



Univerza v Ljubljani
Fakulteta *za gradbeništvo in geodezijo*

DIGITALNI MODEL RELIEFA STRUGE HUDOURNIKA KUZLOVEC IN MATEMATIČNO MODELIRANJE TOKA VODE



Dejan Grigillo, Simon Rusjan, Anja Vrečko, Elvira Džebo, Klemen Kozmus, Tilen Urbančič, Dušan Petrovič, Matjaž Mikoš
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

MOTIVACIJA

- ✖ Opredelitev hidravličnih razmer v strmih strugah
- ✖ Ocena vpliva velikih drevesnih ostankov (debel) na pretočne razmere v strugi

ZAKAJ?

- Čimbolj natančna napoved poplav in zmanjšanje posledic poplav
- Modeliranje gibanja plavin
- Iskanje primerne matematičnega modela

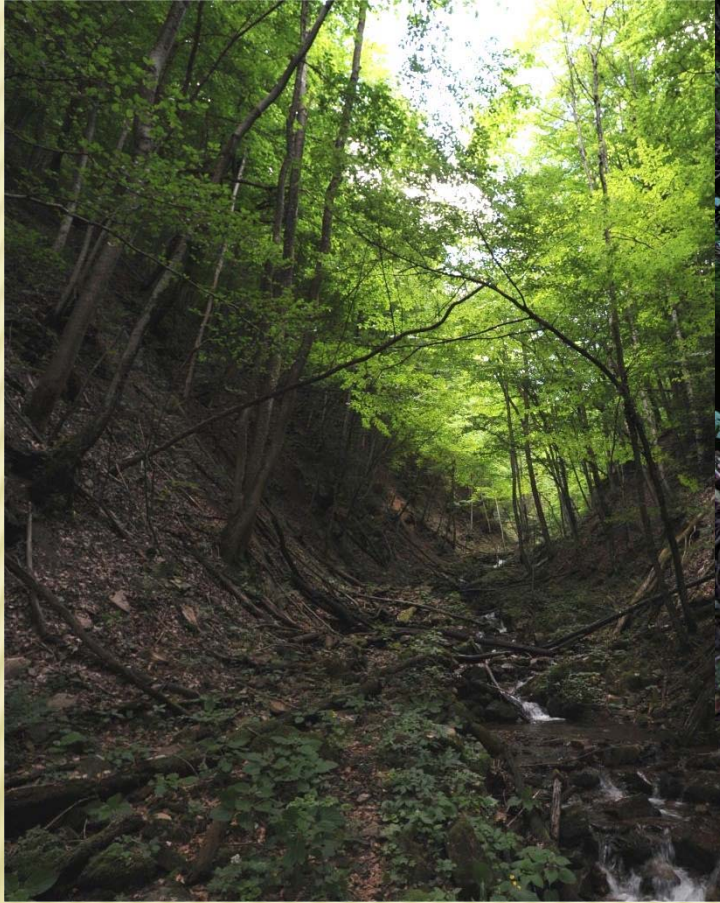
IZDELKI

- ✖ Terestrično lasersko skeniranje struge hudournika
- ✖ Digitalni model reliefa (DMR):
 - + brez debel
 - + z debli
- ✖ Matematično modeliranje toka vode z dvema različnima modeloma

ŠTUDIJSKO OBMOČJE

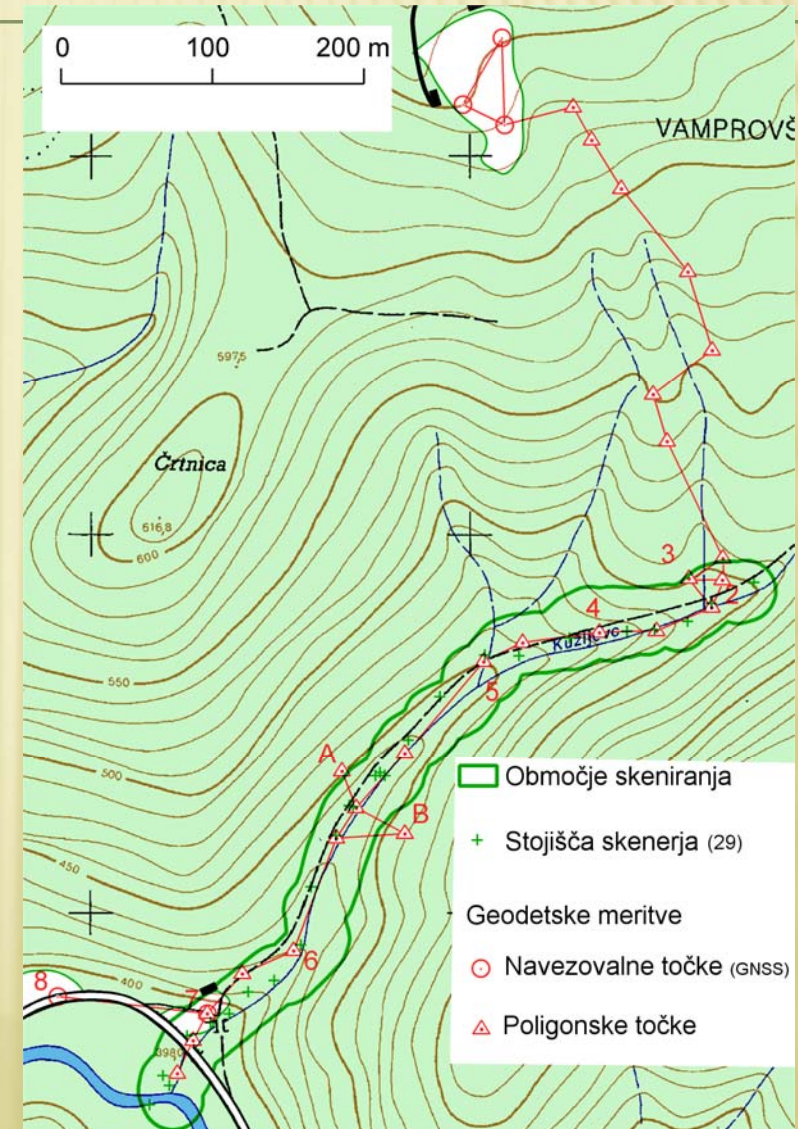
- ✖ Hudournik Kuzlovec v Polhograjskem hribovju
 - + Strm in razgiban teren
 - ✖ padec nivelete $\sim 10^\circ$
 - ✖ naklon pobočij do 30°
 - + Gosto poraščen (pretežno bukov gozd)
 - + Kaskadna, skalnata struga





