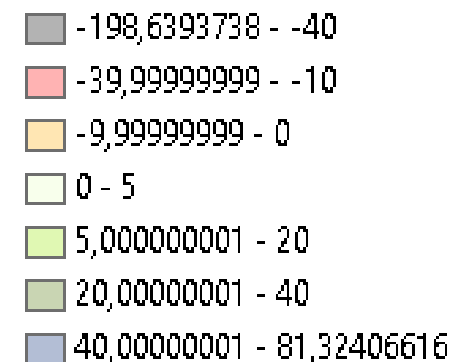
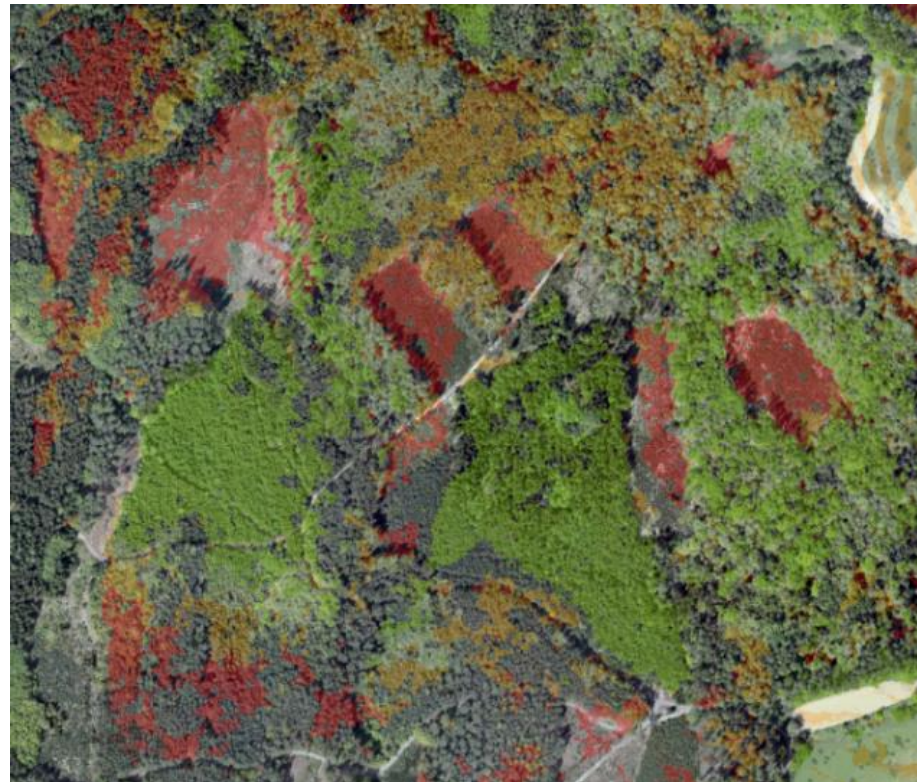
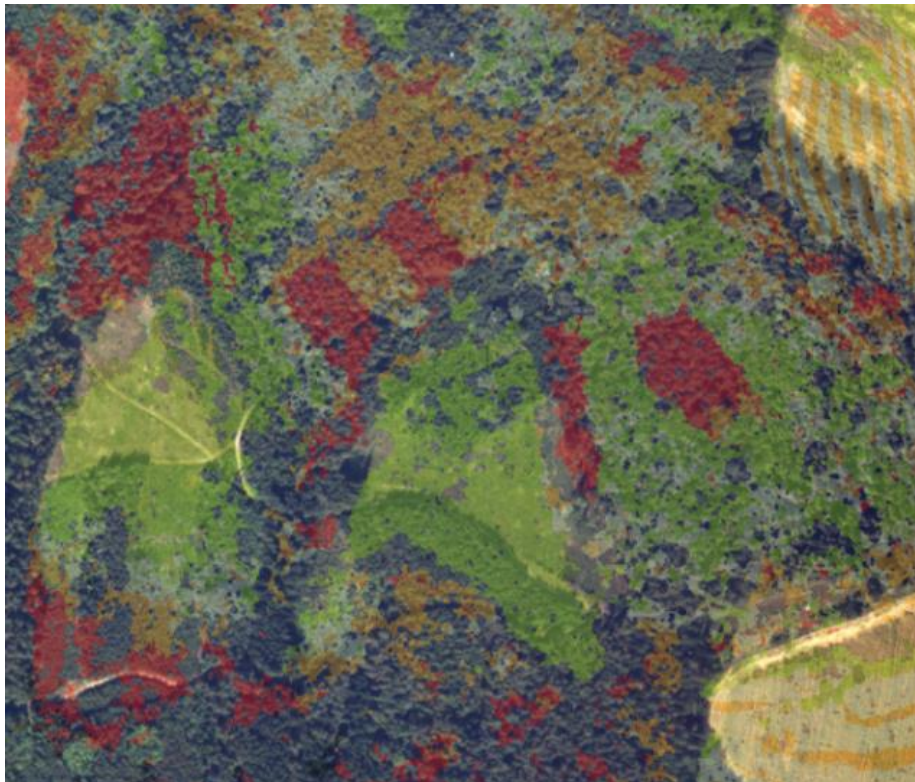


Obrázek č. 16– Vlevo RGB bodové mračno, vpravo klasifikace terénu (hnědá), ostatního (šedá) a šumu (fialová)



# Rozdíly mezi různými obdobími

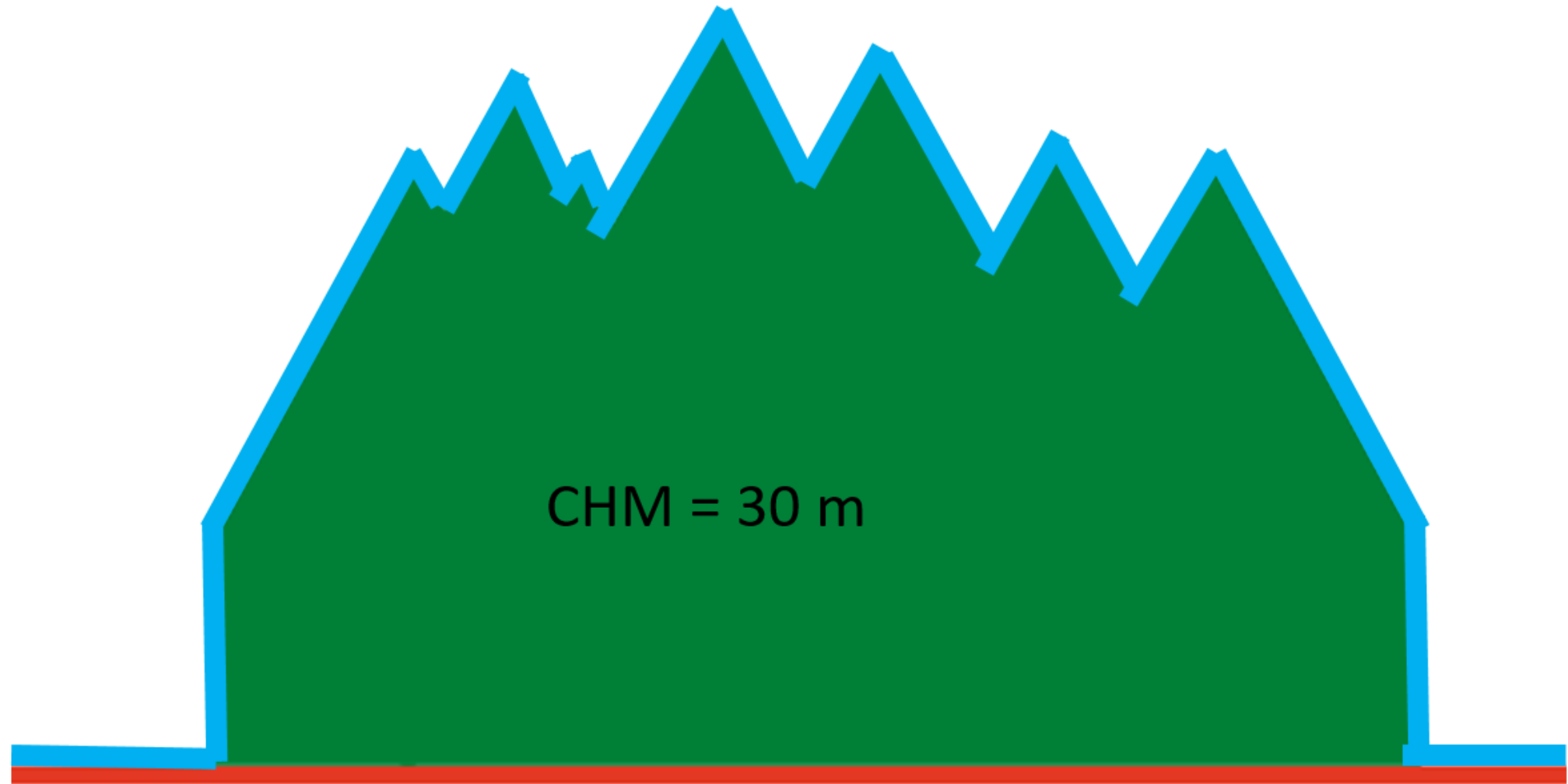
- Výpočet rozdílů mezi CHM z více období
  - Raster Calculator →  $CHM_x - CHM_y$



Znázornění změny výšek lesa mezi lety 1999 (vlevo) a 2020 (vpravo)



