



HRVATSKI ŠUMARSKI INSTITUT

IZVJEŠTAJ

ZNANSTVENO-STRUČNI PROJEKT

**Geoprostorna analiza
stanja šumskog pokrova Park šume Marjan
korištenjem snimaka bespilotne letjelice**

Jastrebarsko, prosinac 2019.

Sadržaj

1. Uvod	3
2. Ciljevi projekta	3
3. Područje istraživanja	4
4. Projektne aktivnosti	4
5. Snimanje bespilotnom letjelicom	5
6. Fotogrametrijsko procesiranje	7
6.1. Fotogrametrijski proizvodi	7
6.2. Fotogrametrijsko procesiranje RGB snimaka	8
6.3. Fotogrametrijsko procesiranje multispektralnih (MS) snimaka	15
7. Geoprostorne analize – rezultati istraživanja	16
7.1. Detaljna klasifikacija šumskog pokrova	16
7.2. Detekcija nastalih promjena u sastojinskom sklopu	19
7.3. Detekcija 'žarišnih' područja koja zahtijevaju hitnu sanaciju	21
7.4. Detekcija suhih stabala i uvid u stanje vegetacije	27
7.5. Procjena broja stabala	31
8. Zaključci	39
9. Projektni tim	40

1. Uvod

Metode daljinskih istraživanja danas predstavljaju jedan od najvažnijih načina prikupljanja prostornih podataka u mnogim djelatnostima, pa tako i u šumarstvu. Stoga se i u ovom slučaju nameću kao brza, efektivna i pouzdana metoda prikupljanja informacija o stanju vegetacije odnosno šumskog pokrova na području Park šume Marjan. Prije svega, tu se misli na bespilotne letjelice koje predstavljaju idealno rješenje kada je u kratkom vremenu potrebno sakupiti pouzdane informacije s relativno malih površina. Naime, bespilotne letjelice opremljene kvalitetnim senzorima (GPS, RGB i multispektralne kamere) omogućavaju pridobivanje prostornih podataka visokih geometrijskih i spektralnih rezolucija (npr. 3D oblak točaka, Digitalni Model Površine – DMP, Digitalni OrtoFoto – DOF, vegetacijski indeksi, zdravstveno stanje vegetacije) koje u ovom slučaju predstavljaju temelj za uspostavu monitoringa te donošenje kvalitetnih preporuka i odluka o izvođenju potrebnih stručnih aktivnosti.

2. Ciljevi projekta

Glavni cilj projekta je utvrditi trenutno stanje vegetacije na području Park šume Marjan, tj. stanje nakon prirodne nepogode uzrokowane mediteranskim potkornjakom (*Orthotomicus erosus*) i provedenih zahvata sječe tijekom 2019. godine. Drugim riječima, cilj projekta je dobiti 'nulto stanje' vegetacije koje će predstavljati temelj za uspostavu daljnog monitoringa (terenskim metodama i metodama daljinskih istraživanja) i donošenje pravovremenih stručnih aktivnosti (zaštita šuma, uzgojni zahvati), a u svrhu očuvanja Park šume Marjan.

Na temelju snimaka bespilotne letjelice vrlo visoke prostorne i spektralne razlučivosti izrađen je niz fotogrametrijskih i geoinformacijskih proizvoda koji su korišteni za detaljne geoprostorne analize:

- 1) Detaljna klasifikacija šumskog pokrova (po visinskim klasama);
- 2) Detekcija nastalih promjena u sastojinskom sklopu (tzv. „otvorene površine“ bez vegetacije ili s niskom, travnatom vegetacijom);
- 3) Detekcija 'žarišnih' područja koja zahtijevaju hitnu sanaciju;
- 4) Detekcija suhih stabala (i uvid u stanje vegetacije);
- 5) Procjena broja stabala (i po visinskim kategorijama).

3. Područje istraživanja

Istraživanje je provedeno na području Park šume Marjan obuhvaćenom prethodnim snimanjem bespilotnom letjelicom. Istraživanjem nije obuhvaćen manji dio površine PŠ Marjan, točnije odjel 16 koji nije snimljen bespilotnom letjelicom zbog blizine vojnih objekata te dio odsjeka 11b gdje samo snimanje nije uspješno izvedeno. Također, u pojedinim dijelovima istraživanja nisu analizirane površine PŠ kategorizirane kao ceste, gospodarski objekti, odsjeci uređajnih razreda makije i neobraslog proizvodnog tla.

4. Projektne aktivnosti

Istraživanje je provedeno kroz niz terenskih i uredskih projektnih aktivnosti započetih snimanjem bespilotnom u kolovozu 2019. godine (Tablica 1).

Tablica 1. Glavne projektne aktivnosti prikazane po vremenu provođenja (mjesecima u 2019. g.).

Aktivnosti	Mjeseci u 2019. godini				
	8.	9.	10.	11.	12.
Snimanje bespilotnom letjelicom					
Fotogrametrijsko procesiranje					
Geoprostorne analize (vizualna i automatska interpretacija, GIS analiza)					
Prikupljanje referentnih terenskih podataka					
Validacija i analiza rezultata					
Diseminacija i izrada elaborata					

Terenski dio istraživanja sastojao se od snimanja bespilotnom letjelicom te prikupljanja kontrolnih (referentnih) terenskih podataka, poput izmjere kontrolnih terenskih točaka za orientaciju snimaka, izmjere određenog broja stabala za izradu visinskih krivulja i izmjere broja stabala na određenom broju kontrolnih terenskih ploha.

Uredski dio istraživanja sastojao se od fotogrametrijskog procesiranja podataka prikupljenih bespilotnom letjelicom i izrade niza proizvoda na temelju kojih su provedene geoprostorne analize vizualnom odnosno manualnom interpretacijom i automatskom interpretacijom. Dobiveni rezultati su validirani i detaljno analizirani, te prezentirani kroz nekoliko izlaganja Stožeru civilne zaštite Grada Splita. Nапослјетку, slijedila je izrada ovog elaborata.

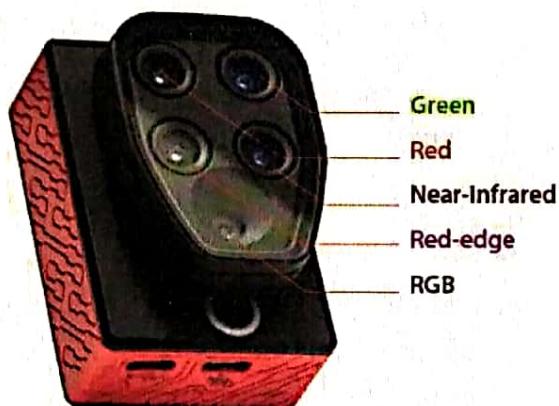
Budući da u ovom istraživanju terenske aktivnosti nadopunjaju uredski dio istraživanja i teško ih je razgraničiti, iste su detaljno opisane u dalnjem (zajedničkom) dijelu Izvješća kroz poglavla: 5. Snimanje bespilotnom letjelicom, 6. Fotogrametrijsko procesiranje i 7. Geoprostorne analize - rezultati istraživanja.

5. Snimanje bespilotnom letjelicom

Na temelju potписанog Sporazuma o znanstveno-istraživačkoj i stručnoj suradnji, čitavo područje Park šume Marjan snimljeno je tijekom kolovoza 2019. g. bespilotnom letjelicom Hrvatske gorske službe spašavanja Matrice 200 DJI (Slika 1) opremljenom visoko kvalitetnom RGB kamerom Zenmuse x5 i multispektralnom (MS) kamerom Sequoia+ (Slika 2) Hrvatskog šumarskog instituta. Snimanje u trajanju od 4 dana (od 10.-13. kolovoza 2019.g.) proveli su piloti Hrvatske gorske službe spašavanja uz nadzor djelatnika Hrvatskog šumarskog instituta (Slika 3). Tijekom 30 izvedenih letova prikupljeno je oko 9000 fotografija s klasičnom RGB i oko 60000 fotografija s MS kamerom u vrlo visokoj prostornoj rezoluciji. Zbog specifičnih zahtjeva samog projekta, te konfiguracije terena, a u skladu s važećim pravilnicima snimanje je provedeno na visini leta do max 100 m iznad tla, te s uzdužnim i poprečnim preklopom snimaka od 80%. Prostorna rezolucija (GSD - *Ground Sampling Distance*) RGB snimaka iznosila je ≈2,5 cm, a MS snimaka ≈10 cm. Budući da RGB kamera Zenmuse x5 prikuplja RGB snimke u većoj prostornoj rezoluciji nego MS kamera Sequoia+, kod Sequoia+ bilo je isključeno prikupljanje snimaka u RGB kanalu. Stoga su s MS kamerom Sequoia+ prikupljena 4 spektralna kanala (zeleni, crveni, bliski infracrveni, rubni crveni) (Slika 2).



Slika 1. Bespilotna letjelica Matrice 200 DJI Hrvatske gorske službe spašavanja.



Slika 2. Multispektralna (MS) kamera Sequoia+ Hrvatskog šumarskog instituta montirana na letjelicu Matrice 200 DJI Hrvatske gorske službe spašavanja.



