

# Usporedba terenskih i podataka dobivenih snimanjem bespilotnom letjelicom

---

Novotny, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry and Wood Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:498991>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-07**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU ŠUMARSKI FAKULTET  
ŠUMARSKI ODSJEK**

**DIPLOMSKI STUDIJ  
URBANO ŠUMARSTVO, ZAŠTITA PRIRODE I  
OKOLIŠA**

**LUKA NOVOTNY**

**DIPLOMSKI RAD**

**ZAGREB (RUJAN, 2021.)**

## PODACI O DIPLOMSKOM RADU

<b>Zavod:</b>	Zavod za izmjeru i uređivanje šuma
<b>Predmet:</b>	Analiza i valorizacija prostora
<b>Mentor:</b>	Prof. dr.sc. Ante Seletković
<b>Koomento:</b>	Doc. dr. sc. Jelena Kolić
<b>Student:</b>	Luka Novotny
<b>JMBAG:</b>	0068226981
<b>Akad. godina:</b>	2020./2021.
<b>Mjesto, datum obrane:</b>	Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 24. rujna 2021. godine
<b>Sadržaj rada:</b>	Stranica: 30 Slika: 14 Tablica: 4 Grafikon:1 Navoda literature: 25
<b>Sažetak:</b>	<p>U ovom radu provedena je usporedba podataka terenske izmjere i podataka dobivenih bespilotnom letjelicom (3D oblak točaka, DMR, DMP, DMVK), kao i usporedba podataka o zastrtosti tla na temelju hemisfernih fotografija, terenskih izmjera (digitaliziranja horizontalnih projekcija širina krošanja) i podataka dobivenih fotointerpretacijom na digitalnom ortofotu kao produktu iz snimaka bespilotne letjelice.</p> <p>Istraživanje je provedeno na području UŠP Bjelovar, šumarija Bjelovar.</p> <p>Na temelju snimaka iz bespilotne letjelice izrađen je digitalni model reljefa, digitalni model površina i digitalni model visina krošanja.</p> <p>Uspoređene su vrijednosti površina krošanja na plohi 1d i to za digitalizirane horizontalne projekcije širina krošanja (terenska izmjera), delinearane krošnje na digitalnom ortofotu i vrijednosti zastrtosti tla na temelju hemisfernih fotografija.</p> <p>Za svaku digitaliziranu krošnju (terensku i fotointerpretacija) izračunate su površine i određena je zastrtost tla u postotku. Vrijednost zastrtosti tla krošnjama na temelju digitaliziranih horizontalnih projekcija krošanja za plohu 1D iznosi 82,6%, delinearanih krošanja na digitalnom ortofotu 83,4%, a pomoću hemisfernih fotografija 86,04%.</p> <p>Usporedbom vrijednosti visina pojedinačnih stabala vidljiv je trend malog podcjenjivanja visina metodom očitavanja vrijednosti iz izrađenog digitalnog modela visina krošanja u odnosu na terensku izmjeru. Uspoređeni su podaci o zastrtosti tla na temelju hemisfernih fotografija, terenskih izmjera (digitaliziranja horizontalnih projekcija širina krošanja) i podataka dobivenih fotointerpretacijom na digitalnom ortofotu kao produktu iz snimaka bespilotne letjelice i nisu utvrđene značajne razlike. Provedenim istraživanjima prikazana je mogućnost primjene produkata daljinskih istraživanja u šumarstvu.</p>

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	4
2. BESPILOTNE LETJELICE (UAV).....	6
2.1. Digitalni model terena ili reljefa (DTM,DMR).....	7
2.2. Digitalni model površina (DSM,DMP).....	7
2.3. Digitalni model visina krošanja (CHM,DMVK).....	8
3. CILJ ISTRAŽIVANJA.....	9
4. MATERIJALI I METODE RADA.....	10
4.1. Terenska izmjera.....	10
4.2. Snimanje bespilotnom letjelicom.....	14
4.3. Hemisferne fotografije.....	14
4.4. Digitaliziranje površine krošanja.....	17
5. REZULTATI.....	20
5.1. Rezultati snimanja bespilotnom letjelicom.....	20
5.2. Usporedba podataka terenske izmjere i podataka dobivenih bespilotnom letjelicom.....	24
5.3. Usporedba podataka o zastrtosti tla.....	27
6. ZAKLJUČAK.....	28
7. LITERATURA.....	29

Zahvala:

*Zahvaljujem se svome mentoru prof. dr. sc. Anti Seletkoviću i komentorici doc. dr. sc. Jeleni Kolić koji su svojim znanstvenim i stručnim savjetima pomogli u izradi ovog diplomskog rada.*

*Zahvalu također upućujem Hrvatskom šumarskom institutu na ustupljenim podacima korištenima pri izradi diplomskog rada.*

*I na kraju želim se zahvaliti obitelji, kolegama i prijateljima koji su mi vrijeme provedeno na fakultetu uljepšali svojim prisustvom.*

## 1. UVOD

Uređivanje šuma kao znanstvena šumarska disciplina ima zadatak utvrditi smjernice gospodarenja šumskim sastojinama u prostoru i vremenu uvažavajući gospodarske, socijalne i ekološke zahtjeve današnjeg vremena i društva. Propisi gospodarenja te planiranja šumom i šumskim zemljištem na određenoj površini u određenom vremenskom periodu nalaze se u planovima gospodarenja kao službenom dokumentu i najvažnijem proizvodu uređivanja šuma na operativnoj razini (Čavlović, 2013.).

Temeljni postupak kod izrade tih planova predstavlja što kvalitetnija i preciznija izmjera šuma na terenu koja obuhvaća kako kvalitativan tako i kvantitativan opis stabala, sastojine i cijele šume konkretnog područja (Pranjić i Lukić, 1997.). Na taj način izmjerom šume prikupljaju se informacije temeljem kojih se donose pravilnije i kvalitetnije odluke o budućem gospodarenju šumama. Pošto se planovi gospodarenja, za svaku određenu cjelinu, donose za određeni vremenski period tako se i gospodarska izmjera šuma tih cjelina provodi kontinuirano u određenim vremenskim intervalima, što znači da se izmjerom šuma kontinuirano prikupljaju informacije o šumama kojima se gospodari po načelima održivog gospodarenja.

Terenskom izmjerom (taksacija, inventura) osnovnih strukturnih elemenata sastojine na određenom uzorku površine započinje izrada svakog programa ili osnove gospodarenja gospodarskom jedinicom. Ona kao takva predstavlja fizički najzahtjevniji, vremenski najduži, ljudskim resursima najsveobuhvatniji i financijski najskuplji dio postupka izrade planova gospodarenja.

Intenzivnim razvojem i napretkom tehnologije u posljednjih nekoliko desetljeća došlo je do pojave novih mjernih instrumenata, uređaja, i stanica. Njihovim postepenim uvođenjem u upotrebu došlo je do značajnog smanjenja utrošenog vremena te fizičkog napora i ljudskih resursa kod terenskih izmjera, a s vremenom je i sama cijena postajala sve prihvatljivija.

Zahvaljujući tom tehnološkom razvoju olakšana je i ubrzana klasična terenska izmjera šuma, ali paralelno s tim dolazi i do razvoja mogućnosti prikupljanja tih i takvih podataka metodama daljinskih istraživanja, čime se smanjuje opseg terenskog rada te se ostvaruju još veće uštede vremena i novaca.

Na taj je način fotogrametrija kao znanost i tehnologija dobivanja pouzdanih kvantitativnih informacija o fizičkim objektima i okolišu procesom zabilježbe, mjerenja i

interpretacije fotografskih slika i scena elektromagnetskog zračenja dobila još veće značenje i primjenu u uređivanju te izmjeri šuma (Donassy, Oluić i Tomašegović, 1983.), pomoću metoda daljinskih istraživanja koje su njen sastavni dio.

Metodama daljinskih istraživanja informacije o šumi i šumskom zemljištu dobivaju se pomoću bežičnog uređaja za snimanje koji nije u bliskom kontaktu sa šumom koju snima (Lillesand i Kiefer 1994). Takvim snimanjem mogu se dobiti dvodimenzionalni i trodimenzionalni prostorni prikazi šume te njene geomorfološke, geološke, pedološke, hidrološke i druge karakteristike. Zbog toga se danas metode daljinskih istraživanja u šumarstvu najviše koriste pri izradi raznih planova i karata.

Proces dobivanja krajnjeg produkta metodama daljinskih istraživanja počinje snimanjem koje se provodi pomoću svemirskih, zrakoplovnih i bespilotnih letjelica. Nastavno se snimljeni podatci fotogrametrijskim procesuiranjem obrađuju u konačni produkt oblika ortofota ili oblaka točaka kojeg iskorištavamo za dobivanje digitalnog modela površina ili iscrtavanja profila.

Fotogrametrija kao znanstvena disciplina dijeli se na terestičku (snimanje sa zemlje) i aerofotogrametriju (snimanje iz zraka) prilikom čega se snimanjem postojeće situacije dobiva dvodimenzionalni (ravninski) ili trodimenzionalni (prostorni) prikaz. U Hrvatskom šumarstvu primjena aerosnimaka datira od 50.-tih godina prošlog stoljeća, a ostvarena je zahvaljujući radu prof.dr.sc. Zdenka Tomašegovića i ubrzanom razvoju tehnologije bespilotnih letjelica (Donassy, Oluić i Tomašegović, 1983.).

Metode daljinskih istraživanja zasigurno mogu biti korištene i u slučajevima izmjere nekih osnovnih elemenata strukture (visine stabala, širine krošanja i sl.), ali za upotrebljivost tih podataka potrebno je razraditi modele razvijene na usporedbama terenskih izmjera sa izmjerama pomoću bespilotnih letjelica na većem broju uzoraka.

## 2. BESPILOTNE LETJELICE (UAV)

Terminologija koja se danas koristi za bespilotne letjelice kako u praksi tako i u općenitoj komunikaciji vrlo je raznolika. Najčešće upotrebljavani izrazi kod nas su dron, bespilotna letjelica (UAV), bespilotni zrakoplovni sustav (UAS), daljinski upravljani zrakoplovni sustav (RPAS) ili letjelica (RPA). Pa tako iako je dron riječ vojnog podrijetla u pravilu se upotrebljava za letjelice koje se uglavnom koriste u civilne svrhe (EUR-Lex, 2015.).

