# AUTOMATICKÁ KLASIFIKÁCIA MRAČNA BODOV Z TERESTRICKÉHO LASEROVÉHO SKENERA

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE

Mgr. Miroslav Kožuch, PhD.
Univerzita Komenského v Bratislave
Katedra fyzickej geografie a geoinformatiky

Mgr. Veronika Zajacová
Slovenská správa ciest

**Projekt APVV-22-0024**

*Fyzikálna geomorfometria pre fyzickogeografický výskum*

# ÚVOD A MOTIVÁCIA

**Terestrické laserové skenovanie (TLS)**

- moderná metóda 3D mapovania prírodných povrchov s vysokou presnosťou
- mračno bodov
- milión bodov za sekundu

**Význam pre geomorfologický výskum**

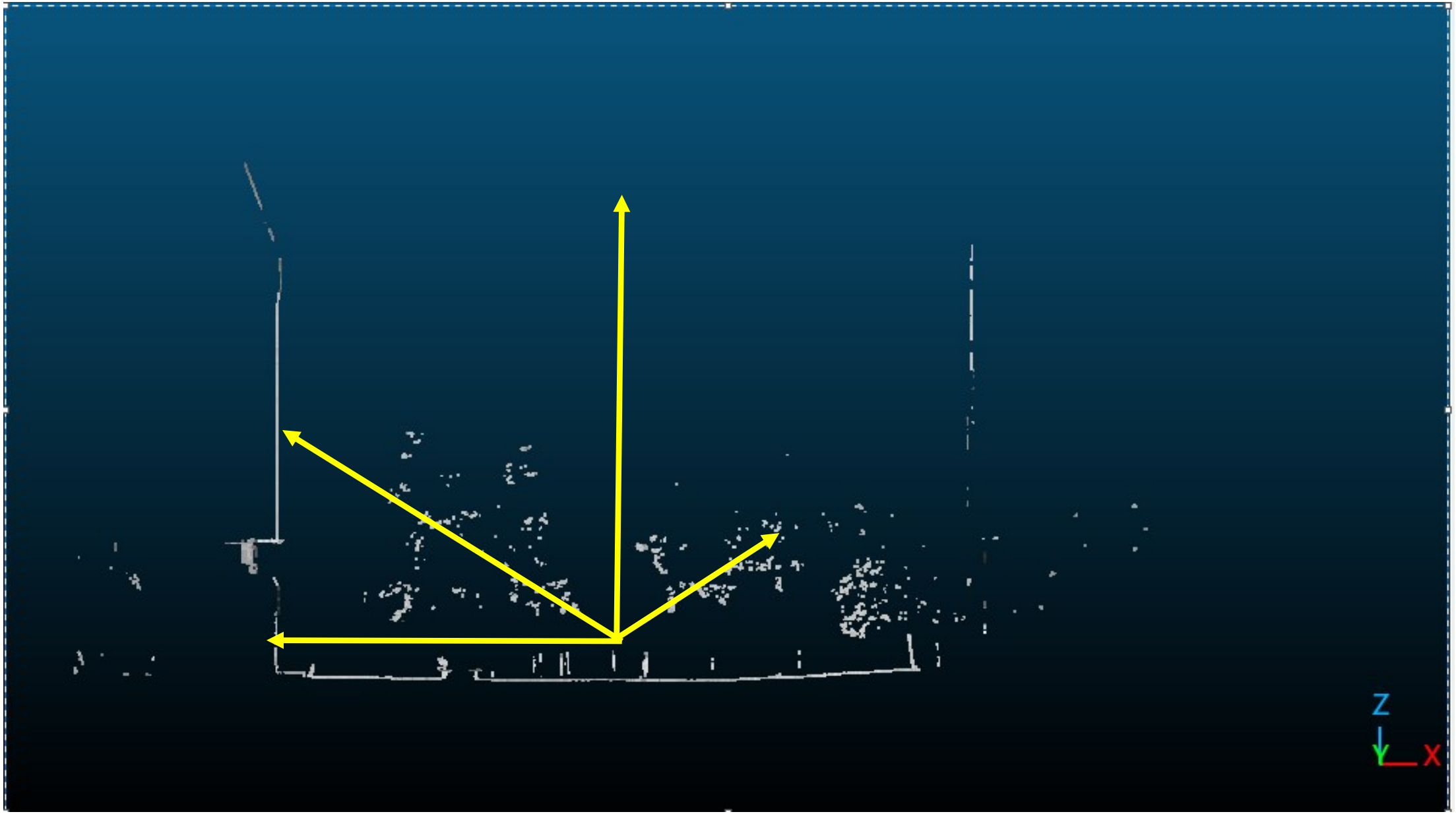
- monitoring svahových pohybov, zosuvov a eróznych zmien
- oddelenie reliéfu od vegetácie

**Projekt APVV-22-0024**

*Fyzikálna geomorfometria pre fyzickogeografický výskum*



# PRINCÍP 3D SKENOVANIA



# CIEĽ PRÁCE

**HLAVNÝ CIEĽ**

Klasifikácia mračna bodov erózneho svahu rieky Rudava získaného TLS za účelom odlíšenia reliéfu od vegetačného krytu.

***ČIASTKOVÉ CIELE***

Realizácia kompletného procesu od terénneho zberu dát až po klasifikáciu mračna bodov

Vytvorenie a zdokumentovanie ucelenej metodiky

**Medzera vo výskume na Slovensku**

doteraz absentuje štúdia kombinujúca TLS s automatizovanou klasifikáciou v prírodnom prostredí

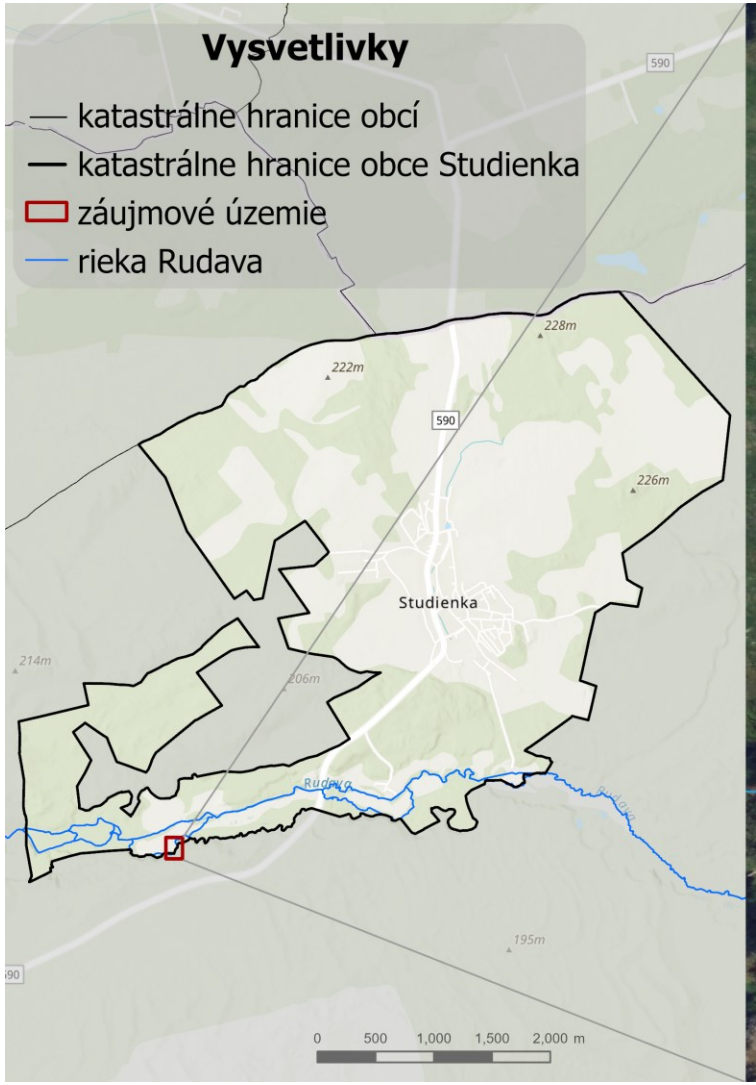
# ZÁUJMOVÉ ÚZEMIE

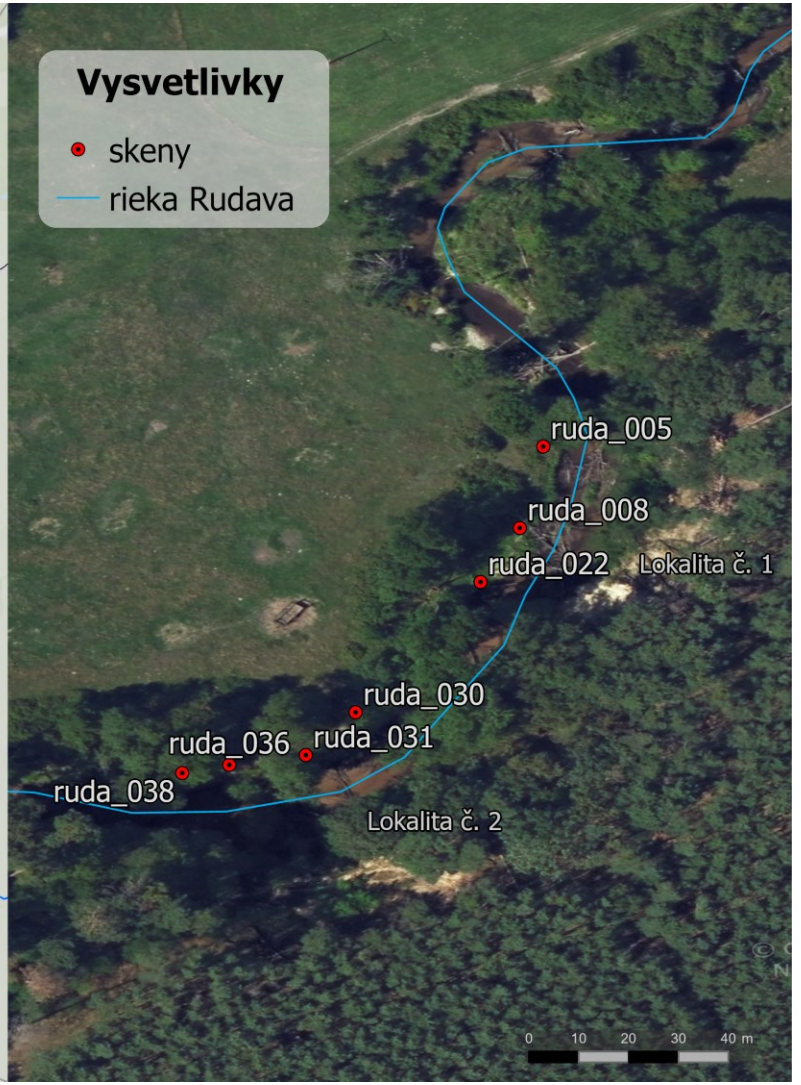
## Lokalizácia

- západné Slovensko, Bratislavský kraj
- okres Malacky, rozhranie KÚ Studienka a VO Záhorie, Borská nížina
- ľavý breh stredného toku rieky Rudava

