DOLENJSKO GEODETSKO DRUŠTVO

ZVEZA GEODETOV SLOVENIJE

53. GEODETSKI DAN

Geodezija in energetika: Skupaj v prostoru

15. in 16. oktober 2025

Čatež ob Savi

Analiza vegetacije ob elektroenergetskem omrežju z uporabo LiDAR-ja in umetne inteligence

Jernej Nejc Dougan, Klemen Čotar

Ranljivosti električnega omrežja

Fizične ranljivosti

Glavni vzrok: mehanske ali okoljske obremenitve.

Primeri:

- **Vegetacija:** drevesa, veje ali zaraščanje v zaščitnih koridorjih povzročajo kratke stike ali poškodbe vodnikov.
- **Vreme:** močan veter, žled, sneg, visoke temperature, poplave in strele lahko poškodujejo stebre, izolatorje in vodnike.
- **Erozija terena:** podori, poplave, nestabilna tla – vplivajo na temelje drogov in dostopne poti.
- **Korozija in staranje materialov:** vpliva na mehansko trdnost konstrukcij in prevodnost spojev.

Okoljske in prostorske ranljivosti

Glavni vzrok: spremembe v prostoru, ki vplivajo na obratovanje.

Primeri:

- **Urbanizacija**: gradnja v bližini daljnovodov → zmanjšanje varnostnih koridorjev.
- **Kmetijska dejavnost ali sečnja**: vplivata na stabilnost tal in dostopne poti.
- **Rast vegetacije**: različen ritem rasti glede na tip vegetacije in podnebne pogoje.
- **Podnebne spremembe**: povečujejo pogostost ekstremnih dogodkov (veter, žled, požari).

Vegetacija ob omrežju

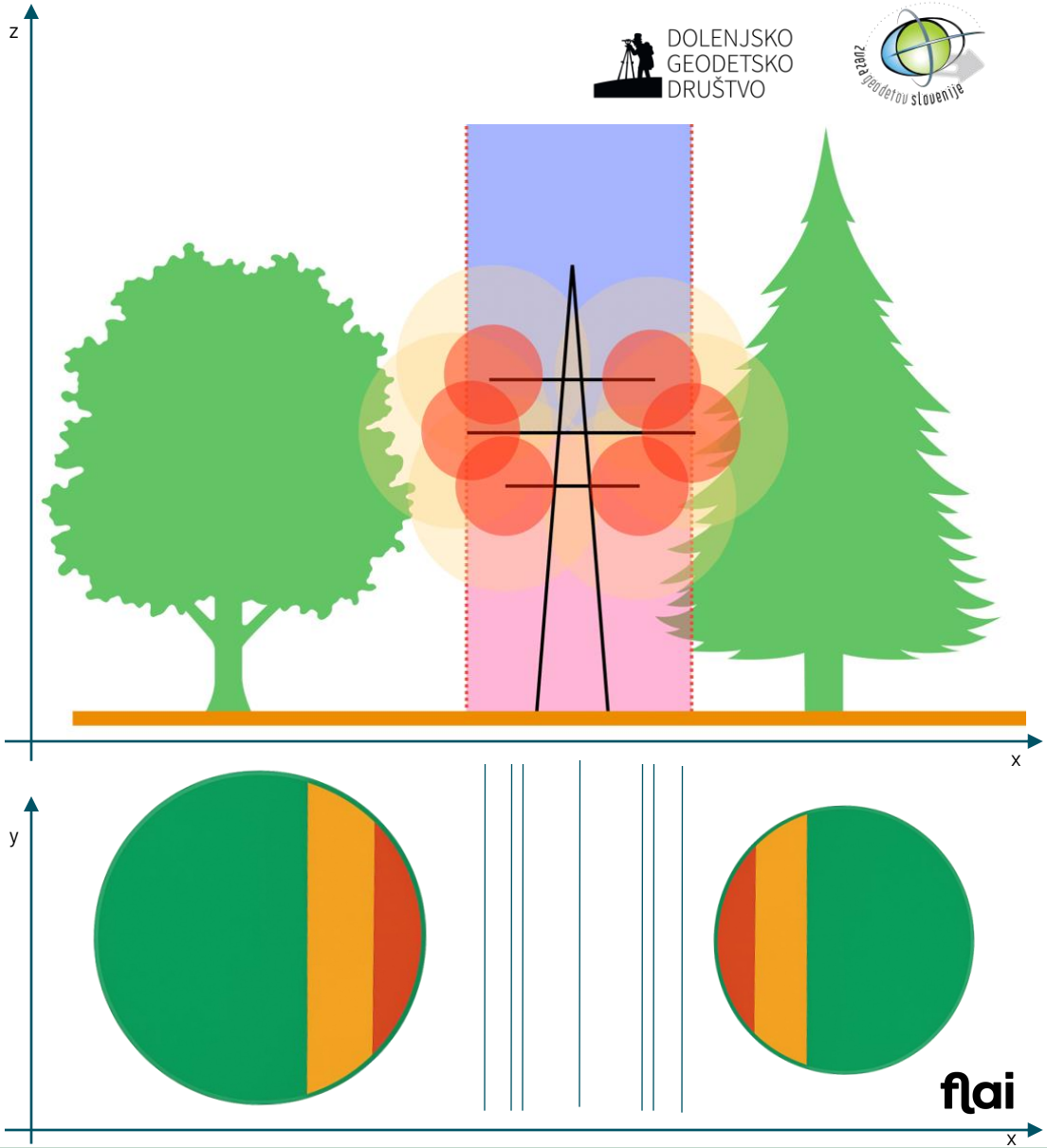
Neposredni stik
veja ali vrh drevesa se dotakne vodnika in poškoduje izolacijo ali vodnik.