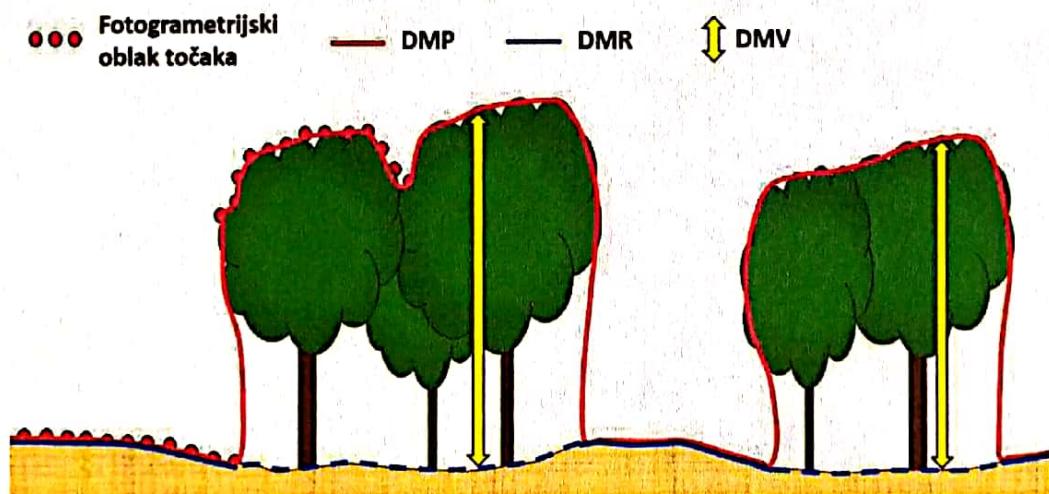
Slika 3. Terenska ekipa Hrvatske gorske službe spašavanja tijekom snimanja (lijevo), agregat kojim je omogućeno nesmetano funkcioniranje poslova tijekom snimanja (desno).

6. Fotogrametrijsko procesiranje

S obzirom na obujam prikupljenog materijala (broj snimaka, dvije kamere, multispektralni kanali) te konfiguraciju i karakteristike snimljenog područja (veliki nagibi terena, vegetacija), postupak fotogrametrijskog procesiranja predstavlja je vrlo zahtjevan posao u tehničkom i stručnom, te vremenskom pogledu. Fotogrametrijsko procesiranje je provedeno na digitalnim fotogrametrijskim stanicama korištenjem fotogrametrijskih softvera Racurs PHOTOMOD i Agisoft Metashape. Procesiranje je provedeno posebno na RGB, a posebno na MS snimkama. Obuhvaćalo je sljedeće glavne korake: orientacija snimaka, dodatna terenska mjerena kontrolnih terenskih točaka radi poboljšanja orientacije te izradu glavnih fotogrametrijskih proizvoda.

6.1. Fotogrametrijski proizvodi

Radi lakšeg razumijevanja provedenih postupaka u ovom su potpoglavlju u kratkim crtama teoretski opisani glavni fotogrametrijski proizvodi izrađeni za potrebe ovog projekta.



Slika 4. Glavni fotogrametrijski proizvodi.

Fotogrametrijski oblak točaka nastaje procesiranjem snimaka s preklopom (tzv. stereosnimke) korištenjem SfM (engl. *Structure from Motion*) i DIM (engl. *Dense Image Matching*) algoritama. U usporedbi s oblakom točaka dobivenim korištenjem LiDAR (engl. *Light Detection and Ranging*) tehnologije, značajno je 'siromašniji' u vertikalnom, ali 'bogatiji' u horizontalnom pogledu. Opisuje gornju, vidljivu površinu snimljenog objekta. Preklapanjem

oblaka točaka s Digitalnim Modelom Reljefa (DMR), odnosno oduzimanjem nadmorskih visina DMR-a od nadmorskih visina oblaka točaka, dobije se normalizirani oblak točaka s vrijednostima visina iznad tla.

Digitalni Model Površine (DMP) predstavlja matematički model Zemljine površine, uključujući izgrađene objekte i vegetaciju.

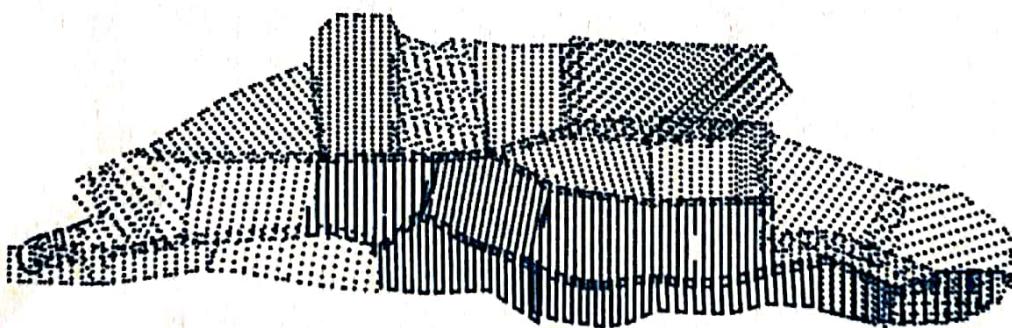
Digitalni Model Reljefa (DMR) predstavlja matematički model 'gole' Zemljine površine, bez izgrađenih objekata i vegetacije. S obzirom da se u područjima s vegetacijom, iz snimaka ne vidi tlo, fotogrametrijski DMR je manje preciznosti. Stoga je u svrhu povećanja točnosti fotogrametrijskog DMR-a u područjima s vegetacijom fotogrametrijske podatke uputno nadopuniti korištenjem npr. službenog DMR-a, ili za izradu DMR-a koristiti LiDAR tehnologiju.

Digitalni Model Visina (DMV) krošanja/sastojine nastaje preklapanjem DMR-a i DMP-a, odnosno oduzimanjem DMR-a od odgovarajućeg DMP-a. Najčešće je predstavljen u rasterskom obliku s vrijednostima visina iznad tla.

Digitalni ortofoto (DOF) je zračna snimka u digitalnom obliku transformirana u ortogonalnu projekciju, a nastaje ortorektifikacijom snimaka na DMP ili DMR.

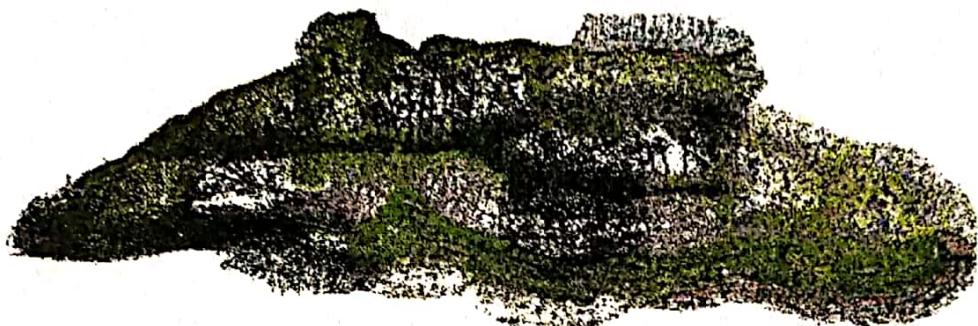
6.2. Fotogrametrijsko procesiranje RGB snimaka

Fotogrametrijsko procesiranje oko 9000 RGB snimaka prikupljenih tijekom 30 letova s uzdužnim i poprečnim preklopom od 80% te s GSD≈2,5 cm provedeno je korištenjem fotogrametrijskog softvera Agisoft Metashape. Na slici 5. prikazane su pozicije (plave točke) RGB snimaka u vrijeme u vrijeme snimanja. Također, mogu se razlikovati i pojedinačni letovi.



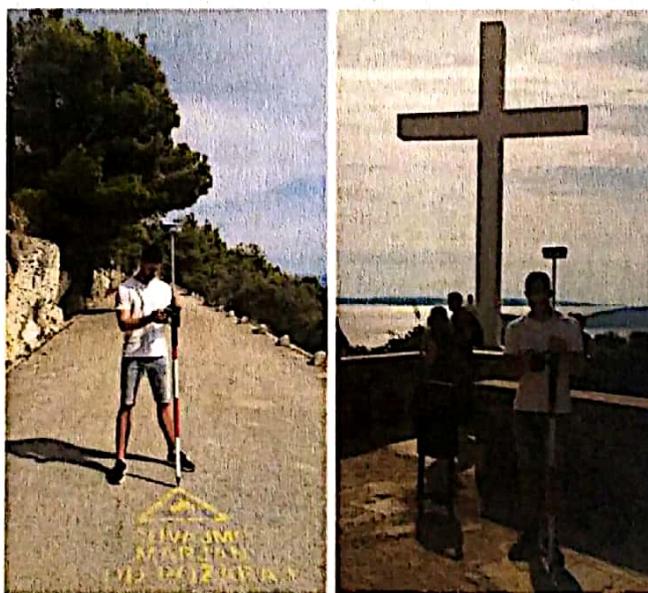
Slika 5. Pozicije RGB snimaka u vrijeme snimanja.

Nakon učitavanja snimaka slijedio je prvi korak orientacije snimaka, tj. postupak slikovne korelacije kojim je dobiven rijetki oblak točaka (Slika 6). Drugim riječima dobivene su vezne točke koje algoritam (softver) prepozna kao identične na područjima preklopa više različitih snimaka.