## Charakteristika

- hustá vegetácia, popadané stromy
- snímanie z niekoľkých stanovísk







# METODIKA PRÁCE

**Použité zariadenia**

- FARO Focus S350 (TLS)
- Trimble Geo 7X (GNSS)

**Použité softvéry**

- FARO SCENE
- Trimble PathFinder Office
- CloudCompare (CANUPO)

**Terénne meranie**

- marec 2025
- vegetačný pokoj
- 2 lokality, 7 skenov

1. **Terénny zber dát**
   *FARO Focus S350 + Trimble Geo 7X*
2. **Spracovanie GNSS dát**
   *PathFinder Office + RTS + KS*
3. **Registrácia a georeferencovanie**
   *FARO SCENE (Target Based)*
4. **Predspracovanie mračna bodov**
   *CloudCompare (Segment, Subsample, Noise filter)*
5. **Klasifikácia metódou CANUPO**
   *CloudCompare (Train (výber vzoriek) + Classify)*
6. **Výstupy**
   *klasifikované mračno bodov + vrstevnice (DMR)*

# TERÉNNY ZBER DÁT

## Realizácia merania

- marec 2025

## Skenovacie stanoviská

- lokalita č. 1 - 3 stanoviská
- lokalita č. 2 - 4 stanoviská
- spolu 7 skenov (1 sken ~ 10 min.)
- 4 vlícovacie body na stanovisku

## Použité referenčné prvky

- referenčné sféry – registrácia skenov
- šachovnicové terče – georeferencovanie skenov









# REGISTRÁCIA A GEOREFERENCOVANIE SKENOV

## FARO SCENE - Target Based registrácia

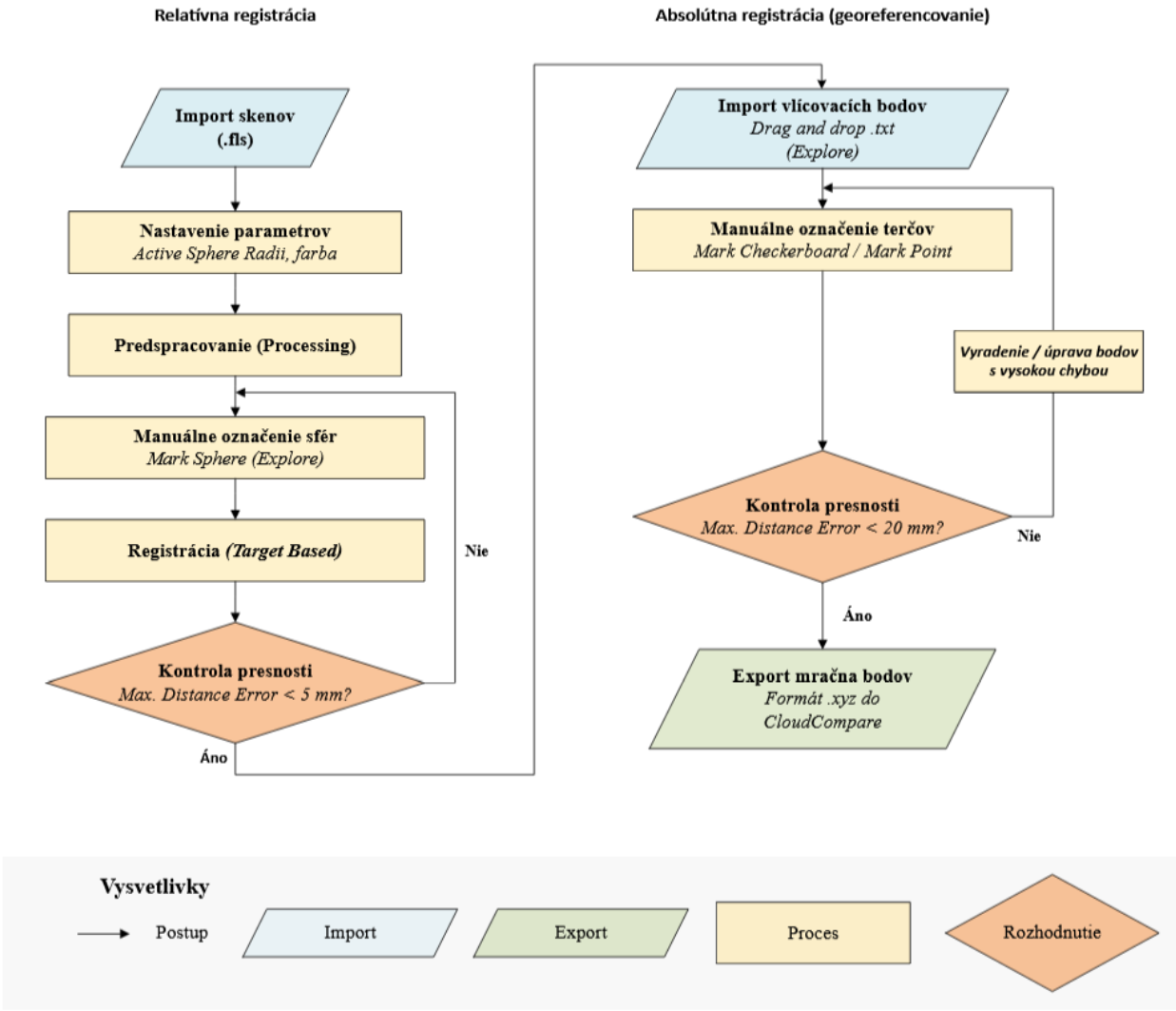
### 1. Relatívna registrácia

- spojenie skenov v lokálnom systéme
- referenčných sfér (*Mark Sphere*), max. chyba pod 5 mm

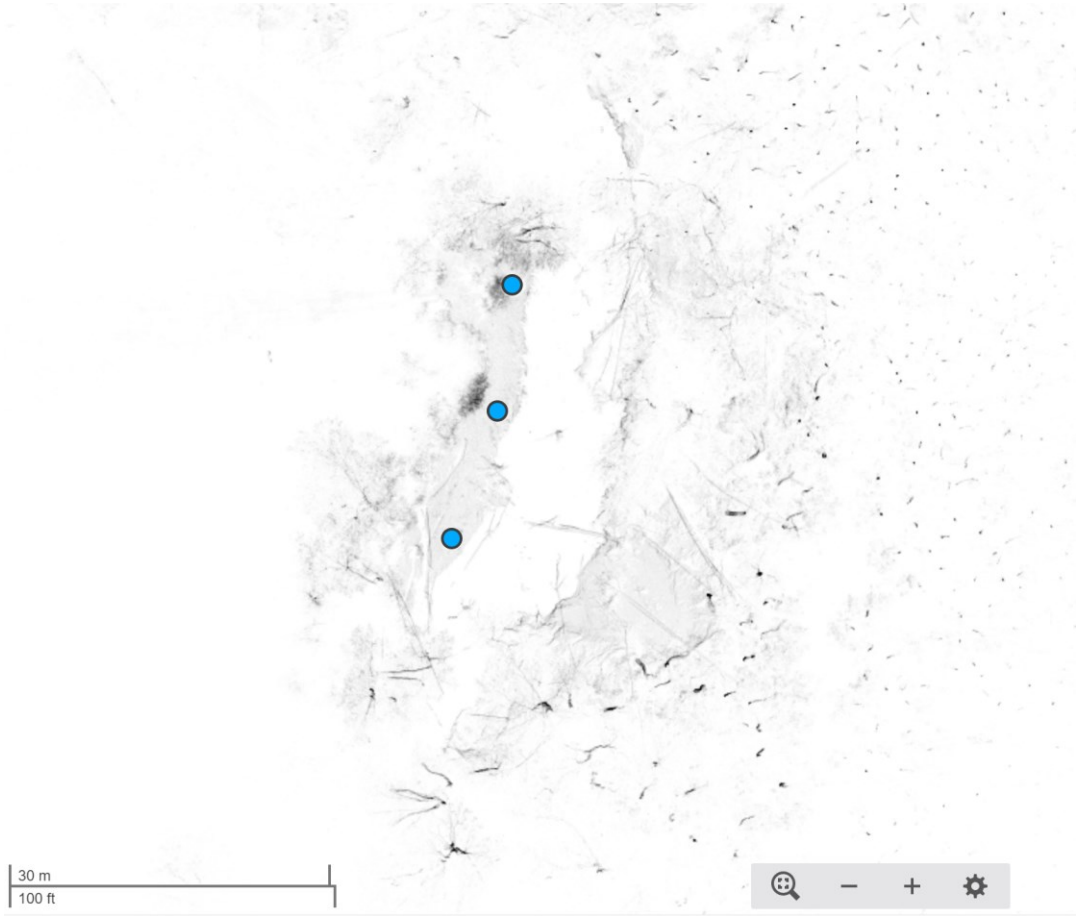
### 2. Absolútna registrácia (georeferencovanie)

- transformácia do systému JTSK03 / Bpv
- šachovnicové terče (*Mark Checkerboard, Mark Point*)
- max. chyba pod 17,2 mm

| Parameter | Lokalita č. 1 | Lokalita č. 2 |
|---|---|---|
| Počet skenov | 3 | 4 |
| Max. chyba registrácie | **3,0 mm** | **1,9 mm** |
| Priemerná chyba registrácie | 2,2 mm | 1,4 mm |
| Max. chyba georeferencovania | 13,1 mm | 17,2 mm |