Električni preskok
bližina vegetacije omogoči lok ali flashover, kar povzroči izpad.

Povešanje vodnikov
toplotna obremenitev in obremenitve povzročijo večje povešanje, s čimer se zmanjša varnostna razdalja do vegetacije ali drugih objektov.

Rast vegetacije
sezonske in dolgoročne spremembe rasti premaknejo vegetacijo v nevarnostne cone.

Gozdni požar
iskra ali lok ob stiku z suho vegetacijo lahko zaneti požar, ki hitro poškoduje omrežje.



Pregledi omrežja

Ročni terenski ogledi z **vizualnim pregledom** daljnovodov in opreme.

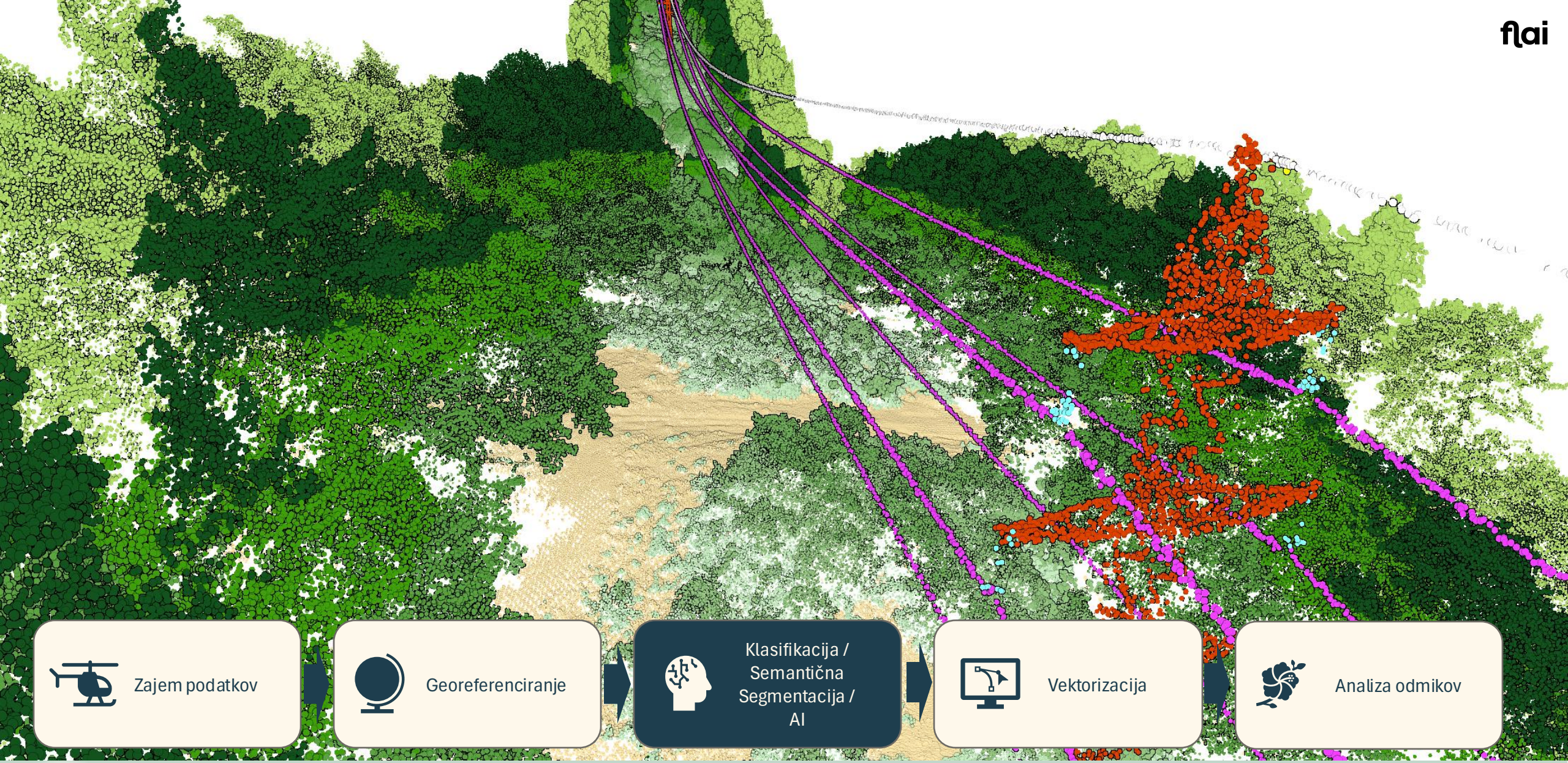
Peš, s terenskimi vozili, s helikopterji, brezpilotniki.