Bespilotne letjelice, prema definiciji predstavljaju sve letjelice koje imaju mogućnost letenja u zraku bez posade, a može se njima upravljati (Bendea i dr. 2007.). Takve letjelice mogu biti samoupravljive ili daljinski upravljane, a prilikom letenja nose koristan teret koji kod aerosnimanja predstavlja kamera.

Prvi koncept bespilotne letjelice u svojoj disertaciji donosi Nikola Tesla 1915. godine opisujući naoružani bespilotni zrakoplov dizajniran za obranu Sjedinjenih Američkih Država. Dvije godine kasnije američka vojska proizvodi prve bespilotne letjelice upravljane radiosignalom. Od tada započinje neprestano usavršavanje bespilotnih letjelica i posljednjim desetljećima sve je veća njihova uporaba u znanstvenim, komercijalnim i zadacima javne usluge (Govorčin, Kovačić i Žižić, 2012.).

Prema Europskoj zajednici za bespilotne letjelice (eng. European Association of Unmanned Vehicles Systems – EUROUVS) na osnovu karakterističnih parametara (visina leta, trajanje leta, brzina, maksimalna nosivost, veličina letjelice, domet signala i dr.) te se letjelice dijele u četiri glavne kategorije (UVS-International-UAV System producers & Models: All UAV Systems Referenced 2006):

- mikro/mini (MAV/Mini)
- taktičke (TUAV)
- strateške
- bespilotne letjelice s posebnom zadaćom

Na temelju fotogrametrijskog snimanja izvodi se trodimenzionalni oblak točaka, a on je rezultat slikovne korelacije koja automatski određuje koordinate korespondirajućih točaka (piksela) lijeve i desne aerosnimke (stereopara) na temelju njihove radiometrijske i geometrijske sličnosti (White et al. 2013). Ako je korelacija zadovoljavajuća točka se uzima u obzir za obradu (aerotriangulacija, digitalno modeliranje terena, itd.). Oblak točaka se u



daljnjim postupcima obrade (interpolacijom) koristi za modeliranje terena, ponajprije za izradu digitalnog modela površine (DSM, prema engl. Digital Surface Model).

Digitalni model površine (DSM, prema engl. Digital Surface Model) matematički je model Zemljine površine koji uključuje izgrađene objekte i vegetaciju (Paparoditis i Polidori 2002). DSM nekog šumskog područja predstavlja gornju površinu krošanja.

U šumarstvu se DSM koristi u kombinaciji s digitalnim modelom reljefa (DTM, prema engl. Digital Terrain Model) čijim se preklapanjem, odnosno oduzimanjem DSM-a od odgovarajućeg DTM-a dobije digitalni model visina krošanja ili digitalni model visina sastojina (CHM, prema engl. Canopy Height Model), te se nadalje u kombinaciji s referentnim terenskim podacima može koristiti za procjenu različitih varijabli šumskih sastojina i stabala.

## 2.1. Digitalni model terena ili reljefa (DTM,DMR)

Digitalni model reljefa predstavlja skup položajno (vertikalno i horizontalno) određenih točaka i geometrijskih elemenata (prijelomnica, linija oblika i površina isključenja) koji prikazuju površinu zemljišta i iz njih izračunan matematički model te plohe (Solarić, Frančula i Lapaine 2008). Takav model prikazuje prirodni reljef na kojoj se nalazi samo gola zemlja. Može se dobiti na više načina, jedan način je vektorizacijom topografskih karata (ulazni podatci), te nadalje odgovarajućom interpolacijskom metodom što točnije aproksimirati reljef terena. Metode interpolacije se prema Weibel i Heller (1991), El-Sheimy i dr. (2005), Li i dr. (2005), Čomić i dr. (2014) najčešće dijele na nepravilnu mrežu trokuta (TIN prema engl. Triangulated Irregular Network, vektorska metoda) i pravilna mreža točaka/pravilna rešetka (GRID, rasterska metoda). Drugi načini dobivanja su prikupljanja ulaznih podataka pomoću fotogrametrijskim metodama izmjere (terestrička, zračna, satelitska), radarskim metodama prikupljanja podataka (zračna, satelitska) i LiDAR tehnologijom, te obrada tih podataka i filtriranje digitalnim modeliranjem u smislu otklanjanja određenih objekata (umjetni objekti, vegetacija) koje takav model ne bi trebao sadržavati, odnosno pretvorba DSM-a u DTM (Linder 2016).

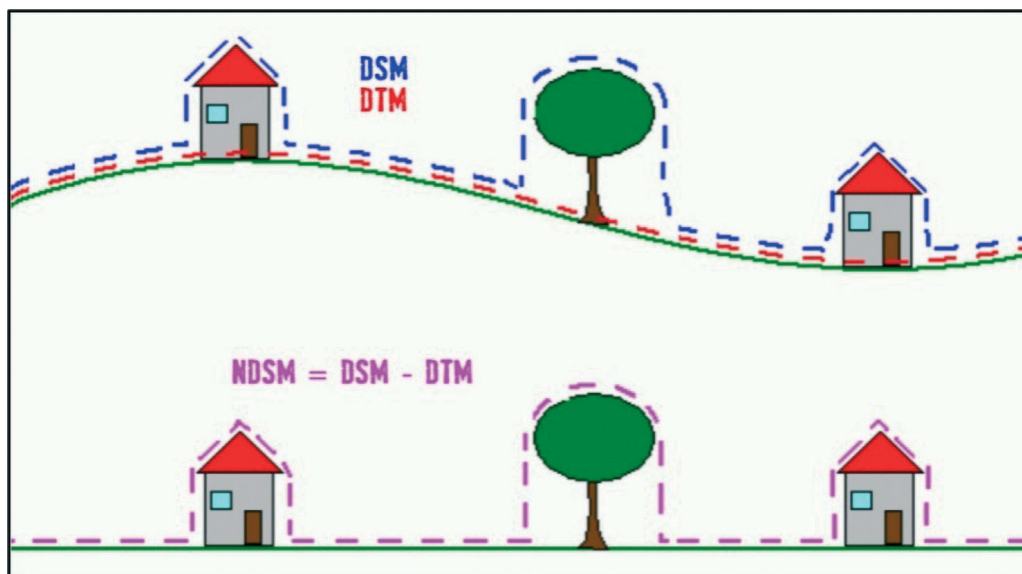
## 2.2. Digitalni model površina (DSM,DMP)

Digitalni model površina predstavlja skup položajno određenih točaka i geometrijskih elemenata koji prikazuju Zemljinu površinu i obuhvaća sve objekte na njoj (Oštir i Mulahusić

2014). Prikazuje sve uzvisine vrhova reflektirajućih površina, kao što su zemljina površina, zgrade (umjetni objekti) i vegetacija, te se na taj način razlikuje od DTM-a. Najefikasnije metode prikupljanja podataka za izradu DSM-a su aerofotogrametrijskim metodama izmjere (zračna, satelitska), radarskim metodama prikupljanja podataka (zračna, satelitska), te LiDAR tehnologijom.

### 2.3. Digitalni model visina krošanja (CHM,DMVK)

Digitalni model visina krošanja predstavlja matematički model koji naglašava objekte (umjetni objekti i vegetacija) u relativnom odnosu na tlo ili na objekte u ravnini sa tlom (ravna područja, parkirališta, ceste i slično)(Krtalić, Gajski i Maltarski, 2019.). Takav model zovemo normirani digitalni model površine (engl. normalized Digital Surface Model - nDSM) a definira se kao razlika između DSM-a i DTM-a (Hohle 2013) (slika 1.). U šumama objekti koji se nalaze na tlu su uglavnom objekti vegetacije kao što su drveće, grmlje, te se zato taj model u šumarstvu naziva digitalni model visina krošanja ili digitalni model visina sastojina (CHM, prema engl. Canopy Height Model). U tom modelu svaka točka (piksel) ima svoje koordinate i visine koje predstavljaju visinu gornje površine nekoga objekta u odnosu na tlo. Koristi se u procjeni visina i volumena stabala i šumskih sastojina.



Slika 1. Prikaz DSM-a, DTM-a i nDSM-a i njihovih razlika (Burdeos i dr. 2015).

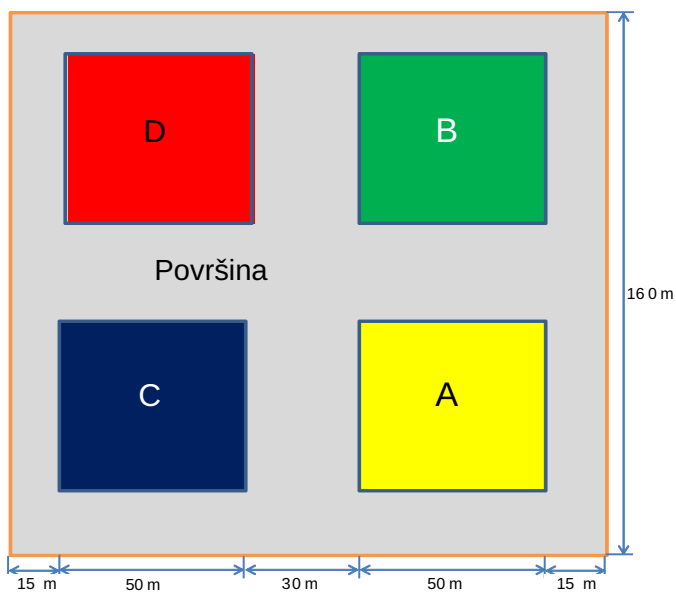
### 3. CILJ ISTRAŽIVANJA

U ovom radu provedena je usporedba podataka terenske izmjere i podataka dobivenih bespilotnom letjelicom (3D oblak točaka, DMT, DMP, DMVK), kao i usporedba podataka o zastrtosti tla na temelju hemisfernih fotografija, terenskih izmjera (digitaliziranja horizontalnih projekcija širina krošanja) i podataka dobivenih fotointerpretacijom na digitalnom ortofotu kao produktu iz snimaka bespilotne letjelice.