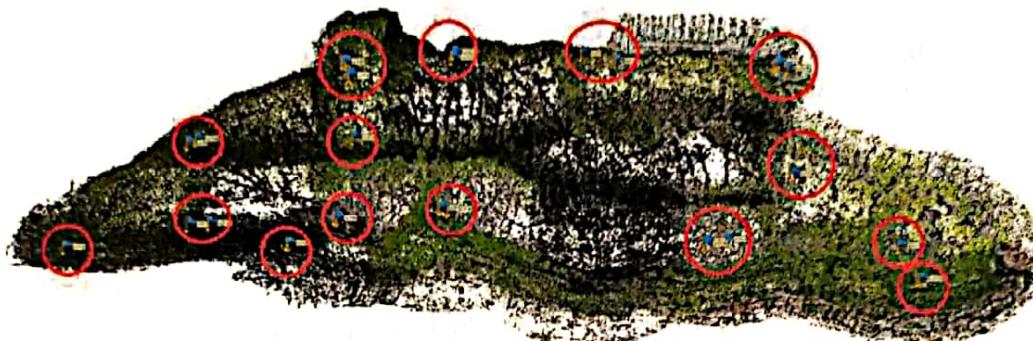
Slika 6. Rijetki oblak točaka (vezne točke).

Budući da je tako orientirani blok snimaka dobiven na temelju pozicija snimaka tj. koordinata snimljenih GPS-om letjelice koji ima točnost $\approx \pm 5$ m, za poboljšanje orientacije snimaka provedena su dodatna terenska mjerena kontrolnih terenskih točaka (Slika 7). Za mjereno kontrolnih terenskih točaka korišten je GNSS RTK uređaj povezan s CROPOS pozicijskim sustavom koji daje točnost ≈ 2 cm.



Slika 7. Mjereno kontrolnih terenskih točaka.

Kontrolne terenske točke mjerene su na detaljima terena koji su jasno vidljivi i na samim snimkama. Ukupno je izmjereno 28 kontrolnih terenskih točaka pravilno raspoređenih po čitavom području Park šume Marjan (Slika 8).



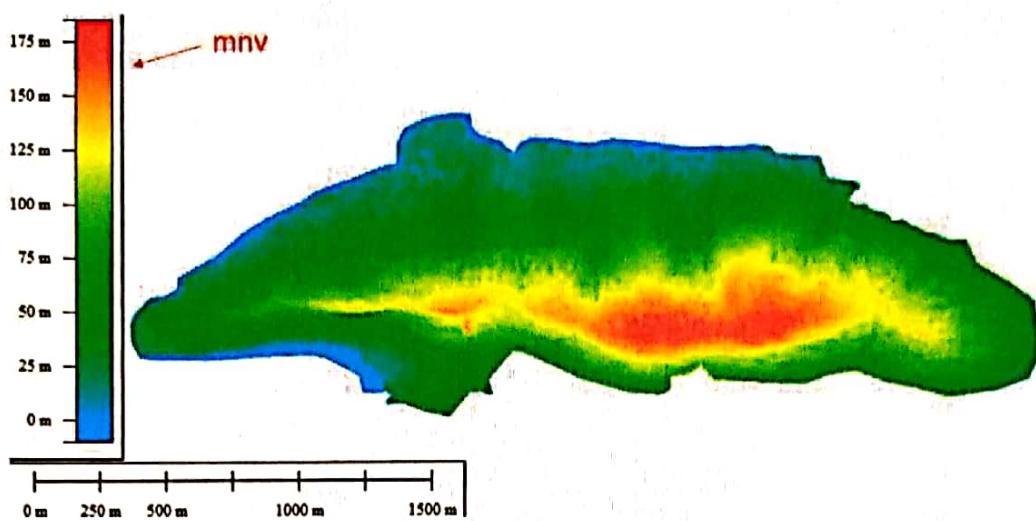
Slika 8. Lokacije mjerjenja kontrolnih terenskih točaka.

Izmjerene kontrolne terenske točke su potom korištene za precizno georeferenciranje (pozicioniranje) modela rijetkog oblaka točaka u prostoru (s točnošću $<0,5$ m). Dalnjim fotogrametrijskim procesiranjem precizno orientiranog rijetkog oblaka točaka, izrađen je gusti oblak točaka prosječne gustoće od ≈ 510 točaka/ m^2 (Slika 9). Radi bolje vizualizacije na Slici 9. je prikazan 'obojani' gusti oblak točaka.



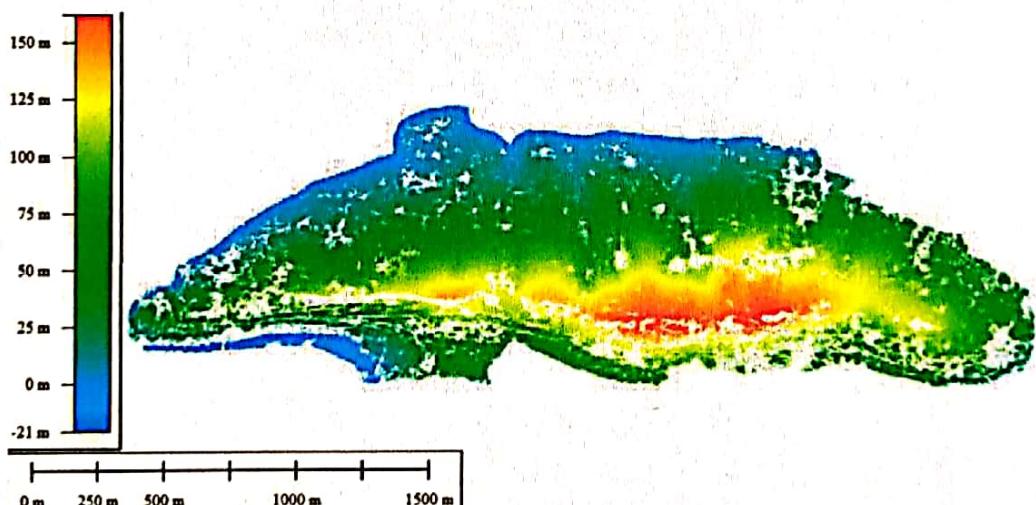
Slika 9. Gusti oblak točaka.

Interpolacijom gustog oblaka točaka izrađen je Digitalni Model Površine (DMP) u rasterskom formatu s veličinom piksela 5×5 cm (Slika 10).



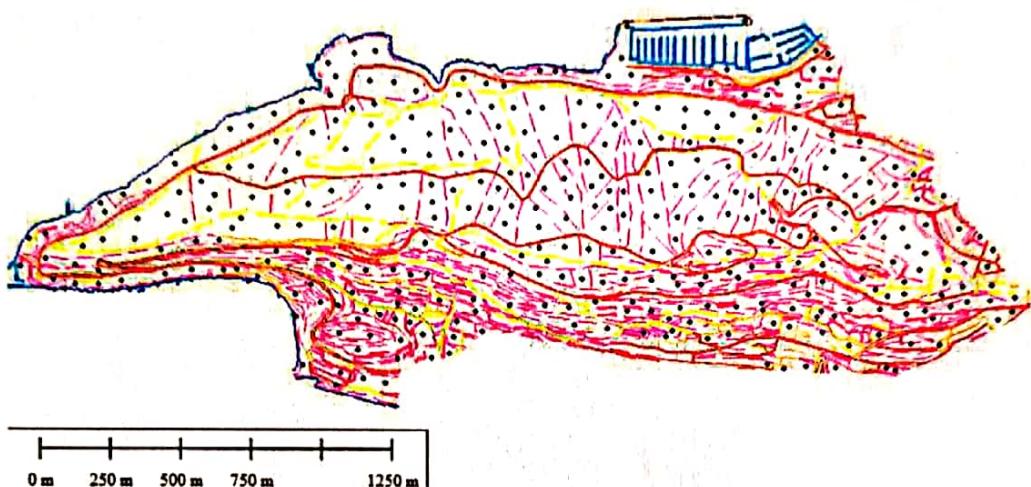
Slika 10. Digitalni Model Površine (DMP).

Zatim je slijedila izrada Digitalnog Modela Reljefa (DMR). U prvom koraku, gasti oblak točaka je klasificiran na točke tla i točke vegetacije i objekata. Postupcima filtriranja iz gustog oblaka točaka uklonjene su točke klasificirane kao vegetacije i kao objekti. Napravljeno je i uklanjanje točaka s grubim greškama pozicija, tzv. 'noise points' filtriranje. Naposljetu, dobiven je oblak točaka samog tla s gustoćom od 94 točaka/m² (Slika 11).



