

RADIONICA br. 2 HRZZ projekta "3D-FORINVENT"

"Metode obrade i primjene podataka daljinskih istraživanja
dobivenih različitim 3D optičkim izvorima u izmjeri šuma"

NPŠO Velika, 3. srpnja 2019.



LiDAR tehnologija u izmjeri šuma

Ante Seletković

Šumarski fakultet Sveučilište u Zagrebu
Zavod za izmjeru i uređivanje šuma
Svetošimunska cesta 25, Zagreb
aseletkovic@sumfak.hr



Uporaba podataka daljinskih istraživanja dobivenih
različitim 3D optičkim izvorima u izmjeri šuma
(3D-FORINVENT), IP-2016-06-7686



LiDAR

- engl. *Light Detection And Ranging*
- *aktivni sustav daljinskih istraživanja (LiDAR, Radar)*
- *Princip laserskih zraka*
- **Laser** (engl. *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) – uređaj za stvaranje i pojačavanje koherentnog, elektromagnetskog, najčešće monokromatskog, usko usmjerenog zračenja.



Povijesni razvoj

- Prvi laseri u svijetu konstruiraju se 60-tih godina 20. stoljeća
 - Mjerenje udaljenosti, ponajviše avijacija
- Prvo lasersko snimanje iz zraka 1964. godine;
 - testiran plinski laser spojen s barometrom kako bi se ustanovila visina letjelice i fotogrametrijske kamere
- Jensen i Ruddock 1965. god. Razvijaju funkcionalni laserski profiler namijenjen za komercijalna topografska kartiranja
- Sredinom 70-tih godina 20.st. Razvio se Nd:YAG laser s krutom jezgrom – **temelj sadašnjeg laserskog skeniranja.**
- Nd:YAG laser
 - Impulsni laser koji se najčešće primjenjuju u laserskim skeniranjima iz zraka
 - Veća snaga odaslanog impulsa.

- Rani razvoj tehnologije s novom vrstom lasera pripisuje se NASA-i i brojnim pokušajima znanstvenika i istraživača u SAD-u i Kanadi koji su obavljali razna hidrografska i batimetrijska istraživanja.
 - Kasnih 80-tih godina 20. st. GPS tehnologija ja postala dostupna svima, te komponiranje GPS sustava i laserskog snimanja (skeniranja) iz zraka omogućuje rješavanje problema točnosti lokacije.
 - 1988-1993 – istraživanja koja potvrđuju veliki potencijal geometrijske točnosti, te se zadovoljavaju svi parametri za razvoj pravog sustava skeniranja Zemljine površine iz zraka
 - Razvija se sustav GPS i IMU (engl. *Inertial Measurement Unit*)
- Globalna ↓ ↓ Lokalna točnost
- ~~1999.~~ godine „Journal of Photogrammetry & Remote Sensing”, objavljuje poseban broj posvećen tehnologiji laserskog skeniranja iz zraka što je imalo pozitivan utjecaj na razvoj LiDAR tehnologije u znanstvenom i tehnološkom smislu.

Definicija

- **LiDAR** – skraćenica *Light Detection And Ranging* –
 - detekcija i određivanje udaljenosti objekata pomoću svjetlosnih valova
- **LiDAR** je potpuno automatiziran, aktivan, optičko mehanički postupak prikupljanja prostornih podataka dostupnih s aktualnih snimališta (Gajski, 2007.)
- **LiDAR sustavi** se temelje na laserskom skeniranju koje mjeri udaljenost između skenera i objekta izmjere, a ono se računa pomoću brzine svjetlosti i vremena potrebnog da emitirano lasersko zračenje dođe do objekta (Baltsavias, 1999.)

- U ovisnosti o platformi koja nosi skener (uređaj za snimanje), tehnologija laserskog skeniranja dijeli se na:
 1. Lasersko skeniranje sa zemlje (engl. *Terrestrial Laser Scanning* – TLS)
 - Ručno
 - Statično
 - Pokretno
 2. Lasersko skeniranje iz zraka (engl. *Airborne Laser Scanning* - ALS)
 3. Lasersko skeniranje iz svemira (engl. *Spaceborne Laser Scanning* - SLS)

Lasersko skeniranje iz zraka (ALS) omogućava najbolji pristup velikim površinama terena i nudi mogućnost velike pokretljivosti skenera,

Laserska skeniranja sa zemlje (TLS) pogodnija za ograničena područja, izuzetno strme terene te pojedinačna detaljna snimanja.

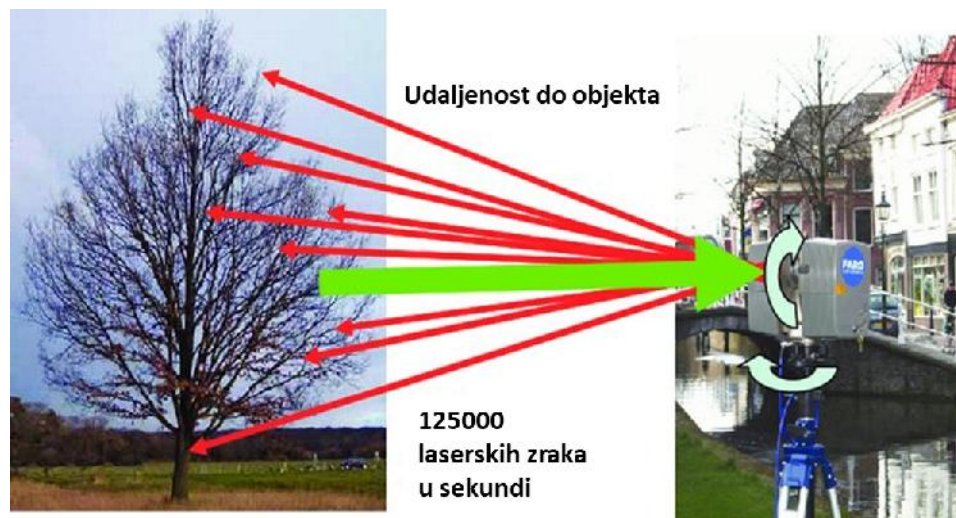
Laserska skeniranja iz svemira (SLS) namijenjena su snimanju i praćenju prirodnog okoliša, zemaljskom nadzoru i proučavanju geodinamičkih procesa.

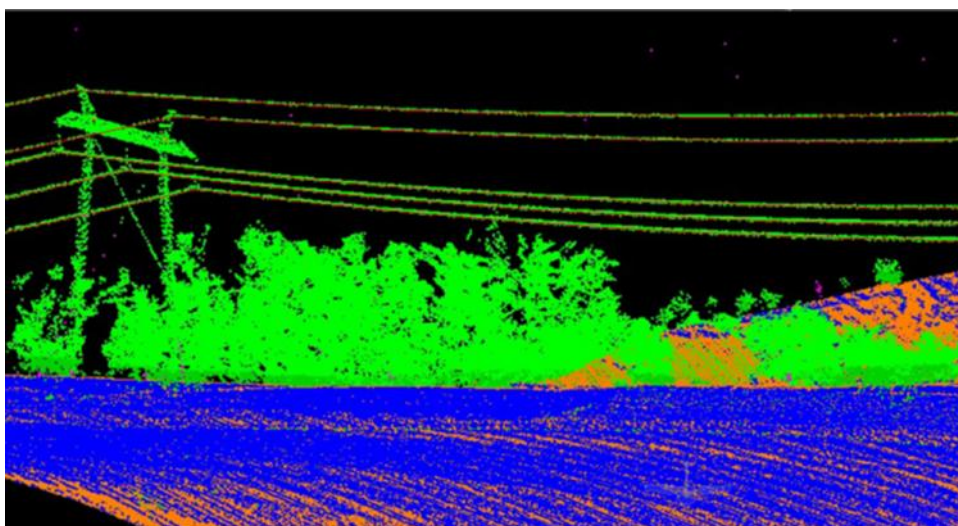
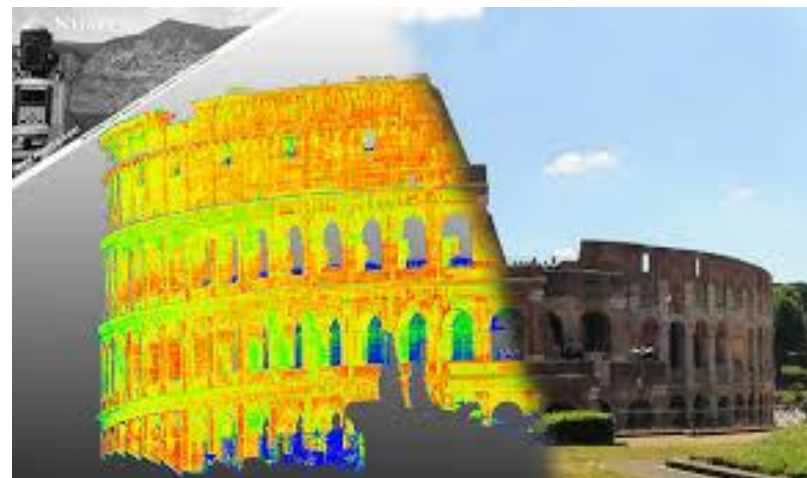
LASERSKO SKENIRANJE SA ZEMLJE