# REGISTRÁCIA A GEOREFERENCOVANIE SKENOV




*Rozmiestnenie stanovísk skenera na lokalite č. 1 v programe FARO SCENE*



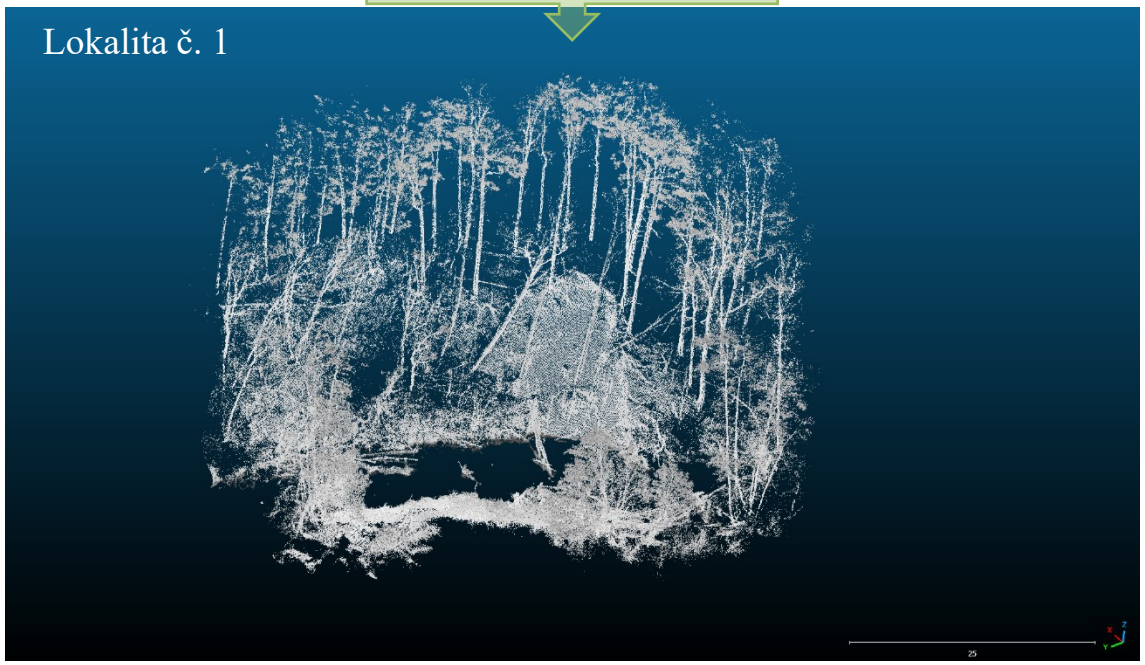

*Rozmiestnenie stanovísk skenera na lokalite č. 2 v programe FARO SCENE*

# PREDSPRACOVANIE MRAČNA BODOV V CLOUDCOMPARE

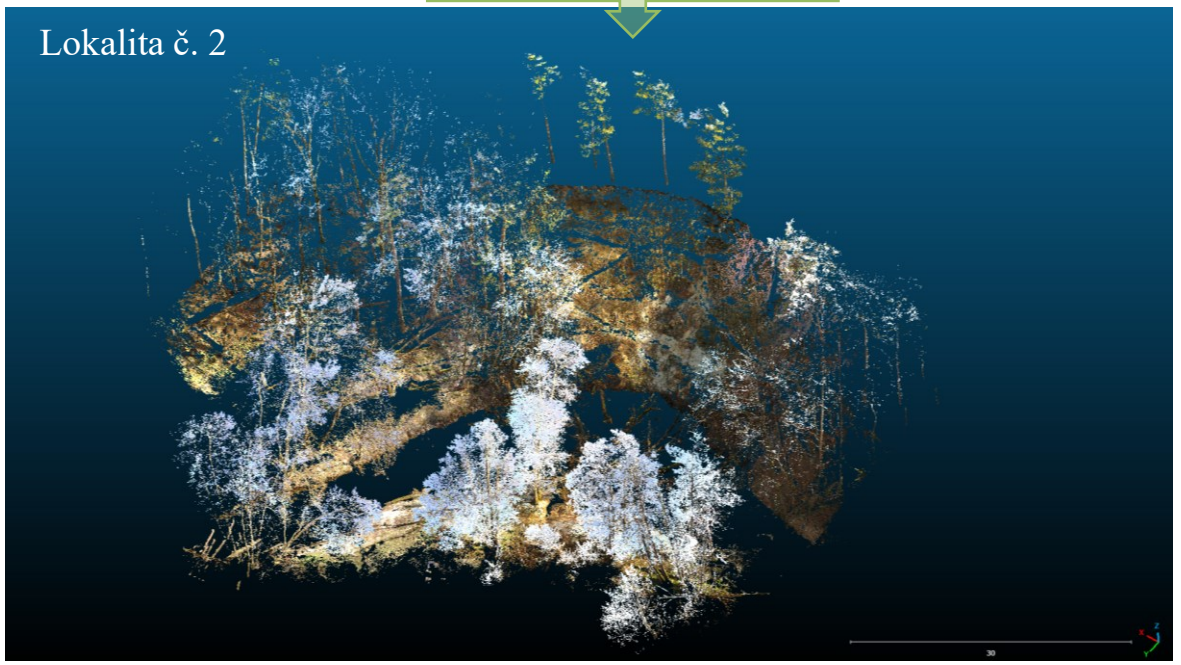
Porade krokov zvolené zámerne:

1. Orezanie územia - Segment
2. *Subsample* - redukcia počtu bodov na polovicu, so zachovaním reprezentatívnosti (metóda *Random 50 %*)
3. *Noise filter* - odstránenie šumu z mračna bodov (cca 0,8 %, resp. 0,003 %)

~31 mil. –> ~15 mil.




~52 mil. –> ~25 mil.

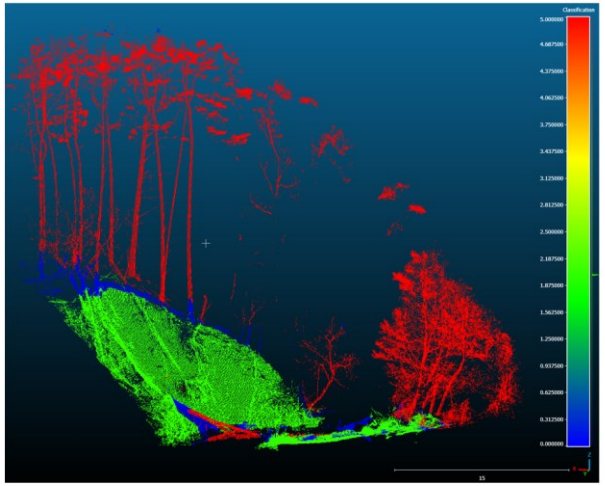


# POSTUP KLASIFIKÁCIE METÓDOU CANUPO

- **CANUPO** (Brodu & Lague, 2012) fr. *CAractérisation de NUages de POints*
- (Brodu & Lague, 2012) je metóda klasifikácie mračna bodov založená na **multiškálovej analýze dimenzionality** - pre každý bod sa hodnotí, či jeho okolie tvorí plochu, líniu alebo objem

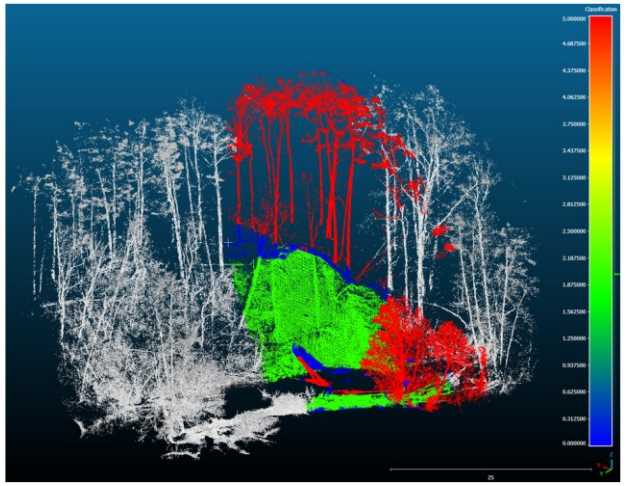
**Definované klasifikačné triedy (ASPRS)**

- trieda 2 - Ground (reliéf)
- trieda 5 - High Vegetation (kmene, konáre, kríky a popadané stromy)