TERENSKÉ MERITVE

- ✖ Geodetska osnova
 - + Navezovalne točke (GNSS)
 - + Priklepni poligon
- ✖ TLS spodnjega dela hudournika (~600 m)
 - + 29 stojišč
 - + območje struge: 4 cm/50 m
 - + pobočja: 8 cm/50 m
 - + registracija: $\sigma = 1,5$ cm
 - + georef.: $\sigma = 3,5$ cm



PROGRAMSKA OPREMA IN OBDELAVA PODATKOV

× Izdelava DMR:

+ RISCAN PRO:

- × upravljanje oblaka točk
- × filtriranje
- × izločanje debel

+ LAStools

- × klasifikacija oblaka točk
- × interpolacija DMR

+ Matlab, MeshLab

- × modeliranje debel

× Modeliranje toka vode:

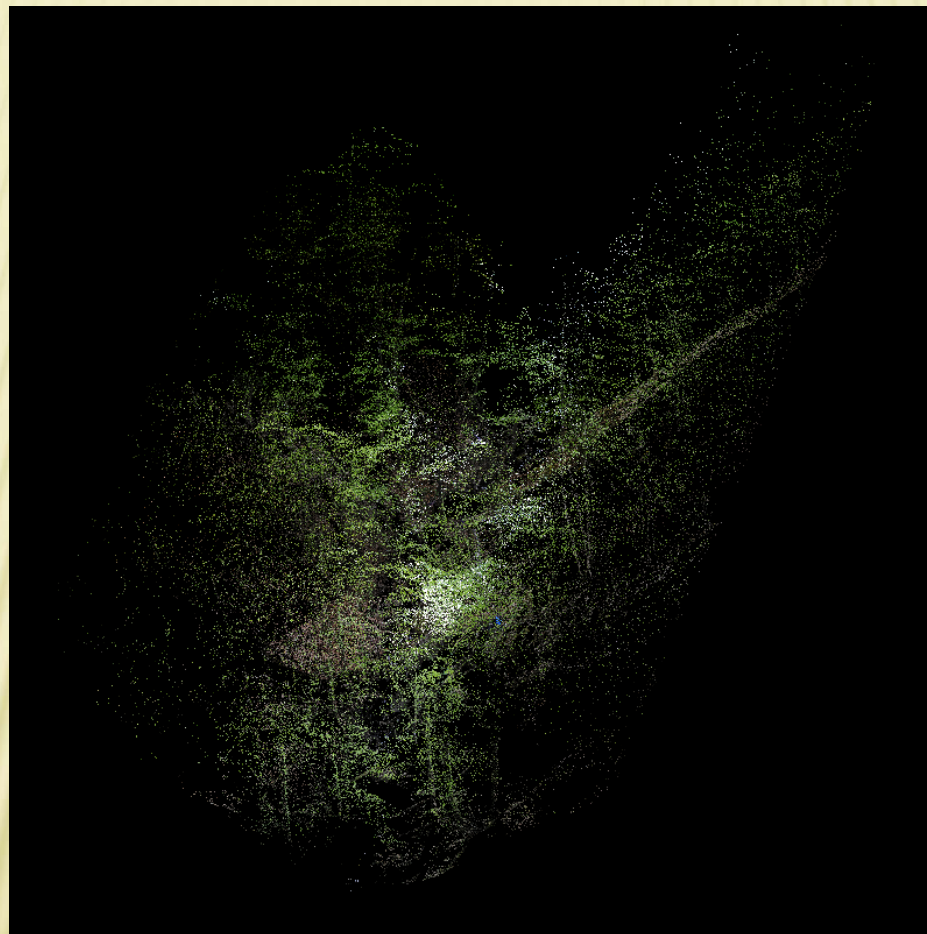
+ Flo-2D:

- × izračun gibanja vodnega toka v 2D

+ Tis Isat

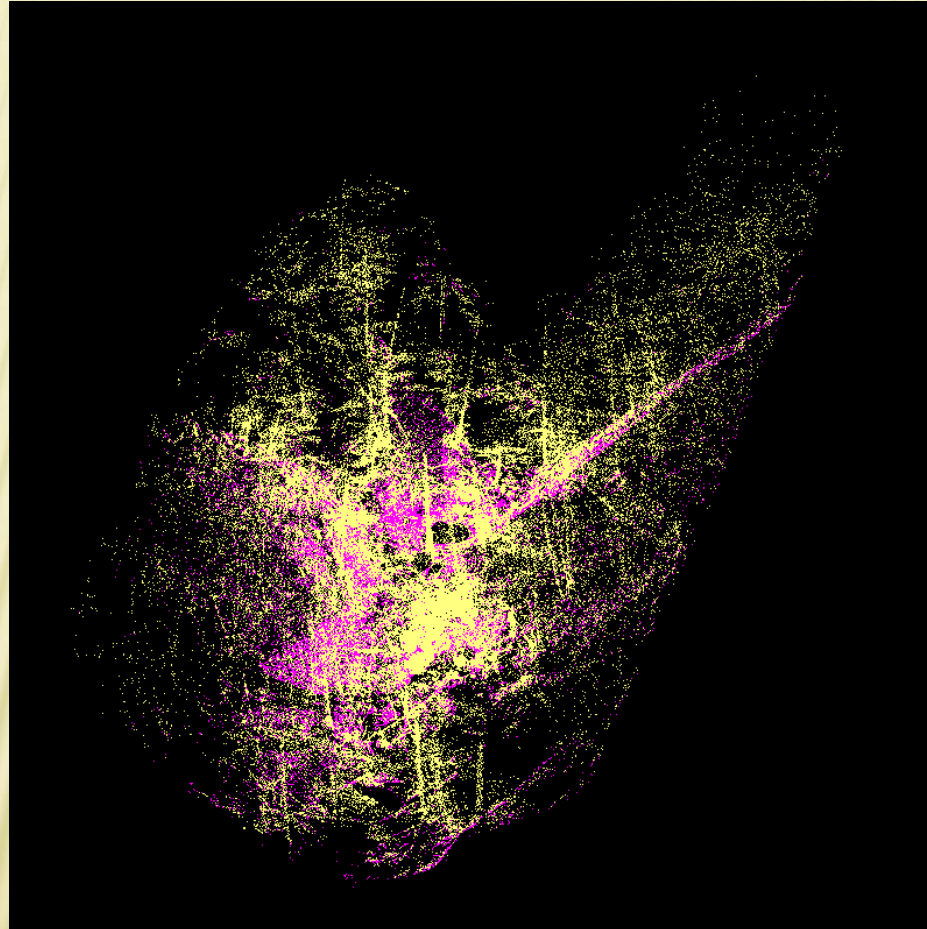
- × modeliranje toka vode s prosto gladino v 3D