## 4. MATERIJALI I METODE RADA

### 4.1. Terenska izmjera

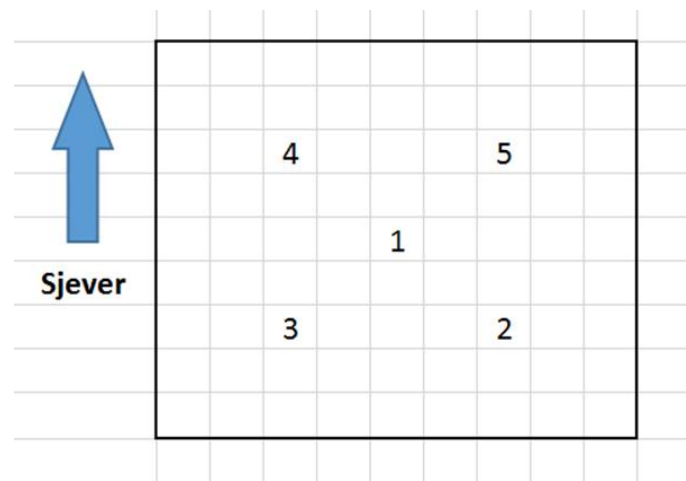
Terenski podatci korišteni u ovom radu izmjereni su na trajno obilježenoj i georeferenciranoj pokusnoj plohi Hrvatskog šumarskog instituta osnovanoj u sklopu projekta financiranog od strane Ministarstva poljoprivrede sredstvima općekorisnih funkcija šuma. Ploha je kvadratnog oblika dužine stranice 160 metara orijentirane u pravcu sjever-jug. Osnivanje plohe na terenu provedeno je metodologijom postavljanja TPP-a (Dubravac, Novotny 1992). Trajna se pokusna ploha sastoji od četiri jednake pravokutne podlohe, dužine stranice 50 metara, na kojima su provedeni različiti intenziteti prostornih i selektivnih prorjeda u svim etažama sastojine.



Slika 2. Izgled trajne pokusne plohe

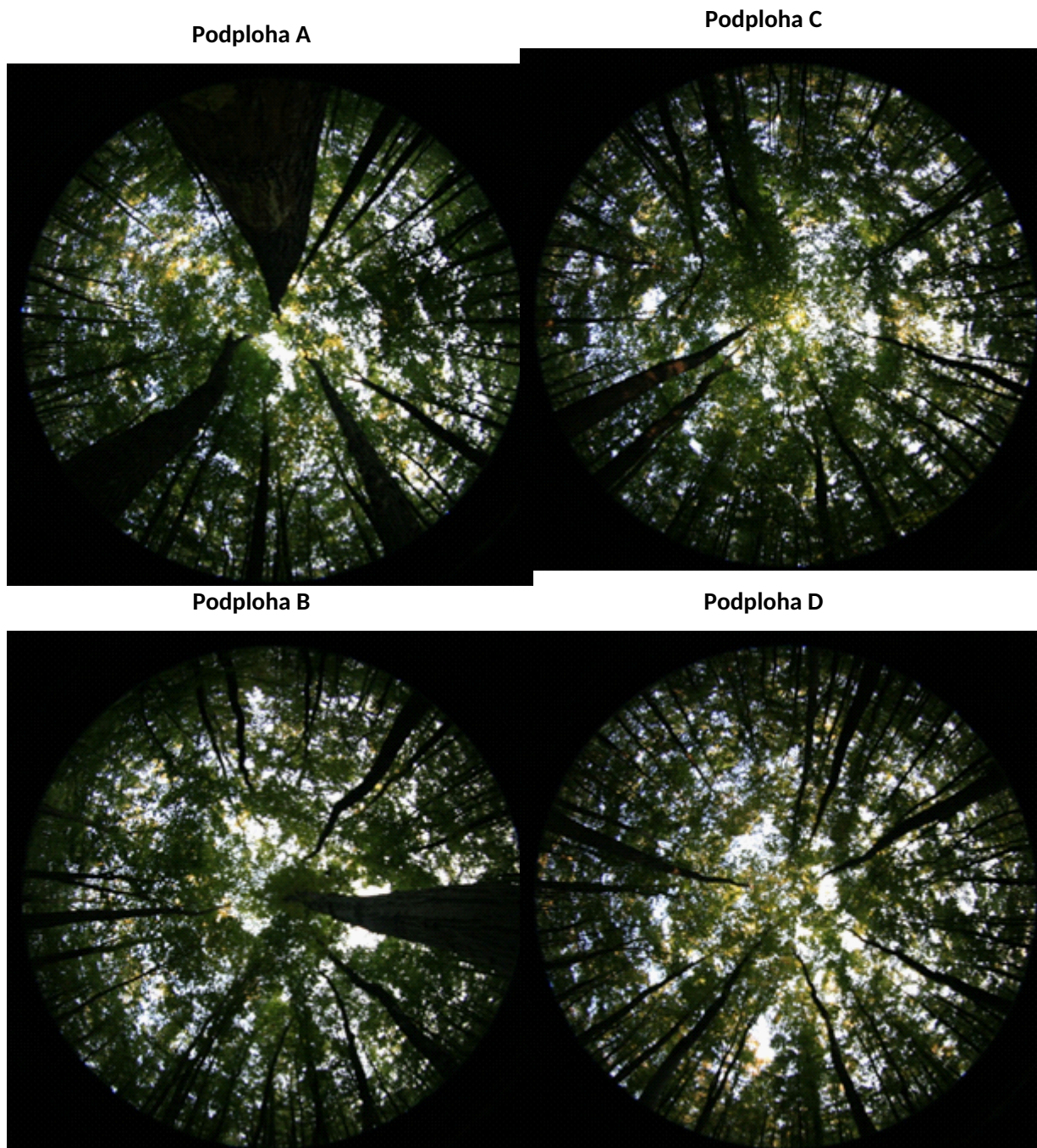
Radi izbjegavanja utjecaja rubnih stabala na rezultate istraživanja oko svake podplohe nalazi se površina razgraničenja širine 15 metara. Osnivanje ploha i podploha napravljeno je busolom, mjernom vrpcom i trasirkama. Granice ploha i podploha označene su vodoravnom žutom linijom na stablima koja su se prilikom iskolčavanja nalazila s vanjske strane mjerne vrpce. Na uglovima ploha zabijeni su kolci, a najbliže vanjsko stablo obilježeno je žutom oznakom obrnutog velikog slova „L“.

Na svakoj je podplohi definirano i označeno, zabijenim kolčićem ofarbanim crvenom bojom, pet točaka - centar i četiri četvrtine dijagonala (Slika 3.), sa kojih su snimljene hemisferne fotografije u svrhu praćenja otvorenosti sloja krošanja i dinamike lisne površine.



Slika 3. Određene, definirane i označene točke za snimanje hemisfernih fotografija na svakoj podplohi

Terensko snimanje hemisfernih fotografija obavljeno je u uvjetima uniformnog osvjetljenja neba na svakoj definiranoj lokaciji svake podplohe. Na svakoj lokaciji snimljene su dvije hemisferne fotografije kako bi se dobio najpovoljniji kontrast između krošanja stabala i otvorenog neba.



Slika 4. Hemisferne fotografije centara podploha na trajnoj pokusnoj plohi

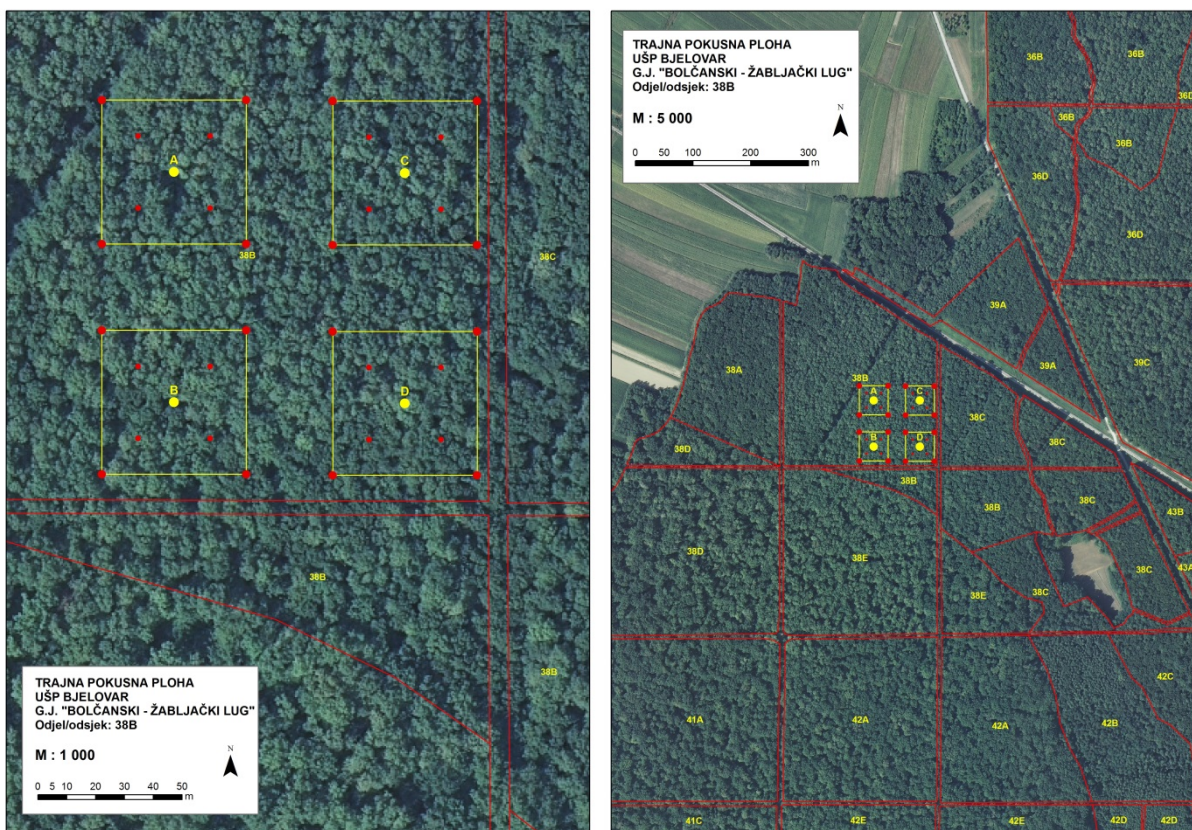
Trajna pokusna ploha osnovana je 2016.-te godine u sastojini hrasta lužnjaka i običnoga graba starosti 66 godina na području šumarije Bjelovar, u 38b odsjeku gospodarske jedinice Bolčanski-Žabljački lug. Sva su stabla na svakoj podplohi brojčano obilježena i prostorno evidentirana. Svakom obročanom stablu izmjerena su dva unakrsna prsna promjera s milimetarskom točnošću. Mjesto izmjere prsnog promjera na svakom stablu trajno je obilježeno žutom točkom na visini 1,30 m od tla. Prvi promjer izmjeren je tako da je ravnalo



milimetarske promjerke naslonjeno na žutu točku, a drugi tako da je krak promjerke naslonjen na žutu točku. Isto je tako u periodu mirovanja vegetacije provedena i izmjera visina stabala stabala i debala svih hrastovih stabala i uzorka stabala običnoga graba kao i horizontalna projekcija krošanja te visina početka krošnje na istom uzorku stabala. Izmjera visina provedena je instrumentom Vertex IV BT, a horizontalna projekcija širina krošanja na sve četiri osnovne strane svijeta i po potrebi na maksimalno dva dodatna azimuta pomoću busole Sunto tandem 360PC/360R DG i daljinomjera DME201.