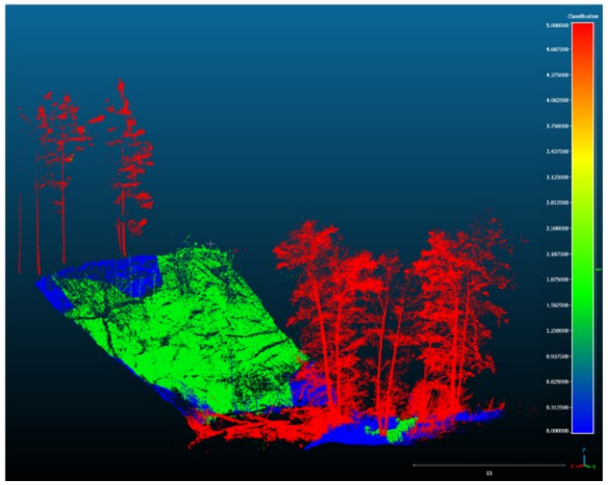


*Manuálne vybrané trénovacie vzorky pre klasifikáciu CANUPO na lokalite č. 1:*

*trieda Ground - zelená,*
*trieda High Vegetation - červená*

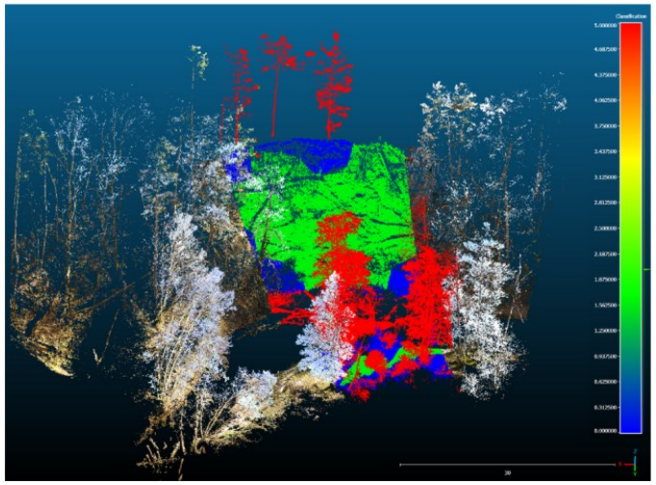


*tréningové vzorky zobrazené v kontexte celého mračna bodov na lokalite č. 1*



*Manuálne vybrané trénovacie vzorky pre klasifikáciu CANUPO na lokalite č. 2:*

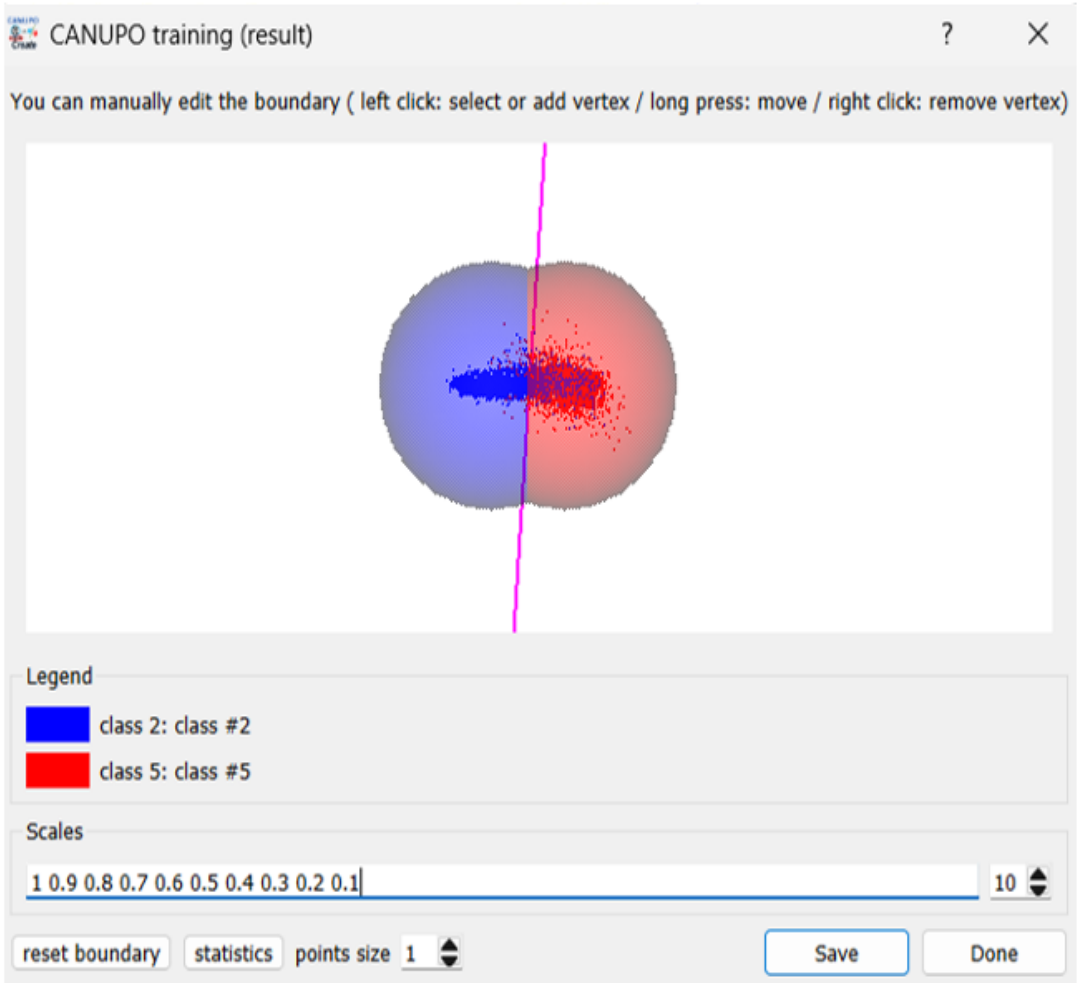
*trieda Ground - zelená,*
*trieda High Vegetation - červená*

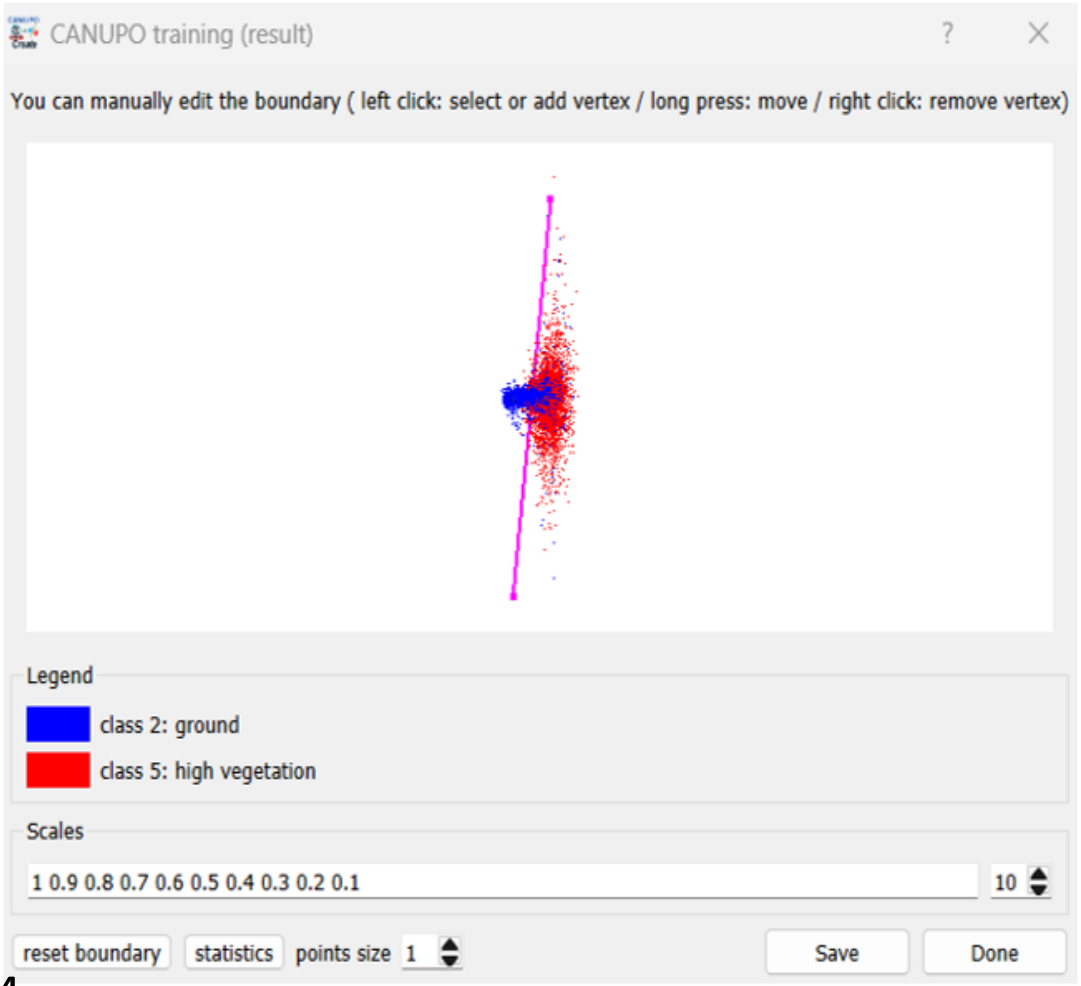


*tréningové vzorky zobrazené v kontexte celého mračna bodov na lokalite č. 2*

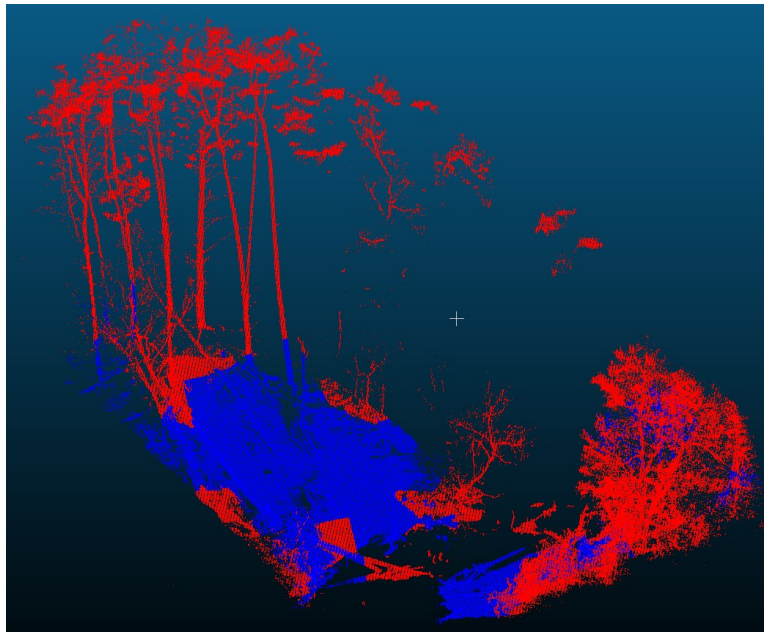
# METÓDA CANUPO

- výpočet multi-škálovej geometrickej charakteristiky bodov a určila sa optimálna lineárna separačná hranica oboch tried



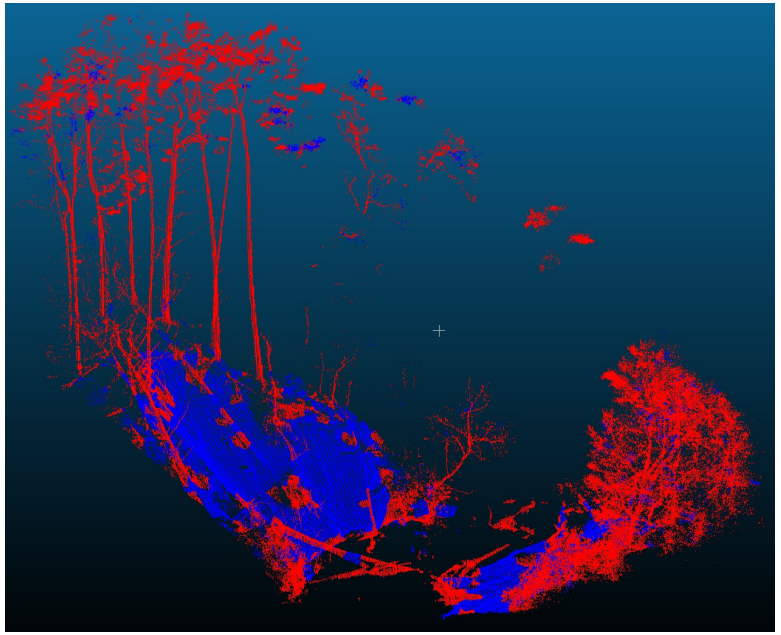



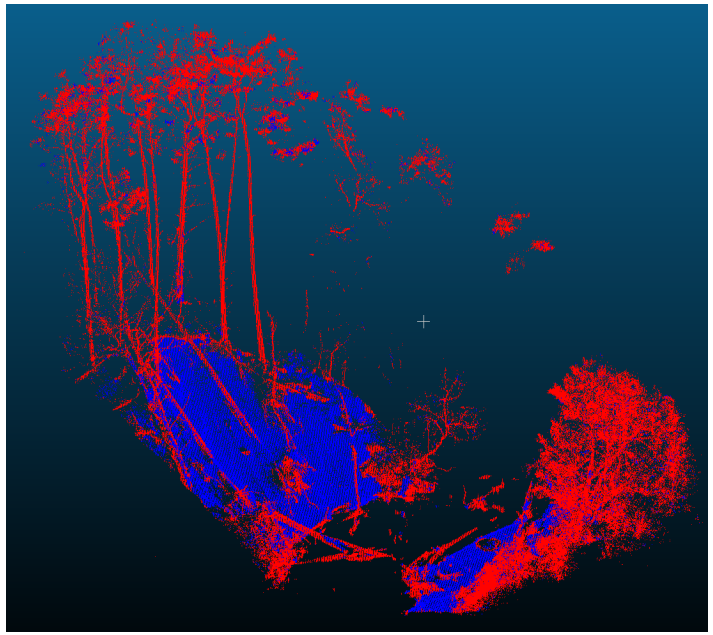
# POSTUP KLASIFIKÁCIE METÓDOU CANUPO – Lokalita č. 1