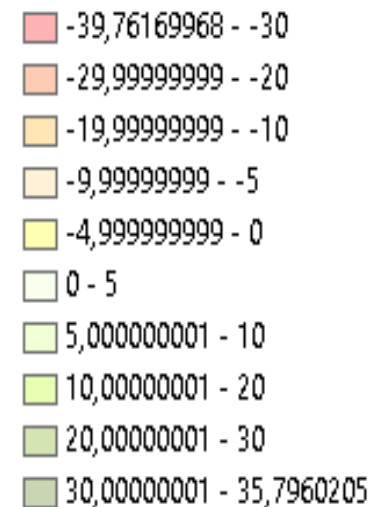
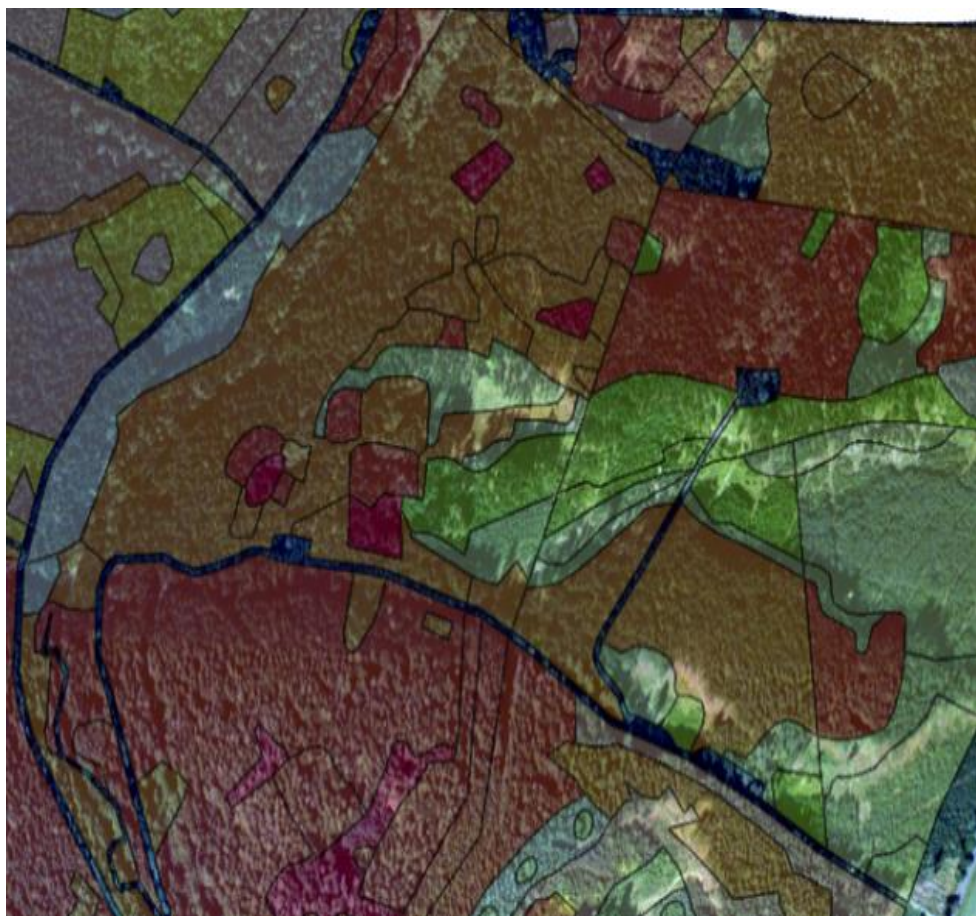
DSM= 530 m n. m.



DTM= 500 m n. m.