Terenskom izmjerom, pomoću GPS uređaja Garmin, trajno su obilježene i georeferencirane, u službenom projekcijskom koordinatnom sustavu HTRS96/TM, osnovne i pomoćne točke na svim podplohama osnovane trajne pokusne plohe.

Georeferencirane su točke pomoću GIS sustava za upravljanje prostornim podacima prikazane kao tematske karte stvarnog stanja na terenu u mjerilima 1:1000 i 1:5000 (Slika 5.).



Slika 5. Položaj TPP-e 1. na terenu prikazan u mjerilima 1:1000 i 1:5000

Pomoću trajno obilježenih i georeferenciranih točaka na podplohama i podataka izmjere međusobnih udaljenosti između stabala izrađeni su digitalni planovi prostornog

rasporeda stabala, a pomoću prostornog rasporeda stabala te izmjerenih podataka horizontalnih projekcija širina krošanja i digitalni planovi horizontalnih projekcija širina krošanja svih hrastovih i uzorka grabovih stabala na svim podplohama trajne pokusne plohe.

#### 4.2. Snimanje bespilotnom letjelicom

Za fotogrametrijsku izmjeru je korištena letjelica DJI M600 Pro opremljena sa više senzora, od kojih su najvažniji amaterska digitalna kamera Sony A6500 te multispektralna kamera MicaSense RedEdge. Od drugih, važan je RTK GNSS uređaj EMLID M+ koji je zapisivao pozicije svake pojedine fotografije snimljene sa kamerom A6500, te čiji su podaci korišteni za georeferenciranje.

Let je obavljen na visini od 100m u konfiguraciji grida. Snimljene su sveukupno 102 fotografije kamerom Sony A6500 te 406 fotografija kamerom MicaSense RedEdge.

Obrada fotogrametrijskih podataka je obavljena u softveru Agisoft Metashape. Podaci su procesirani zajedno, fotografije snimljene sa kamerom Sony A6500 su korištene za kreiranje digitalnog modela površine i ortofota, nakon čega su podaci multispektralne kamere korišteni za kreiranje multispektralnog ortofota projiciranjem na prethodno kreirani digitalni model površina.

Na kreiranom digitalnom ortofotu, obavljena je fotointerpretacija sa ciljem delineiranja krošanja i određivanje njihovih površina.

#### 4.3. Hemisferne fotografije

Glavna svrha snimanja hemisfernih fotografija i obrade značajki otvorenosti sloja krošanja bila je kvantifikacija utjecaja provedenih uzgojnih zahvata na pokusnoj plohi na dinamiku asimilacijske površine sastojine kao jednog od ključnih čimbenika rasta stabala i razvoja sastojina. U ljeto 2017. godine na pokusnoj plohi je provedeno snimanje hemisfernih fotografija čime je ustanovljeno nulto stanje.

Terensko snimanje hemisfernih fotografija obavljeno je u uvjetima uniformnog osvjetljenja neba. Svaka snimljena fotografija zabilježena je u raw formatu (CR2 file) i jpeg formatu. Prilikom snimanja otvor blende postavljen je u optimalan odnos kako bi se dobio najpovoljniji kontrast između krošanja stabala i otvorenog neba (under-exposure -2). Za



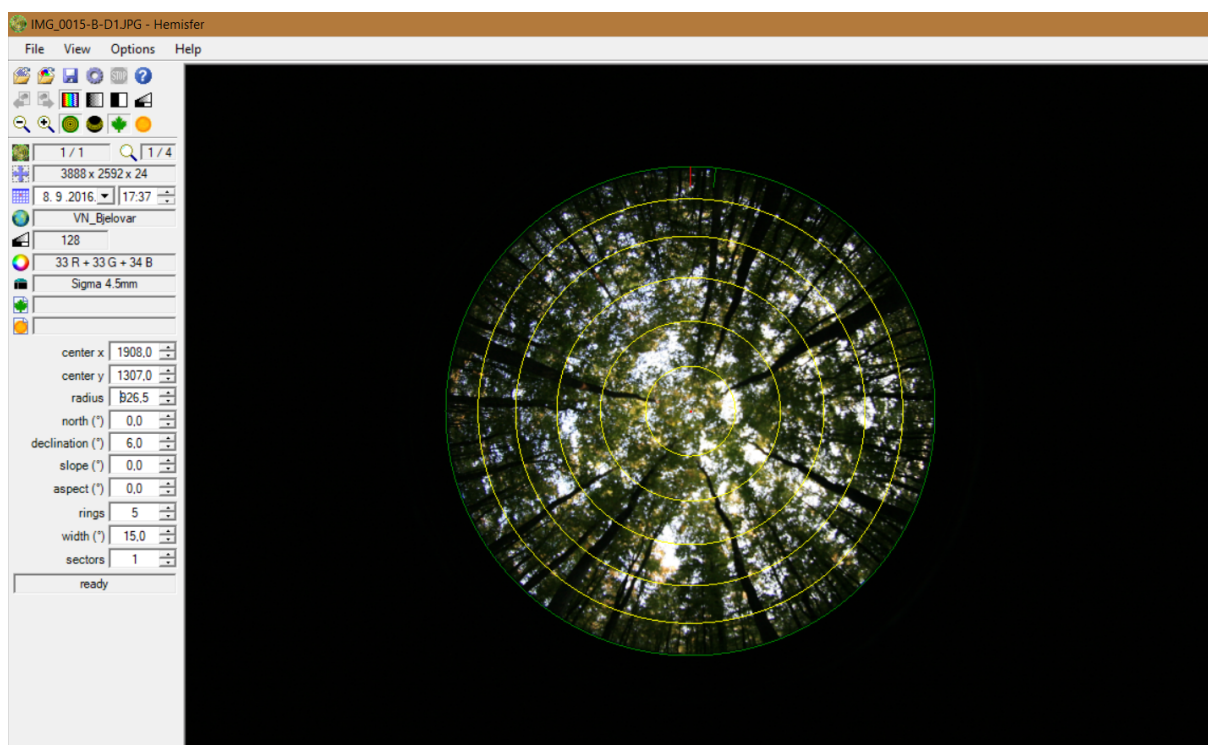
snimanje su korišteni digitalni fotoaparati Canon EOS3 350D, hemisferni objektiv Sigma 4.5mm F2.8 EX DC HSM Circular Fisheye, Manfrotto stalak za fotoaparat s ugrađenom libelom, busola (Suunto) i GPS uređaj (Garmin).

Za analizu hemisfernih fotografija u programskom paketu Hemisfer potrebno je definirati geografski položaj svakog lokaliteta (x i y koordinate), magnetsku deklinaciju u vrijeme snimanja i nadmorsku visinu lokaliteta. Koordinate središta ploha očitane su u GIS programu ArcMap koristeći izrađene digitalne i georeferencirane tlocrte pokusnih ploha. U istom je programskom paketu određena nadmorska visina svake plohe koristeći topografsku kartu u mjerilu 1:5000 ([www.dgu.hr](http://www.dgu.hr)). Magnetska deklinacija za datum snimanja određena je pomoću web stranice: <http://geomag.nrcan.gc.ca/apps/mdcal-eng.php>.

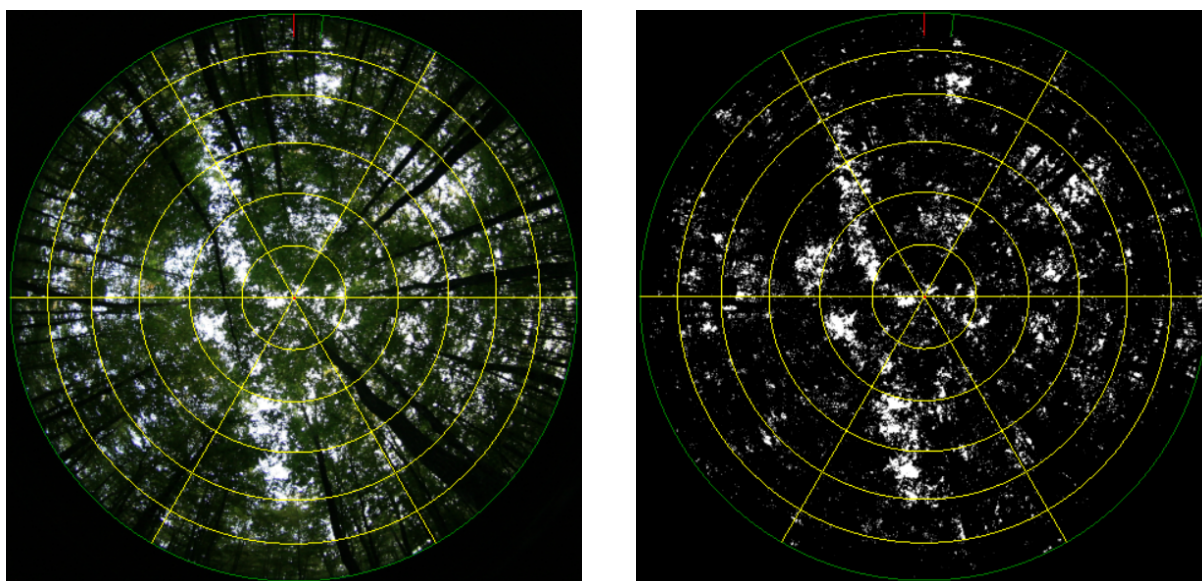
**Tablica 1. Osnovni parametri lokacija pokusne plohe za obradu hemisfernih fotografija**

Ploha	Šumarija	Datum snimanja	Koordinate		Magnetska deklinacija	Nadmorska visina
			X	Y		
1	Bjelovar	27.07.2017.	16,742 E	45,921 N	4° 5.64' E	124 m

Izračunu parametara sloja krošanja i indeksa lisne površine iz hemisfernih fotografija prethodila je klasifikacija piksela digitalnih fotografija u piksele vegetacije (lisna površina i površina drvenog dijela vegetacije) i piksele neba. Za klasifikaciju piksela ključno je bilo određivanje klasifikacijskoga praga (*threshold*) prema kojem se pikseli klasificiraju u vegetaciju ili nebo. U ovoj je analizi upotrijebljena automatska metoda određivanja klasifikacijskoga praga za svaku analiziranu fotografiju prema metodi Nobis i Hunziker (2005).