IZDELAVA DMR



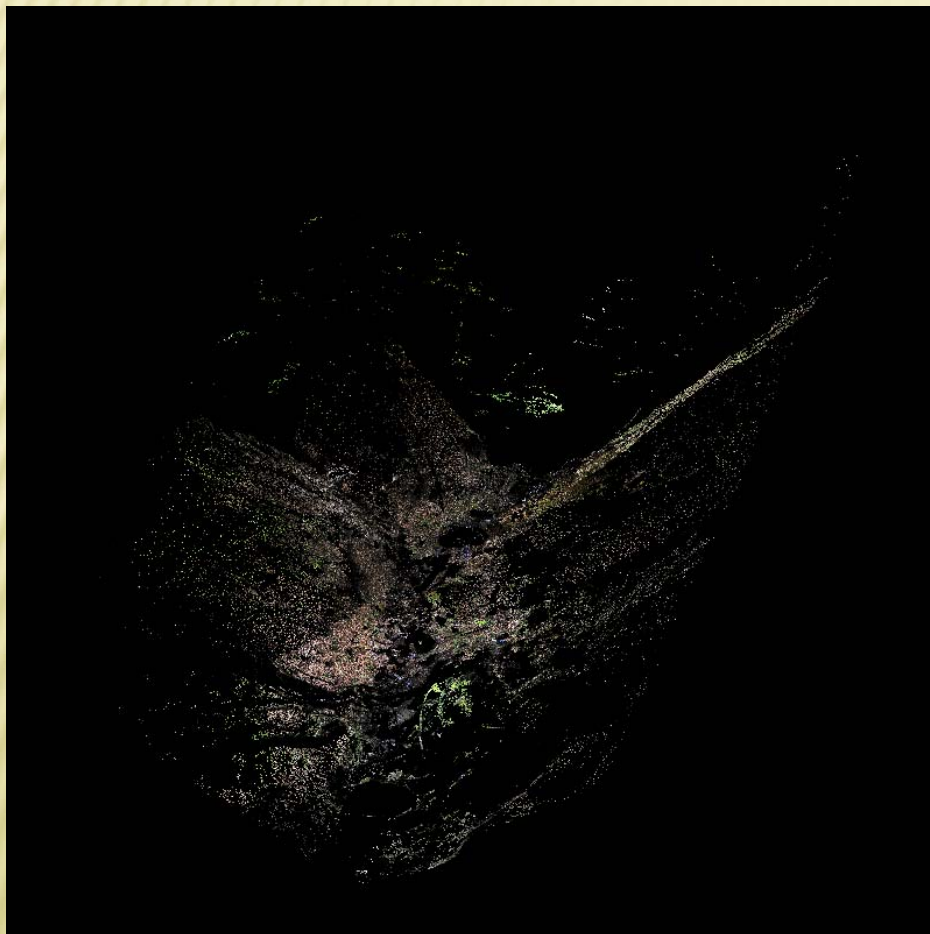
RISCAN PRO: razdelitev na 16 sektorjev

IZDELAVA DMR



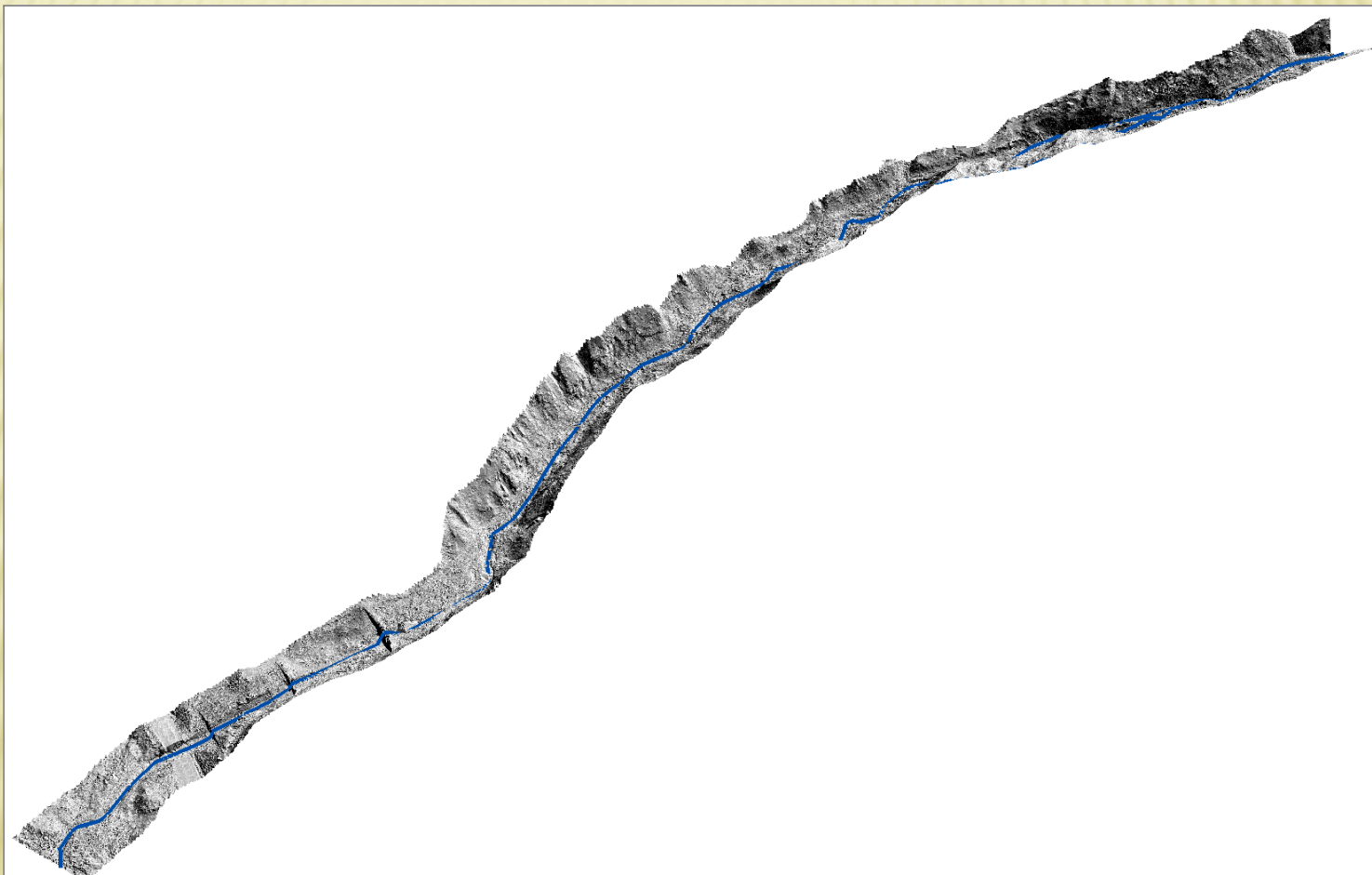
Lasground: klasifikacija na talne/netalne točke