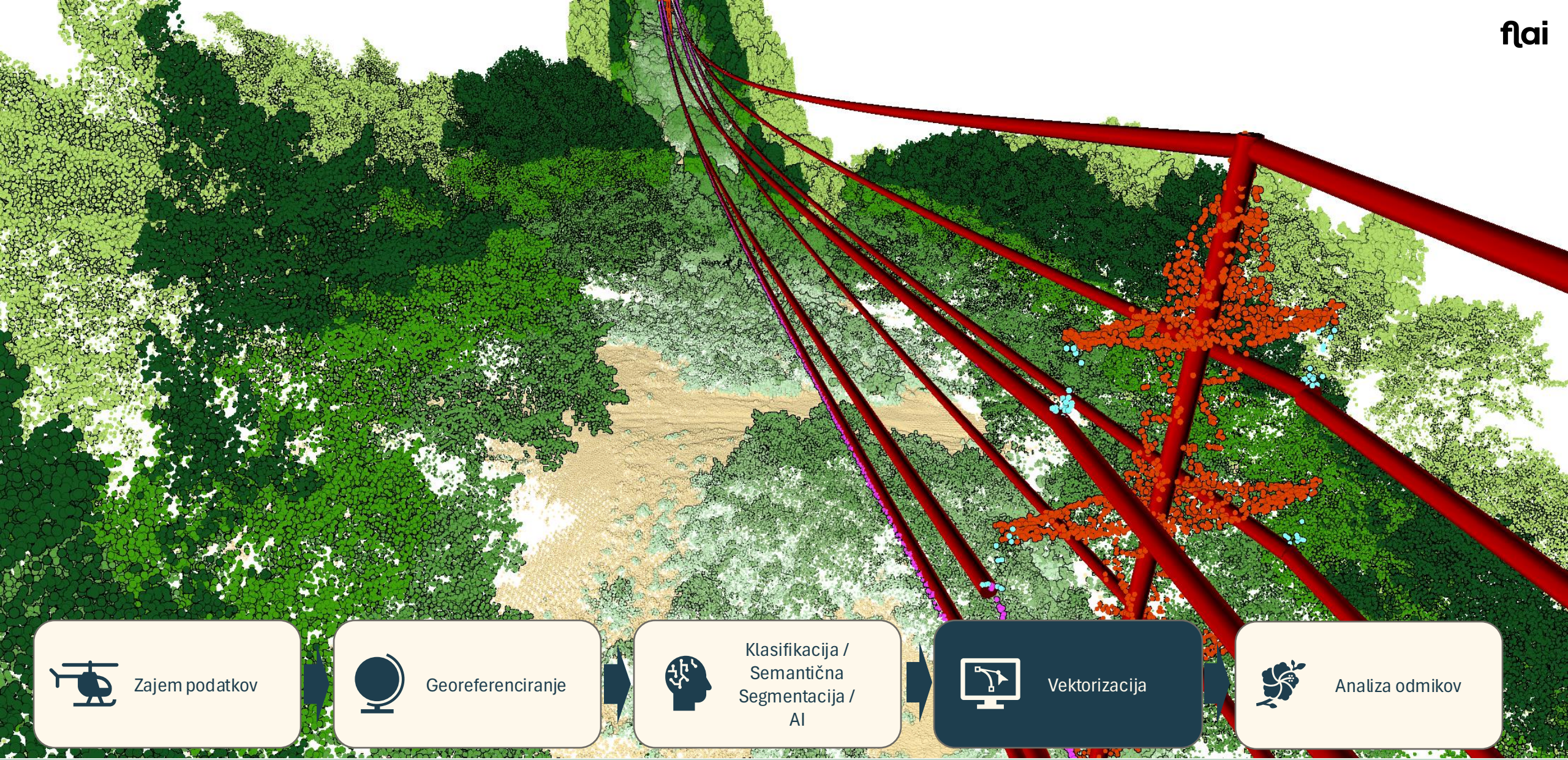
Ročno beleženje (na papir), kasneje v informacijski sistem.