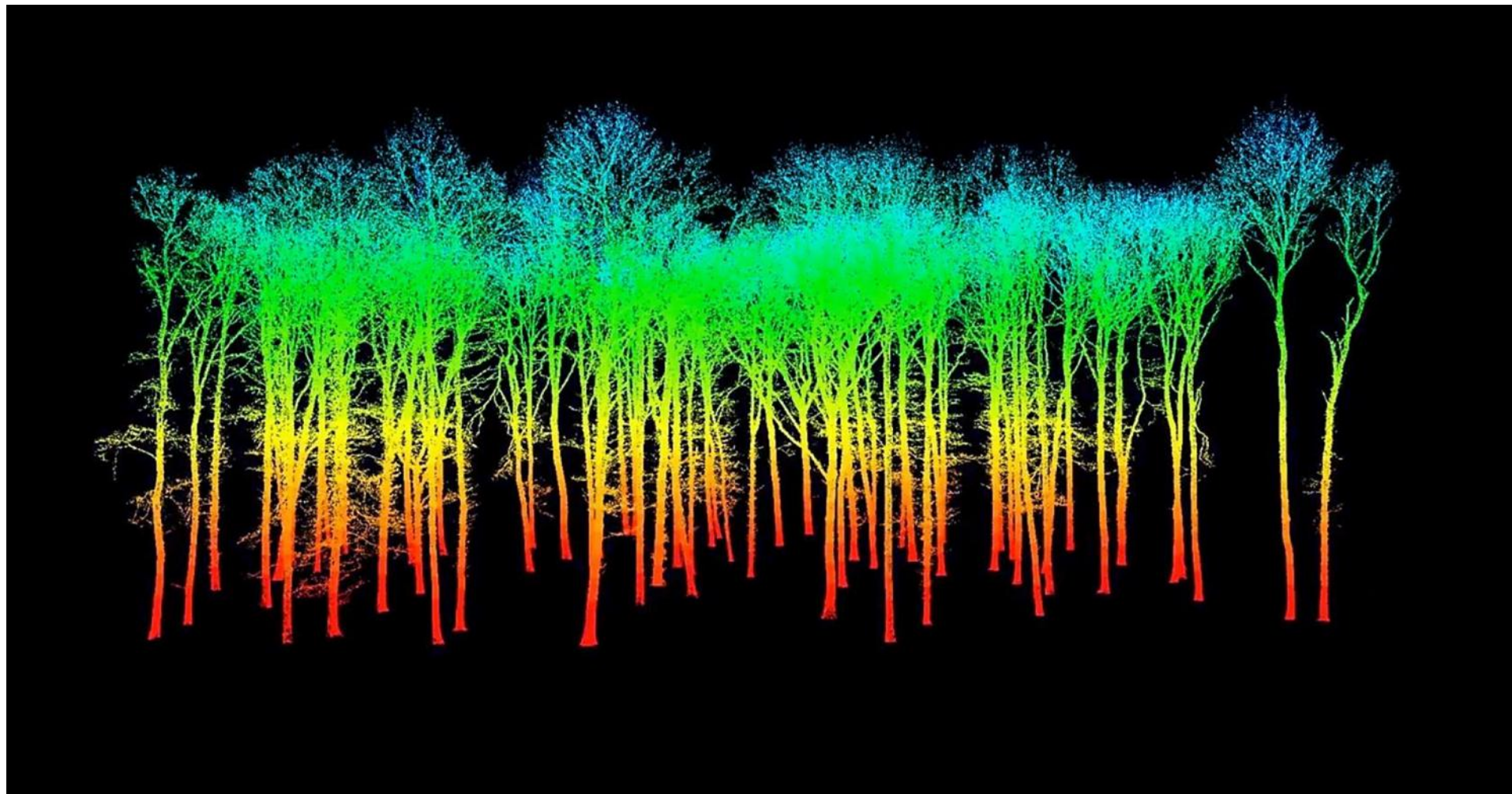
- Primarno je u uporabi za brzo prikupljanje trodimenzionalnih informacija o brojnim topografskim i industrijskim objektima.
- Kulturna dobra, mostovi, autoceste, litice uz more, automobili i još mnogo toga se može točno dokumentirati i modelirati koristeći lasersku tehnologiju.
- Terestrički laserski skeneri su beskontaktni mjerni uređaji koji prikupljaju guste oblake točaka (3D) snimljenog objekta.
- Svaka točka sadržava x, y, z koordinatu, boju u RGB modelu boja te intenzitet refleksije.



- Prilikom snimanja laser emitira koherentno i monokromatsko elektomagnetsko zračenje.
- Laserske zrake odaslane su vrlo direktno i s mnogo snage, prolaze određenu udaljenost te se reflektiraju od mjerenog objekta natrag do uređaja.
- Reflektirano zračenje koje senzor bilježi ovisi o reflektivnim karakteristikama površine snimljenog objekta.





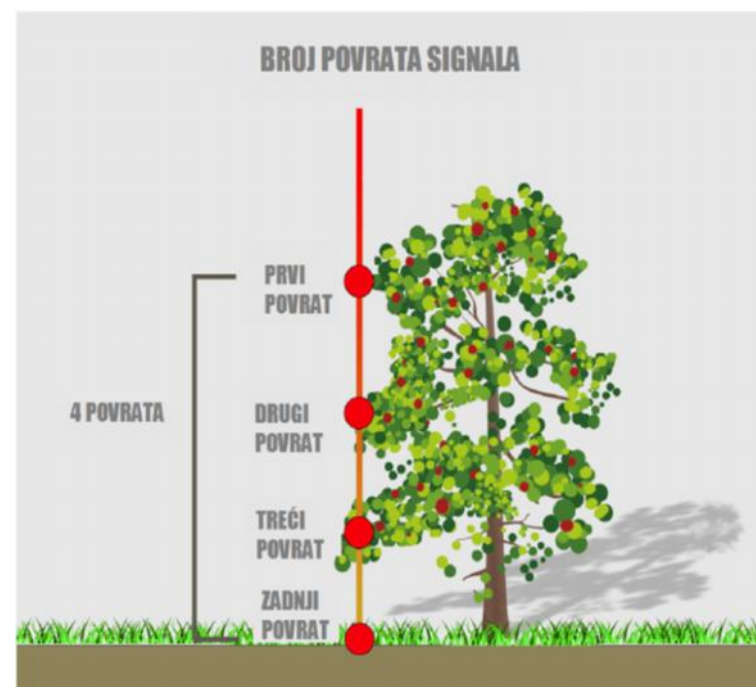


- Preciznost mjerenja ovisi o udaljenosti objekta snimanja i senzora za prihvatanje reflektirajućeg zračenja, divergenciji odašlane laserske zrake, oblika i reflektivnosti snimanog objekta te o okolišnim uvjetima pri kojima se vrši snimanje.
- Prema načinu mjerenja udaljenosti terestrični laserski skeneri se mogu podijeliti na **pulsne** skenere i **fazne** skenere.
- **Pulsni skeneri** se temelje na principu mjerenja vremenskog intervala putovanja elektromagnetskog vala prema objektu snimanja te mjerenja vremena potrebnog da se odašlani val vrati. Oni omogućavaju mjerenja na veće udaljenosti te se koriste i prilikom laserskog snimanja iz zraka.
- U **faznim skenerima** udaljenost se računa iz fazne razlike između primljenog i odašlanog vala pri čemu se odašlana laserska zraka modulira harmonijskim valom. Točnost ovoga načina mjerenja udaljenosti je u granicama od nekoliko milimetara, ali je zbog toga ograničen domet snimanja.

- **Terestrički laserski skeneri** se od zračnih laserskih skenera razlikuju u tome što omogućavaju iznimno detaljne i precizne izmjere objekata u prostoru, ali su pritom ograničeni svojim dometom.
- Laserski skeneri za skeniranje iz zraka ne daju toliko detaljnu sliku mjenog područja, ali zato platforme koje nose skener pokrivaju velike površine tijekom izmjere.
- Prilikom inventure šuma TLS se može koristiti kod mjerenja manjih ploha kako bi se dobile točne LAI (engl. *Leaf Area Index*) vrijednosti koje postaju referentne vrijednosti područja, dok se ALS pritom koristi za prikupljanje kvantitativnih podataka o LAI-u na velikim površinama.
- Njihova zajednička uporaba može dati svoj doprinos u brojim problemima vizualizacije prilikom razvoja gradova, prostornog planiranja, upravljanja velikim ekosustavima, raznih prostornih, infrastrukturnih i drugih analiza.