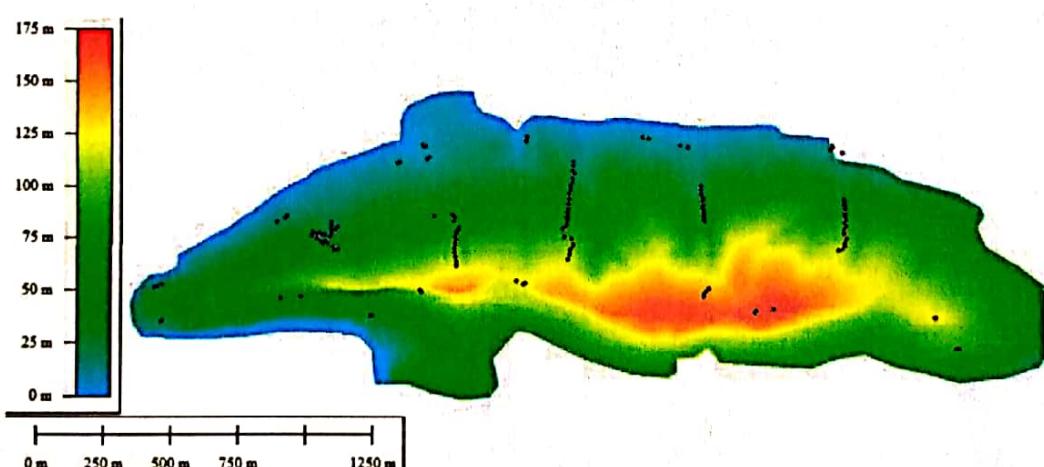
Slika 11. Oblak točaka klasificiran i filtriran kao točke tla.

S obzirom da se radi o području s vegetacijom, radi poboljšanja točnosti fotogrametrijskog DMR-a korišteni su 3D vektorski podaci službenog DMR-a nabavljeni iz Državne Geodetske Uprave (Slika 12). Vektorske podatke sačinjavaju lomne linije terena (prijevodnice), linije oblika, markantne točke terena i mrežu visinskih točaka.

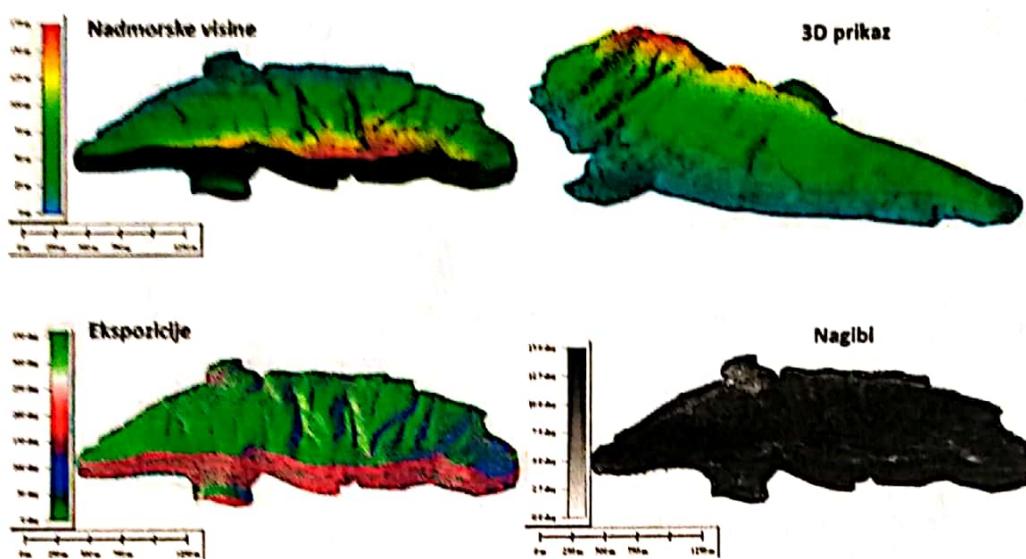


Slika 12. Oblak točaka klasificiran i filtriran kao točke tla.

Kombinacijom oblaka točaka klasificiranog i filtriranog kao točke tla i podataka službenog DMR-a izrađen je DMR u rasterskom obliku, veličine piksela 50×50 cm (Slika 13 i 14). Na slici 13 su vidljive crne točke koje predstavljaju 148 terenski snimljenih točaka GNSS/RTK uređajem, a koje su služile za validaciju točnosti izrađenog DMR-a.

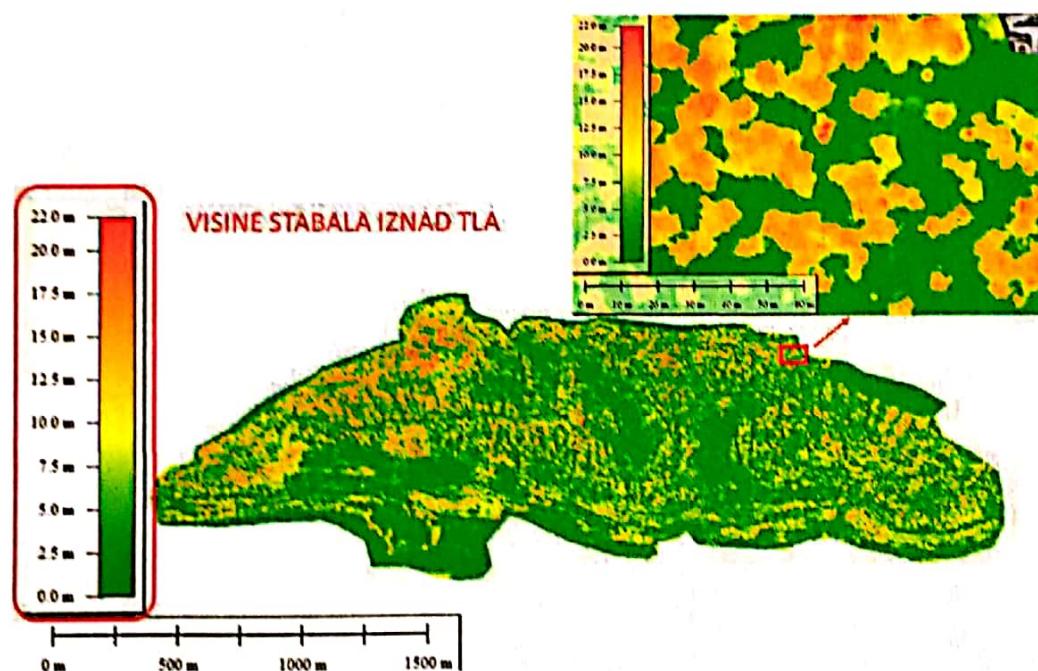


Slika 13. Digitalni Model Reljefa (DMR).

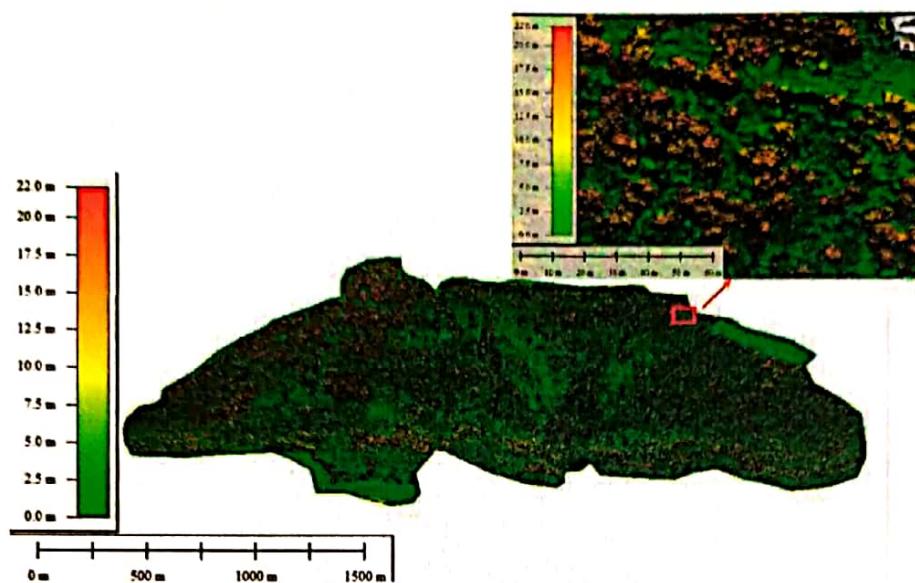


Slika 14. Digitalni Model Reljeфа (DMR) u različitim prikazima.

Zatim je izrađen Digitalni Model Visina (DMV) krošnja/sastojine i to preklapanjem DMR-a i DMP-a, odnosno oduzimanjem DMR-a od DMP-a. DMV je izrađen također u rasterskom obliku s veličinom piksela 8×8 cm (Slika 15 i 16). Tako izrađeni DMV omogućuje očitavanje visina stabala i krošnja iznad tla.