# Rozdíly pro jednotlivé JPRL

- Propojení s polygonovou vrstvou LHP

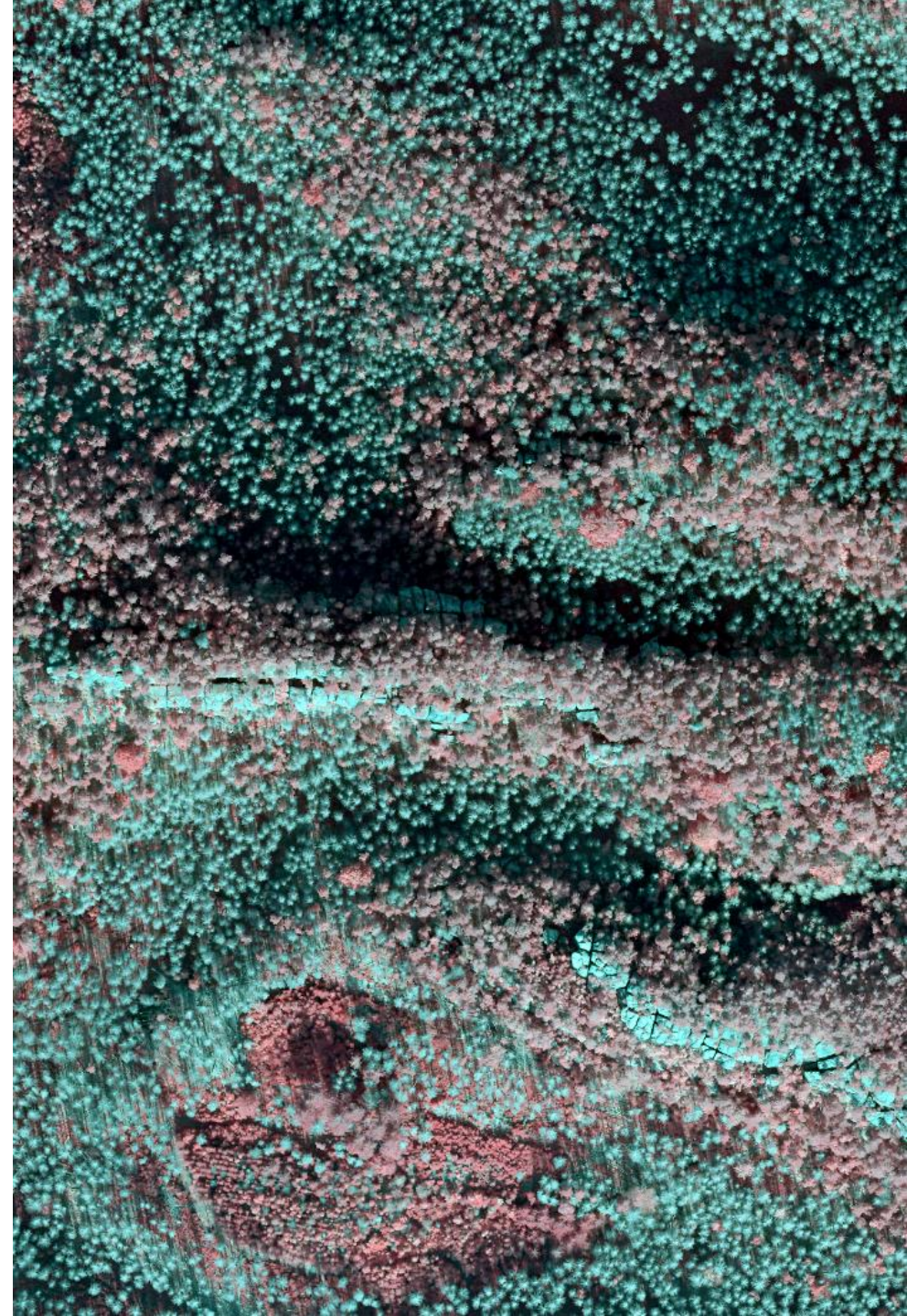


Výsledek Zonal Statistics. Vlevo na podkladu ortofoto 1999, vpravo 2020

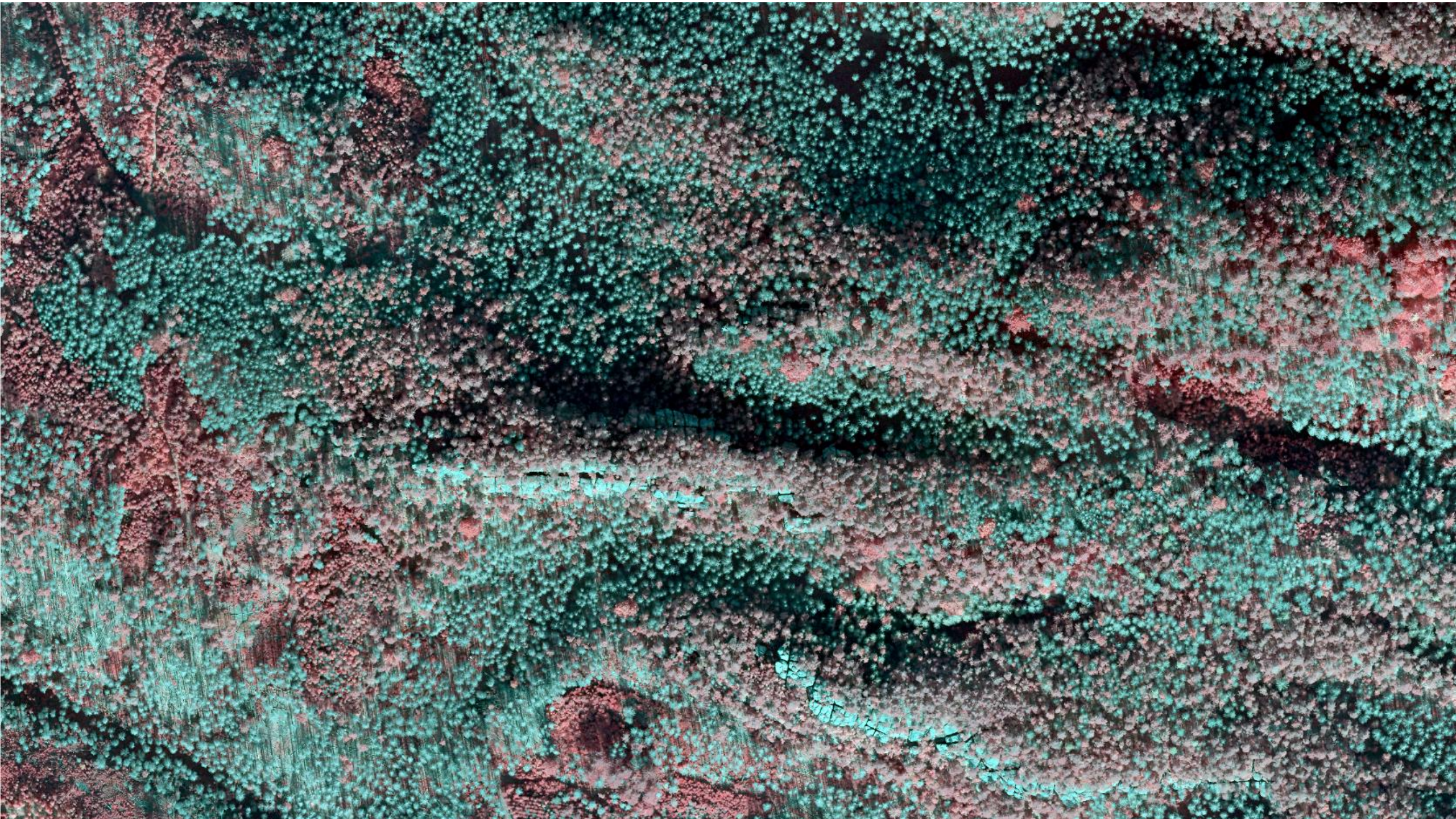


# Vývoj kůrovcové kalamity

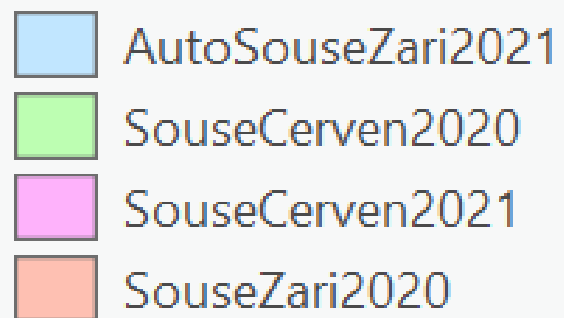
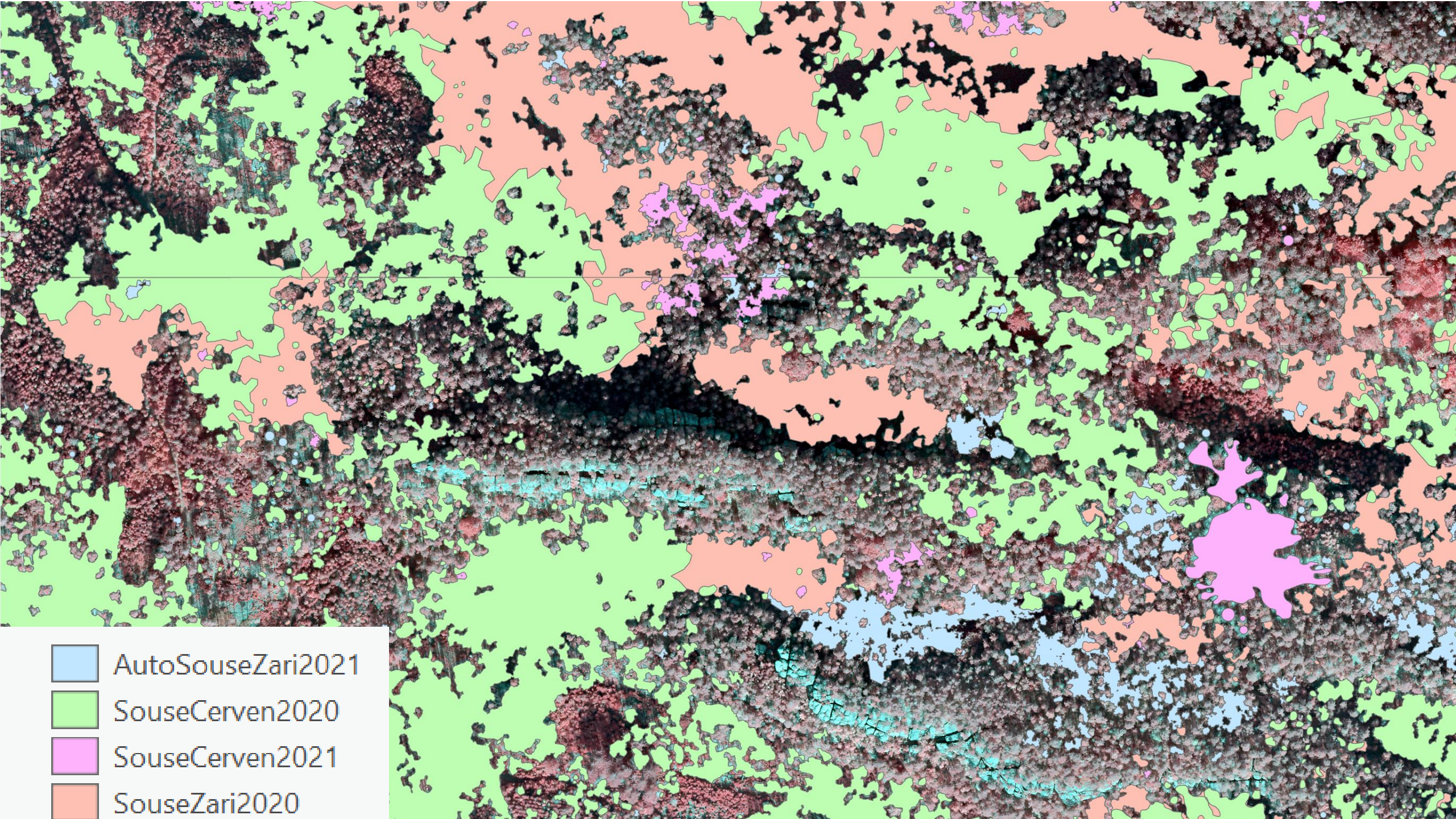
- Národní park České Švýcarsko
- Letecké multispektrální fotografie
- Roky 2020 a 2021
- Využití strojového učení (AI)













# Rekonstrukce architektury stromů

- Porovnání fotogrammetrie s magnetickým digitizérem





# Small-tree reconstruction workflow

iPhone fotografie  
(Lens Buddy App)



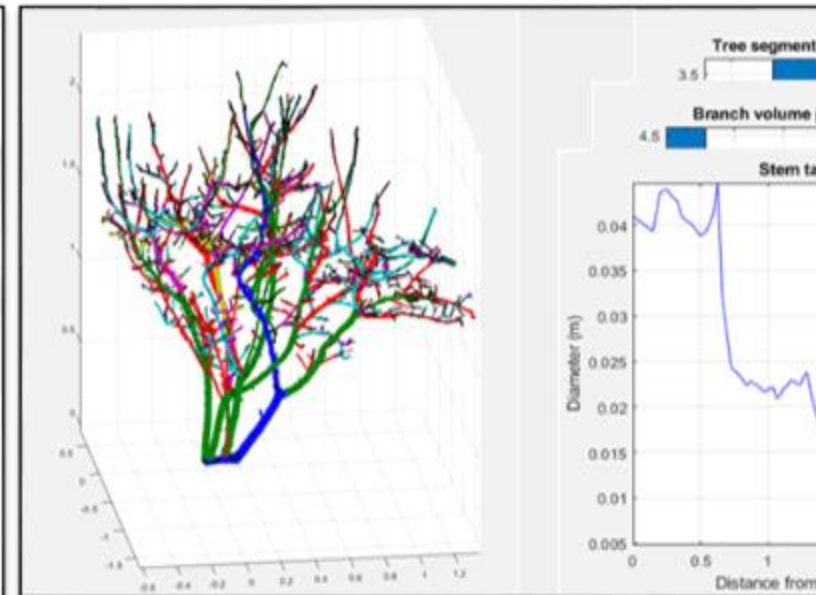
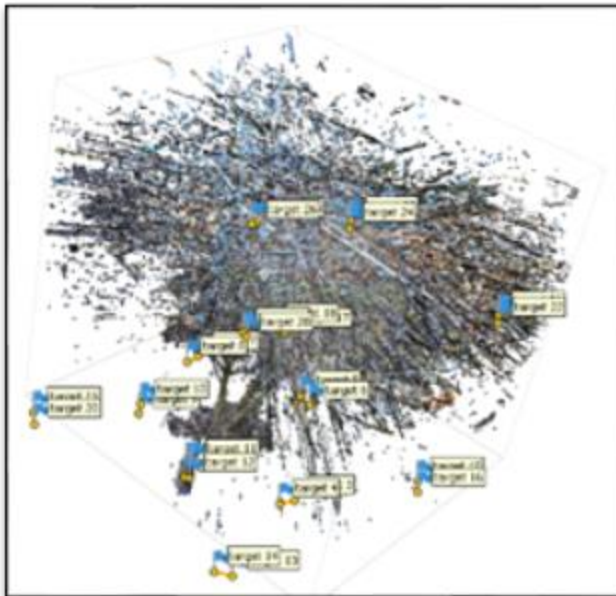
Tvorba bodového mračka  
(Agisoft Metashape)