LASERSKO SKENIRANJE IZ ZRAKA

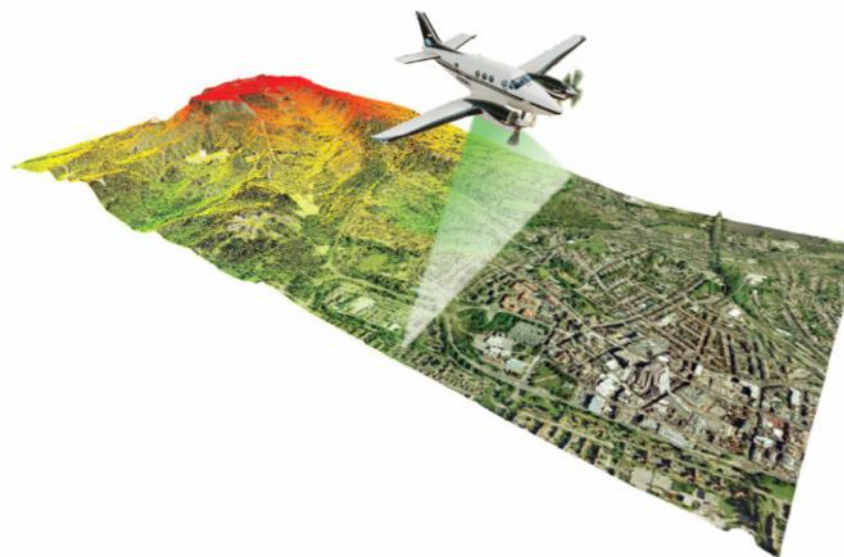
- Laser postavljen u letjelicu zajedno sa svom potrebnom opremom ima za cilj direktno georeferencirati, odnosno odrediti 3D koordinate (x, y, z) podataka iz oblaka točaka nastalog snimanjem određenog područja.
- Prilikom laserskog skeniranja iz zraka područje koje je predmet izmjere nadlijeće se letjelicom, koja može biti zrakoplov ili helikopter, a ona s donje strane nosi LiDAR.
- Njegova karakteristika je da se pri kontaktu s vegetacijom dio zrake odbije registrirajući visinu vegetacije, a dio zrake prolazi do druge površine od koje će se odbiti, odnosno do tla ili tvrde i nepropusne podloge od koje se odbija cijela zraka



- Najčešće u primjeni lasersko snimanje (skeniranje) iz zraka – ALS

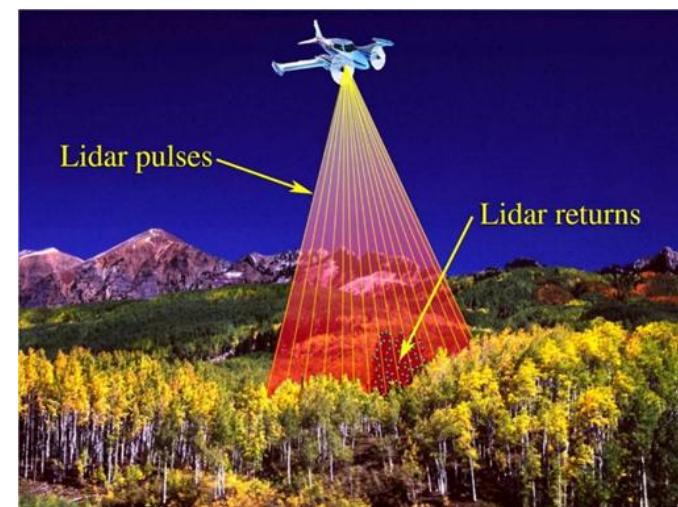
- PLATFORME:

- AVION
- HELIKOPTER
- BESPILOTNE LETJELICE (DRON)



- Visine leta variraju od 20 do 6000 m, no obično su u rasponu od 200 do 1000 m (200-300 m za helikoptere, odnosno 500-1000 m za zrakoplove).
- Većina ALS sustava sastoji se od 4 glavne komponente:
 - laserski skener
 - GPS
 - IMU
 - računalo za prohranu i obradu prikupljenih podataka
- Laserski skener se sastoji od slijedećih glavnih dijelova:
 - impulsnog lasera, čija se učestalost pulsiranja može mijenjati
 - mehanizma za skeniranje (npr. rotirajuće prizme, njišućeg zrcala)
 - prijemnog senzora sa sklopom za mjerenje vremena putovanja laserskog impulsa

- Mehanizam za skeniranje otklanja lasersku zraku od referentne osi laserskog skenera što omogućuje izmjeru veoma širokog područja sa što je moguće gušćim rasporedom točaka u jednom preletu.
- Plošno pokrivanje područja koje se snima omogućava se otklanjanjem laserske zrake u poprečnom smjeru s obzirom da letjelica nosi LiDAR u smjeru leta.
- Otklanjanje laserske zrake u poprečnom smjeru formira Z-oblik uzorka skeniranja, ali u ovisnosti o tipu mehanizma za skeniranje razlikujemo i paralelne, eliptične, sinusoidalne i mnoge druge uzorke koji se formiraju prilikom skeniranja.
- Postoji nekoliko različitih konstrukcija mehanizama za skeniranje, a danas su među češćima u uporabi (Gajski, 2007):
 - skener s njišućim zrcalom
 - skener s rotirajućom prizmom
 - skener s optičkim vlaknima



- Kod skenera s **njišućim zrcalom** se na putu laserske zrake nalazi njišuće zrcalo koje otklanja zraku okomito na smjer leta.
- Skeniranje je moguće provoditi u oba smjera, a zbog velike mase zrcala je frekvencija skeniranja razmjerno mala.
- Ovakvi se skeneri najčešće primjenjuju kod suvremenih ALS sustava zbog mogućnosti kontinuirane promjene brzine skeniranja i vidnog polja.
- Skener s **rotirajućom prizmom** skenira teren uvijek u istom smjeru, a gustoća i raspored skeniranih točaka mijenja se u ovisnosti o brzini vrtnje prizme i promjenom frekvencije pulsiranja lasera.
- Skeneri s **rotirajućom prizmom** omogućuju znatno brže skeniranje od skenera s njišućim zrcalom.

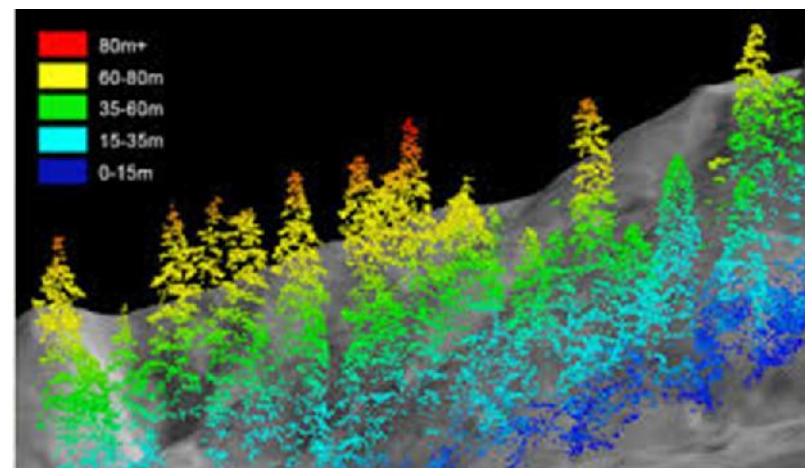
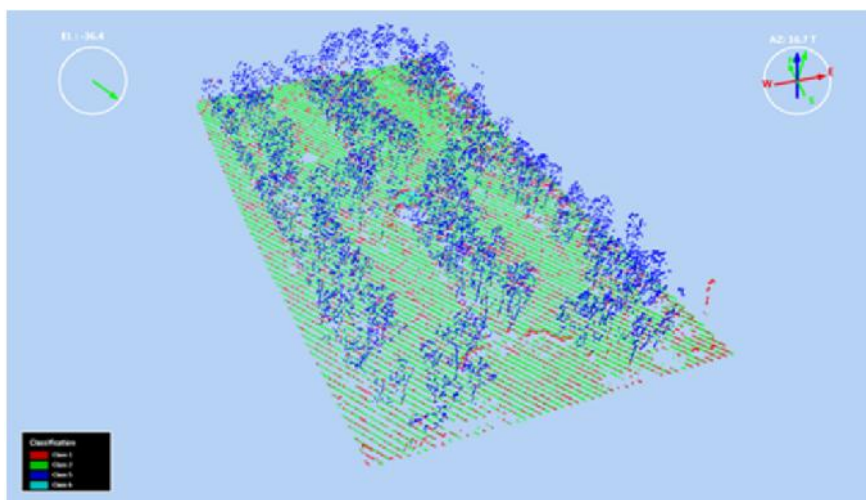
- Laseri ALS sistema za snimanje vegetacije emitiraju svjetlost valnih duljina između 900 i 1064 nm (blisko IC-područje).
- Blisko IC-područje primarno se koristi zbog sigurnosti za ljudsko oko koje nije osjetljivo na te valne duljine stoga se mogu koristiti velike snage laserskog zračenja, ali i činjenice da vegetacija u vidljivom dijelu spektra upija veliku količinu odaslanog elektromagnetskog zračenja što rezultira slabom refleksijom.
- Laserski sustavi za snimanje iz zraka:
 - pulsni (većinom u primjeni)
 - fazni skeneri,

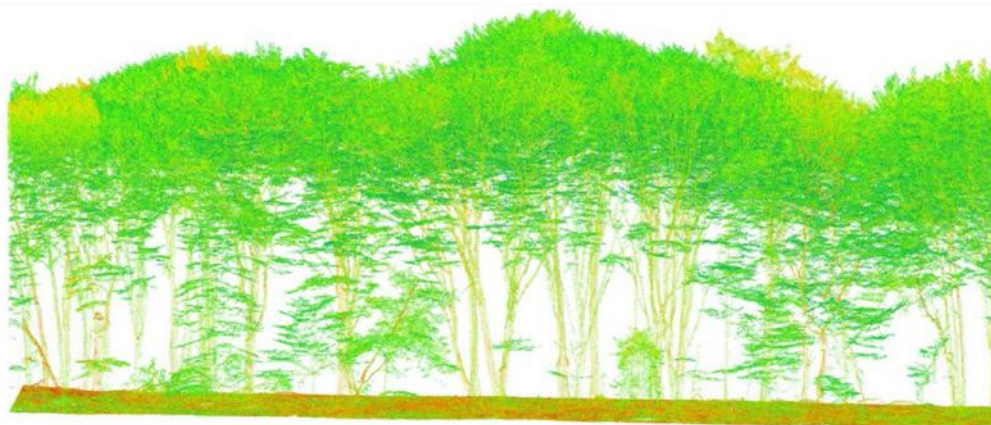
- Princip skeniranja kod skenera s optičkim vlaknima:
- Smjer svake laserske zrake fiksno je utvrđen smjerom dotičnog staklenog vlakna koja su smještena u jednoj lepezi postavljenoj okomito na smjer leta.
- Ovaj način skeniranja omogućava pravilan, vrlo gust raspored skeniranih točaka te postizanje oštih granica skeniranja.
- Mana kod ovog sustava je nemogućnost mijenjanja širine vidnog polja niti broja skeniranih točaka, već je to unaprijed zadano konfiguracijom samog skenera

Način rada LiDARSKOG sustava

- emitira se impuls laserske svjetlosti uz precizno bilježenje vremena (npr. emitira se 150 000 laserskih zraka u sekundi)
- detektira se refleksija tog impulsa ili njegovog dijela od objekta uz precizno bilježenje vremena
- u slučaju kada impuls prolazi kroz vegetaciju, detektiraju se i sve naknadne refleksije dok se kumulativno ne reflektira cijeli impuls
- koristeći konstantnu brzinu svjetlosti vremenska razlika između emitiranja i reflektiranja koristi se za računanje direktne udaljenosti između senzora i objekta
- uz pomoć vrlo točnog položaja senzora dobivenog iz satelitske navigacije (GPS - Global positional system) i orijentacije senzora dobivene iz inercijalne jedinice (IMU – inertial measurement unit) izračunavaju se pravokutne XYZ koordinate točaka reflektirajuće površine.