IZDELAVA DMR



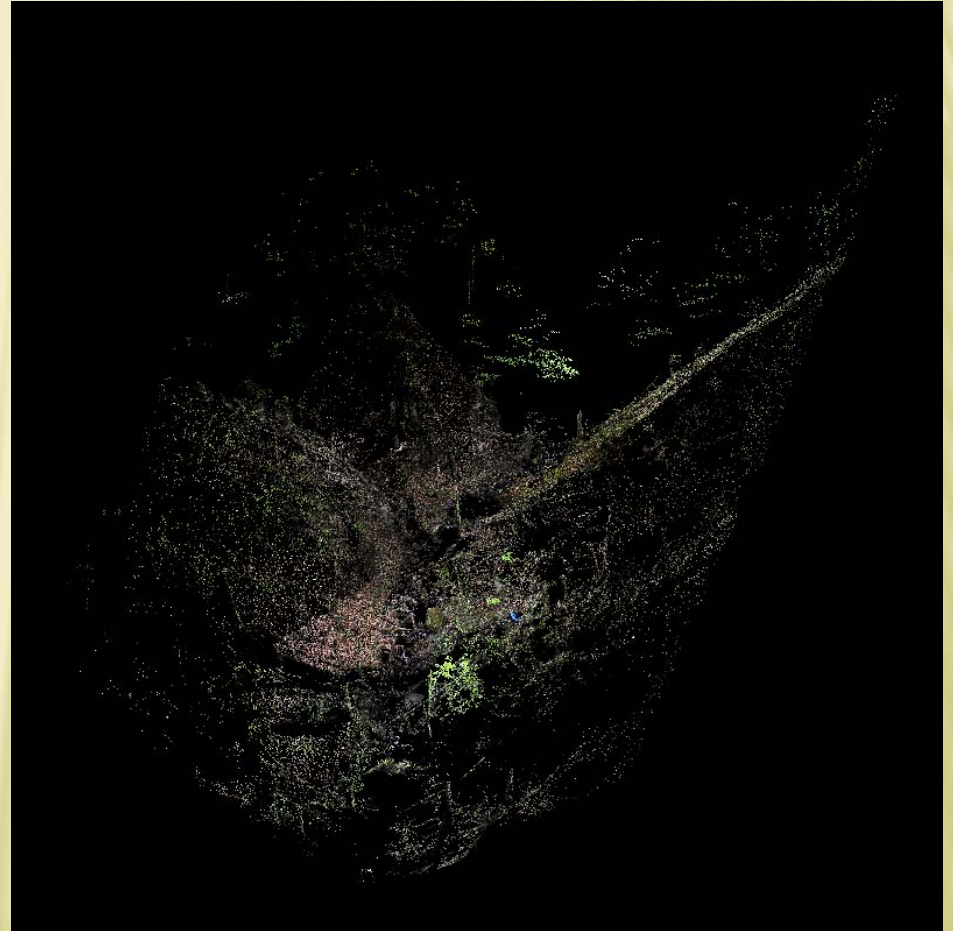
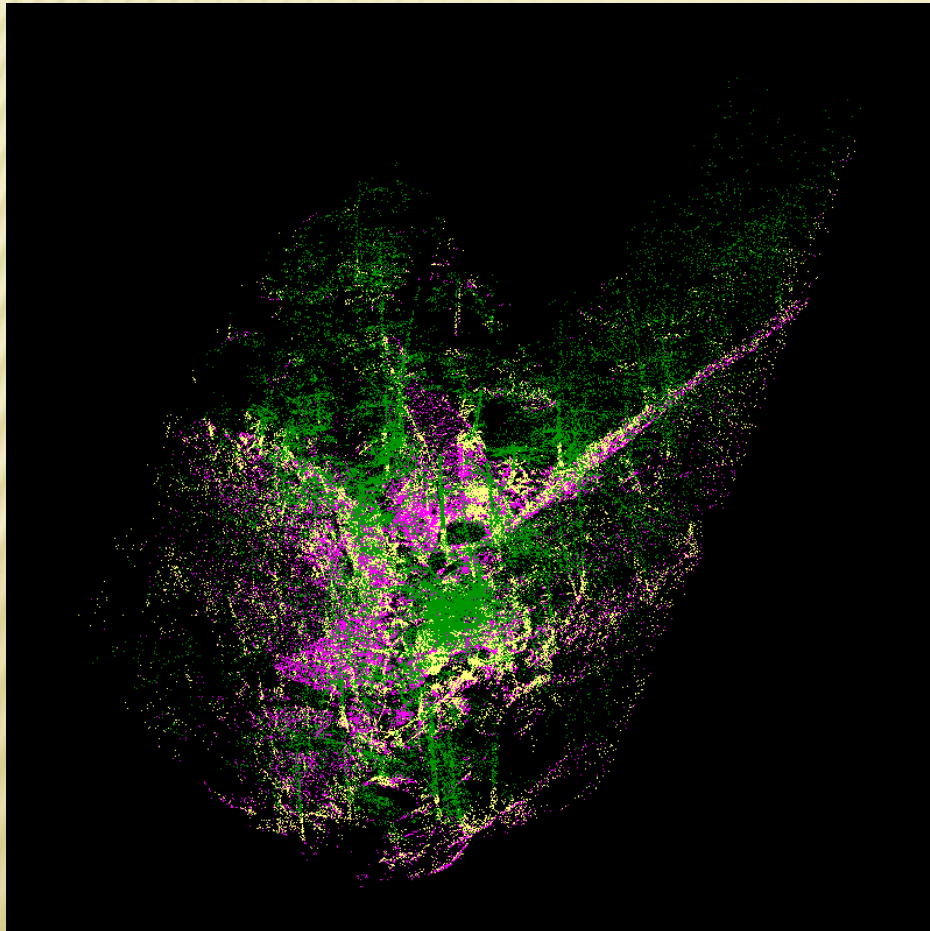
RISCAN PRO: urejanje talnih točk