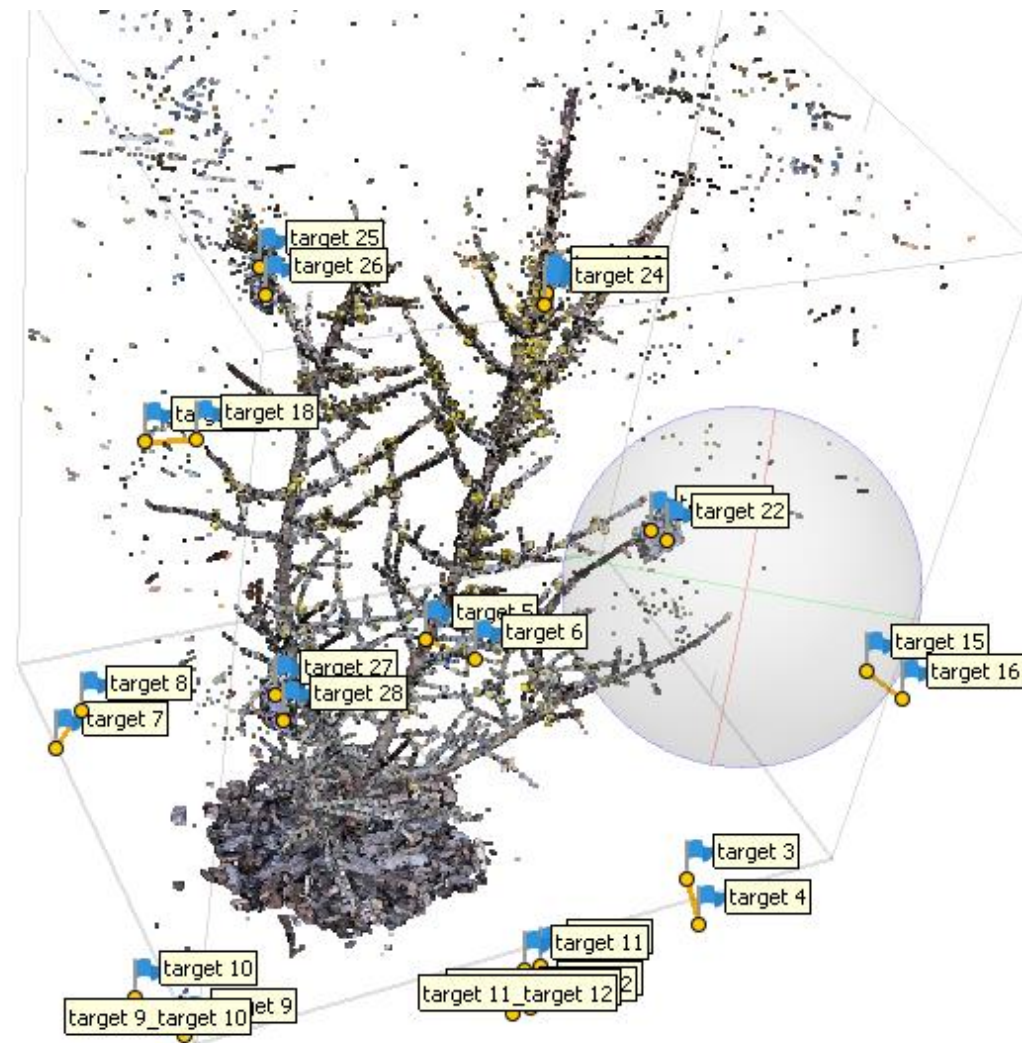
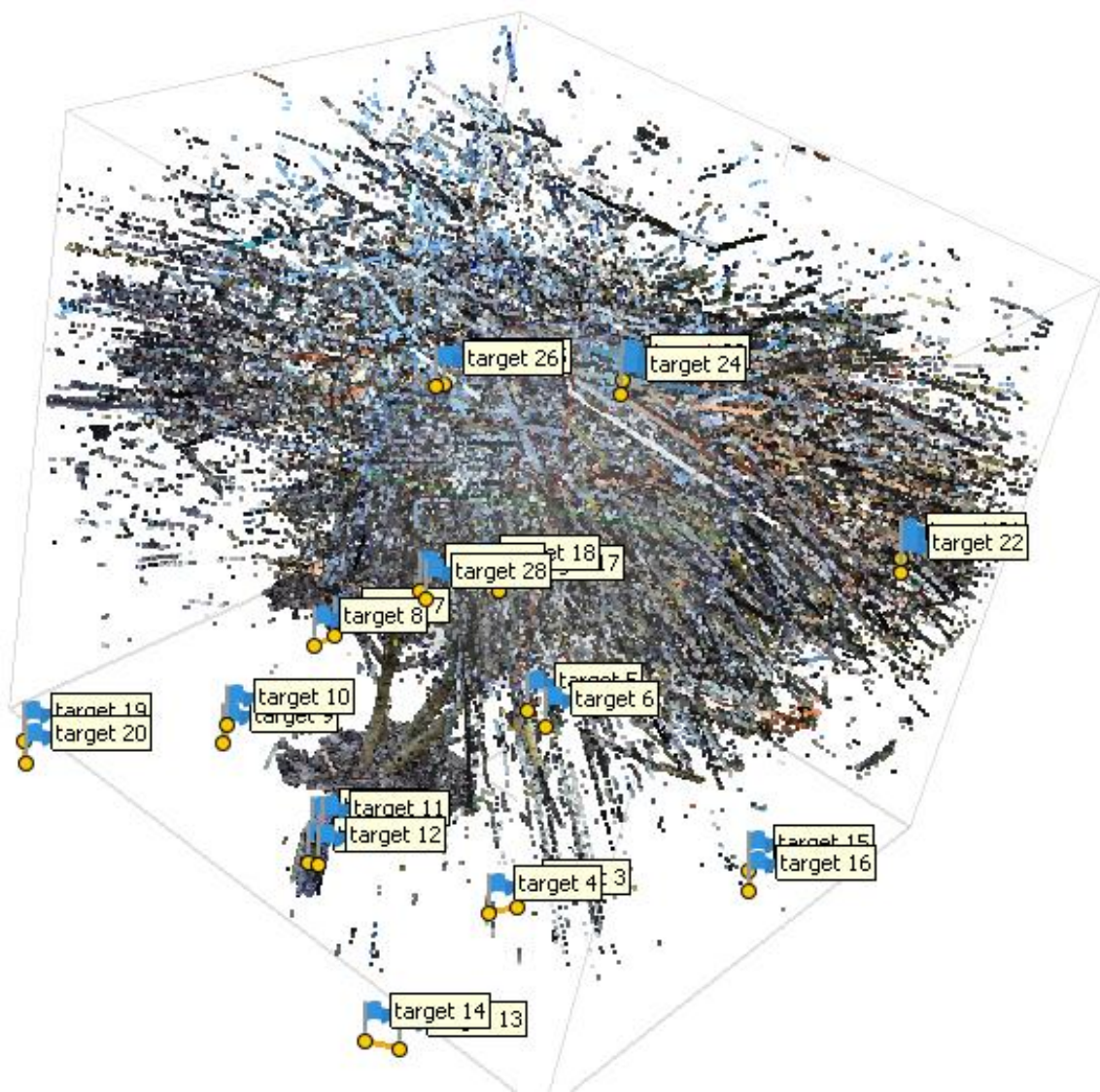
Filtrování bodového mračka  
(Agisoft Metashape;  
CloudCompare)



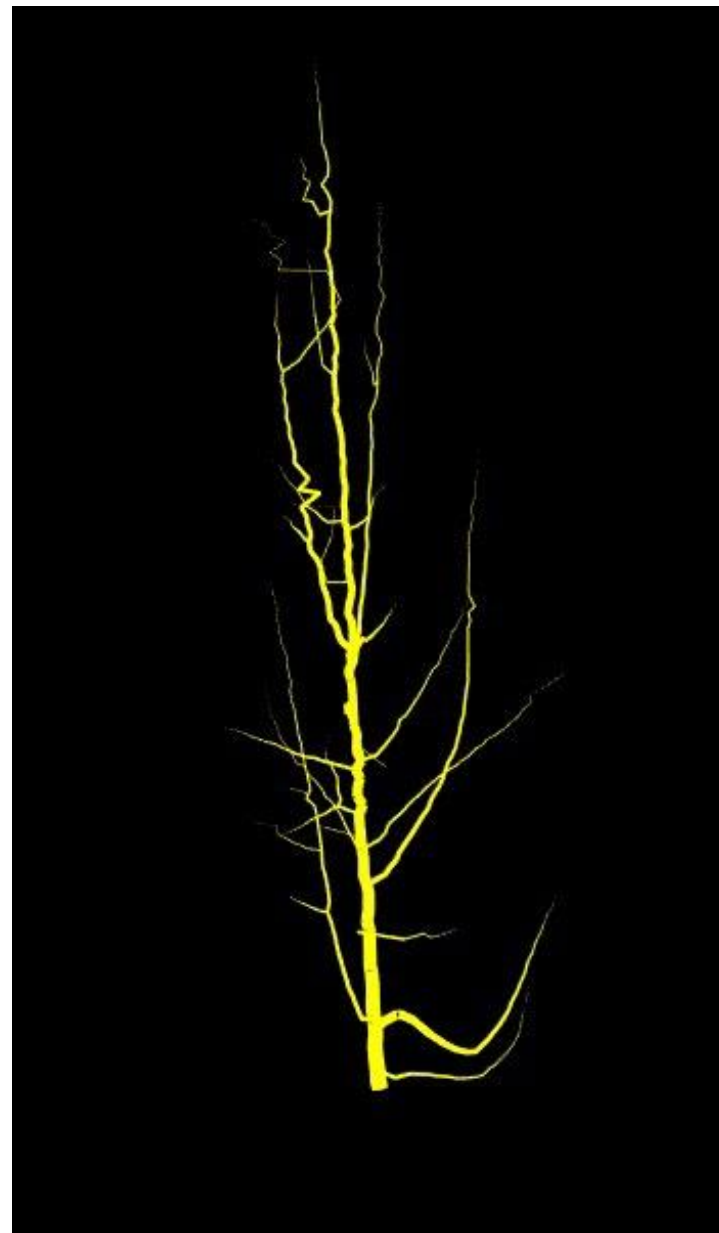
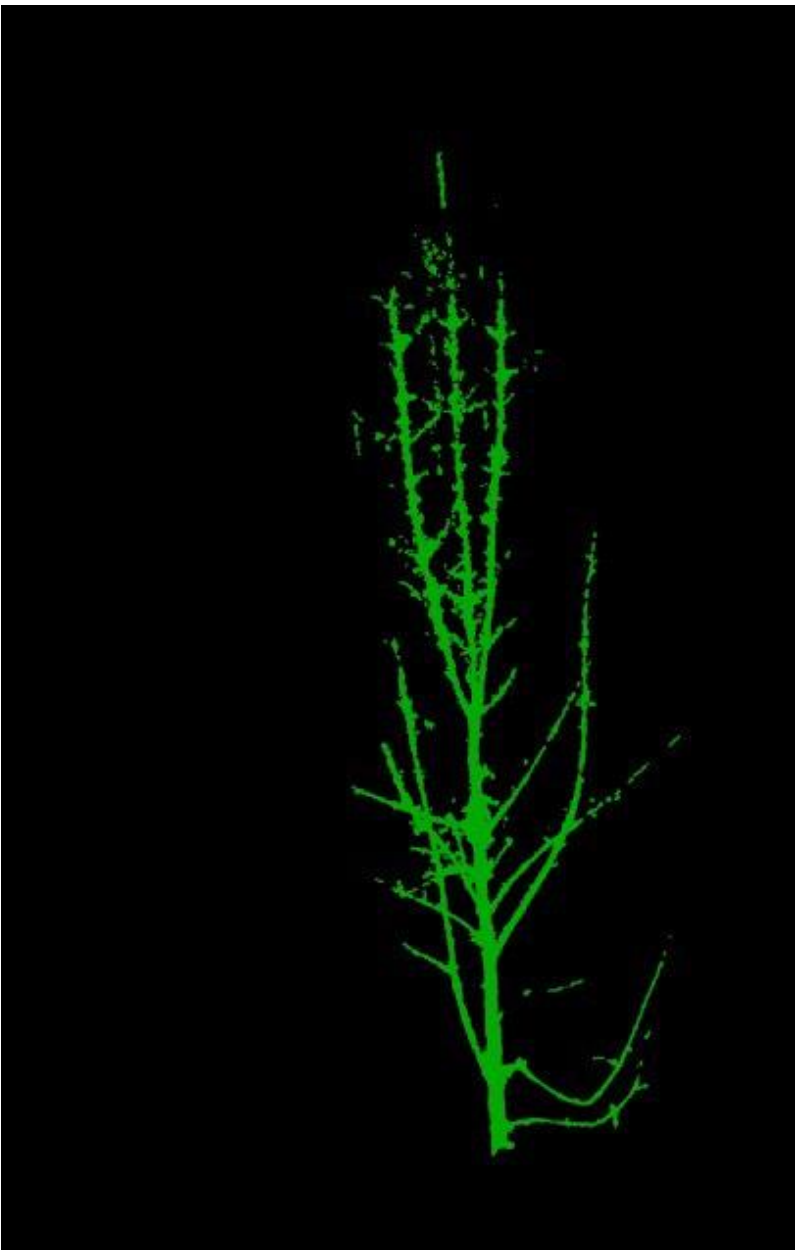
Tvorba QSM  
(Matlab: TreeQSM; 3D Forest)