Slika 6. Izgled sučelja programskog paketa Hemisfer prilikom obrade hemisfernih fotografija



Slika 7. Izvorna hemisferna fotografija (lijeva slika) i fotografija nakon klasifikacije piksela u vegetaciju (crni pikseli) i nebo (bijeli pikseli)

Indeks lisne površine računat je prema težinskoj elipsoidalnoj metodi (*Weighted ellipsoidal method*) razvijenoj u sklopu izrade programa Hemisfer (Thimonier i dr. 2010). Ta metoda predstavlja unaprijeđenu metodu Normana i Campbella (1989) kojom se simultano vrše izračuni indeksa lisne površine i nagiba listova u krošnji. Pomoću primijenjene

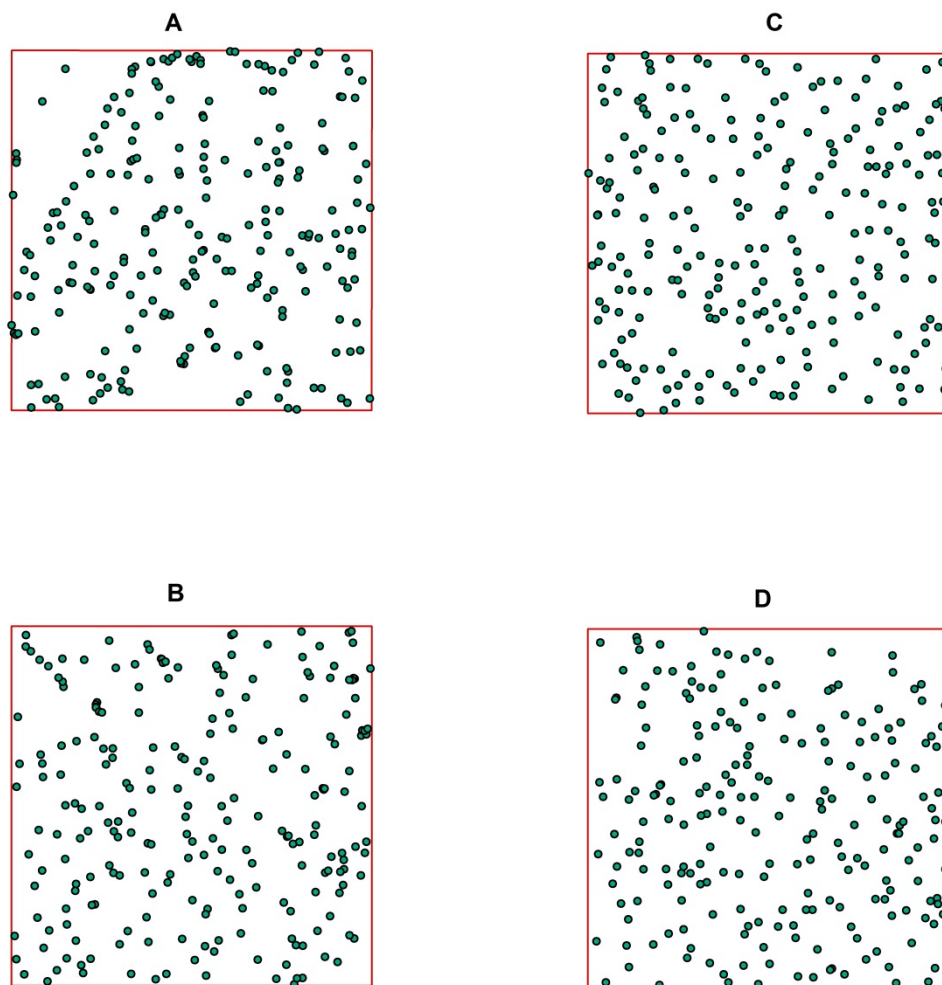
metodologije iz hemisfernih fotografija procijenjen je i udio nezastirte površine sastojine slojem krošanja u horizontalnoj projekciji, kao i udio velikih otvora u sloju krošanja u horizontalnoj projekciji. Za korekciju izračunatih vrijednosti indeksa lisne površine uslijed grupiranja elemenata vegetacije (*clumping*) korištena je metoda (Chen i Cihlar 1995).

#### 4.4. Digitaliziranje površine krošanja

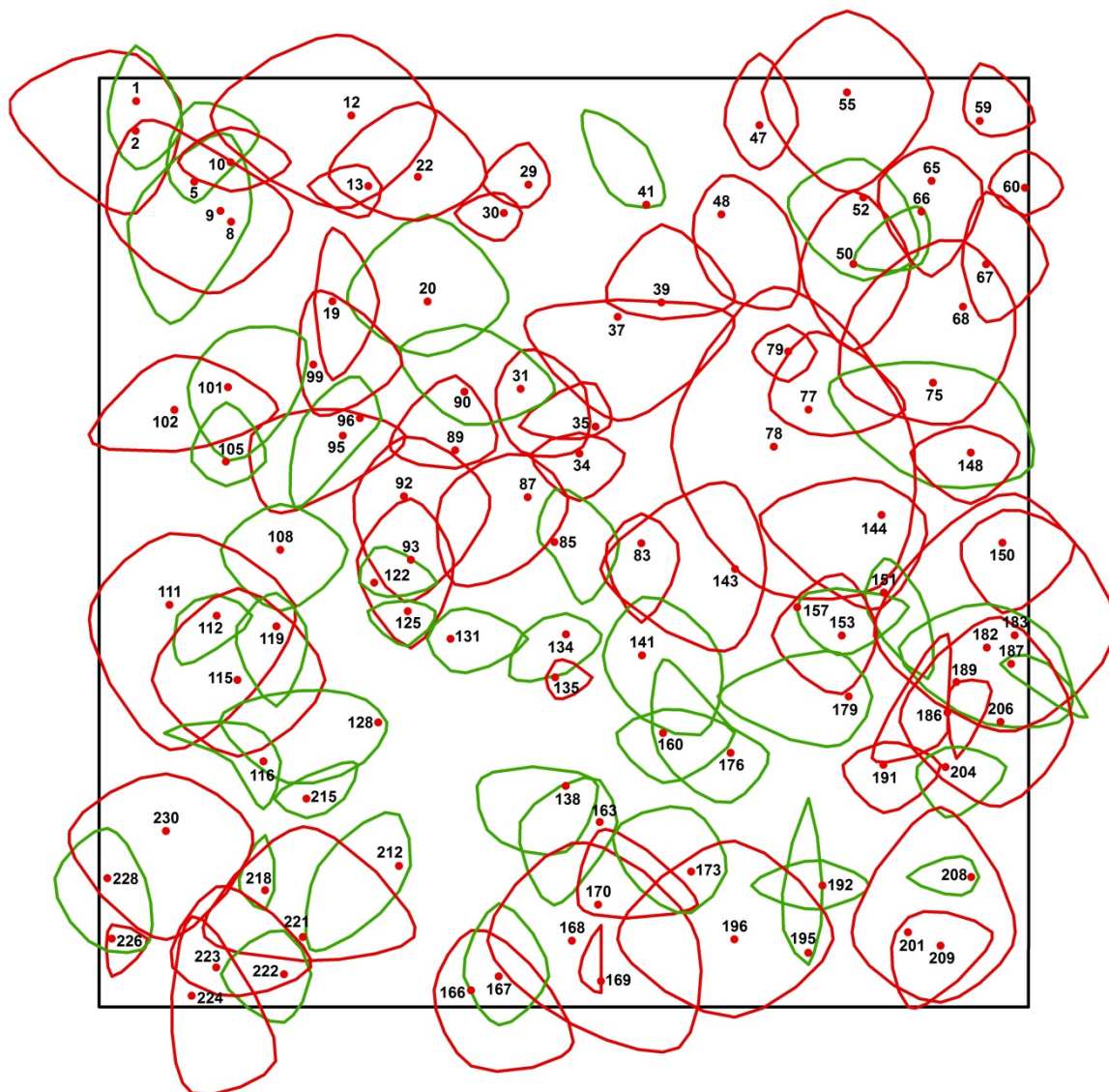
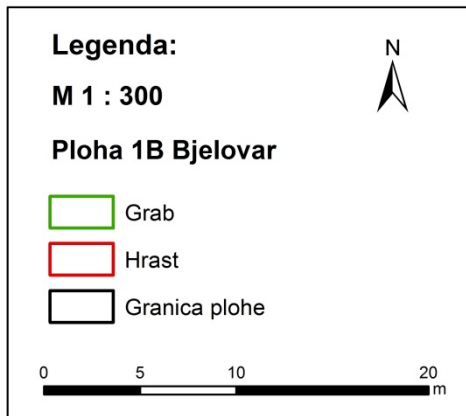
Postupak digitaliziranja horizontalnih projekcija širina krošanja proveden je kroz dva temeljna koraka:

- Analiza i obrada trajno obilježenih i georeferenciranih točaka trajne pokusne plohe sa podacima međusobnih udaljenosti između stabala čime su izrađeni digitalni planovi prostornog rasporeda stabala na svim podplohama trajne pokusne plohe (Slika 8.).
- Povezivanje relacijskim odnosima, pomoću ArcGIS tehnologije, prostornog rasporeda stabala i terenski izmjerenih podataka horizontalnih projekcija širina krošanja čime su dobiveni digitalni planovi horizontalnih projekcija širina krošanja na svim podplohama trajne pokusne plohe (Slika 9.).