IZDELAVA DMR



RISCAN PRO: združitev sektorjev;
las2dem: interpolacija DMR 0,05 m

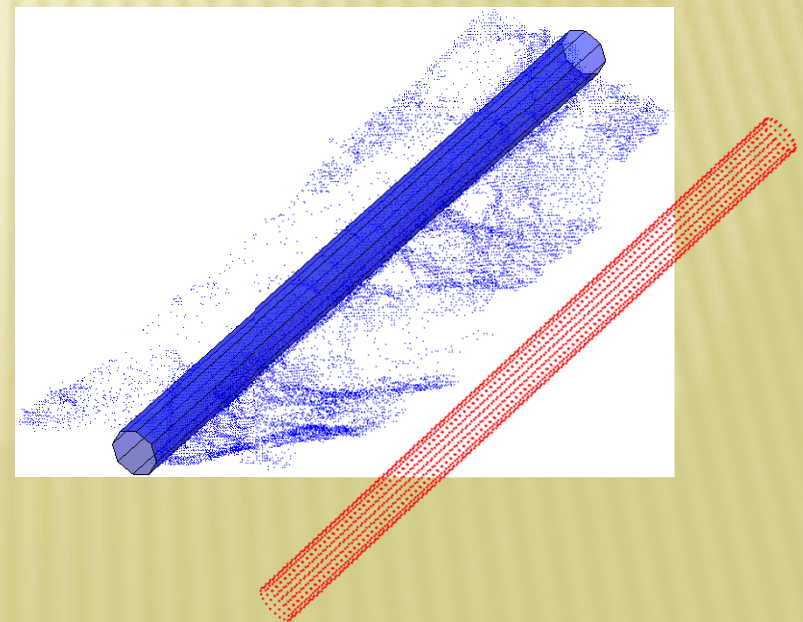
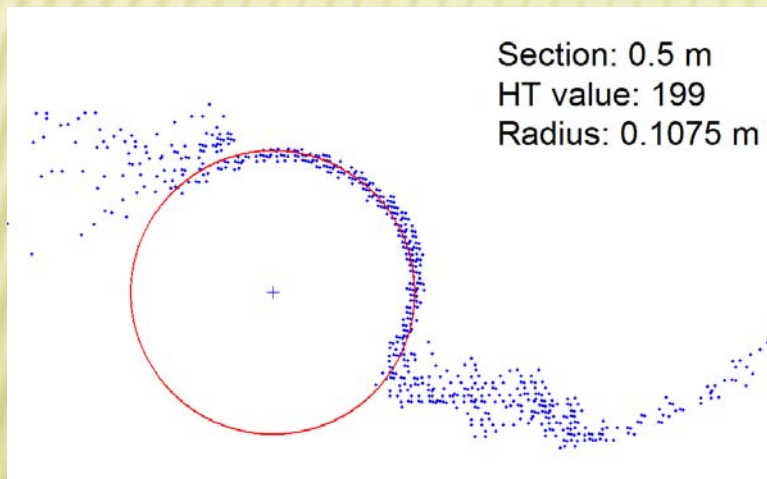
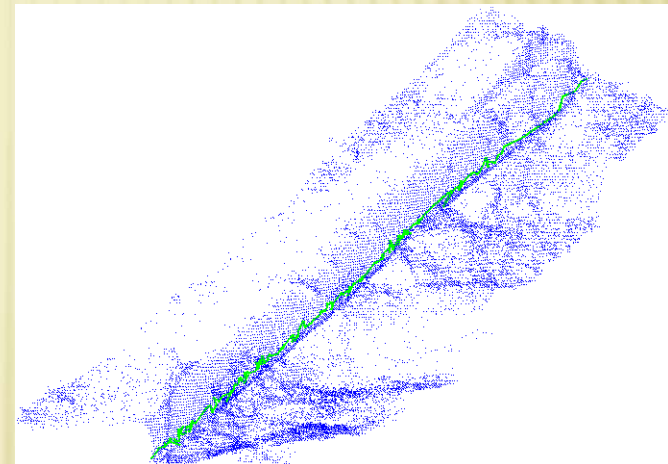
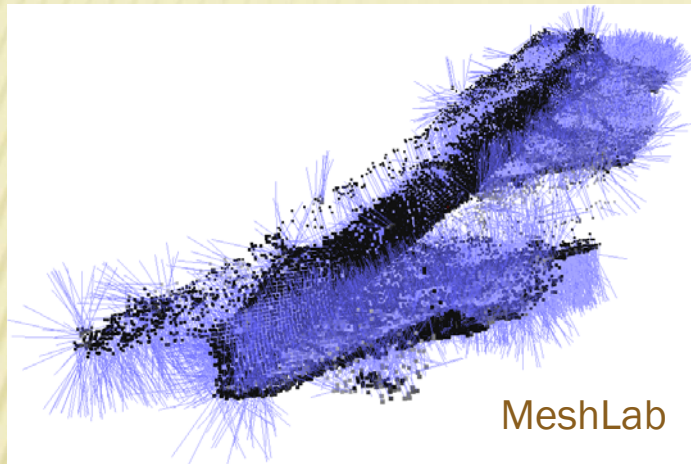
MODELIRANJE DEBEL



lasclassify: klasifikacija oblaka točk;

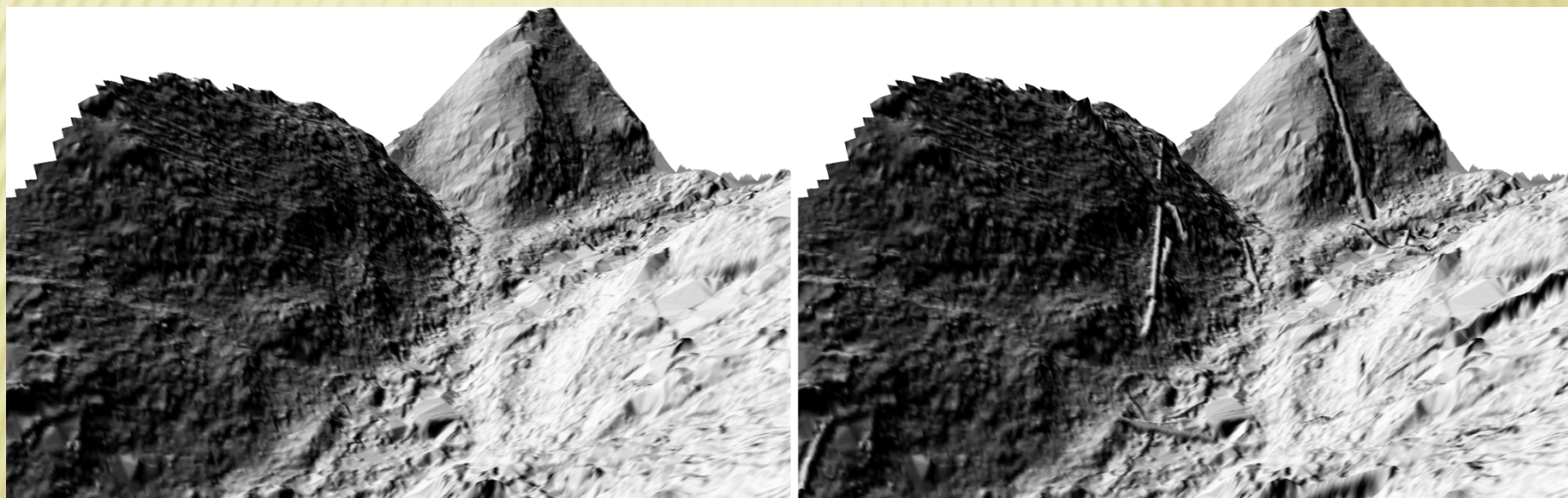
RISCAN PRO: iskanje debel

MODELIRANJE DEBEL



Matlab

DMR IN DMR Z VKLJUČENIMI DEBLI



2,5D model

MATEMATIČNO MODELIRANJE TOKA VODE

× Flo-2D:

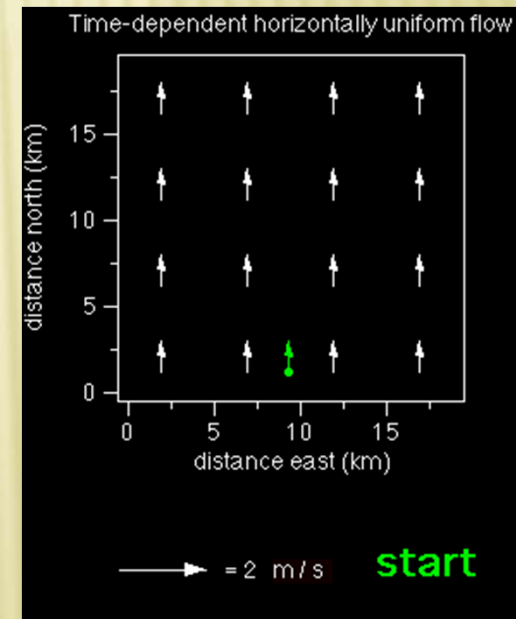
+ Eulerjev pristop:

obravnavava natančno določen del prostora, v katerem se nahaja tekočina;

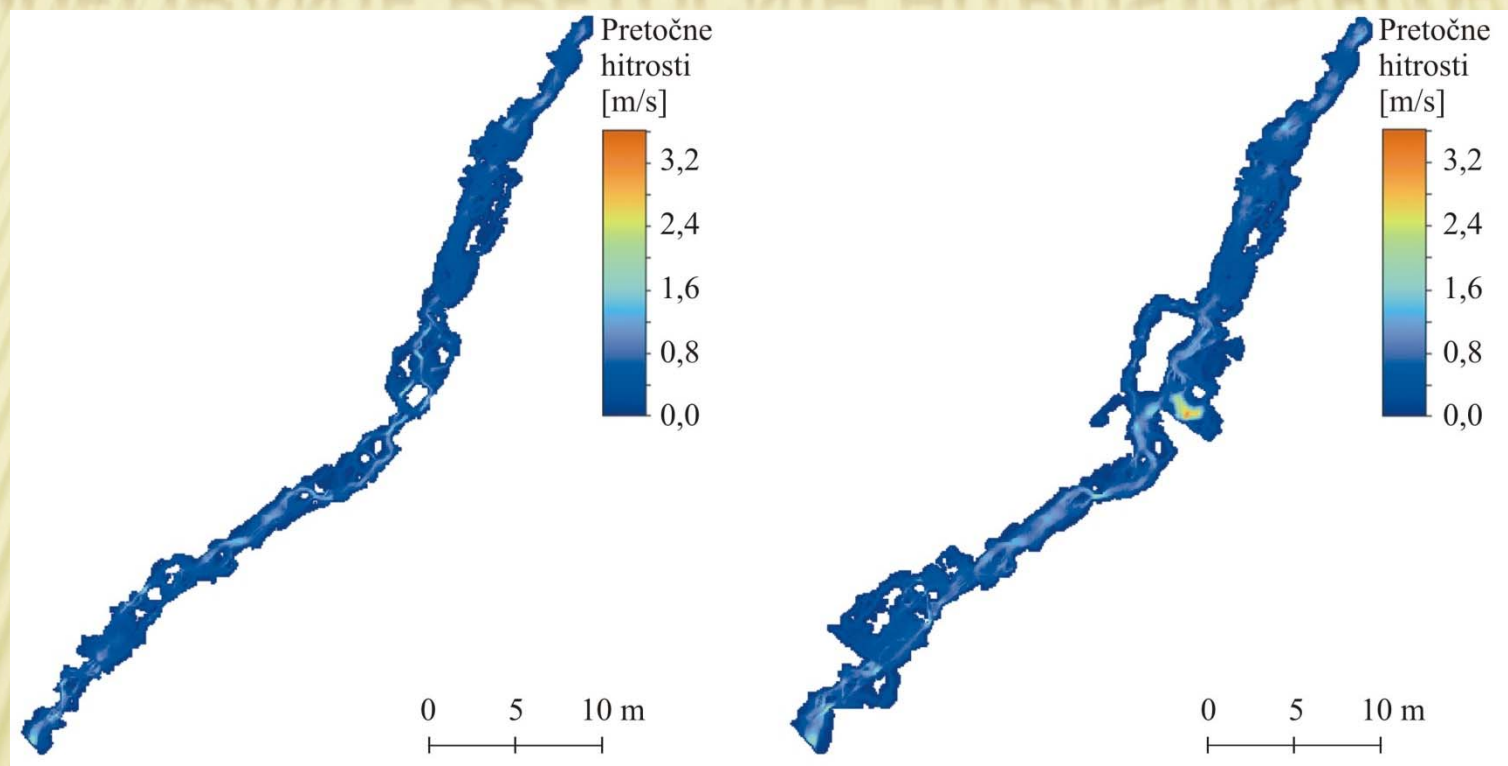
× Tis Isat:

+ Lagrangeov pristop

obravnavava masne delce tekočine, ki se premikajo po prostoru;