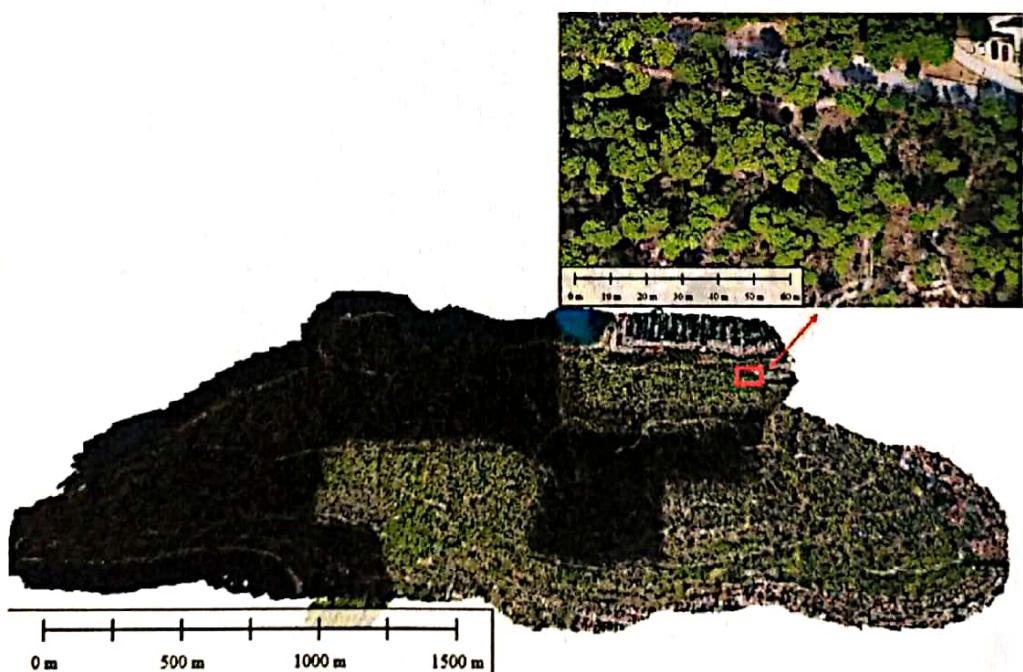


Slika 15. Digitalni Model Visina (DMR) stabala i krošnja.



Slika 16. Digitalni Model Visina (DMR) stabala i krošanja (osjenčani).

Naposljeku, ortorektifikacijom snimaka na DMP izrađen je digitalni ortofoto veličine piksela 8×8 cm (Slika 17). Vidljive razlike u boji nastale su zbog snimanja tijekom više dana i različitih doba dana. Povećanjem pogleda (zumiranjem) na ekranu vidljive razlike ne predstavljaju značaja problem u interpretaciji snimaka.



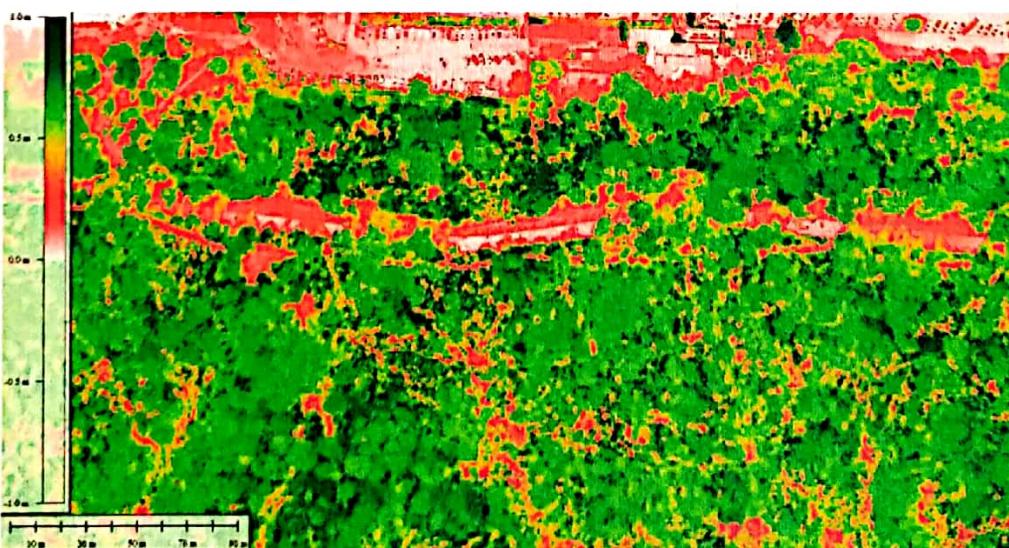
Slika 17. Digitalni ortofoto (DOF) izrađen iz RGB snimaka.

6.3. Fotogrametrijsko procesiranje multispektralnih (MS) snimaka

Fotogrametrijsko procesiranje oko 60000 MS snimaka prikupljenih tijekom 30 letova s uzdužnim i poprečnim preklopom od 80% te s GSD=10 cm provedeno je korištenjem fotogrametrijskog softvera Agisoft Metashape. Iz MS snimaka izrađen je DOF, tj. kolor kompozit sastavljen od 4 spektralna kanala (zeleni, crveni, bliski infracrveni, rubni crveni) veličine piksela $15 \times 15\text{cm}$ (Slika 18), te je za svaki piksel izračunat NDVI indeks (engl. Normalized Difference Vegetation Index) (Slika 19).



Slika 18. Digitalni ortofoto (DOF) izrađen iz MS snimaka (kolor kompozit).



Slika 19. NDVI indeks izračunat iz MS snimaka.

7. Geoprostorne analize – rezultati istraživanja

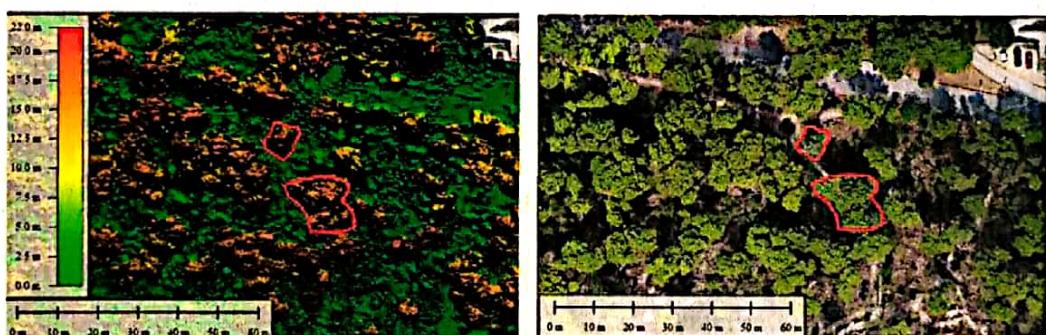
Na temelju prikazanih fotogrametrijskih i geoinformacijskih proizvoda provedene su detaljne geoprostorne analize vegetacije na području Park šume Marjan:

- 1) Detaljna klasifikacija šumskog pokrova;
- 2) Detekcija nastalih promjena u sastojinskom sklopu (tzv. „otvorene površine“ bez vegetacije ili s niskom, travnatom vegetacijom);
- 3) Detekcija 'žarišnih' područja koja zahtijevaju hitnu sanaciju;
- 4) Detekcija suhih stabala i uvid u stanje vegetacije;
- 5) Procjena broja stabala.

Svi dobiveni podaci i rezultati istraživanja su precizno prostorno definirani.

7.1. Detaljna klasifikacija šumskog pokrova

Provđena je automatizirana klasifikacija vegetacije odnosno šumskog pokrova po visinskim kategorijama korištenjem prethodno izrađenog DMV (Slika 20). Za potrebe automatizirane klasifikacije testirani su razni algoritmi (softveri) za automatsku klasifikaciju, te je naposljetku odabran QGIS 3.4.13 softver. Za daljnje analize korišten je Global Mapper 19 softver.

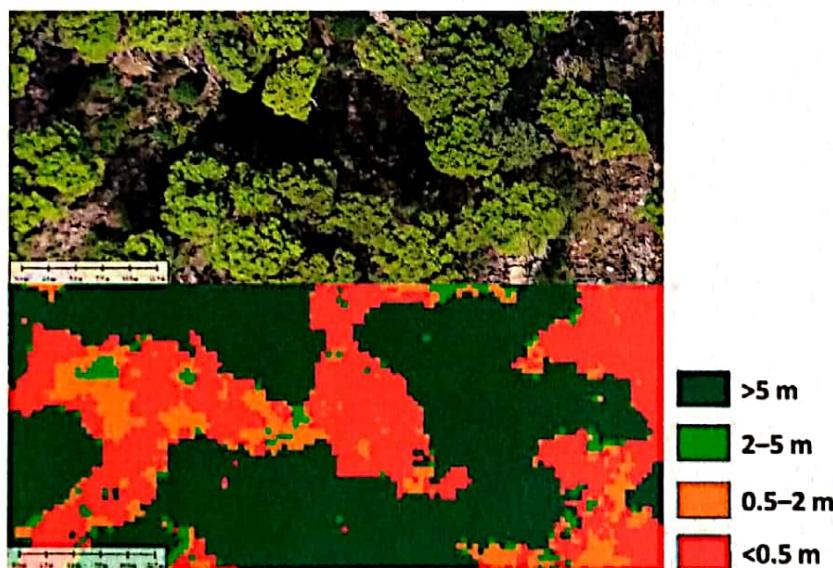


Slika 20. Lijevo: Digitalni Model Visina (DMV) korišten za automatiziranu klasifikaciju vegetacije; Desno: Digitalni ortofoto (DOF). Na prikazanom dijelu površine vidljivo je kako DMV detaljno i precizno opisuje vegetaciju.