- Na taj način dobije se 3D oblak točaka koji ovisno o brzini i visini leta te o brzini i snazi emitiranog impulsa (zrake), može biti gustoće od 0,5 točaka po m² do čak 2000 točaka po m².
- Rezultat laserskog snimanja terena iz zraka je gusti skup podataka o zabilježenim povratnim signalima s podacima o njihovoj udaljenosti i dodatnim pozicijskim informacijama, a naziva se oblak točaka (engl. *point cloud*).





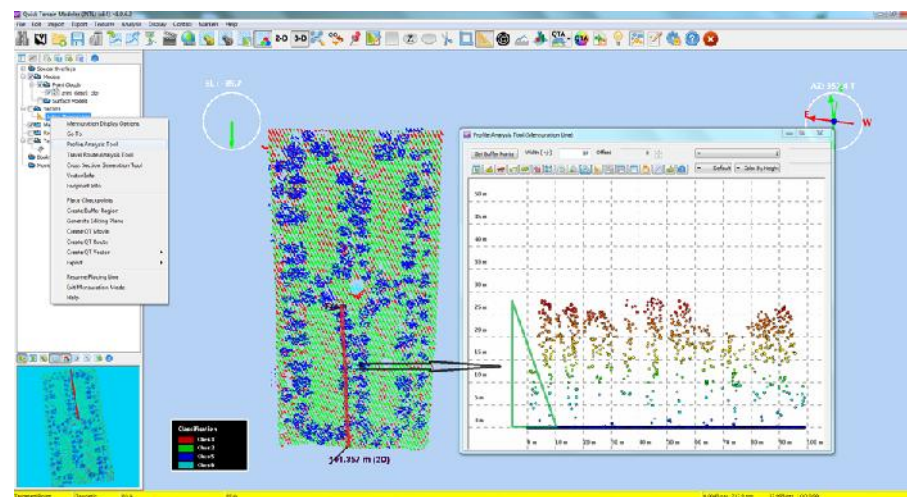
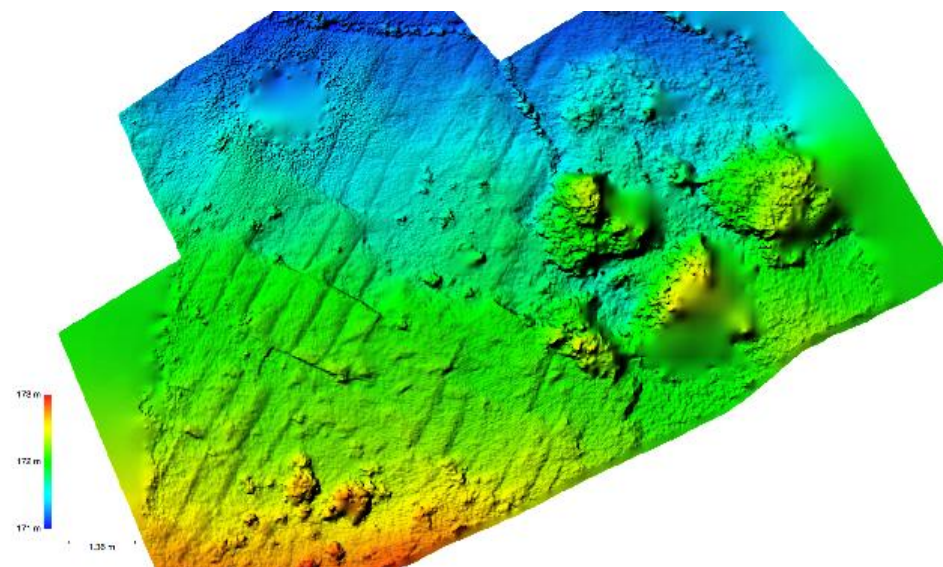
(a) ALS



(b) TLS

USPOREDBA ZRAČNOG LASERSKOG SKENIRANJA I TERESTRIČKOG

- Najveća prednost ovakvog načina prikupljanja prostornih podataka je da će se uvijek dovoljan broj zraka probiti i odbiti od tla, na taj način moguće je izraditi vrlo precizni digitalni model reljefa (DMR-a) koji je osnova za daljnje analize.
- Na temelju takvog oblaka točaka izrađuje se i digitalni model visina krošanja, kao i vertikalni profil sastojine.



- Dva su osnovna načina (pristupa) pridobivanja podataka o šumskim sastojinama na temelju ALS podataka;
 - Procjena parametara pojedinačnih stabala (engl. Individual Tree Based Approach – ITB)
 - Procjena srednjih sastojinskih parametara (engl. Area Based Approach – AB)

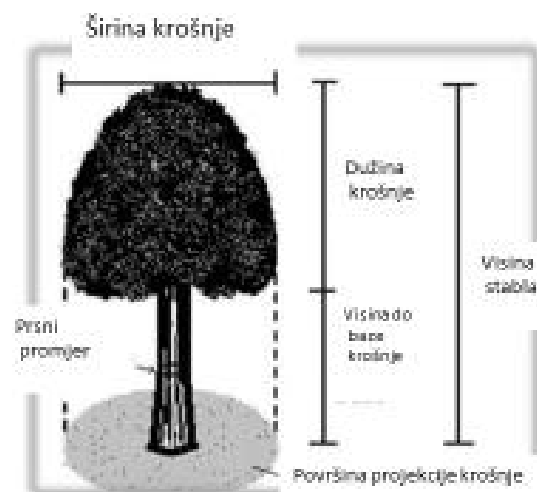
- Kod AB metoda srednje (prosječne) sastojinske vrijednosti za određeno područje (npr. ploha, sastojina) procjenjuju se primjenom statističkih (regresijskih, neparametrarskih, diskriminantnih) analiza i uspostavljenih odnosa (modela) između ALS podataka (procesirani oblak točaka, digitalni model visina i visina krošnje) i terenski izmjenjenih varijabli.
- Prednost AB metoda je u tome što su primjenjive i pri manjim gustoćama skeniranja. Međutim, s druge strane zahtijevaju veću količinu referentnih terenskih podataka.

- Kod ITB metoda glavni je cilj direktnim mjerenjem snimljenih točaka ili raznim procesima segmentiranja razlučiti pojedinačna stabla ili grupe stabala iz ALS podataka (procesiranog oblaka točaka, DMV- digitalni model visina ili DMVK- digitalni model visina krošnje) te na temelju dobivenih informacija iz točaka (oblaka točaka) ili piksela (iz DMV ili DMVK) procijeniti visinu stabla, dimenzije krošnje, odrediti položaj stabla, vrstu drveća, itd.
- Na temelju tako direktno procijenjenih varijabli te pomoću postojećih jednadžbi i modela računaju se ostale potrebne varijable (npr. prsni promjer, temeljnica, volumen, biomasa, zaliha ugljika, goriva tvar itd.).
- Izrada i validacija statističkih modela za procjenu parametara pojedinačnih stabala provodi se kao i kod AB metoda na skupu terenskih podataka, ali je u ovom slučaju potrebna znatno manja količina referentnih podataka.
- Za razliku od AB metoda, ITB metode zahtijevaju ALS podatke većih gustoća oblaka točaka.