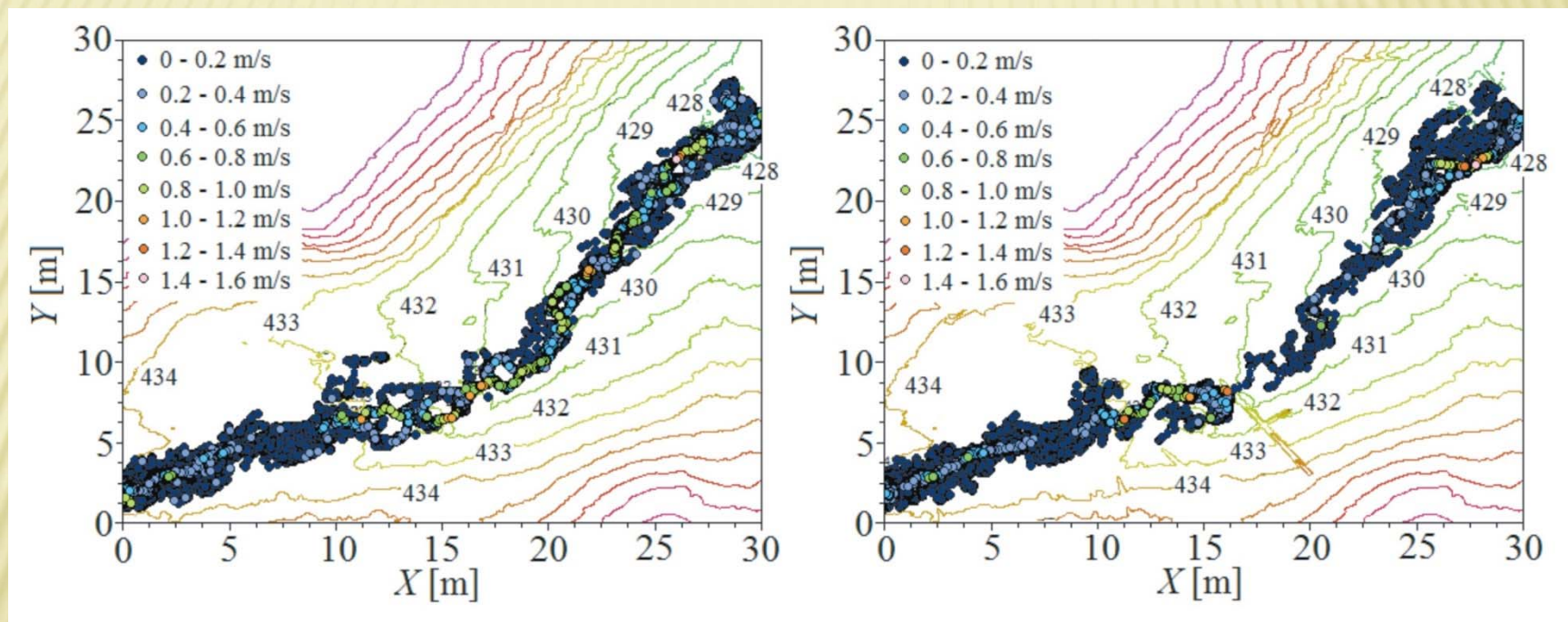


MODELIRANJE PRETOČNIH HITROSTI S FLO-2D



- × 2D modeliranje
- × Pretočne hitrosti se gibljejo večinoma pod 2 m/s
- × Vpliv drevesnih debel na dinamiko pretočnih hitrosti v hudourniški strugi:
 - + Debla povzročijo zajezev in upočasnitev vodnega toka na gorvodni strani;
 - + pri prelivanju čez debla pa se vodni tok ponovno pospeši (preseže 3 m/s).

MODELIRANJE PRETOČNIH HITROSTI S TIS ISAT



- ✗ 3D modeliranje
- ✗ Modeliranje na topografiji brez upoštevanja drevesnih debel pokaže nekoliko višje pretočne hitrosti.
- ✗ Tok vode si zaradi vpliva drevesnih debel izbere nekoliko drugačno pot.

ZAKLJUČKI

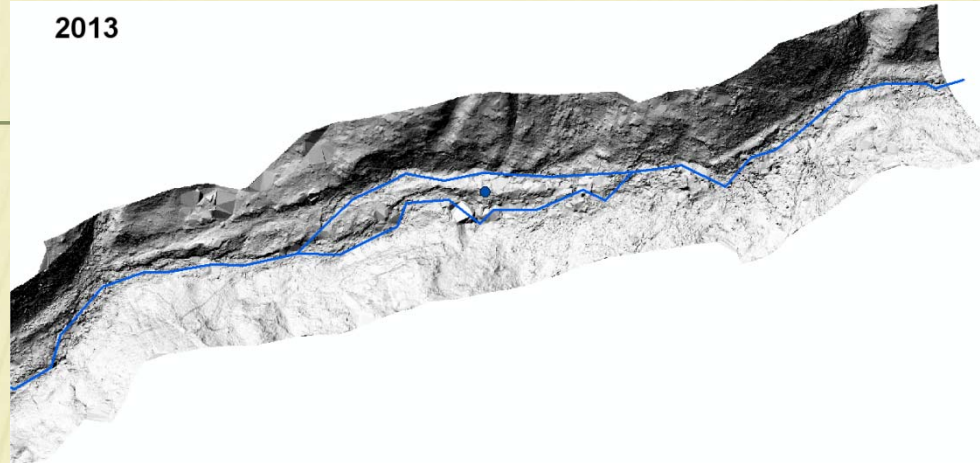
- ✖ Hidravlična modela Flo-2D in Tis Isat delujeta v strmih strugah.
- ✖ Rezultati modeliranja na obeh topografijah se med seboj razlikujejo. Pomembno je, da model struge vključuje čim več informacij o obravnavanem površju.
- ✖ Ob zagozditvah velikih drevesnih ostankov v hudourniških strugah se naravno tvorijo odseki s hitrejšim vodnim tokom. Za pragovi se vodni tok umiri, pretočne hitrosti so manjše, v odvisnosti od geometrije struge se lahko tvorijo manjši tolmoni.
- ✖ Navkljub veliki dinamiki hidravličnih razmer v strmih hudourniških strugah se v naravnih razmerah vzpostavi sosledje hitrih in počasnih odsekov vodnega toka (k temu prispeva tudi prisotnost velikih drevesnih ostankov v strugah). Pri pojavu poplavnega dogodka se v strugi ponovno vzpostavijo ravnovesni hidravlični pogoji...