# Zpracování bodového mračka



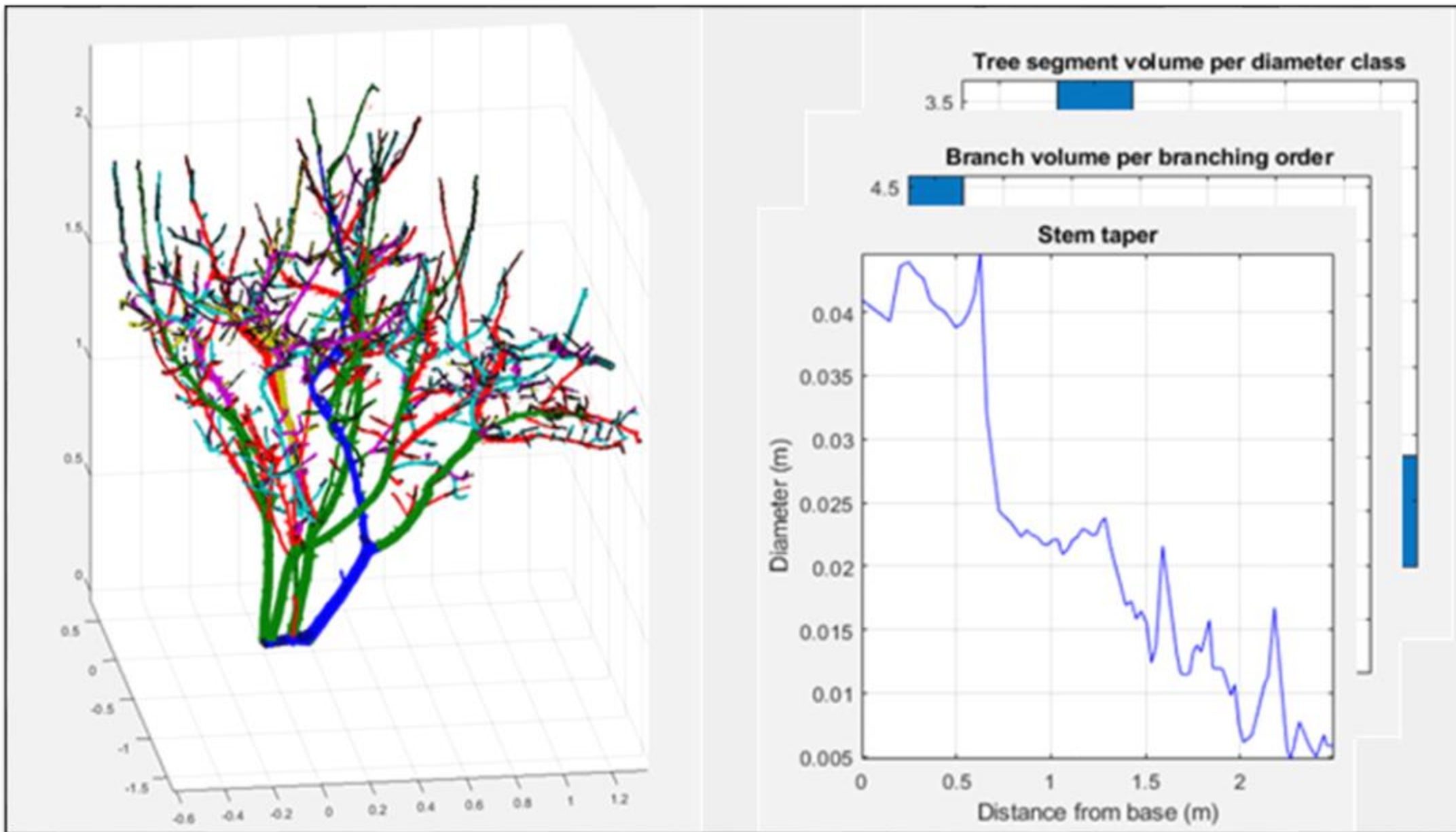




Bodové mračno převedené do QSM



# QSM



# Co je QSM?

- Quantitative Structure Model
  - Dřevnatá část stromu – kmen, větve
    - Reprezentace pomocí válců a kuželů
  - Topografie, geometrie, volumetrie
    - Počet větví, délky, větvení, úhly nasazení větví
    - Objem různých částí, poměry mezi parametry aj.
  - PC programy
    - TreeQSM
    - SimpleForest



# Tvorba modelů stromů / lesa pro VR

- VR = Virtuální realita
- Spolupráce s portugalskou univerzitou v Évoře
- Prohlídka stromu / lesa pomocí brýlí pro VR
- Probíhá v současnosti...





