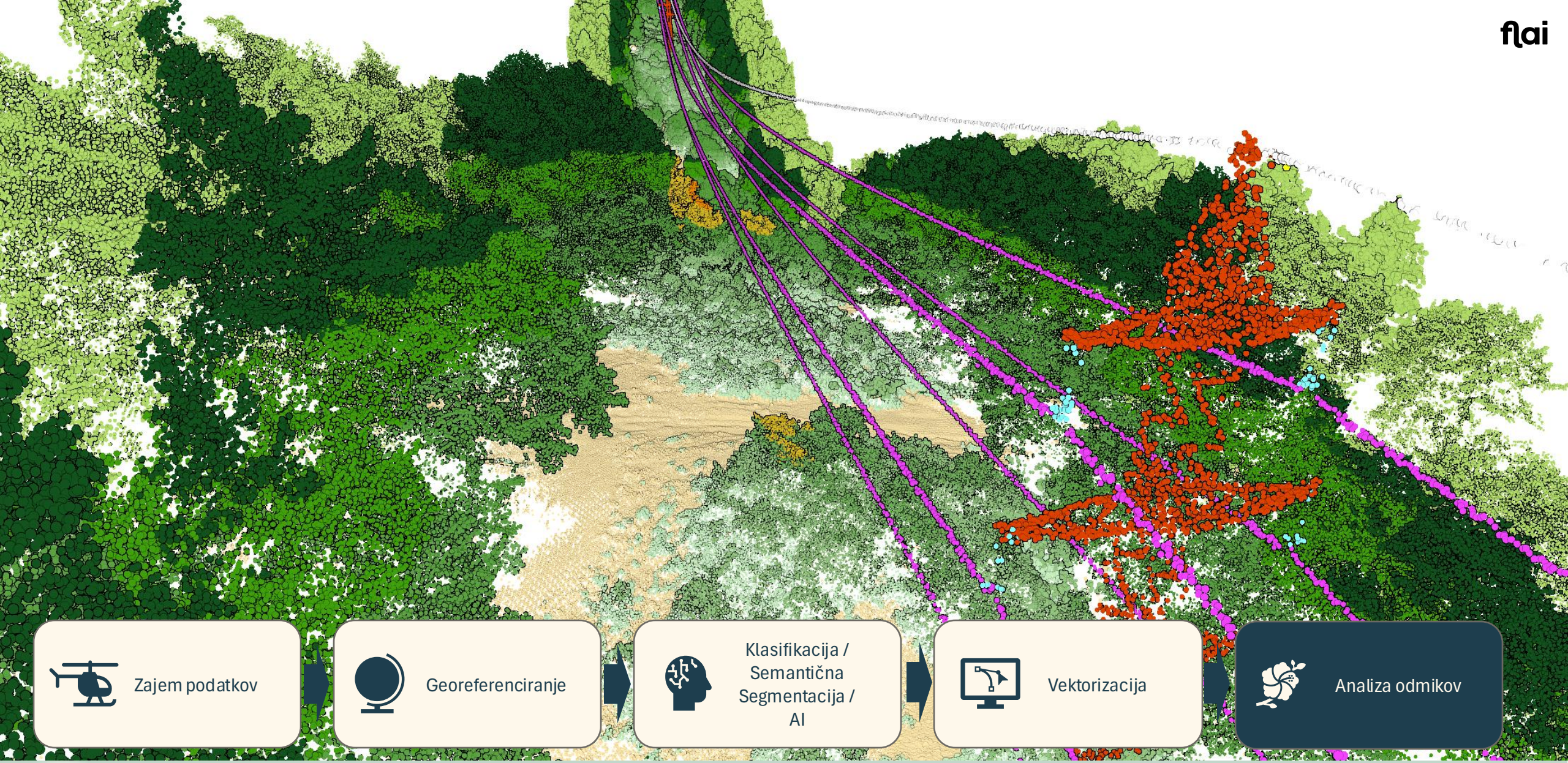
Proces

Zajem podatkov → Georeferenciranje → Klasifikacija / Semantična Segmentacija / AI → Vektorizacija → Analiza odmikov

Zajem podatkov
Georeferenciranje
Klasifikacija / Semantična Segmentacija / AI
Vektorizacija
Analiza odmikov


Zajem podatkov
Georeferenciranje
Klasifikacija / Semantična Segmentacija / AI
Vektorizacija
Analiza odmikov