Izmjera šuma pomoću LiDARA

Neposredna izmjera uključuje:

- Pokrovnost (gustoću)
- Visinu stabla
- Širinu krošnje
- Dužinu krošnje



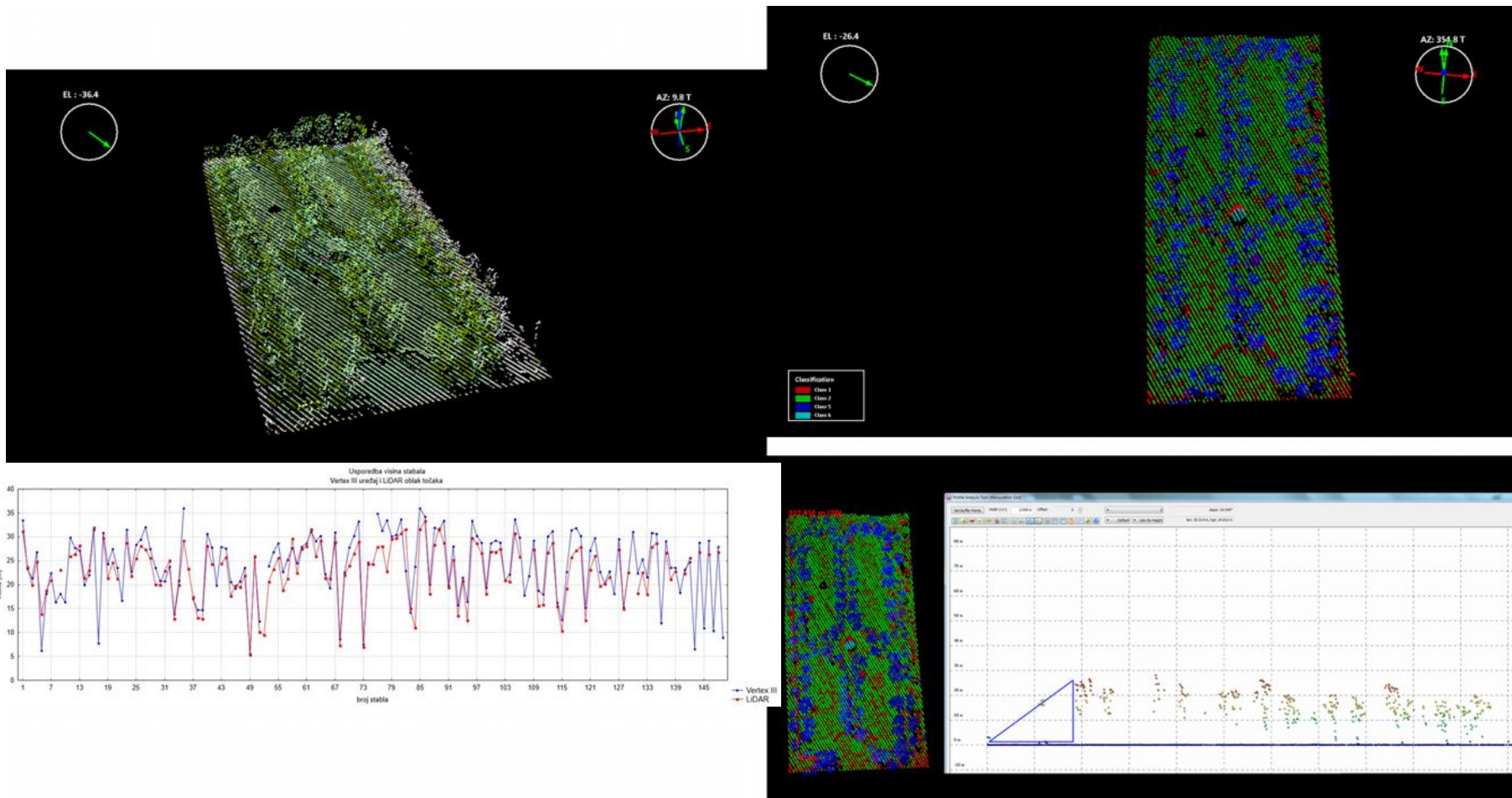
Procjena uključuje:

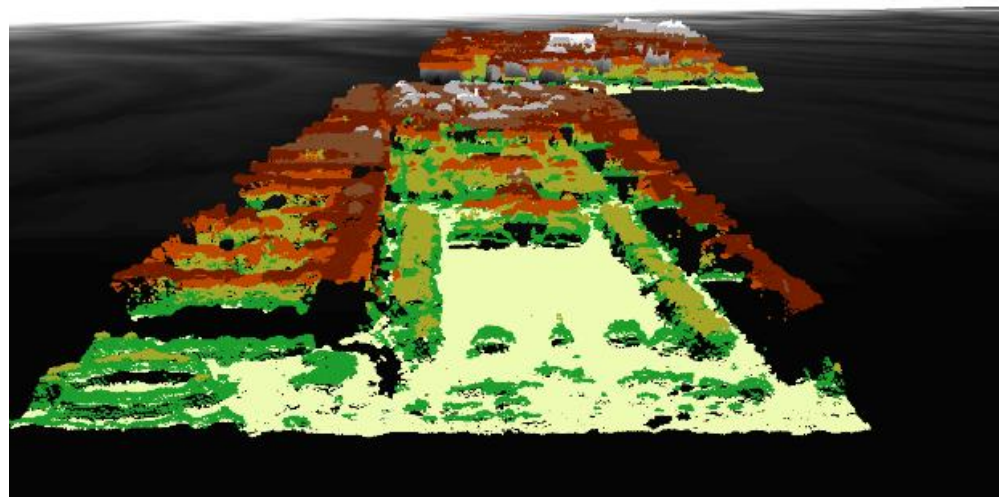
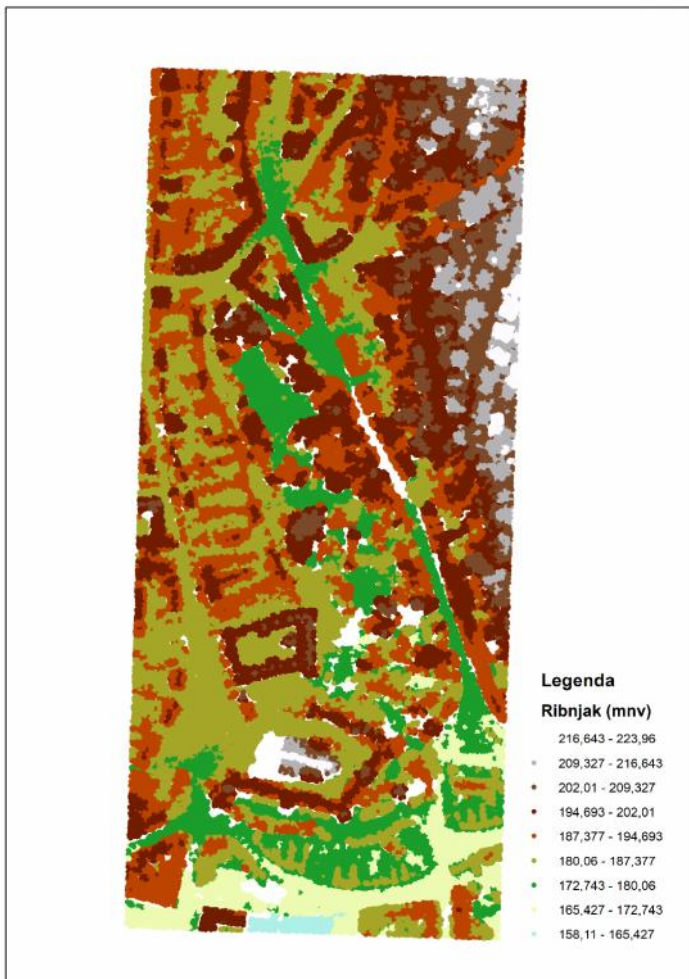
- Volumen
- Biomasa
- Temeljnica
- Prsni promjer

PRIMJERI:

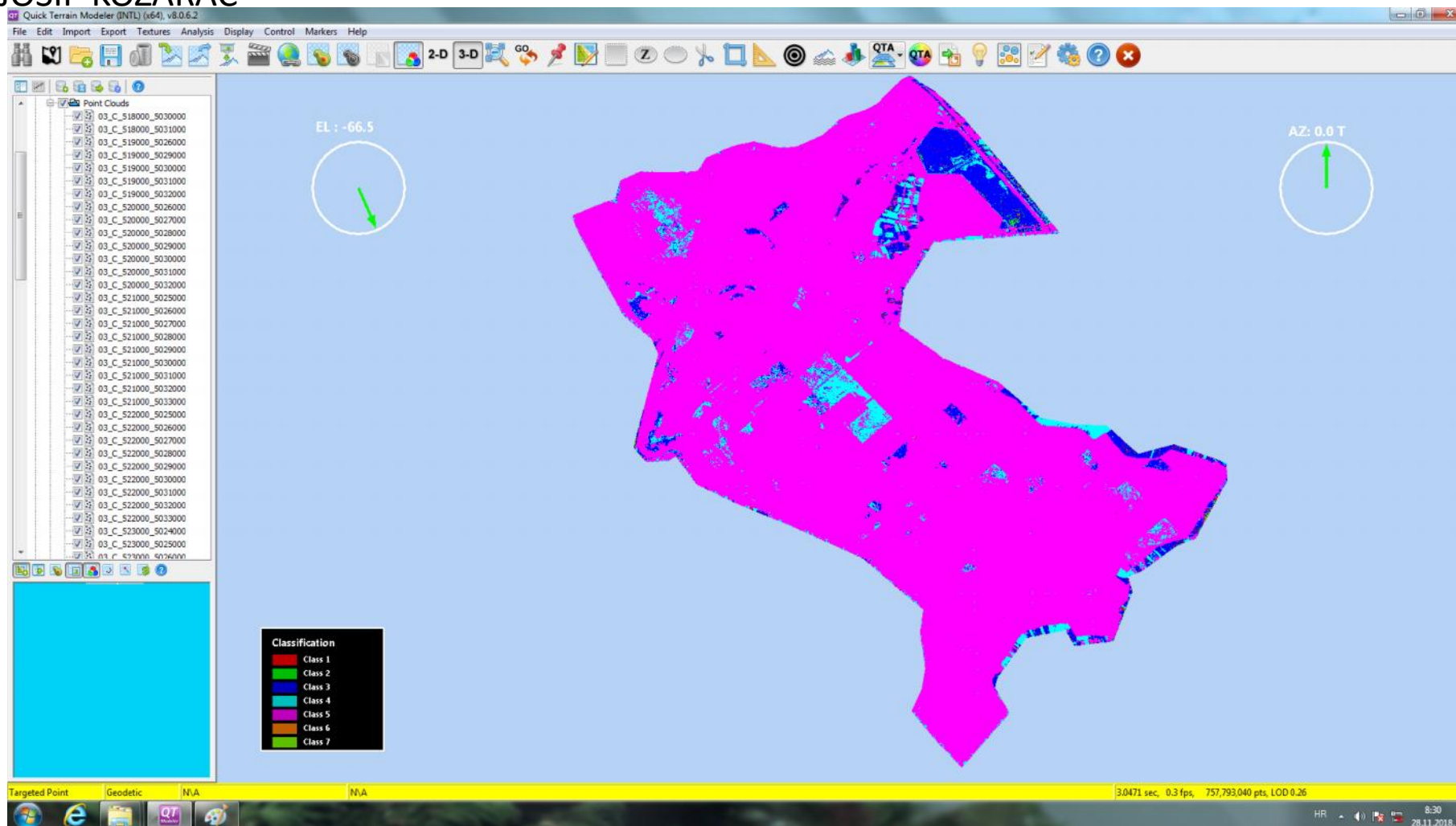
ZAGREB

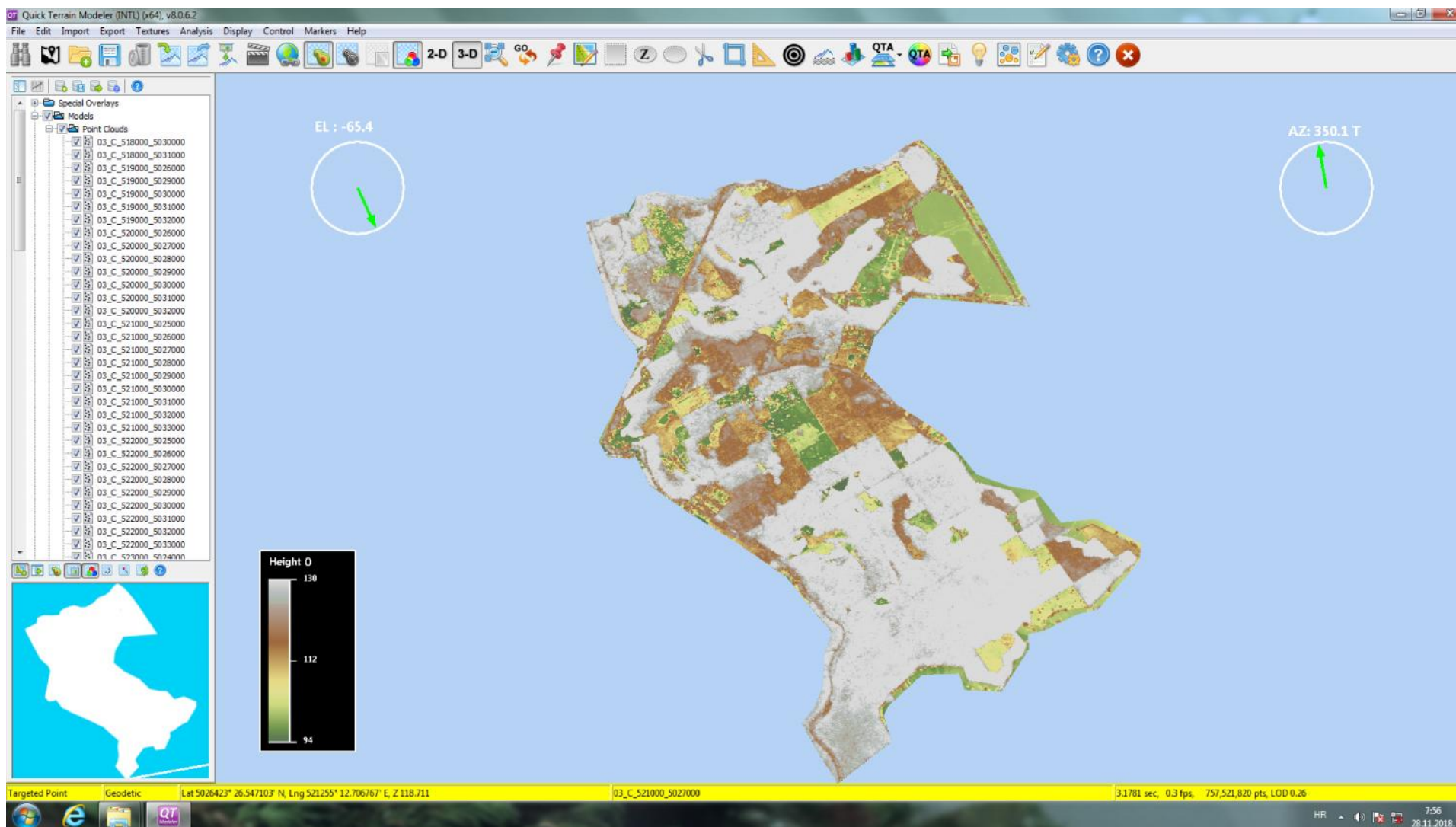
- LiDAR-ski podaci su snimljeni tijekom travnja 2012. godine. Podaci su snimani uz minimalnu gustoću skeniranja 0,5 točaka/m² te s poprečnim preklapom od 20 %.
- Tehničke karakteristike LiDAR podataka:
 - vrijeme snimanja: 26.03.2012.
 - inercijalni sustav: Applanix 310
 - software za planiranje leta: Fplan
 - sustav za GPS navigaciju: MASON
 - avion za snimanje: Cessna 402B
 - visina leta: 2.000 metara (nominalno)
 - LiDAR senzor: Leica ALS-50 II
 - software za postprocesing (LiDAR): ALS Post Processor
-
- Tehničke karakteristike LiDAR senzora (LEICA Geosystems):
- Vrsta senzora: „discrete return“ (snima pojedine povrate)
- Visina snimanja: max 6000 m
- Širina snimanja (FOV- Field of view): 75°
- Broj povrata: prvi, drugi, treći i posljednji
- Brzina snimanja: 90 Hz pri 10° FOV / 30 Hz pri 75° FOV
- Brzina emitiranja laserskih zraka: 150 kHz (150.000 zraka) pri visini snimanja od 500 m / 22 kHz pri visini snimanja od 6000 m