# Fotogrammetrie













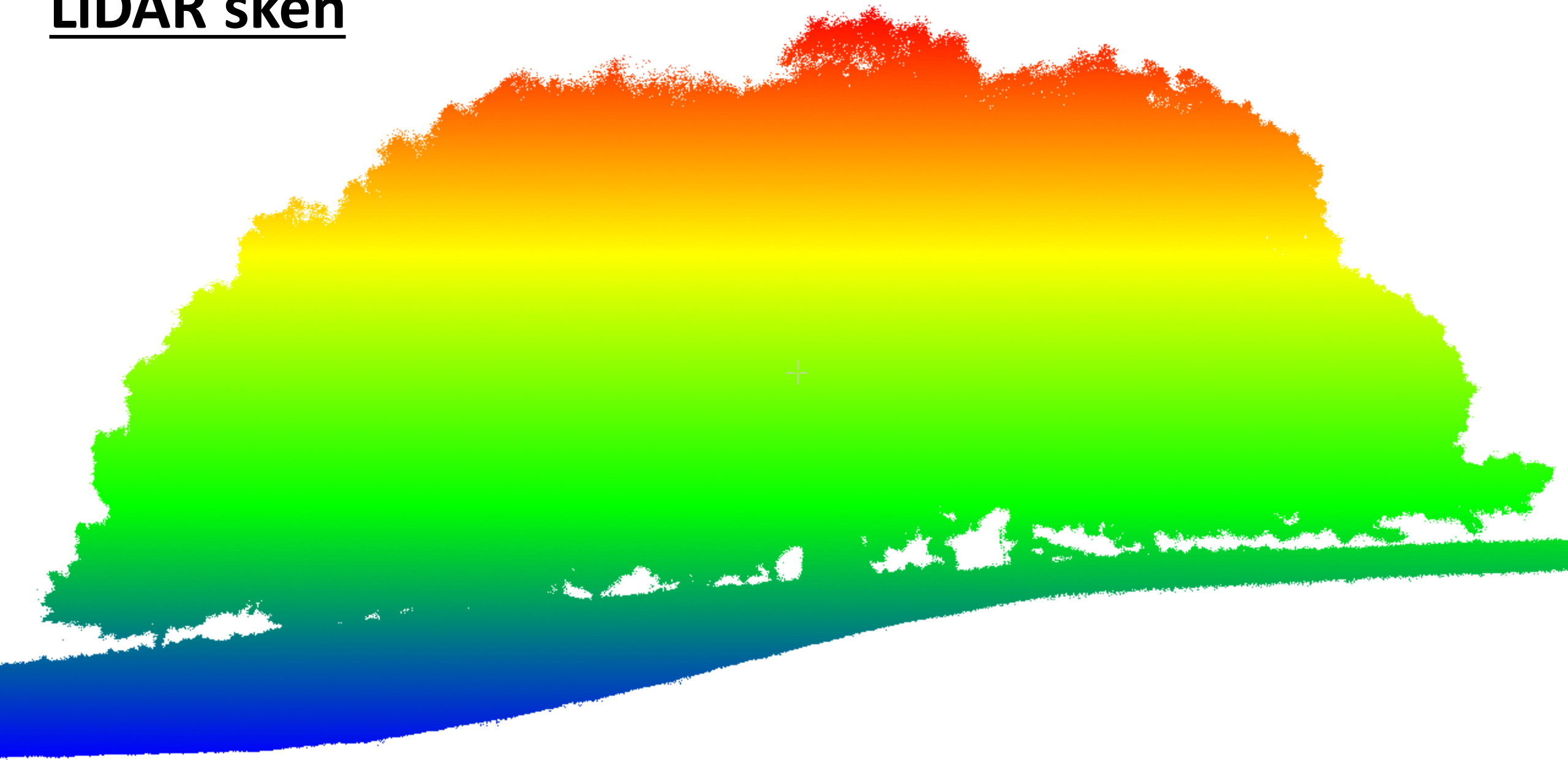




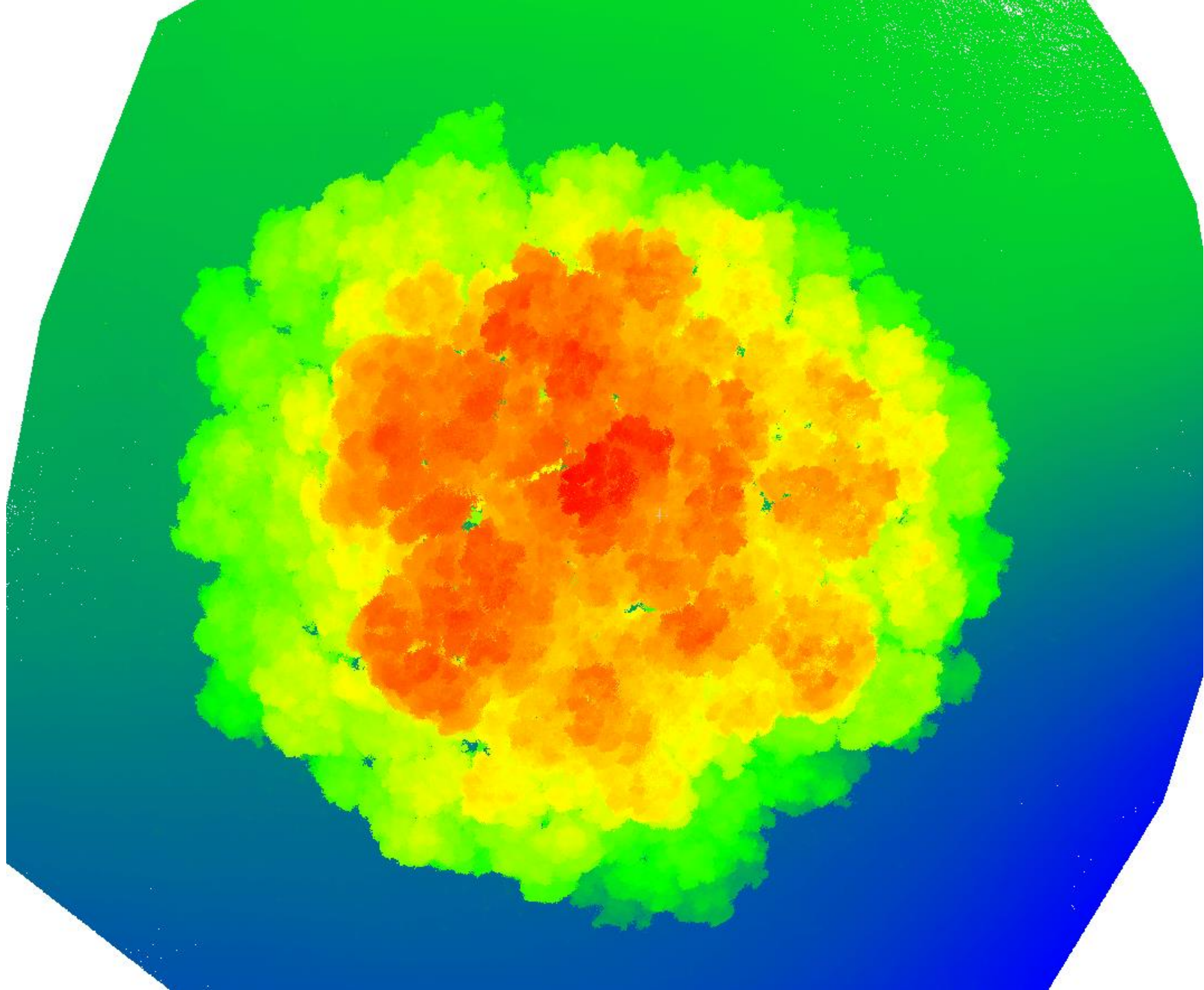


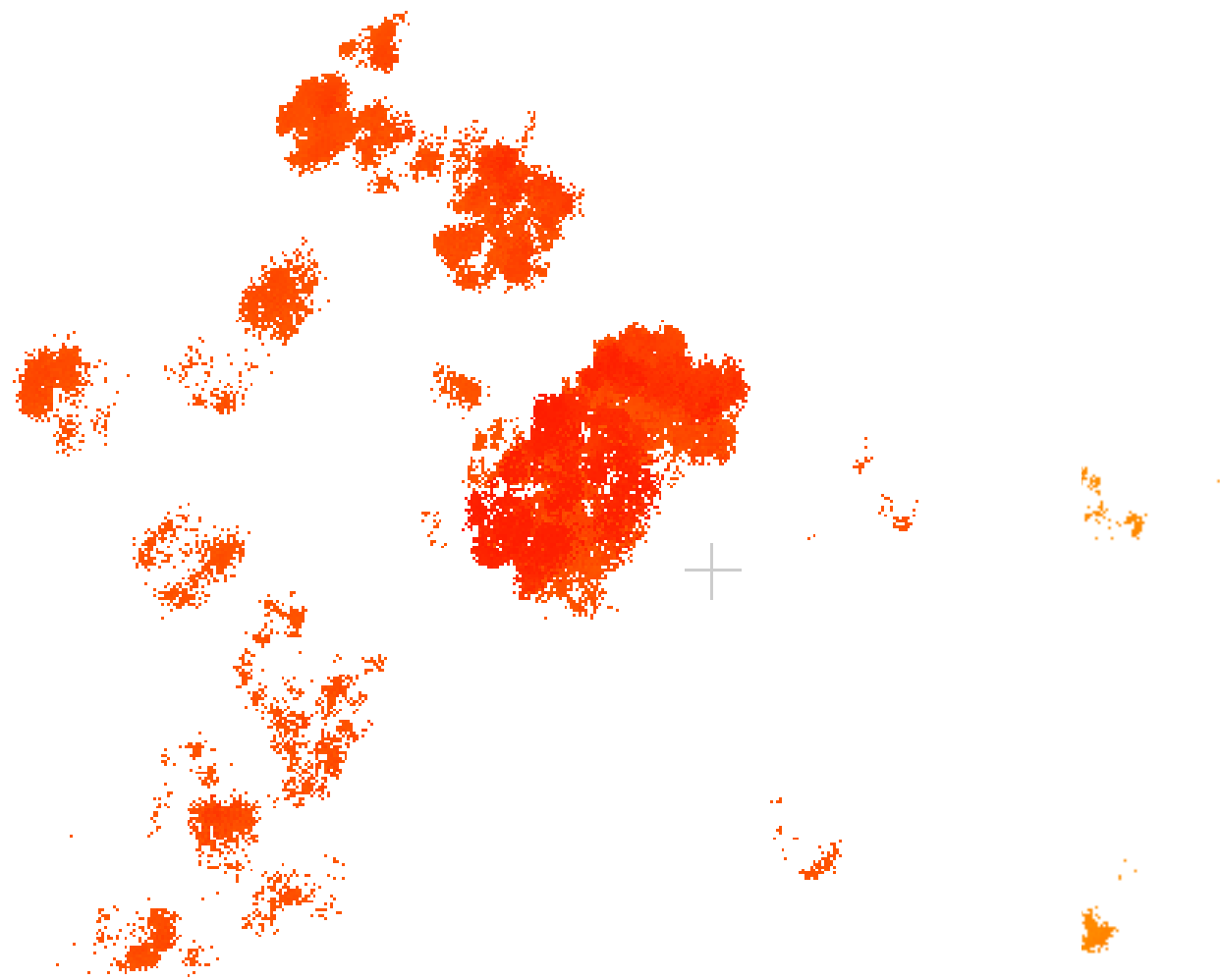


# LiDAR sken







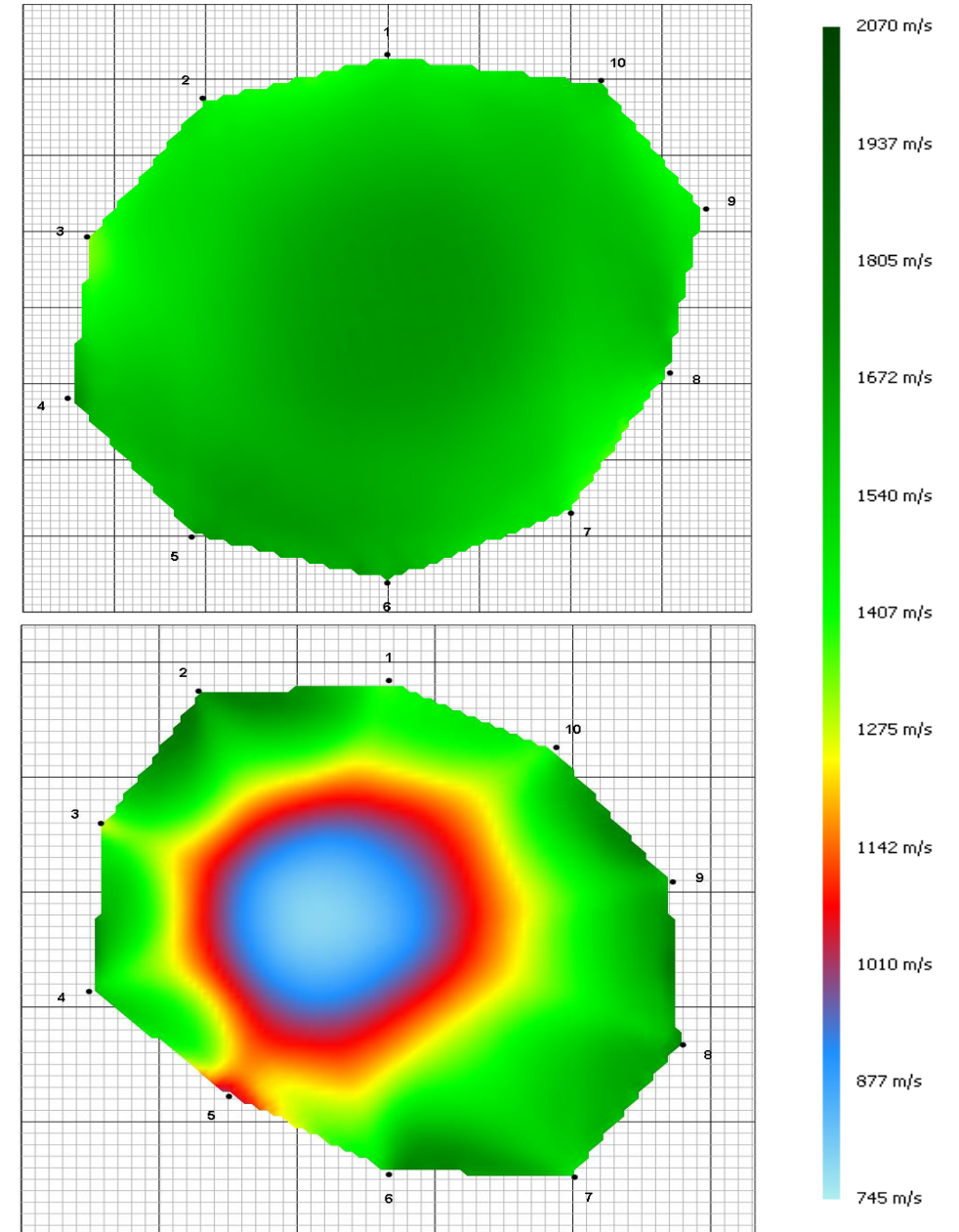




# Detekce shnilých stojících stromů

- Zpřesnit akustickou tomografii
- „Nahradiť“ akustickou tomografií