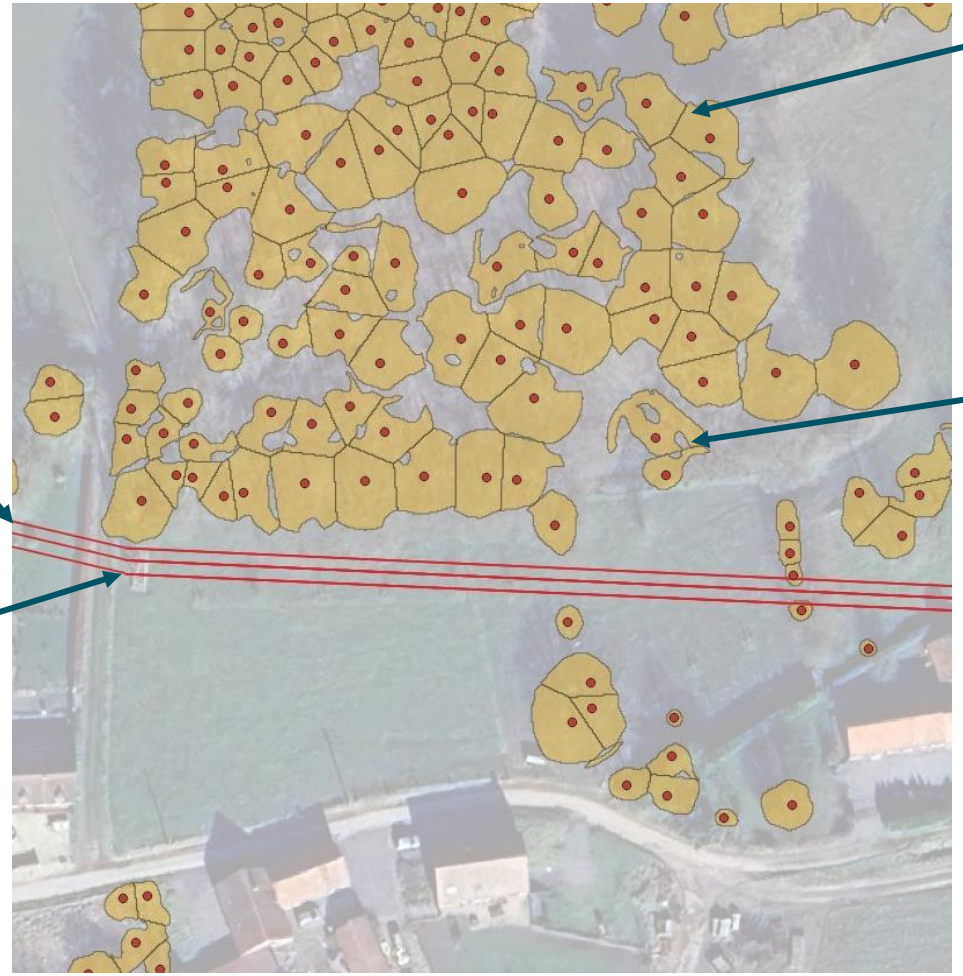

Zajem podatkov
Georeferenciranje
Klasifikacija / Semantična Segmentacija / AI
Vektorizacija
Analiza odmikov


Zajem podatkov
Georeferenciranje
Klasifikacija / Semantična Segmentacija / AI
Vektorizacija
Analiza odmikov

Rezultati

Catenaries
- ID
- Length

Towers
- ID
- Height



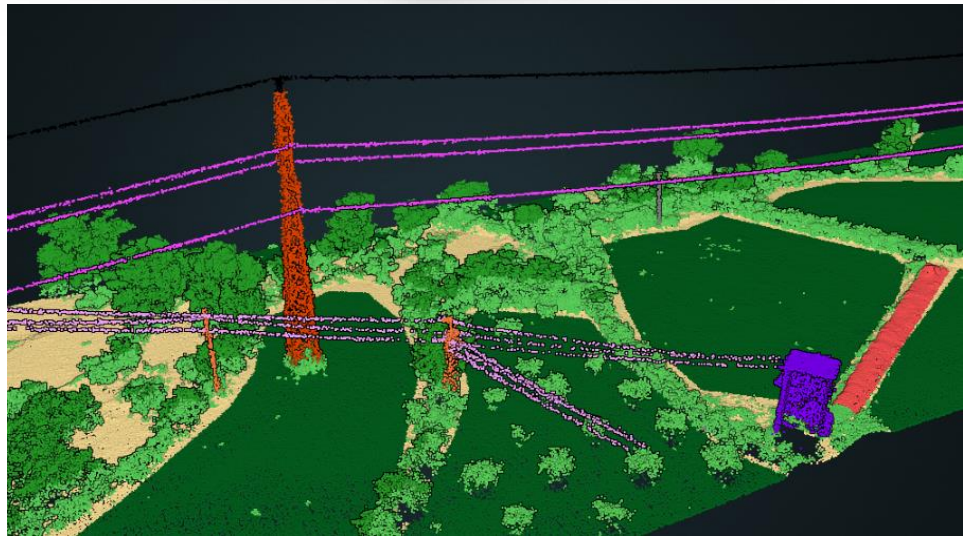
Canopy area
- ID
- Area
- Height
- Danger zone

Tree tops
- ID
- Height

Vectors (FlatGeoBuf, GeoPackage, ...)