**PLOHA 1  
Bjelovar**



**Slika 8. Digitalni plan prostornog rasporeda stabala na svim podplohama TPP-e 1.**



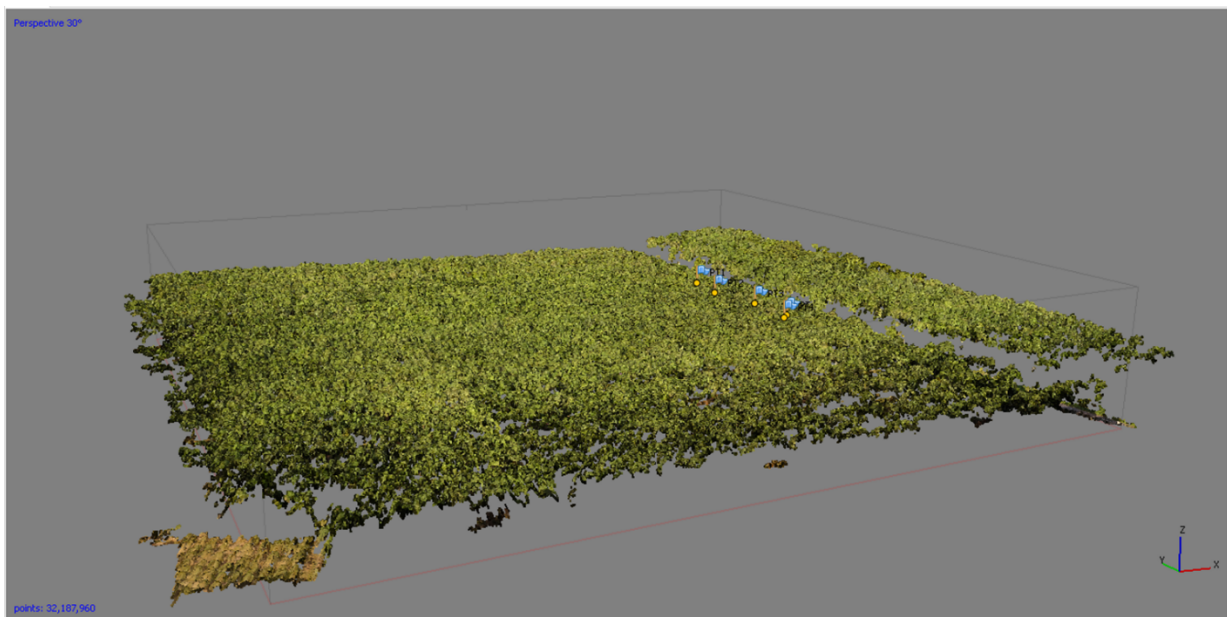
Slika 9. Digitalni plan izmjerenih horizontalnih projekcija širina krošanja na podplohi 1B.



## 5. REZULTATI

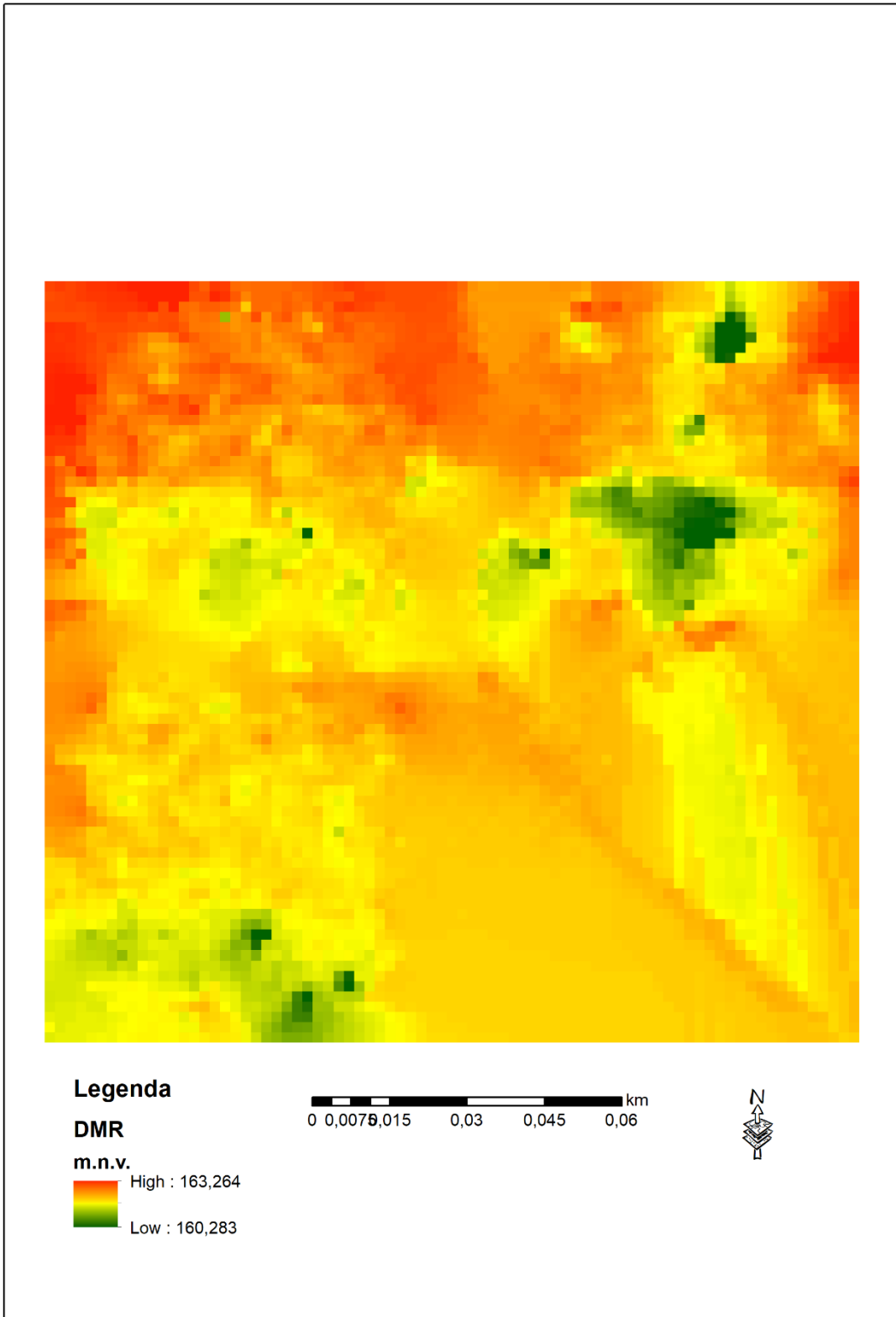
### 5.1. Rezultati snimanja bespilotnom letjelicom

Snimanjem bespilotnom letjelicom i obradom snimaka dobiven je 3D oblak točaka istraživanog područja vrijednosti približno 200 točaka/m<sup>2</sup>. (Slika 10.)

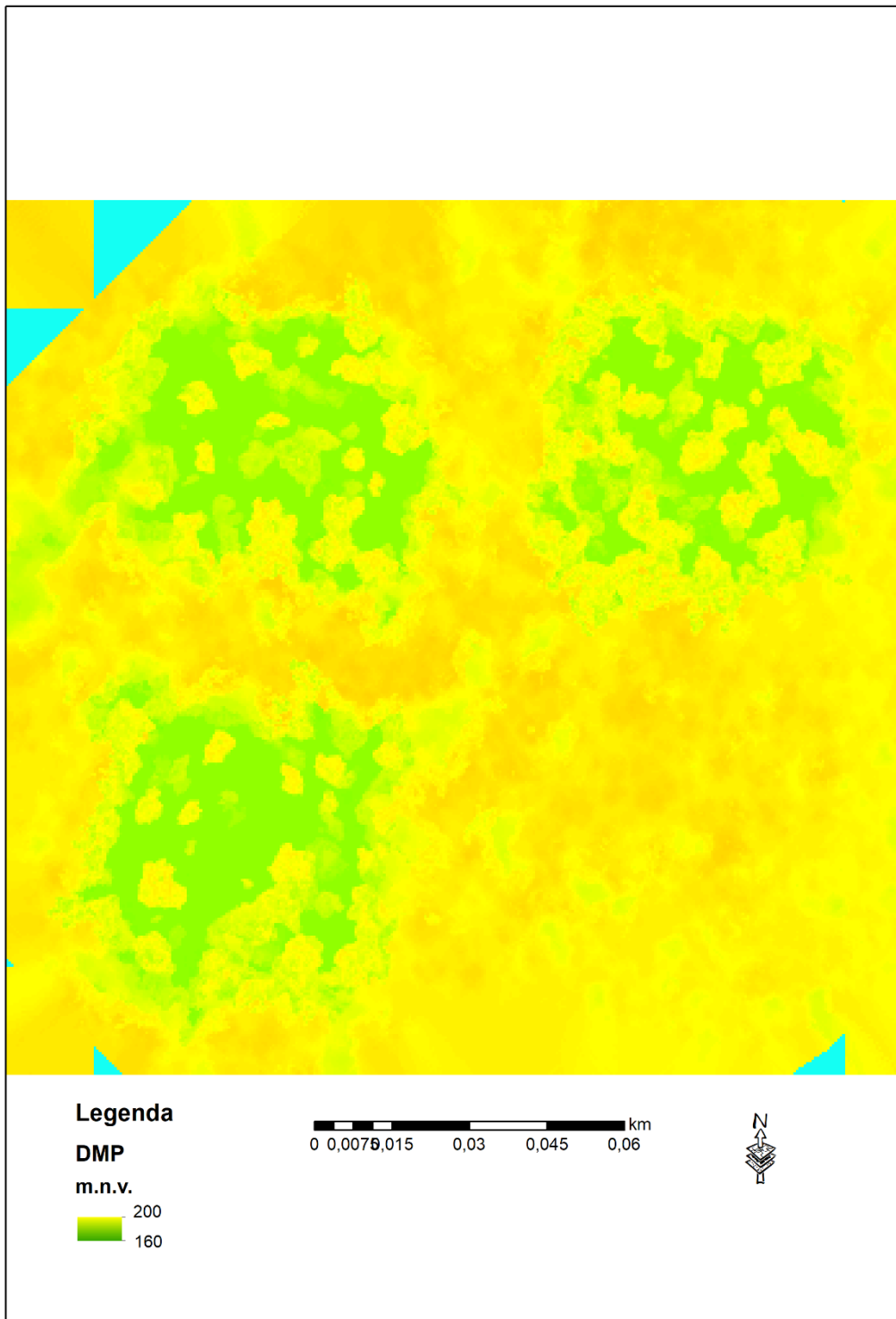


Slika 10. Oblak točaka

Takvi podaci su podloga za izradu digitalnog modela reljefa – DMR (Slika 11.) i digitalnog modela površina – DMP (Slika 12.), pomoću kojeg se dobije i digitalni model visina krošanja (Slika 13.)