- Fotogrammetrie a LiDAR v mobilním telefonu
- Využití strojového učení – umělé inteligence

# Akustická tomografie



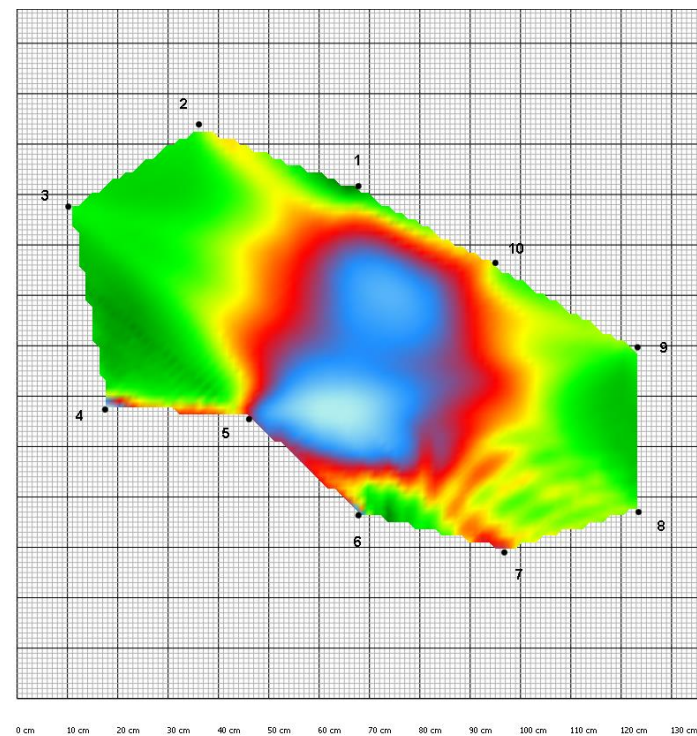
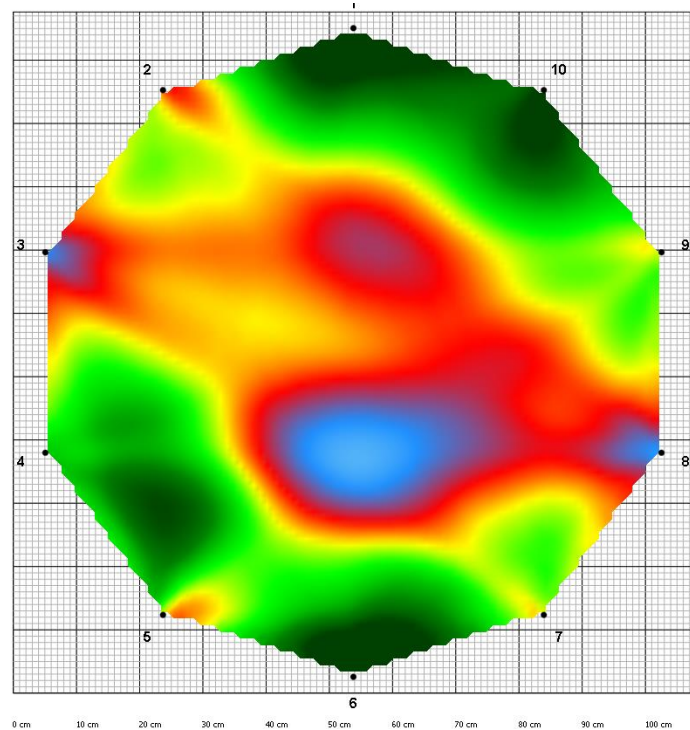


# Zlepšená tomografie

- Kruh nereprezentuje tvar kmene dobře
- Z 3D modelu vypočítány vzájemné vzdálenosti sensorů tomografu