Primer Uporabe - Hrvaška

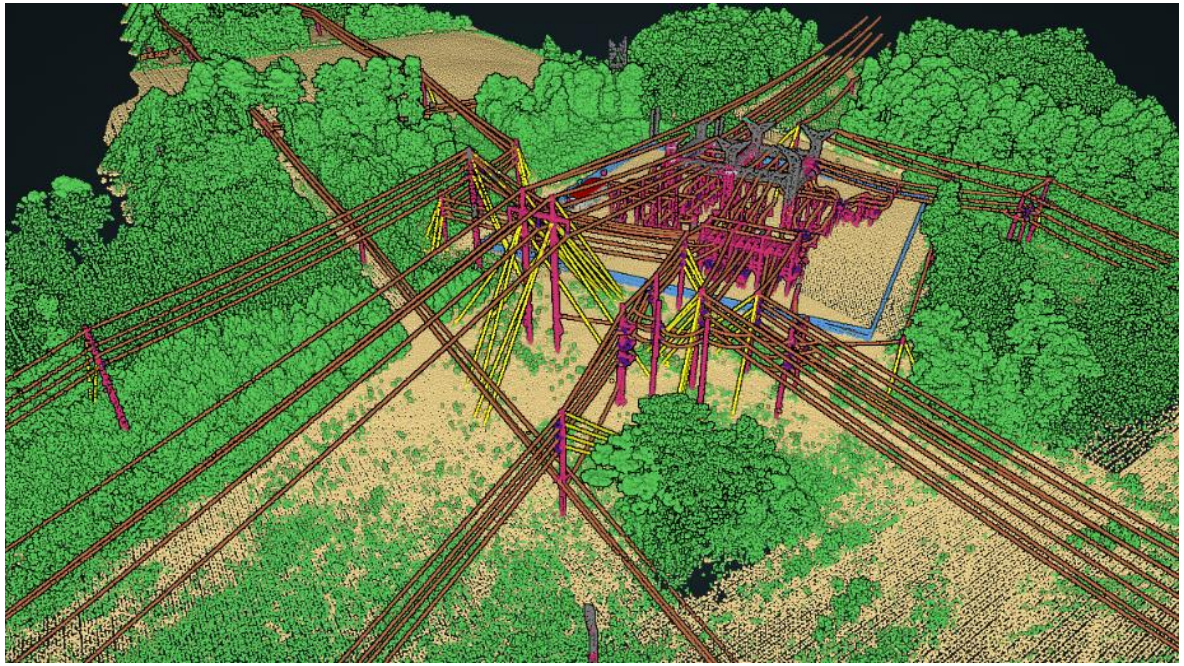
- UAV with LiDAR sensor:
  - YellowScan / Velodyne VLP32 sensor
  - ~ 150 pts/m2
- AI-assisted classification:
  - Vegetation (low, mid, high)
  - Low voltage wires
  - Low voltage towers
  - High voltage towers
  - High voltage wires
  - Ground wire
  - Substation
  - Other (agricultural land, roads, fences)



Primer Uporabe - ZDA

Point cloud classification LiDAR
10,000+ km2
AI-assisted classification:

- Vegetation (low, mid, high)
- Low voltage wires
- Low voltage towers
- High voltage towers
- High voltage wires
- Guy Wire
- Insulators
- Bridges



Zaključek

Od podatka do odločitve – hitro in ponovljivo

Avtomatizirana obdelava LiDAR in slikovnih podatkov.
Hitrejša pot od zajema do končnega produkta.
Odprava ročnih napak in subjektivnosti.
Ponovljive, objektivne meritve na celotnem omrežju.

Realnočasovni pregledi z brezpilotniki

Pregledi izvedljivi sproti ali po potrebi.
Analiza v skoraj realnem času med letom.
Hitro odkrivanje novih tveganj po neurjih ali požarih.
Učinkovit nadzor težko dostopnih območij.

Globalno uporabno, lokalno prilagodljivo

Modeli UI delujejo v različnih geografijah in vegetacijah.
Enostavna prilagoditev lokalnim razmeram in vrstam stebrov.
Učenje iz lokalnih podatkov.
Povečana natančnost in robustnost analize.

Napredna analiza – razumevanje vegetacije

Klasifikacija rastlinskih in drevesnih vrst.
Napoved hitrosti rasti in prihodnjih tveganj.
Možnost prediktivnega vzdrževanja.
Prehod od reaktivnega k proaktivnemu pristopu.