Prije same klasifikacije određene su visinske kategorije po kojima je potom klasifikacija i napravljena. Ukupno su definirane 4 visinske kategorije vegetacije:

- >5 m - odrasla stabla nadstojne etaže i njihove krošnje (uglavnom stabla alepskog bora uz sporadičnu pojavu čempresa, crnike i parkovnih vrsta drveća);
- 2–5 m - podstojna etaža glavnih i sporednih vrsta drveća (alepski bor, čempres, zelenika, pojedinačno alohtone vrste). U ovu kategoriju u određenoj mjeri ulaze i niži dijelovi krošnja stabala >5 m;
- 0,5–2 m - sloj grmlja (npr. mirta, lemprika, tršlja, zelenika) i mladi urast glavnih i sporednih vrsta drveća;
- <0,5 m – „otvorene površine“ bez vegetacije ili s niskom, travnatom vegetacijom, korovskom vegetacijom, zeljastim biljkama, mladim biljkama glavnih vrsta drveća, kameni i stjenoviti dijelovi (rezultat već postojećeg stanja, tj. prije nepogode te rezultat radova na sjeći i izradi).

Nakon što je automatizirana klasifikacija provedena, njeni su rezultati vizualno evaluirani. Iz primjera na slici 21, vidljivo je kako je automatizirana klasifikacija uspješno obavljena. Drugim riječima klasifikacija vegetacije u visinske kategorije odgovara stvarnom stanju odnosno stvarnim visinama vegetacije (Slika 21). Eventualne pogreške su zanemarive, a u usporedbi s manualnom (vizualnom) klasifikacijom, automatizirana klasifikacija je neusporedivo brža te objektivnija.



Slika 21. Gore: DOF; Dolje: Rezultati automatizirane klasifikacije na manjem području.

Rezultati automatizirane klasifikacije šumskog pokrova po visinskim kategorijama prikazani su na slici 22 i u tablici 2. Ukupna površina PŠ Marjan obuhvaćena analizom iznosi 174,29 ha. Za manji dio površine PŠ Marjan nije provedena analiza (ceste, gospodarski objekti, odsjeci uređajnog razreda makije i neobraslo proizvodno tlo, te odjel 16 i dio odsjeka 11b gdje snimanje bespilotnom letjelicom nije bilo dozvoljeno ili nije uspješno izvedeno).



Visinske kategorije:

- [Dark Green] >5 m - odrasla stabla nadstojne etaže
- [Medium Green] 2–5 m - podstojna etaža glavnih i sporednih vrsta drveća, dijelovi krošnja stabala >5 m
- [Orange] 0,5–2 m - sloj grmlja i mladi urast glavnih i sporednih vrsta drveća
- [Red] <0,5 m - "otvorene površine" bez vegetacije ili s niskom vegetacijom

Slika 22. Rezultati automatizirane klasifikacije šumskog pokrova po visinskim kategorijama.

Tablica 2. Rezultati automatizirane klasifikacije šumskog pokrova po visinskim kategorijama.

Visinska kategorija	Opis	Površina (ha)	Udio u ukupnoj površini (%)
>5 m	odrasla stabla nadstojne etaže	78,04	45
2–5 m	podstojna etaža glavnih i sporednih vrsta drveća, dijelovi krošnja stabala >5 m	18,21	10
0,5–2 m	sloj grmlja i mladi urast glavnih i sporednih vrsta drveća	23,58	14
<0,5 m	„otvorene površine“ bez vegetacije ili s niskom vegetacijom	54,47	31
Ukupno		174,29	100

Na temelju dobivenih i prikazanih rezultata proizlaze sljedeći zaključci:

- » Prije svega, prilikom analiziranja podataka treba imati na umu da u visinsku kategoriju <0,5 m ulaze i kamenite i stjenovite površine koje su takve bile i prije spomenutih nepogoda, te nisu rezultat nedavnih sječa potkornjakom zaraženih stabala.
- » Generalno, a s obzirom na nedavne događaje (napad potkornjaka, sječa zaraženih, suhih i bolesnih stabala), pokrovost vegetacijom s visinskim kategorijama >5m (45%) te >2m (55%) je gledajući čitavu površinu PŠ Marjan zadovoljavajuća.
- » Međutim, struktura pokrovnosti je neujednačena, tj. ističu se veće ili manje površine koje imaju znatno manji udio „visoke“ (>5m) i „srednje visoke“ (2-5m) vegetacije, a znatno veći udio „niske“ vegetacije (grmlja, 0,5-2m) i „otvorenih“ površina bez vegetacije ili s niskom, travnatom vegetacijom (<0,5m).
- » Zabrinjavajuća je mala pokrovost kategorijom „srednje visoke“ vegetacije (2-5m=10%) koja bi u bliskoj budućnosti trebala preuzeti ulogu visoke vegetacije (nadstojne etaže); u velikoj mjeri u tu kategoriju ulaze i niži dijelovi krošanja stabala visinske kategorije >5 m.

U sljedećim koracima istraživanja detaljnije su analizirane pojedine visinske kategorije vegetacije.

7.2. Detekcija nastalih promjena u sastojinskom sklopu

U ovom dijelu istraživanja, naglasak je prvenstveno na površinama s vegetacijom u visinskoj kategoriji <0,5 m, ali su dodatno analizirane i površine s vegetacijom u visinskoj kategoriji 0,5-2 m.

Kao što je već napomenuto, za površine s vegetacijom u visinskoj kategoriji <0,5 m koristi se termin „otvorene površine“. To su površine bez vegetacije ili s niskom, travnatom vegetacijom, korovskom vegetacijom, zeljastim biljkama, tek mladim biljkama glavnih vrsta drveća. U visinsku kategoriju <0,5 m ulaze i kamenite i stjenovite površine koje su takve bile i prije spomenutih nepogoda, te nisu rezultat nedavnih sječa zaraženih stabala potkornjakom. Dakle, „otvorene površine“ dijelom su rezultat već postojećeg stanja, a dijelom su nastale kao posljedica sječa u 2019. g.

Površine s vegetacijom u visinskoj kategoriji od 0,5-2 m čini sloj grmlja (npr. mirta, lemprika, tršlja, zelenika), mlađi urast glavnih i sporednih vrsta drveća, ali i korovska vegetacija, te invazivne vrste poput pajasena. Stoga su i te površine dodatno analizirane.

Obje visinske kategorije bile su predmet detaljnije GIS analize, i to na način da su sve površine manje od 0,02 ha isključene iz visinske kategorije. Primjerice, površina manja od 0,02 ha i ne čini dio neke veće suvisle površine predstavlja uglavnom prostor između stabala za koji se ne može reći da je nastao sječom odraslog stabla. Prema tome, u spomenutim visinskim kategorijama ostavljene su samo suvisle površine (cjeline) veće od 0,02 ha.

Ukupna površina promatranog dijela PŠ Marjan s visinskom kategorijom <0,5 m bez isključivanja malih površina (<0,02 ha) iznosi 54,47 ha ili 31% promatrane površine (174,29 ha). Kada se isključe male površine, ukupna površina s visinskom kategorijom <0,5 m iznosi 41,04 ha ili 23,5% promatrane površine (174,29 ha) (Slika 23). Ukupna površina visinskih kategorija <0,5 m i 0,5-2 m bez malih površina (<0,02 ha) iznosi 46,36 ha ili 26,6% promatrane površine (174,29 ha) (Slika 24). Ponavljamo, u navedene površine uključene su i kamenite i stjenovite površine.

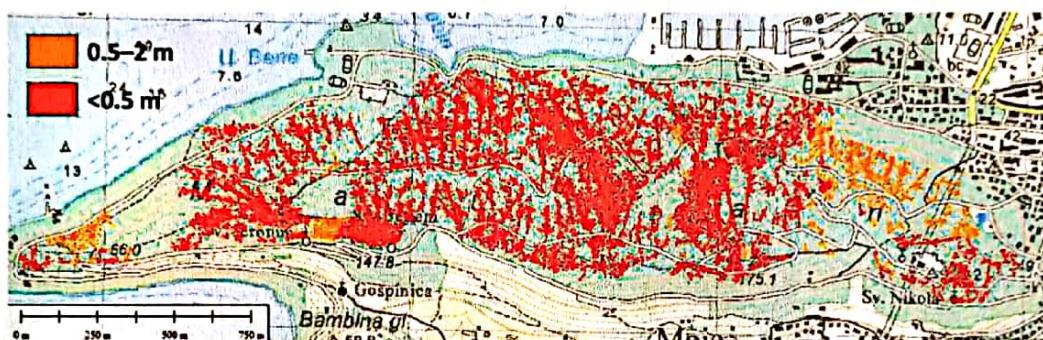
Tablica 3. Udio „otvorenih površina“ i niske vegetacije (sloja grmlja, korovske vegetacije u ukupnoj promatranoj površini PŠ Marjan.

Visinska kategorija	Površina (ha)	Udio u ukupnoj promatranoj površini od 174,29 ha (%)
„otvorene površine“ (<0,5 m)	54,47	31,3
„otvorene površine“ (<0,5 m) bez površina manjih od <0,02 ha	41,04	23,5
„otvorene površine“ (<0,5 m) i sloj grmlja (0,5-2 m) bez površina manjih od <0,02	46,36	26,6

SMJERNICE: u narednom razdoblju, prikazane površine (Tablica 3, Slika 23 i 24) (ukoliko neće biti obuhvaćene planom hitne sanacije – sljedeći korak istraživanja) trebalo bi pojačano nadzirati i eventualno poduzimati zahvate njege poput uklanjanja korovske vegetacije i invazivnih vrsta (npr. pajasen) kako bi se potpomogao razvoj već postojeće mlade autohtone vegetacije.