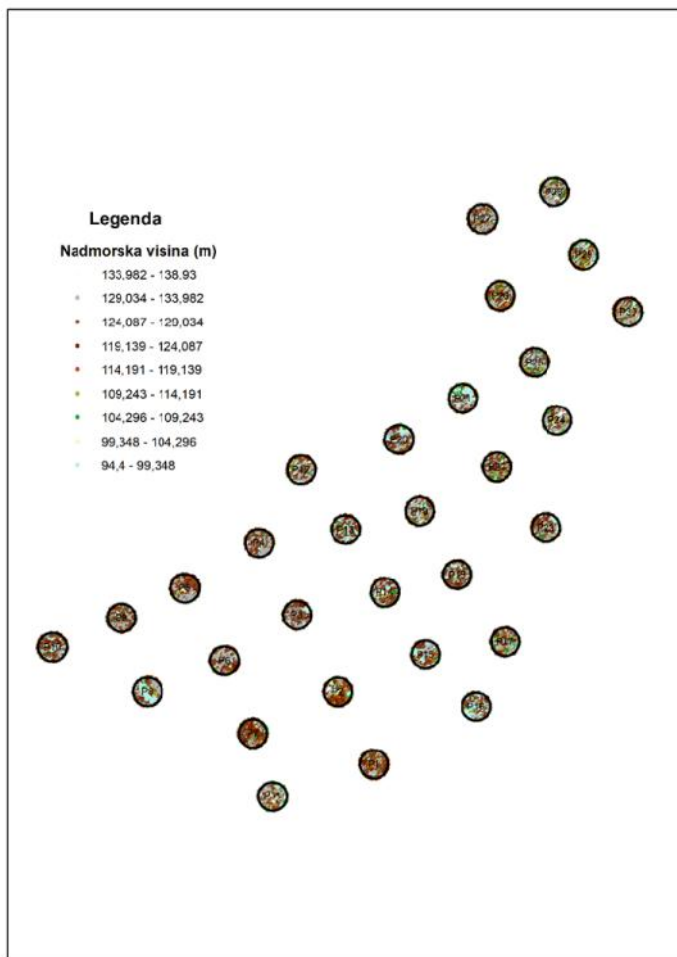


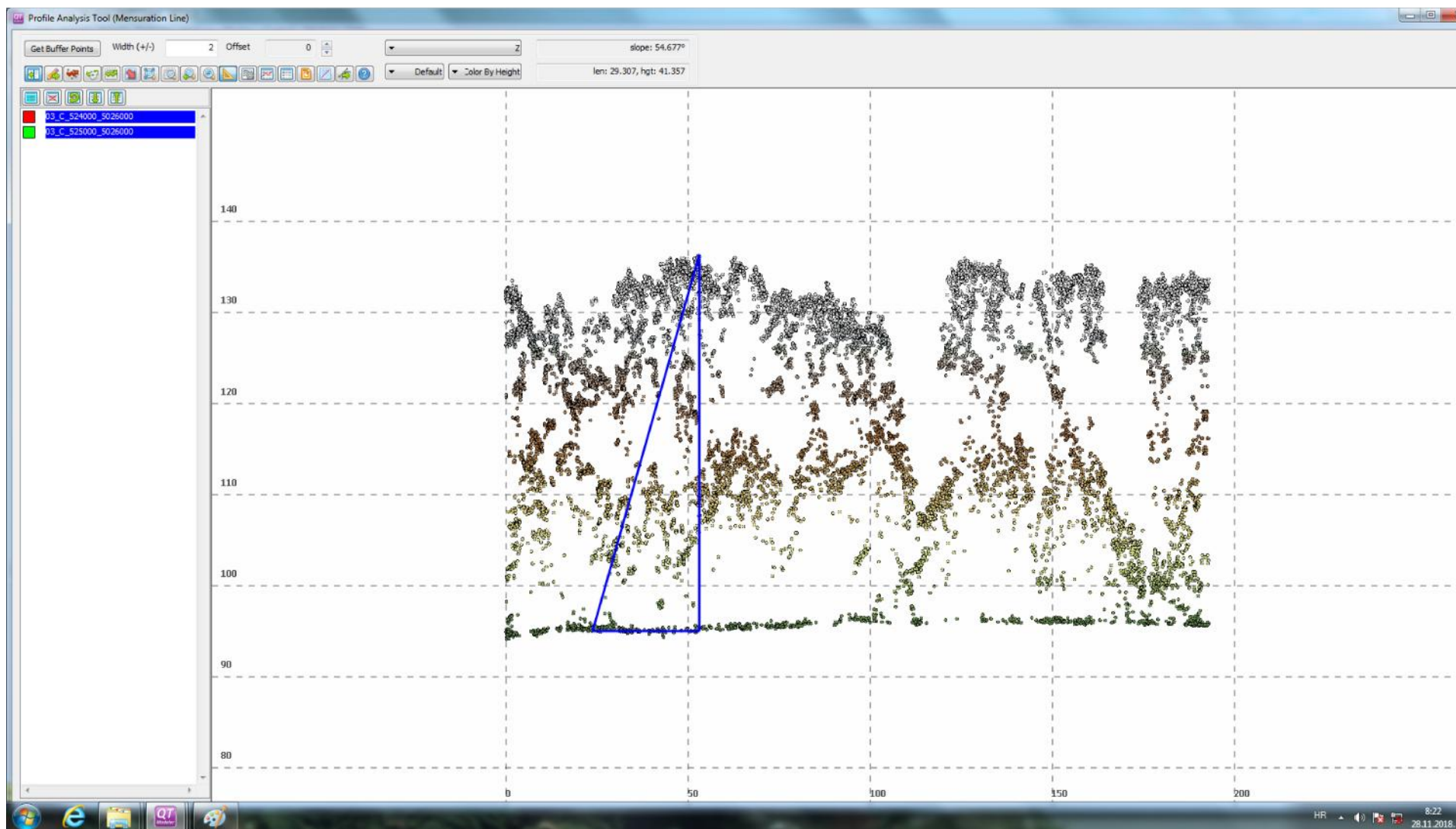


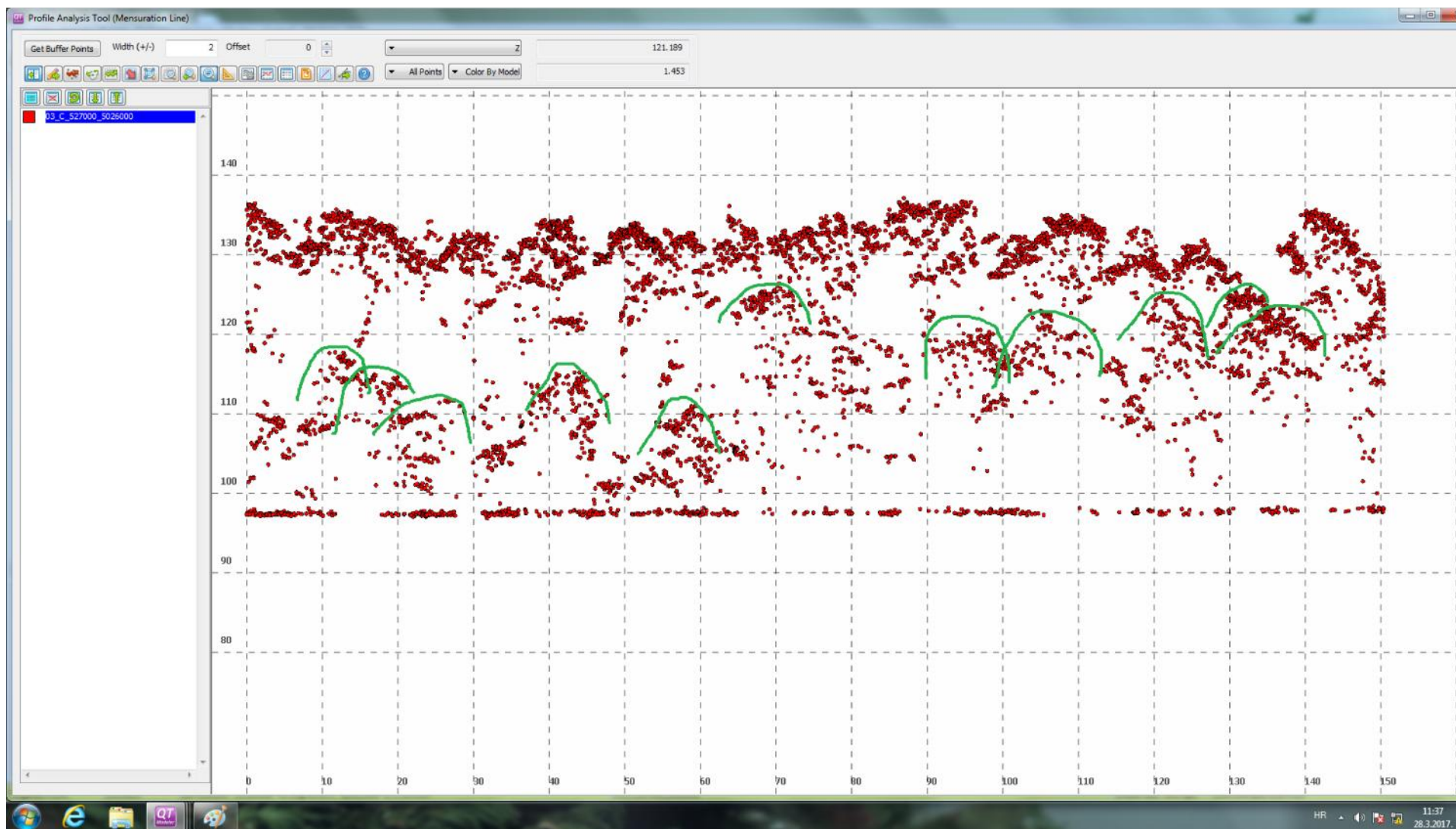
G.J.JOSIP KOZARAC



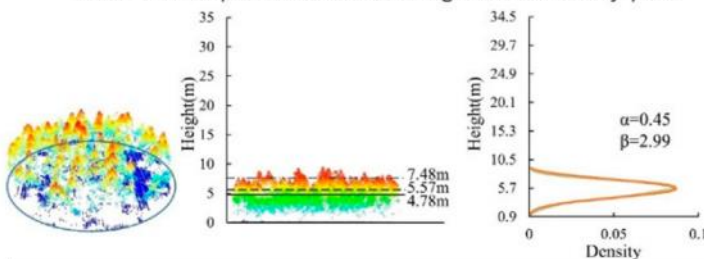






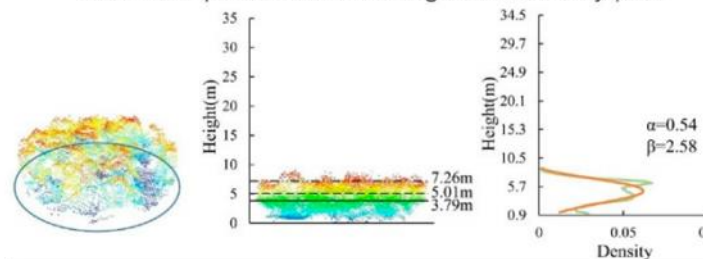


UAV-LiDAR point clouds in a high stem density plot



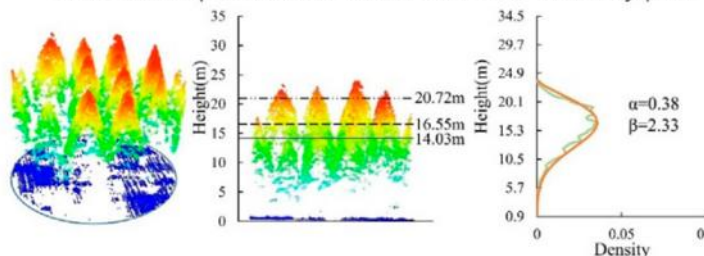
$H_{cv} = 0.30$ $H_{25} = 4.78m$ $H_{50} = 5.57m$ $H_{95} = 7.48m$ $CC_{2m} = 88.36\%$ $CC_{mean} = 44.38\%$

UAV-DAP point clouds in a high stem density plot



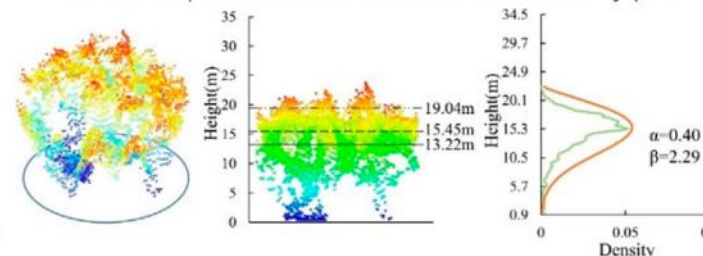
$H_{cv} = 0.24$ $H_{25} = 3.79m$ $H_{50} = 5.01m$ $H_{95} = 7.26m$ $CC_{2m} = 83.79\%$ $CC_{mean} = 44.11\%$