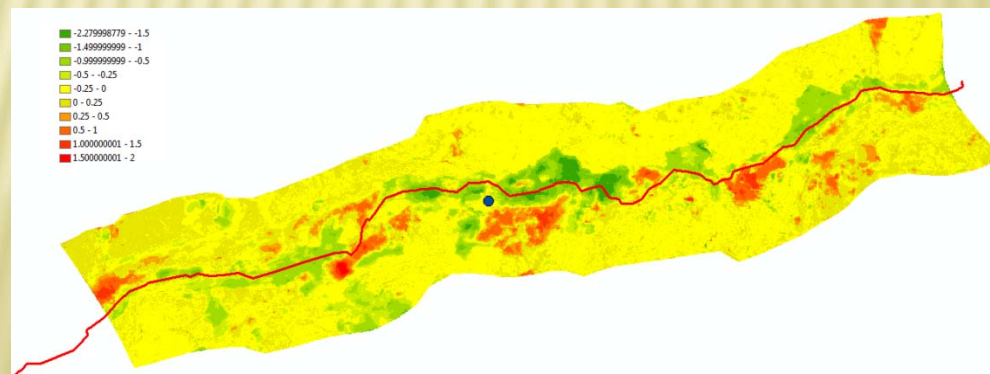
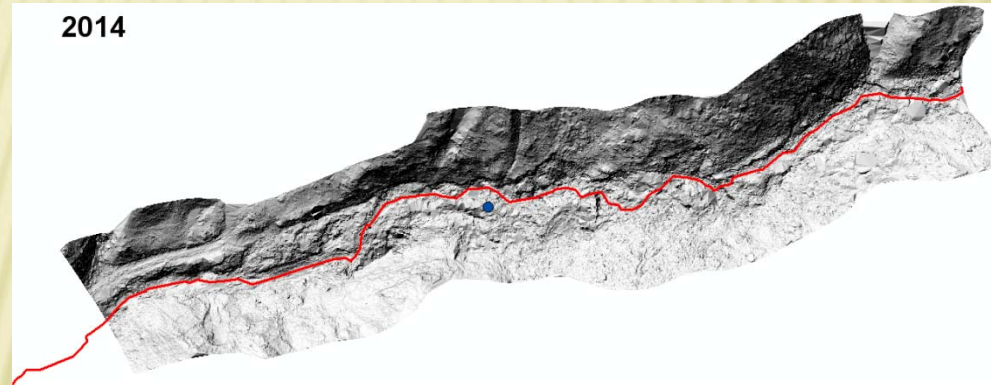
NADALJNE DELO

- ✖ Načrtujemo umerjanje hidravličnih modelov s terenskimi meritvami $\Rightarrow$ pravilnejša ocena uporabnosti predlaganih metod za modeliranje v praksi.
- ✖ DMR...

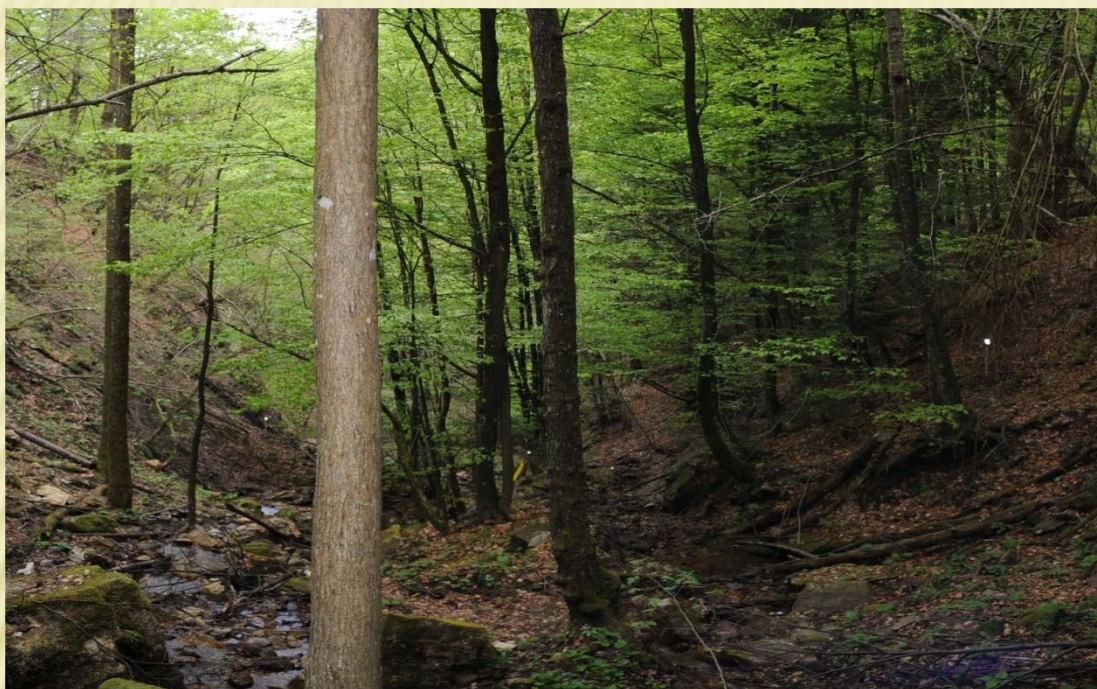
2013



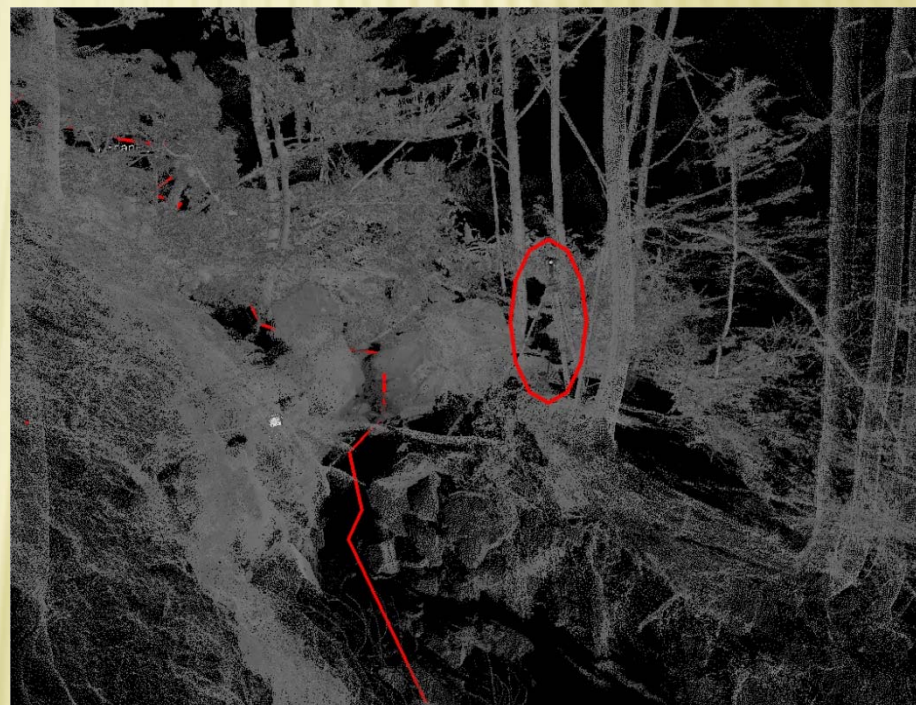
2014











Časovne primerjave: vzpostavitev stalnih stojišč za TLS