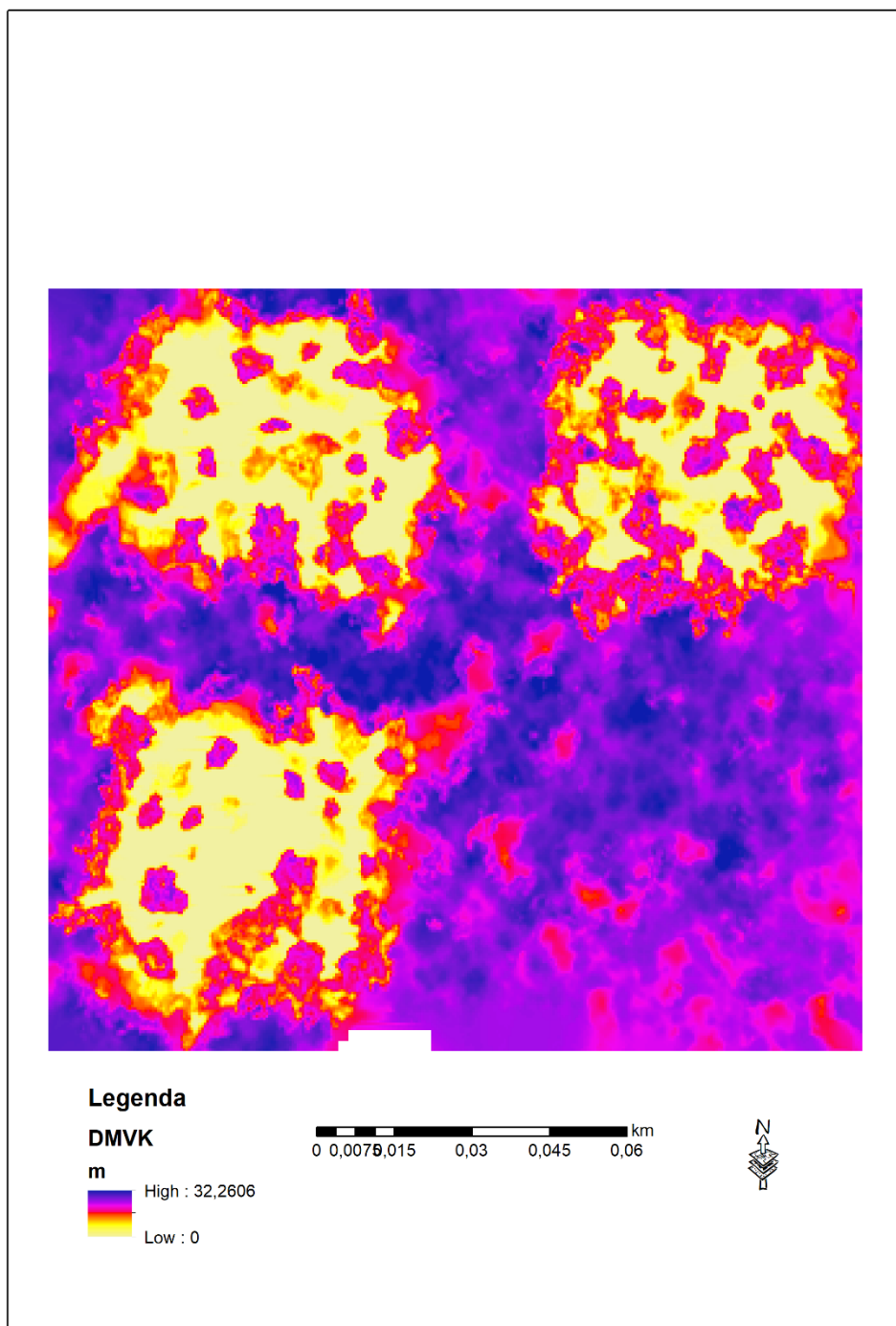


Slika 11. Digitalni model reljefa (DMR) istraživanog područja



Slika 12. Digitalni model površina (DMP) istraživanog područja





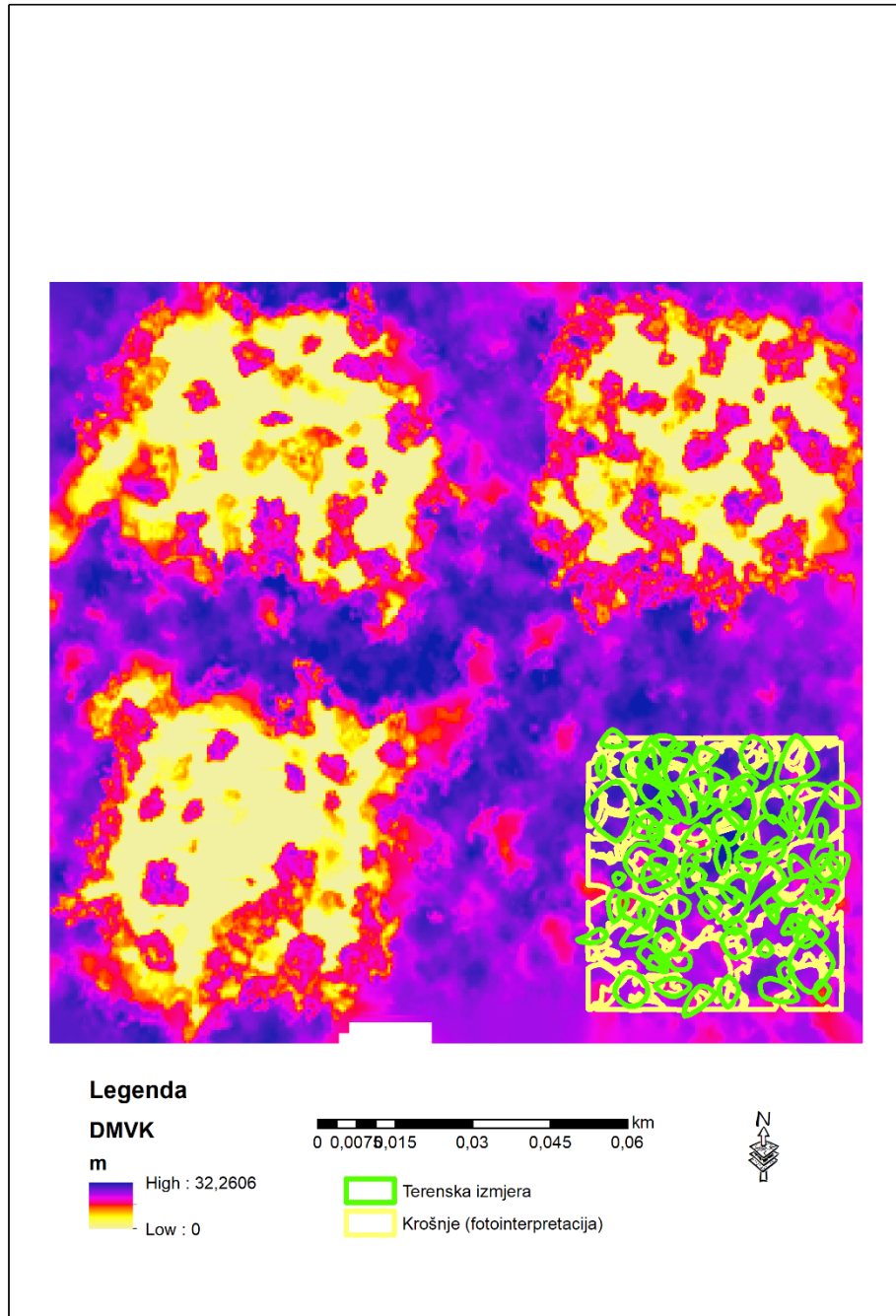
Slika 13. Digitalni model visina krošanja (DMVK) istraživanog područja

Na temelju izrađenog sloja digitalnog modela visina krošanja (DMVK) određivale su se visine pojedinačnih stabala hrasta lužnjaka na pojedinim ploham (1a,1b,1c,1d) i to za gornju (dominantnu) etažu.

## 5.2. Usporedba podataka terenske izmjere i podataka dobivenih bespilotnom letjelicom

Na plohama 1a, 1b, 1c i 1d obavljena su terenska izmjera visina pojedinačnih stabala (tablica 2.). Isto tako na izrađenom DMVK očitane su vrijednosti preko preklopljenih terenskih krošanja (Slika 14.) u svrhu usporedbe dvaju različitih izvora podataka (terenski i podaci DI).

Slika

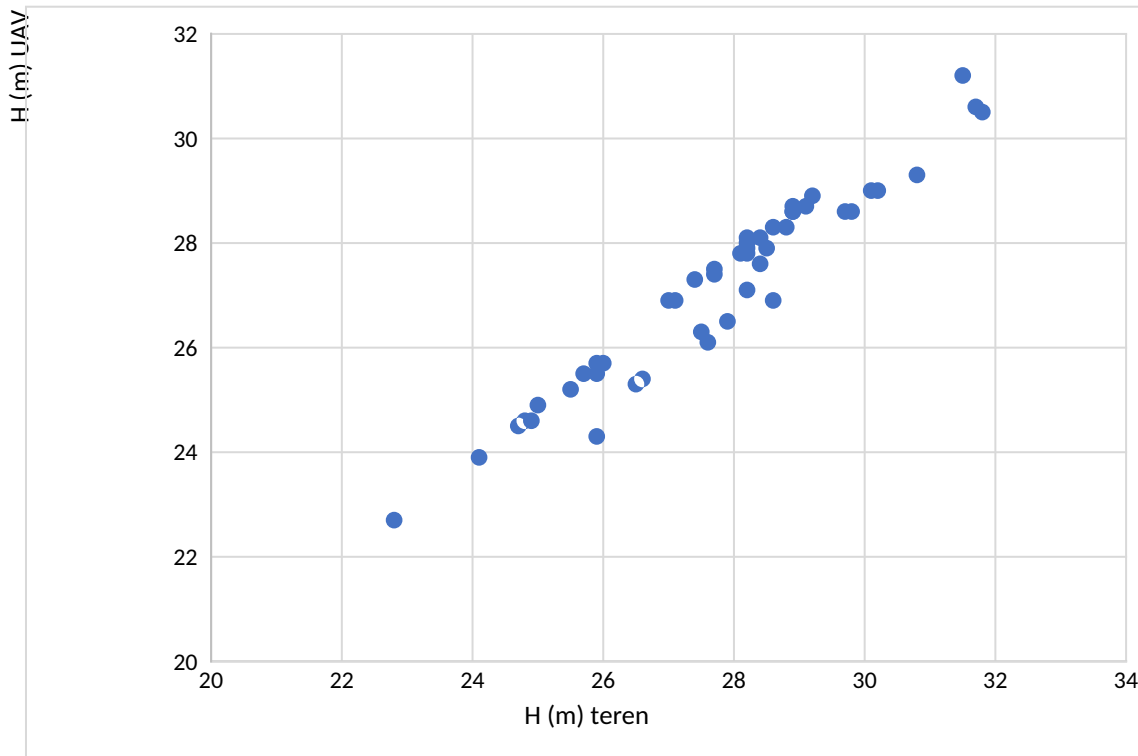


14. Preklopljene površine krošanja (terenske i fotointerpretacija) preko digitalnog modela visina krošanja(DMVK)

Tablica 2. Usporedba terenskih i visina dobivenih na temelju snimanja bespilotnom letjelicom