Slika 23. „Otvorene površine“ ($<0,5\text{ m}$) bez površina manjih od $<0,02\text{ ha}$.



Slika 24. „Otvorene površine“ ($<0,5\text{ m}$) i sloj grmlja (0,5–2 m) bez površina manjih od $<0,02\text{ ha}$.

7.3. Detekcija 'žarišnih' područja koja zahtijevaju hitnu sanaciju

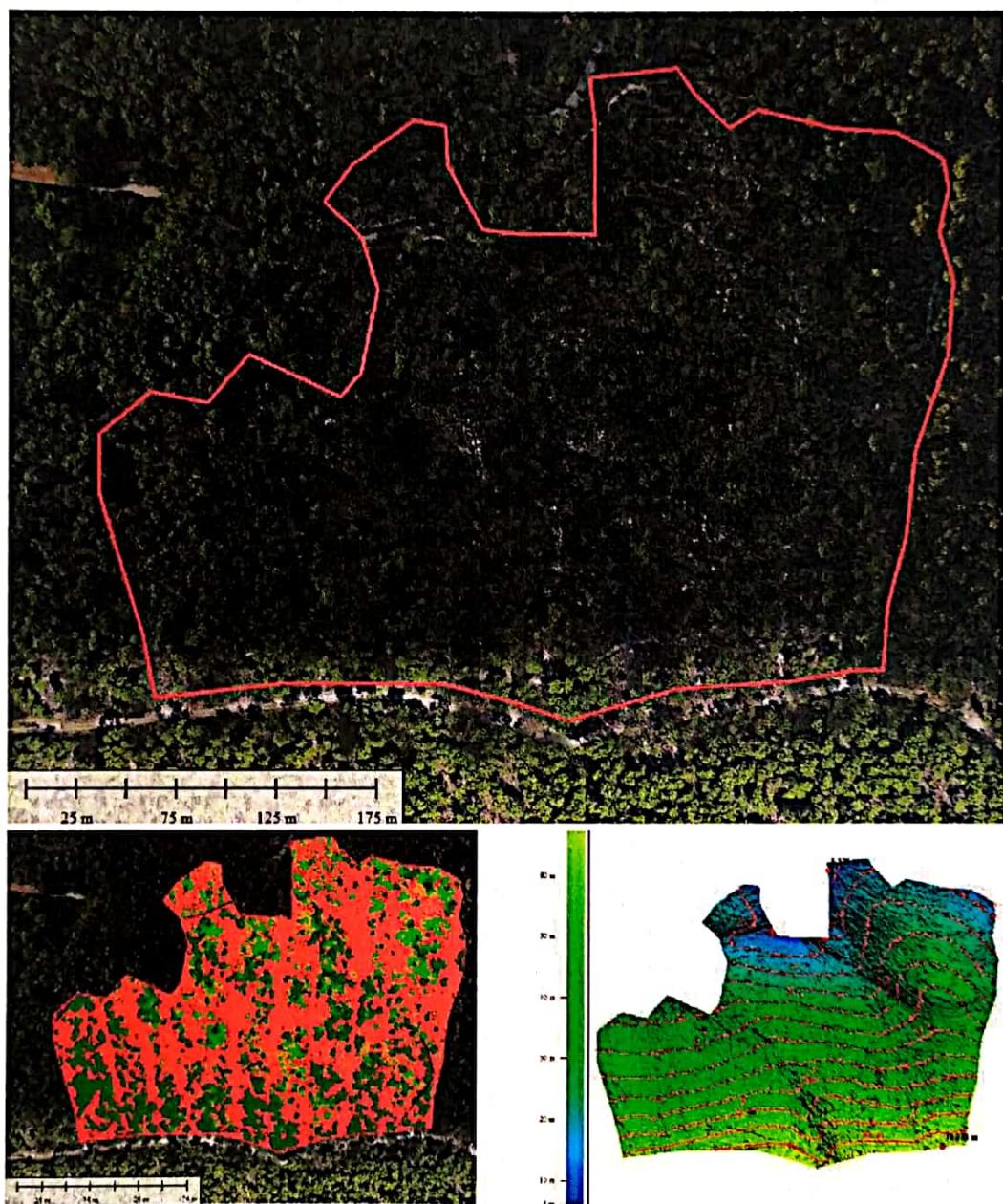
Detekcija 'žarišnih' područja koja zahtijevaju hitnu sanaciju provedena je korištenjem prethodno prikazanih materijala (klasificirane površine, DMV, DOF). Vizualnom interpretacijom spomenutih proizvoda manualno su izdvojene 4 potencijalne površine za hitnu sanaciju (Slika 25).



Slika 25. Potencijalne 'žarišne' površine za hitnu sanaciju.

Svaka izdvojena površina detaljno je analizirana korištenjem DOF, rezultata, klasificiranih visinskih kategorija, DMR-a (Slike 26-29), te je za svaku potencijalnu površinu izračunat i analiziran udio pojedine visinske kategorije (Tablica 4).

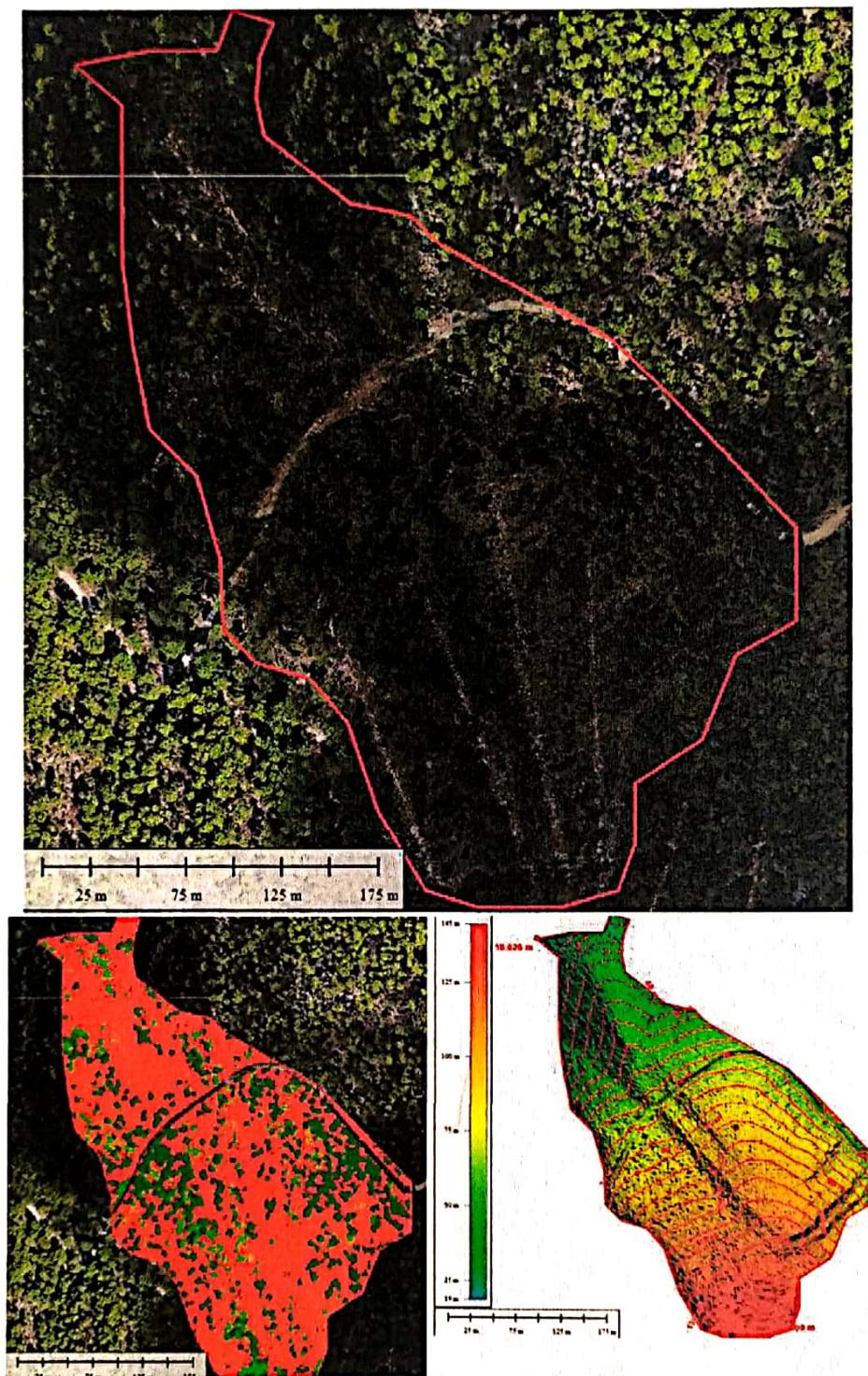
P-1 = 9,54 ha



Slika 26. Potencijalna 'žarišna' površina za hitnu sanaciju: P-1 = 9,54 ha.