# Zlepšená tomografie

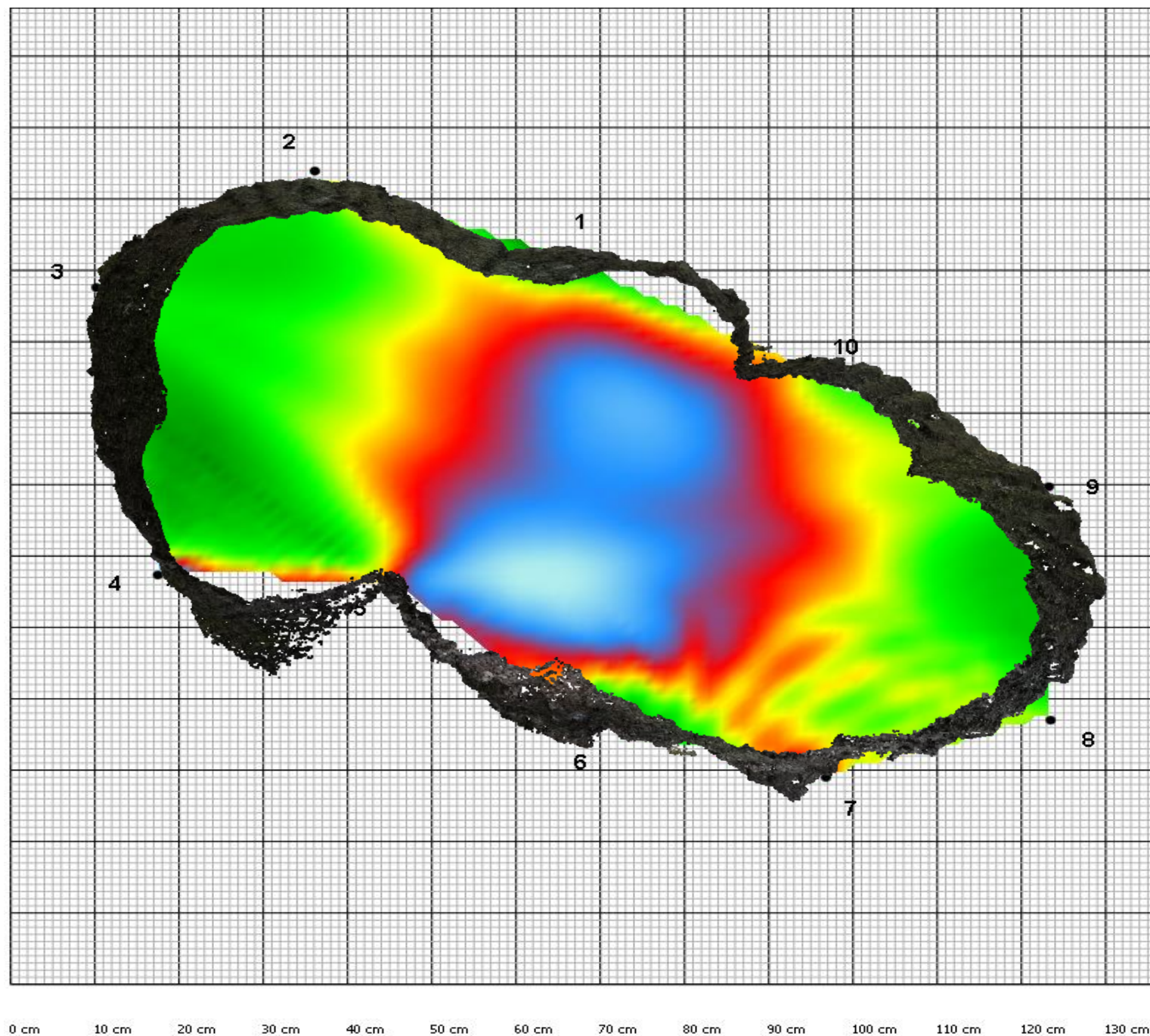


Tomogram: kmen jako kruh

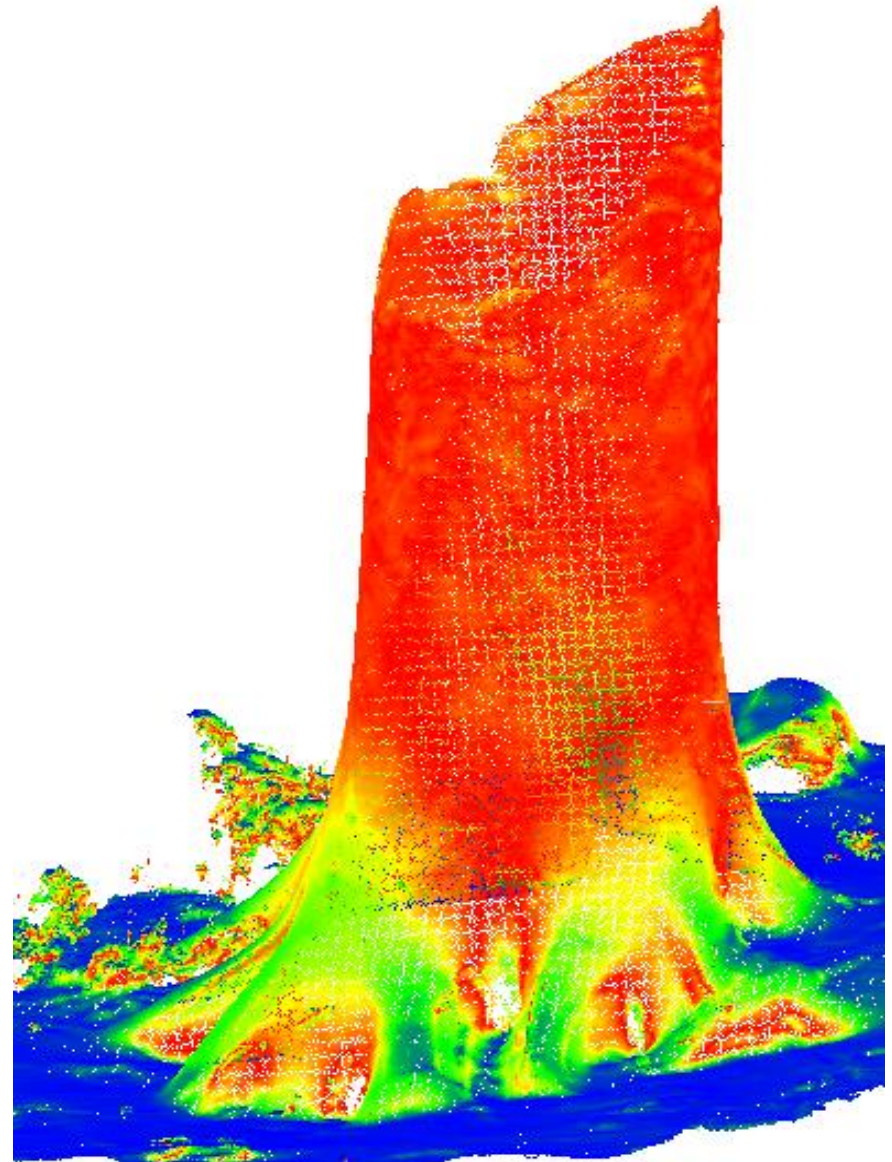
Tomogram: „skutečný“ tvar

3D bodové mračno kmene



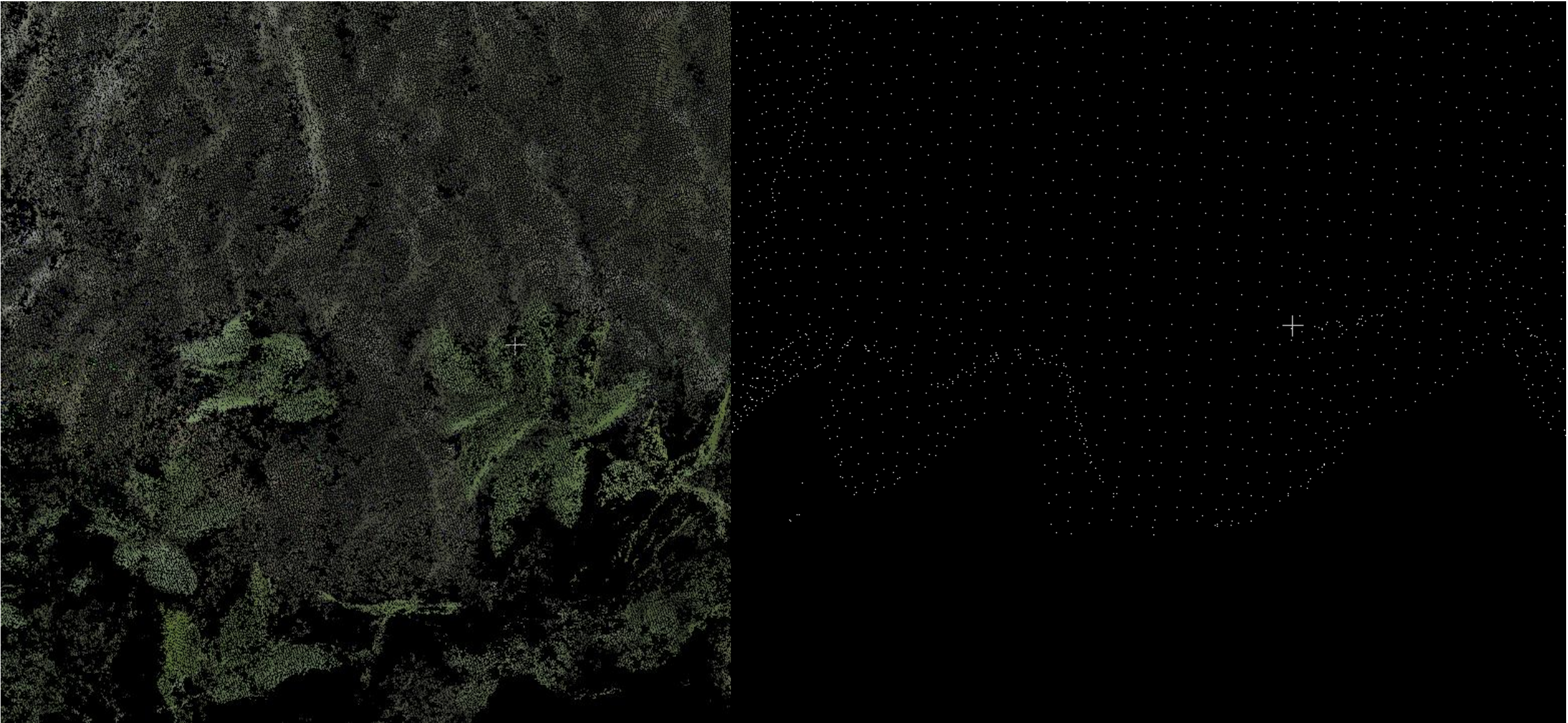


# Fotogrammetrie vs. iPhone LiDAR



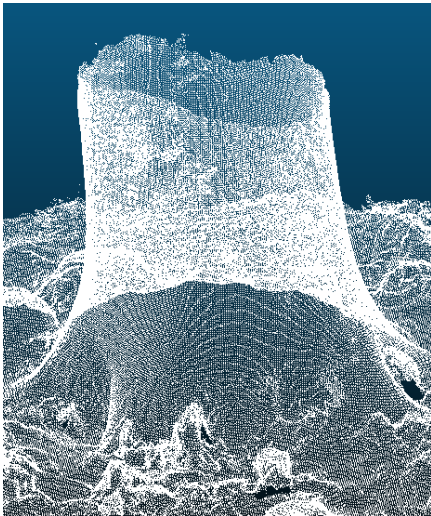


# Fotogrammetrie vs. iPhone LiDAR – detaily

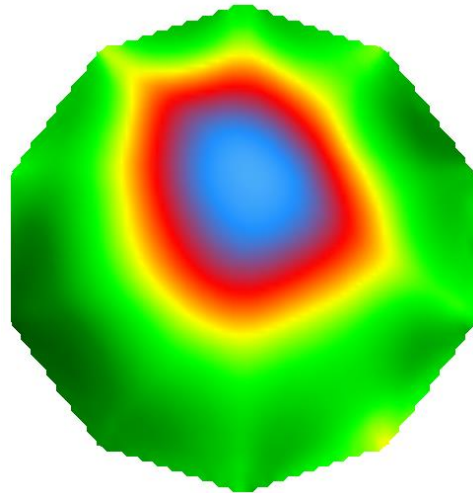


# Tvar kmene a vnitřní hniloba

- Třídění do 2 či více kategorií [zdravý/ shnilý]
- Klasifikační model pro každou dřevinu zvlášť
- Nutnost velkého počtu vstupních dat



3D bodové mračno



Akustická tomografie



Umělá inteligence



Prostor pro dotazy

[hrdinam@fld.czu.cz](mailto:hrdinam@fld.czu.cz)