Vrsta	Visina (m)	
	Terenski	Bespilotna letjelica
Hrast	25,9	25,7
Hrast	24,1	23,9
Hrast	27,7	27,5
Hrast	27,1	26,9
Hrast	28,9	28,6
Hrast	28,8	28,3
Hrast	25,9	24,3
Hrast	28,6	28,3
Hrast	31,5	31,2
Hrast	25,5	25,2
Hrast	27,4	27,3
Hrast	29,1	28,7
Hrast	28,1	27,8
Hrast	28,5	27,9
Hrast	29,8	28,6
Hrast	25,7	25,5
Hrast	27	26,9
Hrast	30,2	29
Hrast	30,8	29,3
Hrast	24,9	24,6
Hrast	28,2	27,8
Hrast	28,9	28,6
Hrast	28,4	28,1
Hrast	25,9	25,5
Hrast	26	25,7
Hrast	28,2	27,1
Hrast	30,1	29
Hrast	27,6	26,1
Hrast	27,9	26,5
Hrast	29,7	28,6
Hrast	28,2	28
Hrast	29,2	28,9
Hrast	31,8	30,5
Hrast	28,2	27,9
Hrast	28,9	28,7
Hrast	28,2	28,1
Hrast	31,7	30,6
Hrast	27,5	26,3
Hrast	24,8	24,6
Hrast	24,7	24,5
Hrast	28,4	27,6
Hrast	26,5	25,3
Hrast	27,7	27,4
Hrast	28,6	26,9
Hrast	25	24,9
Hrast	22,8	22,7
Hrast	26,6	25,4

Na uzorku od 47 izmjerenih visina stabala vidljivo je da postoji trend podcjenjivanja visina metodom očitavanja vrijednosti iz izrađenog digitalnog modela visina krošanja u odnosu na terensku izmjeru, što se podudara sa rezultatima prijašnjih istraživanja usporedbe mjerenja visina metodama daljinskih istraživanja i terenskih mjerenja (Tablica 2., grafikon 1.).



Grafikon 1. Usporedba očitavanja vrijednosti iz izrađenog digitalnog modela visina krošanja u odnosu na terensku izmjeru

### 5.3. Usporedba podataka o zastrtosti tla

Uspoređene su vrijednosti površina krošanja na plohi 1d i to za digitalizirane horizontalne projekcije širina krošanja (terenska izmjera), delineirane krošnje na digitalnom ortofotu i vrijednosti zastrtosti tla na temelju hemisfernih fotografija.

Za svaku digitaliziranu krošnju (terensku i fotointerpretacija) izračunate su površine i određena je zastrtost tla u postotku.

Pomoću hemisfernih fotografija dobivene su postotne vrijednosti nezastrte površine tla (Tablica 3.).

Tablica 3. Nezastrtost površine tla

Plohica/Ploha	Nezastrta površina tla, %					
	n	min	prosjek	median	max	sd
1A	5	10,70	12,14	11,60	13,70	1,29
1B	5	10,30	19,48	15,60	40,60	12,06
1C	5	10,90	13,32	14,20	15,50	1,97
1D	5	11,00	13,96	14,50	16,80	2,57

Promatra li se ploha 1D vidljivo je da je prosječna vrijednost 13,96% nezastrte površine tla što znači da je zastrtost krošanja na tlo 86,04%.

Vrijednost zastrtosti tla krošnjama na temelju digitaliziranih horizontalnih projekcija krošanja za plohu 1D iznosi 82,6%, a delineiranih krošanja na digitalnom ortofotu 83,4% (Tablica 4.)

Tablica 4. Zastrtost površine tla krošnjama

Plohica/Ploha	Zastrta površina tla, %		
	Hemisferne foto	Terenske	Fotointerpretacija
1D	86,04	82,6	83,4

## 6. ZAKLJUČAK

- U ovom radu provedena je usporedba podataka terenske izmjere i podataka dobivenih bespilotnom letjelicom (3D oblak točaka, DMR, DMP, DMVK).
- Usporedbom vrijednosti visina pojedinačnih stabala vidljiv je trend malog podcjenjivanja visina metodom očitavanja vrijednosti iz izrađenog digitalnog modela visina krošanja u odnosu na terensku izmjeru.
- Uspoređeni su podatci o zastrtosti tla na temelju hemisfernih fotografija, terenskih izmjera (digitaliziranja horizontalnih projekcija širina krošanja) i podataka dobivenih fotointerpretacijom na digitalnom ortofotu kao produktu iz snimaka bespilotne letjelice i nisu utvrđene značajne razlike.
- Provedenim istraživanjima prikazana je mogućnost primjene produkata daljinskih istraživanja u šumarstvu.

Podaci korišteni za ovaj diplomski rad preuzeti su iz projekta Hrvatskog šumarskog instituta „Osnivanje pokusa za provođenje uzgojnih i genetsko meliorativnih zahvata u mladim sastojinama hrasta lužnjaka kao temelj za gospodarenje budućim sjemenskim sastojinama“ financiranog od strane Ministarstva poljoprivrede iz sredstava općekorisnih funkcija šuma u razdoblju od 2016.-te do 2018.-te godine. Hvala.

## 7. LITERATURA

Bendea, H., Chiabrando, F., Tonolo, G. F., Marenchino, F. (2007): Mapping of archaeological areas using a lowcost UAV. XXI International CIPA Symposium, Atena, Grčka.

Burdeos, M. D. A., Makinano-Santillan, M., Amora, A. M. (2015): Automated building footprints extraction from DTM and DSM in ArcGIS, 36th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS 2015), Quezon City, Philippines, Volume 6, 4797–4802.

Chen, J. M., Cihlar J. (1995): Plant canopy gap-size analysis theory for improving optical measurements of leaf-area indeks, Volume 34, Issue 27, pp. 6211-6222.

Čavlović, J. (2013): Osnove uređivanja šuma, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet.

Čomić, L., De Floriani, L., Magillo, P., Iuricich, F. (2014): Morphological Modeling of Terrains and Volume Data, SpringerBriefs in Computer Science.

Donassy, V., Oluić, M., Tomašegović, Z. (1983): Daljinska istraživanja u geoznanostima, Zagreb : Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti, Savjet za daljinska istraživanja i fotointerpretaciju.

Dubravac, T., Novotny, V. (1992): Metodologija tematskog područja uzgajanja šuma – rast i prirast (primjenjena u multidisciplinarnom projektu ekološko-ekonomske valencije tipova šuma). Rad., šumarski institut 27(2): 157-166, Jastrebarsko.

El-Sheimy, N., Valeo, C., Habib, A. (2005): Digital Terrain Modeling: Acquisition, Manipulation and Applications, Artech House, USA.

EUR-Lex (2014): Mišljenje Europskog gospodarskog i socijalnog odbora o komunikaciji Komisije Europskom parlamentu i Vijeću - Nova era za zrakoplovstvo – Otvaranje zrakoplovnog tržišta za sigurnu i održivu civilnu uporabu daljinski upravljanih zrakoplovnih sustava, Službeni list Europske unije. Dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX:52014AE3189>

Govorčin, M., Kovačić, F., Žižić, I. (2012): Bepilotne letjelice SenseFly Swinglet CAM. Ekscentar : časopis studenata Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, br. 15, pp. 62-68.

Krtalić, A., Gajski, D., Maltarski, M. (2019): Digitalni trodimenzionalni prikazi scene i satelitska stereofotogrametrija, Geodetski list, 2, 147–164.

Li, Z., Zhu, Q., Gold, C. (2005): Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology, CRC PRESS, Boca Raton, USA.

Linder, W. (2016): Digital Photogrammetry, Springer, Netherlands.

Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W. (1994): Remote Sensing and Image Interpretation. 3rd Edition, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken.



Norman, J.M., Campbell, G.S. (1989): Canopy Structure. In: Pearcy, R.W., Ehleringer, J., Mooney, H.A. and Eundel, P.W., Eds., Plant Physiological Ecology: Field Methods and Instrumentation, Chapman and Hall, London and New York, 301-325.

Nobis, M., Hunziker, U. (2005): Automatic thresholding for hemispherical canopy-photographs based on edge detection. *Agricultural and Forest Meteorology*, 128(3-4), 243-250.

Oštir, K., Mulahusić, A. (2014): Daljinska istraživanja, Građevinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo.

Pranjić, A., Lukić, N. (1997): Izmjera šuma, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet.  
Paparoditis, N., Polidori, L. (2002): Overview of digital surface models. *Digital photogrammetry* (U: Egels, Y., M. Kasser), Taylor and Francis, London, New York, 159–163.

Solarić, M., Frančula, N., Lapaine, M. (2008): Geodetsko-geoinformatički rječnik. *Kartografija i geoinformacije*, 7 (10), 144-147, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet.

Thimonier, A., Sedivy, I., Schleppe, P. (2010): Estimating leaf area index in different types of mature forest stands in Switzerland: a comparison of methods, 129:543–562.

Weibel, R., Heller, M. (1991): Digital terrain modeling, In: Maguire, D. J., Goodchild, M. F., Rhind, D. W. (Eds.), *Geographical Information Systems*, Vol. 1, Longman, London, 269–297.

White, J. C., Wulder M. A., Vastaranta, M., Coops N. C., Pitt D., Woods M. (2013): The utility of image-based point clouds for forest inventory: A comparison with airborne laser scanning. *Forests*, 4(3): 518–536. Dostupno na: <https://www.mdpi.com/journal/forests>

URL 1 : [www.dgu.hr](http://www.dgu.hr)

URL 2 <http://geomag.nrcan.gc.ca/apps/mdcal-eng.php>