**Subsample** *core points* **1**

Počet *core points*: **2 757 bodov**
Čas výpočtu: **17 s**





**Subsample** *core points* **5**

Počet *core points*: **98 bodov**
Čas výpočtu: **9 s**

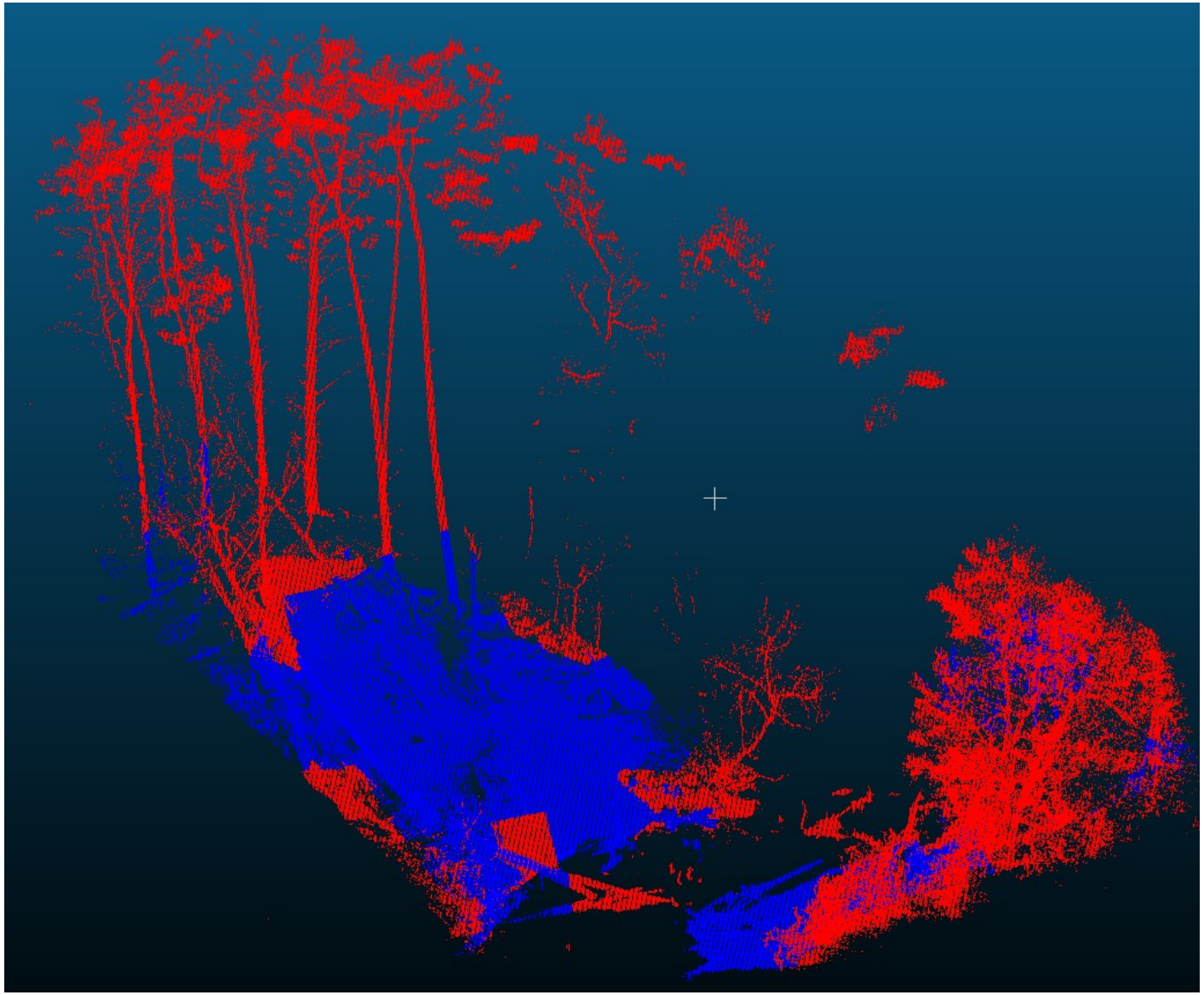
**Subsample** *core points* **0,005**

Počet *core points*: **721 752 bodov**
Čas výpočtu: **4 min 25 s**

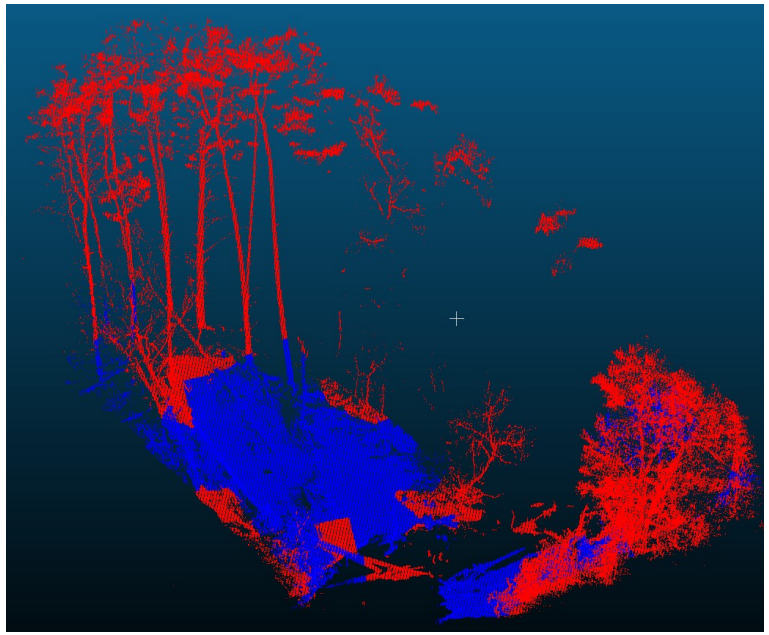
# POSTUP KLASIFIKÁCIE METÓDOU CANUPO – Lokalita č. 1

**Subsample** *core points* **5**

Počet *core points*:
**98 bodov**
Čas výpočtu: **9 s**

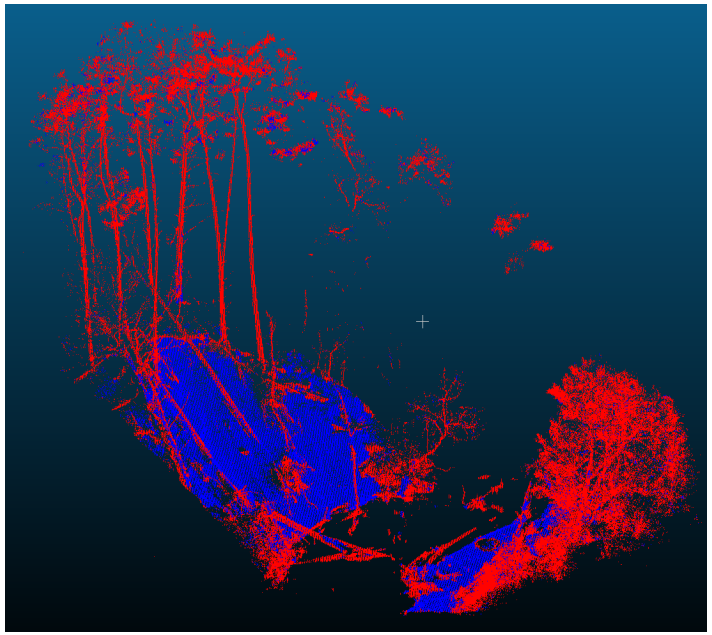


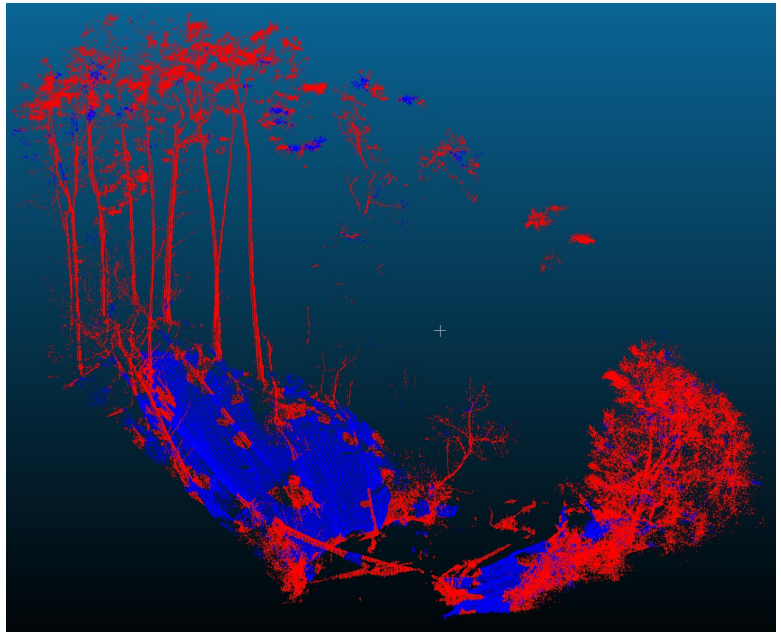
# KLASIFIKÁCIA METÓDOU CANUPO – Lokalita č. 1 detail