UAV-LiDAR point clouds in a medium stem density plot



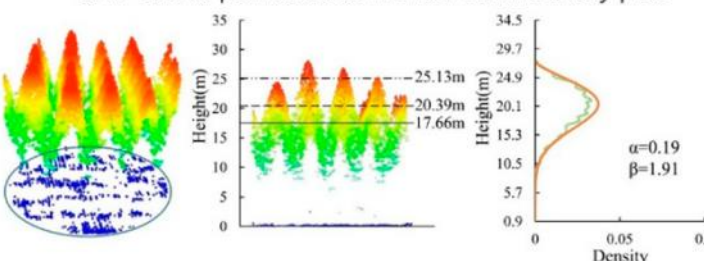
$H_{cv} = 0.21$ $H_{25} = 14.03m$ $H_{50} = 16.55m$ $H_{95} = 20.72m$ $CC_{2m} = 86.87\%$ $CC_{mean} = 46.66\%$

UAV-DAP point clouds in a medium stem density plot



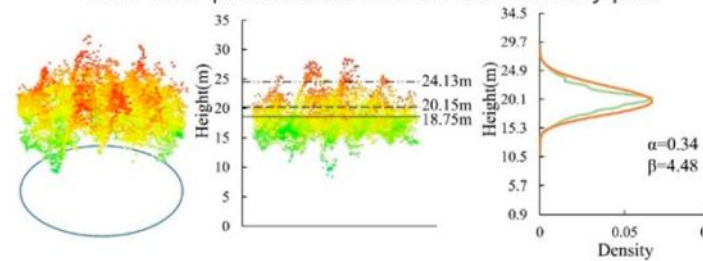
$H_{cv} = 0.22$ $H_{25} = 13.22m$ $H_{50} = 15.45m$ $H_{95} = 19.04m$ $CC_{2m} = 96.01\%$ $CC_{mean} = 57.32\%$

UAV-LiDAR point clouds in a low stem density plot



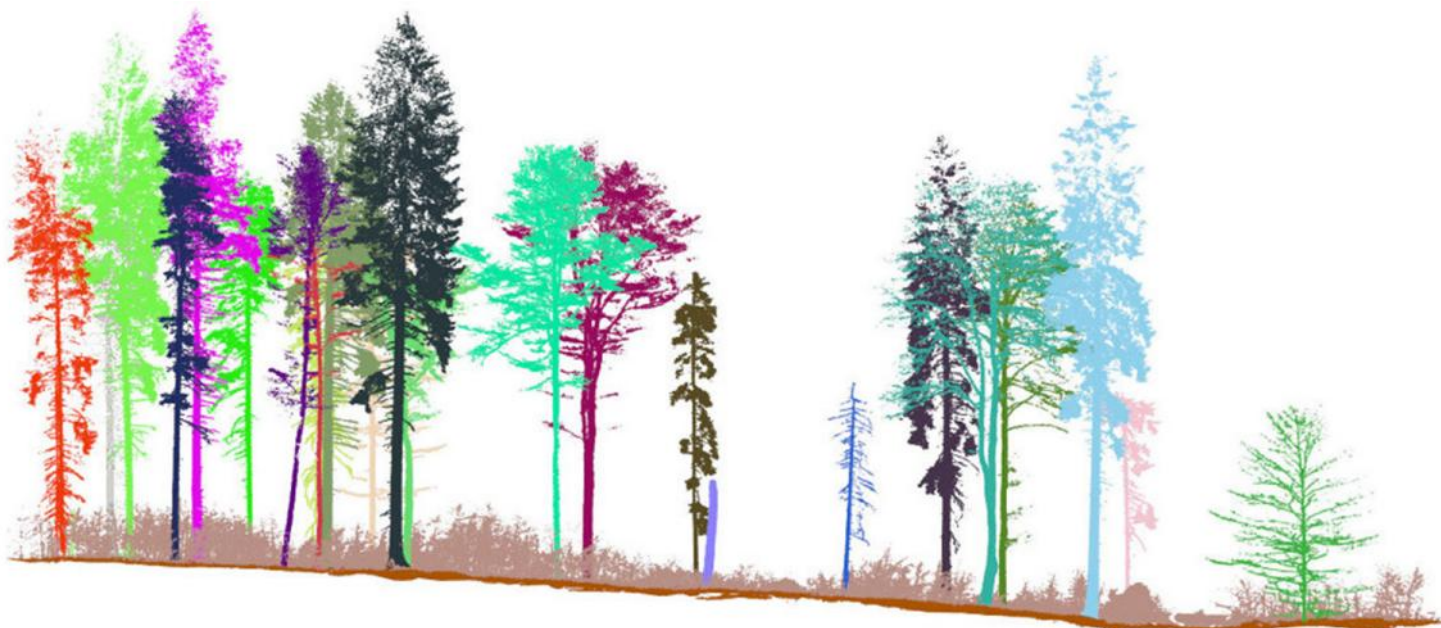
$H_{cv} = 0.18$ $H_{25} = 17.66m$ $H_{50} = 20.39m$ $H_{95} = 25.13m$ $CC_{2m} = 97.26\%$ $CC_{mean} = 51.60\%$

UAV-DAP point clouds in a low stem density plot



$H_{cv} = 0.11$ $H_{25} = 18.75m$ $H_{50} = 20.15m$ $H_{95} = 24.13m$ $CC_{2m} = 100\%$ $CC_{mean} = 48.92\%$

KLASIFICIRANI 3D OBLAK TOČAKA



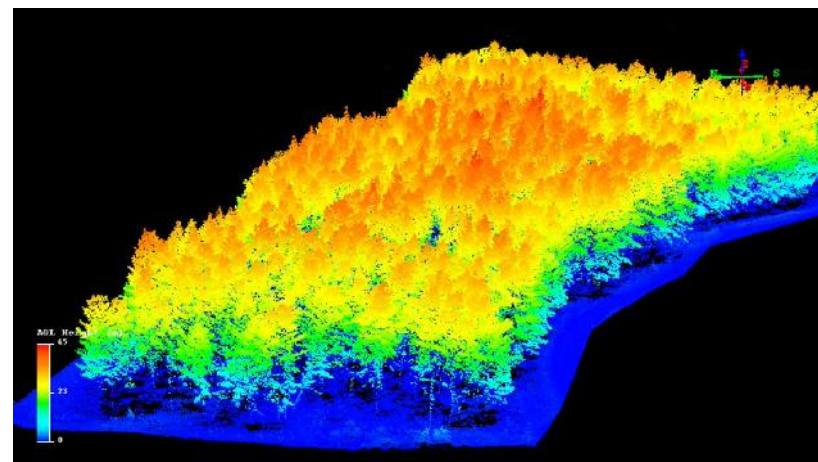
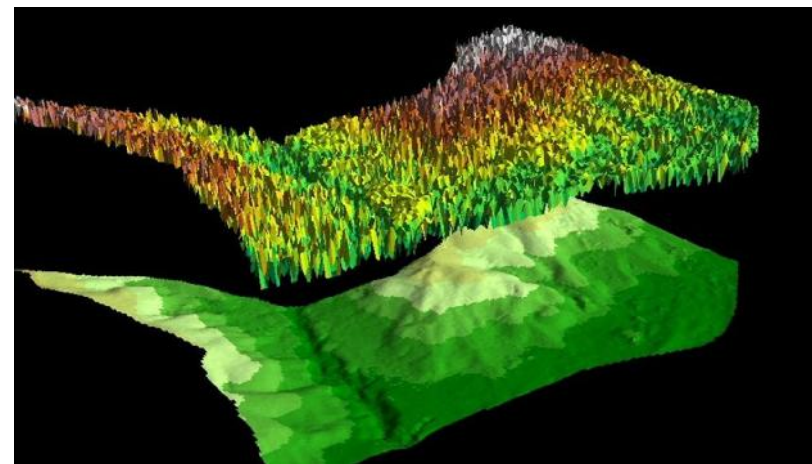
Primjena

- Glavni produkti:

- DIGITALNI MODEL RELJEFA (DMR)

- DIGITALNI MODEL VISINA (DMV)

- DIGITALNI MODEL VISINA KROŠANJA (DMVK) – razlika površina (visina) vegetacije (DMV) i površine (visina) gole zemljine površine (DMR)



1. Mikro-topografija (nadmorska visina)
2. INVENTURA ŠUMA
3. PROCJENA STRUKTURNIH ELEMENATA; visina, volumen, širina krošanja, broj stabala, vrsta drveća
4. VERTIKALNI PROFIL
5. PROCJENA NADZEMNE BIOMASE
6. ZALIHA UGLJIK
7. KOLIČINA GORIVE TVARI
8. INDEKS LISNE MASE
9. PLANIRANJE PROMETNICA
10. Planiranje i upravljanje šumama (vertikalna struktura, temeljnica..)
11. Upravljanje šumskim požarima
12. Precizno šumarstvo (planiranje nekog područja – povećanje kvalitete)
13. Kartiranje šuma (pojediniosti o terenu, uključujući visinu zemljišta i kvalitetu tla)
14. Procjena utjecaja na okoliš



HVALA NA PAŽNJI