**Subsample** *core points* **1**

Počet *core points*: **2 757 bodov**
Čas výpočtu: **17 s**





**Subsample** *core points* **5**

Počet *core points*: **98 bodov**
Čas výpočtu: **9 s**

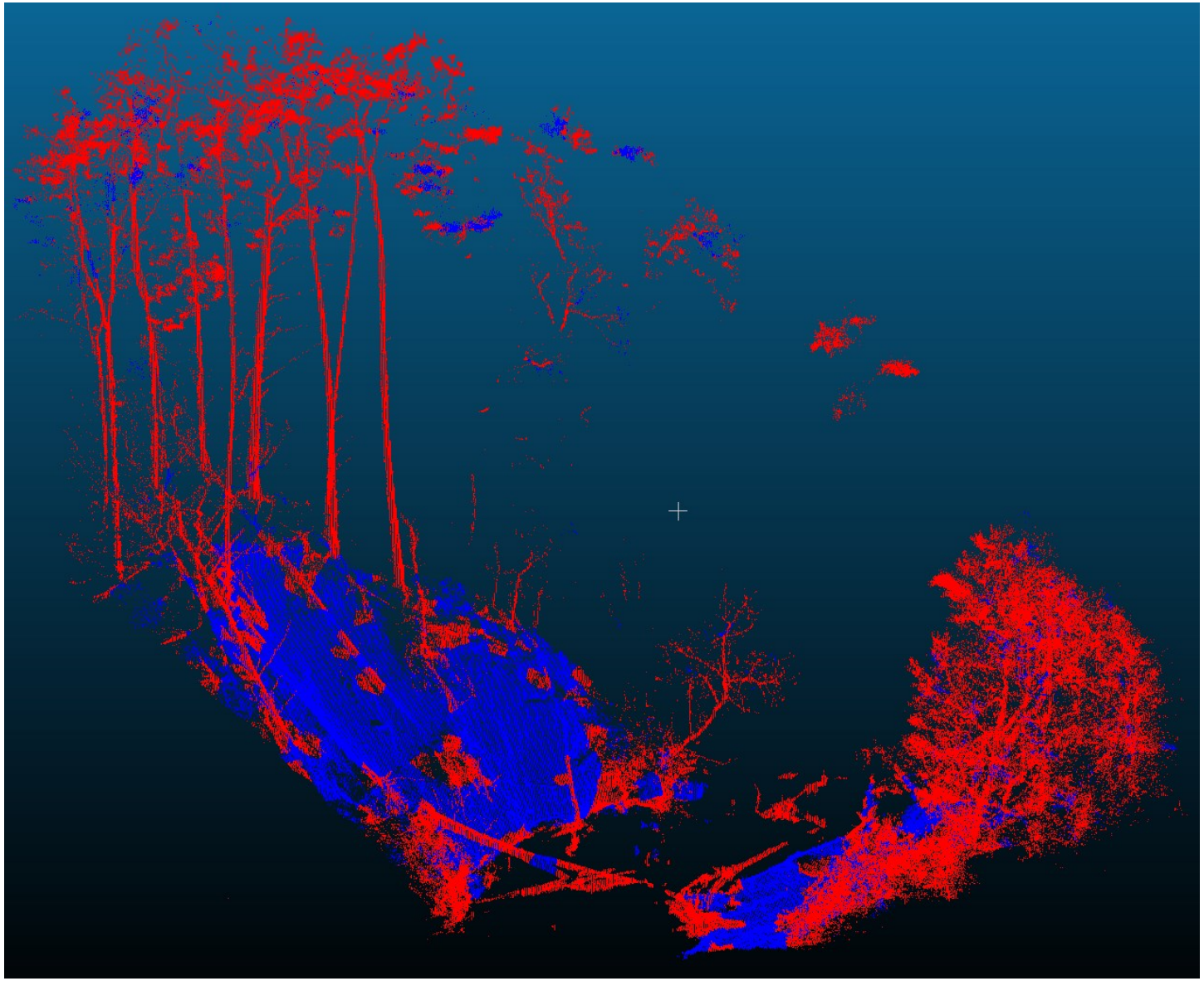
**Subsample** *core points* **0,005**

Počet *core points*: **721 752 bodov**
Čas výpočtu: **4 min 25 s**

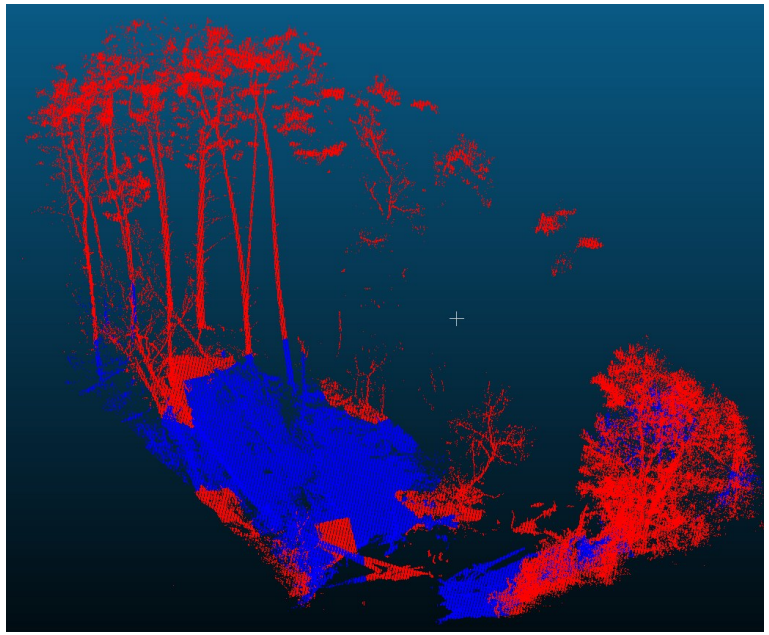
# KLASIFIKÁCIA METÓDOU CANUPO – Lokalita č. 1 detail

**Subsample** *core points* **1**

Počet *core points*:
**2 757 bodov**
Čas výpočtu: **17 s**

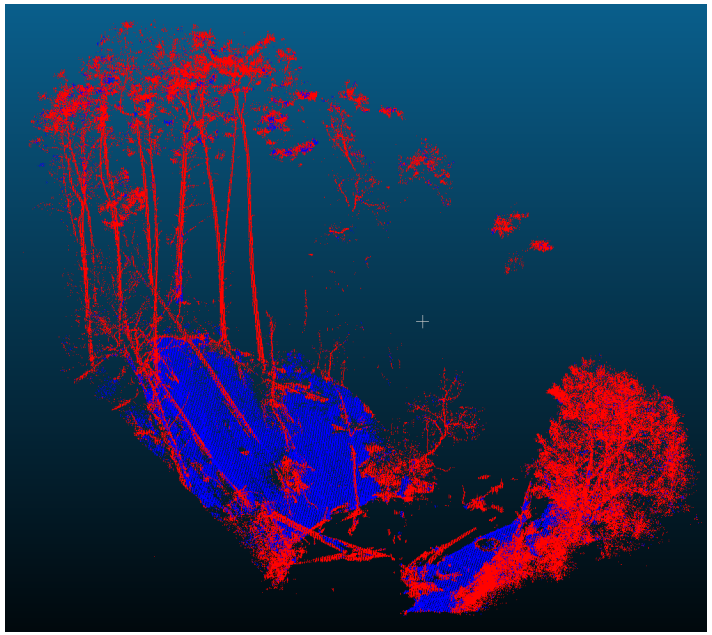


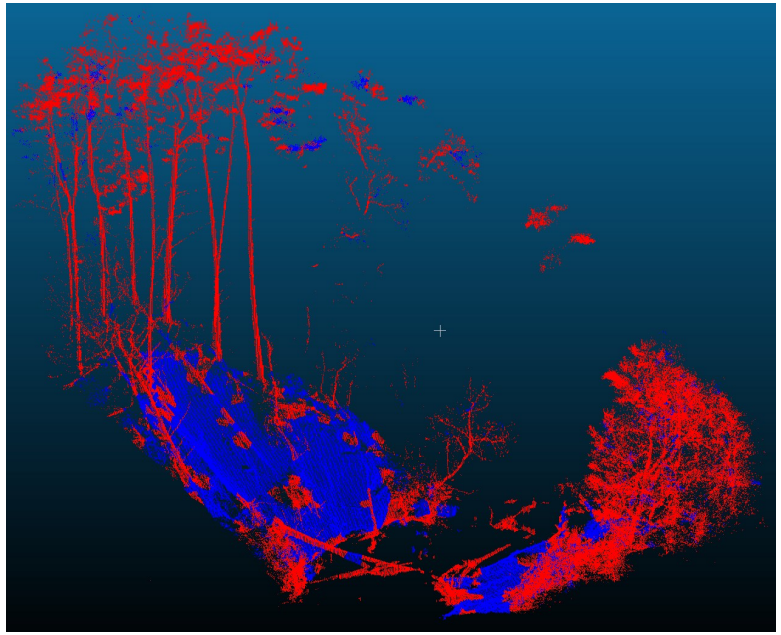
# KLASIFIKÁCIA METÓDOU CANUPO – Lokalita č. 1 detail



**Subsample** *core points* **1**

Počet *core points*: **2 757 bodov**
Čas výpočtu: **17 s**





**Subsample** *core points* **5**

Počet *core points*: **98 bodov**
Čas výpočtu: **9 s**

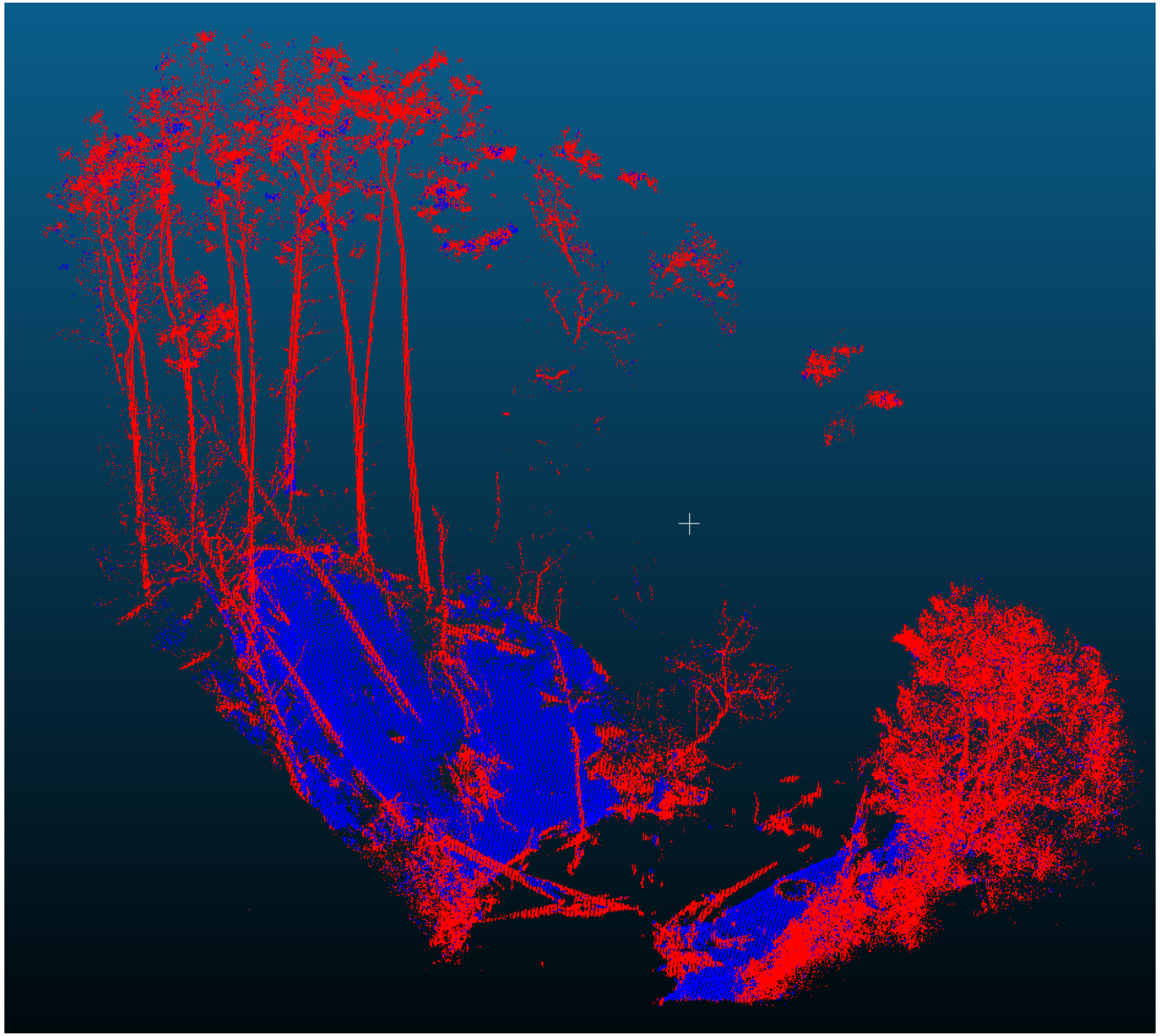
**Subsample** *core points* **0,005**

Počet *core points*: **721 752 bodov**
Čas výpočtu: **4 min 25 s**

# KLASIFIKÁCIA METÓDOU CANUPO – Lokalita č. 1 detail

**Subsample** *core points* **0,005**

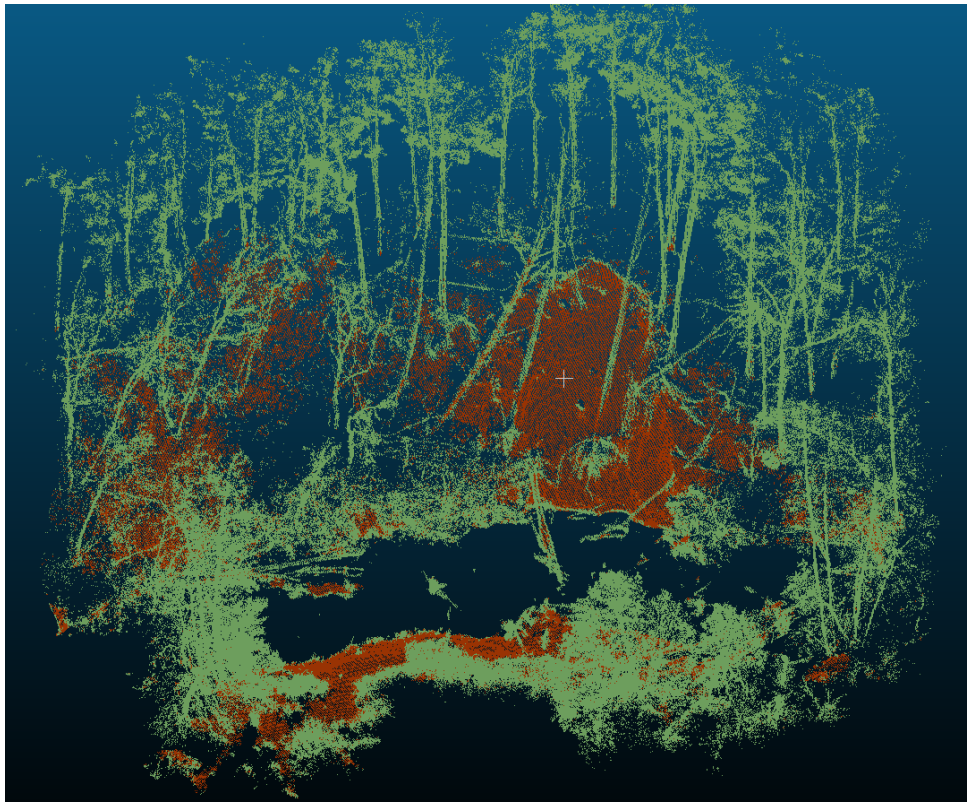
Počet *core points*:
**721 752 bodov**
Čas výpočtu: **4 min 25 s**



# VÝSLEDKY KLASIFIKÁCIE

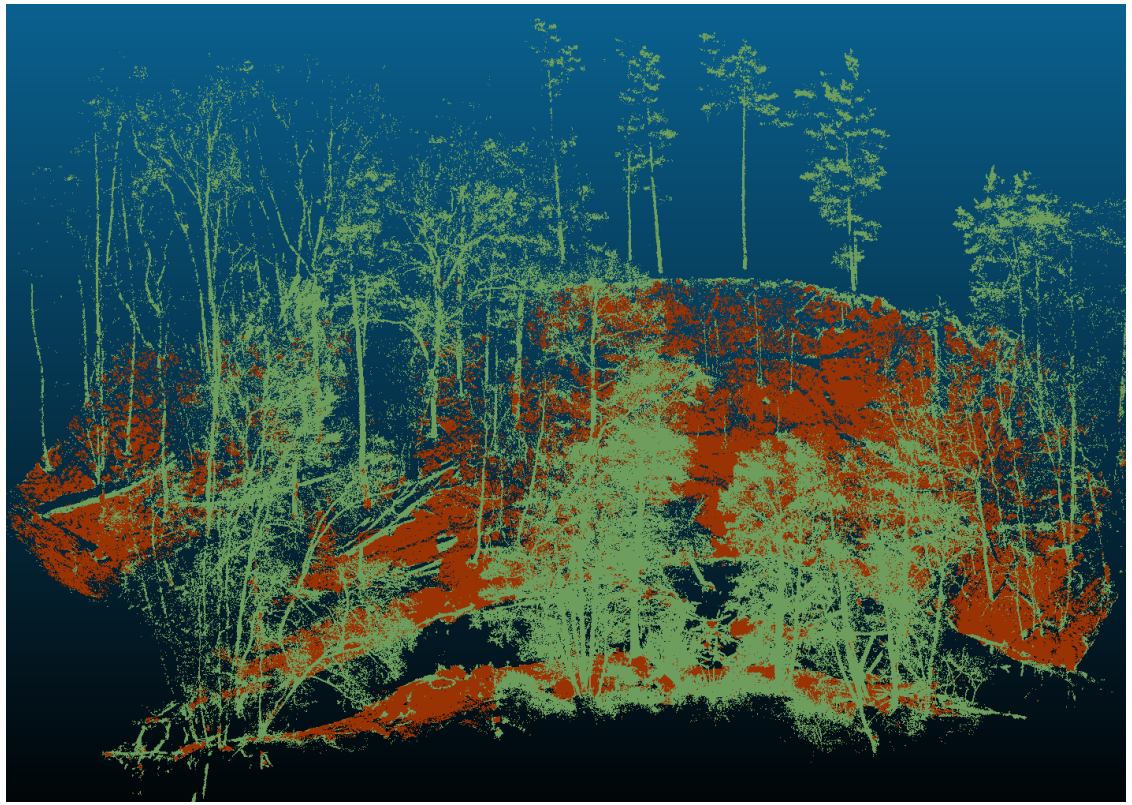
## Lokalita č. 1

Finálne nastavenie: **subsample 0,005**
Čas výpočtu: **11 min 01 s**
Vyvážená správnosť (Balanced Accuracy): **91,7 %**

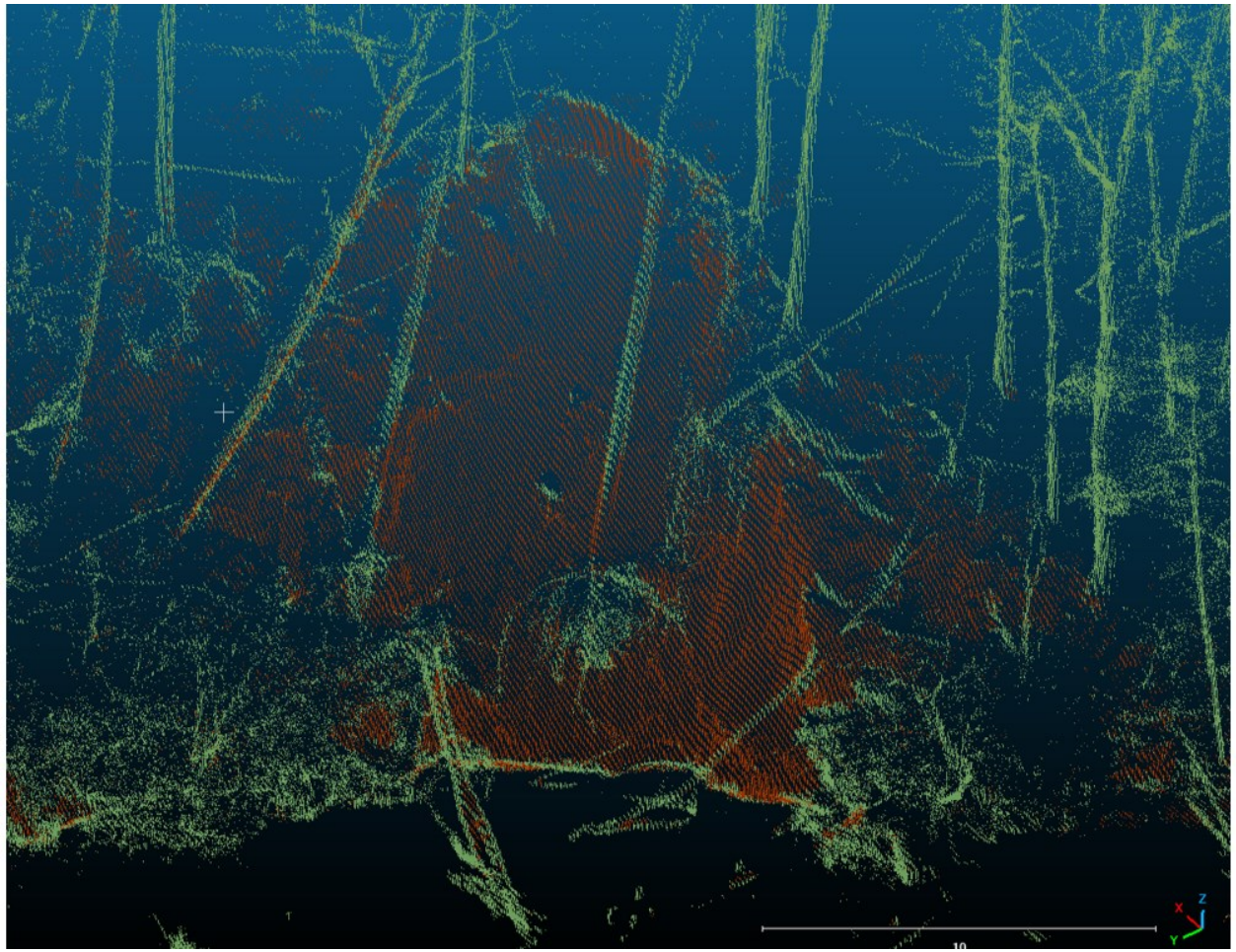


## Lokalita č. 2

Finálne nastavenie: **subsample 0,05**
Čas výpočtu: **5 min 47 s**
Vyvážená správnosť (Balanced Accuracy): **93,35 %**

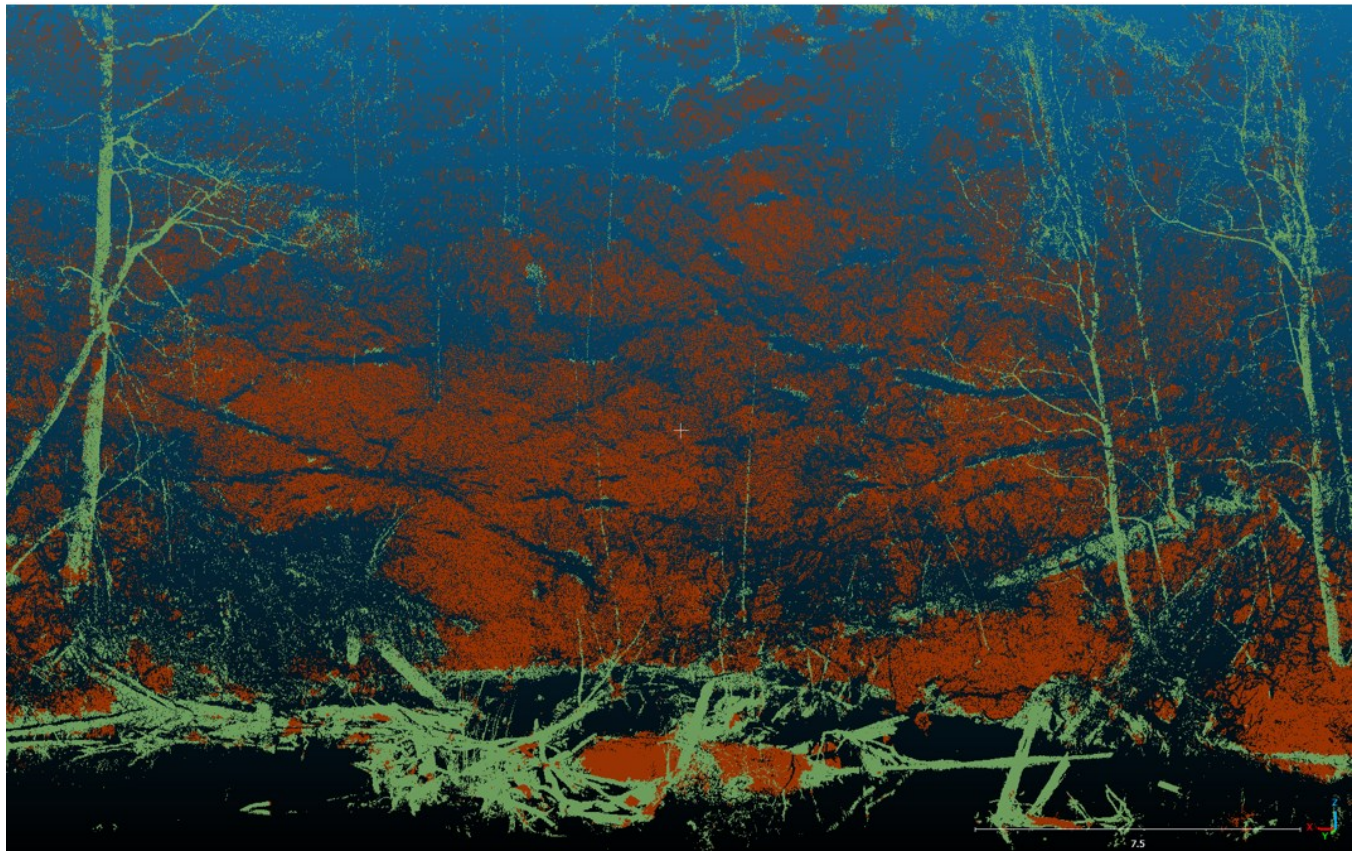


# VÝSLEDKY KLASIFIKÁCIE na lokalite č. 1



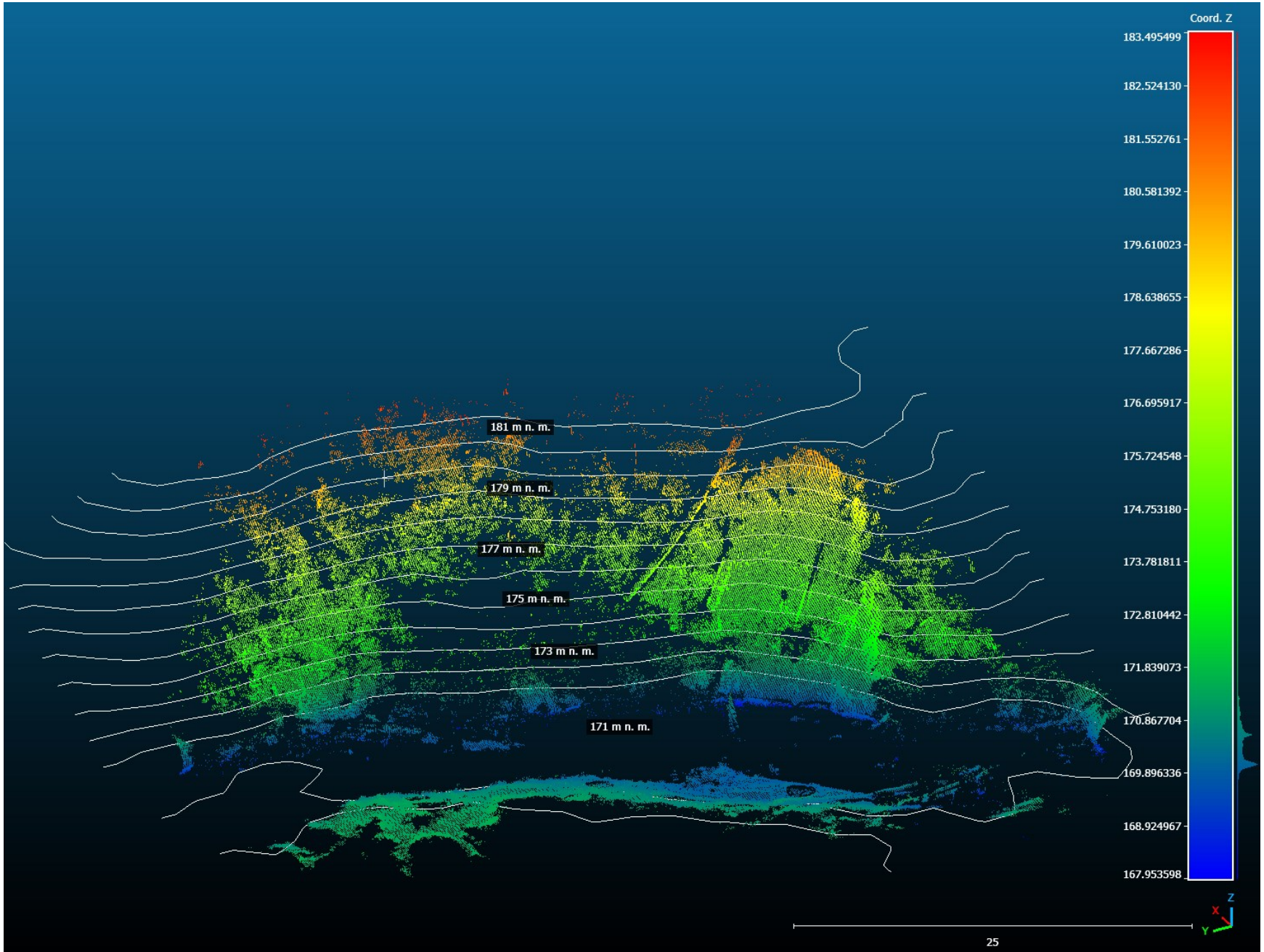


# VÝSLEDKY KLASIFIKÁCIE na lokalite č. 2

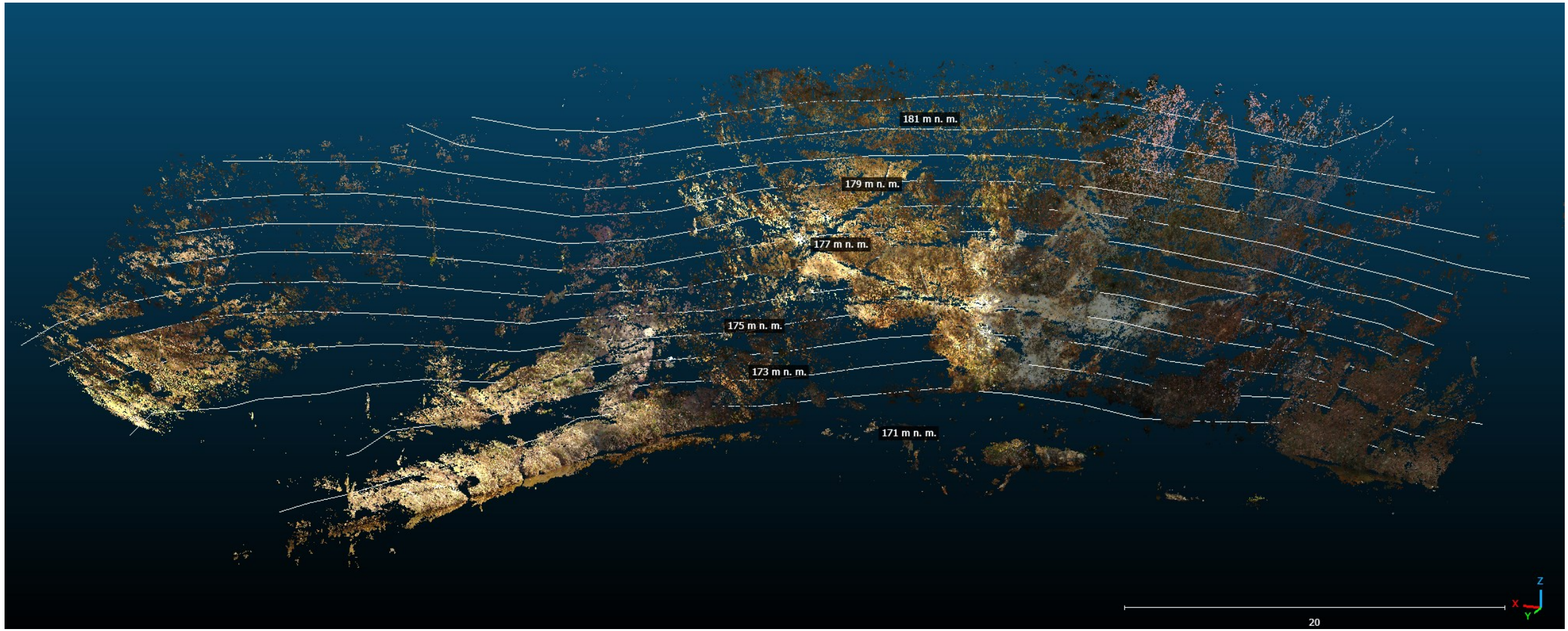




# BODY RELIÉFU a INTERPOLOVANÉ VRSTEVNICE - lokalita č. 1



# BODY RELIÉFU a INTERPOLOVANÉ VRSTEVNICE - lokalita č. 2



# ZÁVER

✓ vytvorené klasifikované mračno bodov pre detailnú analýzu morfológie erózneho svahu a jeho priestorových charakteristík

✓ podklad pre opakované merania, kvantifikovať dynamiku zmien svahu a odhadnúť objem erodovaného materiálu



**LIMITY PRÁCE**

Vysoká výpočtová náročnosť pri detailnom *subsample*

**PRÍNOS PRÁCE**

Vytvorená metodika spracovania TLS dát v kombinácii s automatizovanou klasifikáciou CANUPO pre podmienky eróznych svahov v lesnom prostredí je prvou na Slovensku.

*Práca vznikla s podporou projektu APVV-22-0024 : Fyzikálna geomorfometria pre fyzickogeografický výskum*

Ďakujeme za pozornosť

# Automatická klasifikácia mračna bodov z terestrického laserového skenera

Mgr. Miroslav Kožuch, PhD., Mgr. Veronika Zajacová

*Katedra fyzickej geografie a geoinformatiky, Prírodovedecká fakulta UK | Slovenská správa ciest |*
*Nitra 17. - 18.09.2026*