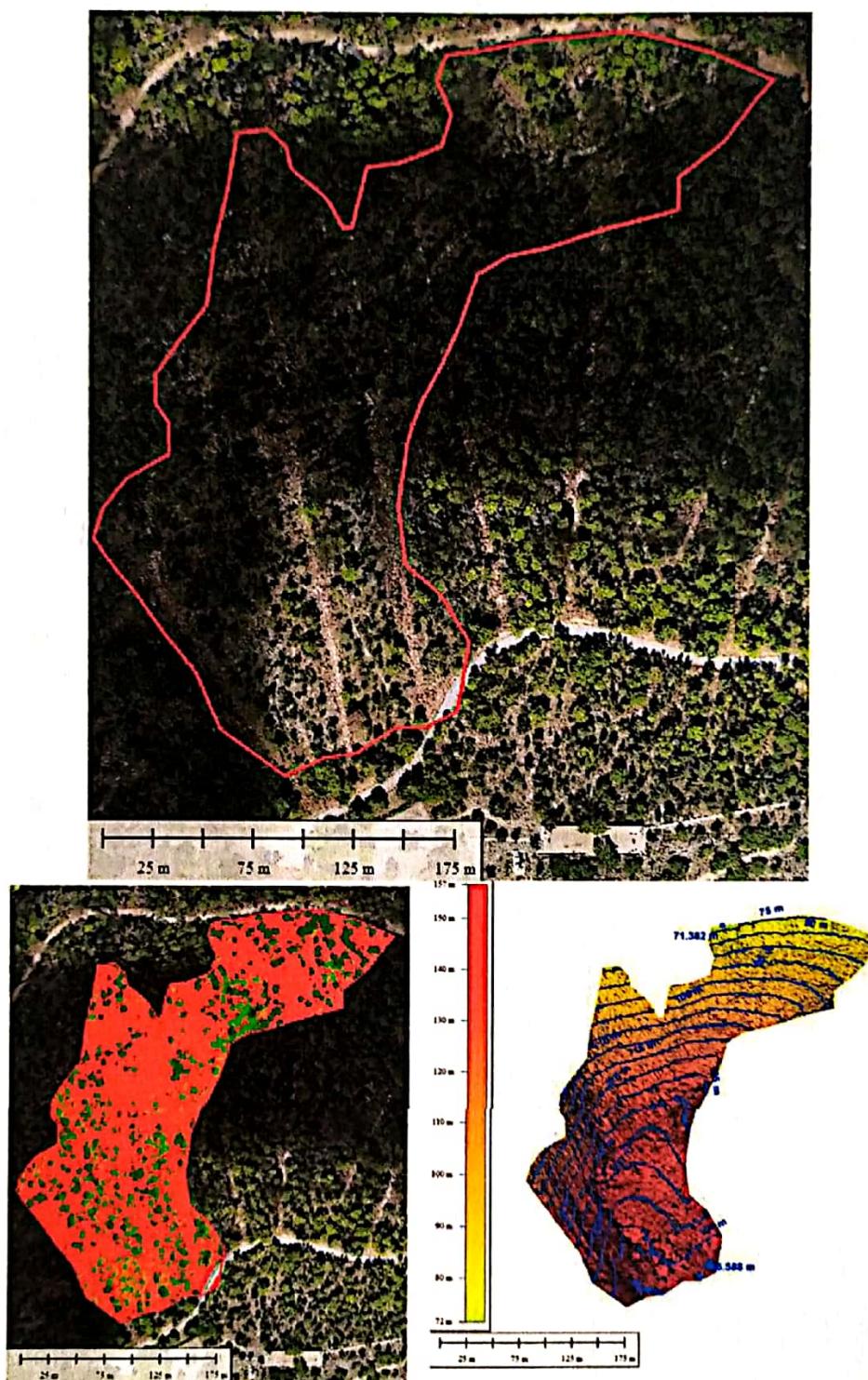


P-2 = 8,63 ha



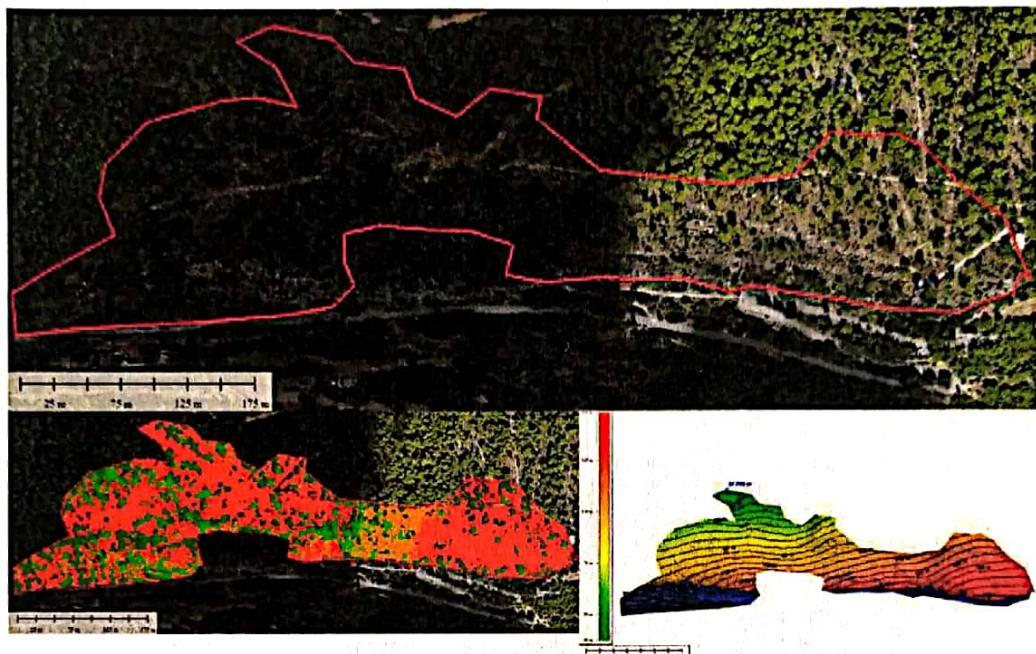
Slika 27. Potencijalna 'žarišna' površina za hitnu sanaciju: P-2 = 8,63 ha.

P-3 = 5,15 ha



Slika 28. Potencijalna 'žarišna' površina za hitnu sanaciju: P-3 = 5,15 ha.

P-4 = 8,23 ha



Slika 29. Potencijalna 'žarišna' površina za hitnu sanaciju: P-4 = 8,23 ha.

Tablica 4. Površine pojedinih visinskih kategorija i njihovi postotni udjeli iskazani za cijelo promatrano područje PŠ Marjan i svaku izdvojenu potencijalnu 'žarišnu' površinu za hitnu sanaciju.

Visinska kategorija (m)	Površine (ha) i postotni udjeli (%)									
	PŠ Marjan		Područje 1 (P-1)		Područje 2 (P-2)		Područje 3 (P-3)		Područje 4 (P-4)	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
>5	78,0	45	2,4	26	1,7	20	0,6	12	1,4	17
2–5	18,2	10	1,0	10	0,5	5	0,4	7	1,0	12
0,5–2	23,6	14	1,2	13	0,7	9	0,6	12	1,4	17
<0,5	54,5	31	4,9	51	5,7	66	3,5	69	4,4	54
Ukupno	174,3	100	9,5	100	8,6	100	5,1	100	8,2	100

Iz prikazanih rezultata (Slike 25-29, Tablica 4) vidljivo je da izdvojene površine P-2 i P-3 imaju najveće udjele „otvorenih površina“ tj. površina u visinskoj kategoriji $<0,5$. Također, u usporedbi s udjelom „otvorenih površina“ za čitavo područje PŠ Marjan (31%), udio „otvorenih površina“ za P-2 i P-3 je više nego dvostruko veći (66% i 69%). Nadalje, vidljiv je i znatno manji udio visinske kategorije $>5m$ (odrasla stabla nadstojne etaže) na tim površinama nego što je to prosjek za čitavo područje PŠ Marjan. Takvi rezultati su i razumljivi jer je upravo na površinama P-2 i P-3 obavljena najintenzivnija sanitarna sječa tijekom 2019. g.

Stoga se površine P-2 i P-3 predlažu kao prioritetne površine za hitnu sanaciju (obnova, popunjavanje i njege) (Slika 30).

Ukupna površina P-2 i P-3 iznosi 13,78 ha što čini 7,9% promatrane površine PŠ Marjan. Ukupna površina visinske kategorije <0.5 m („otvorene površine“) za P-1 i P-2 iznosi 9,25 ha (5,3% promatrane površine PŠ Marjan). Ukupna površina visinskih kategorija $<0,5$ m i $2-5$ m za P-1 i P-2 iznosi 10,59 ha (6,1% promatrane površine PŠ Marjan). Navedena površina (10,59 ha) predstavlja potencijalnu površinu na kojoj treba obaviti sanaciju. **Prije same sanacije, potrebno je obaviti detaljan terenski obilazak navedenih površina i izraditi elaborat sanacije** kako bi se utvrdilo trenutno stanje (postojanje mladih biljaka glavnih vrsta drveća i autohtone vegetacije, udio korovske vegetacije, udio kamenitih dijelova nepogodnih za sadnju, itd.), definirao broj i vrste biljaka pogodne za sadnju.



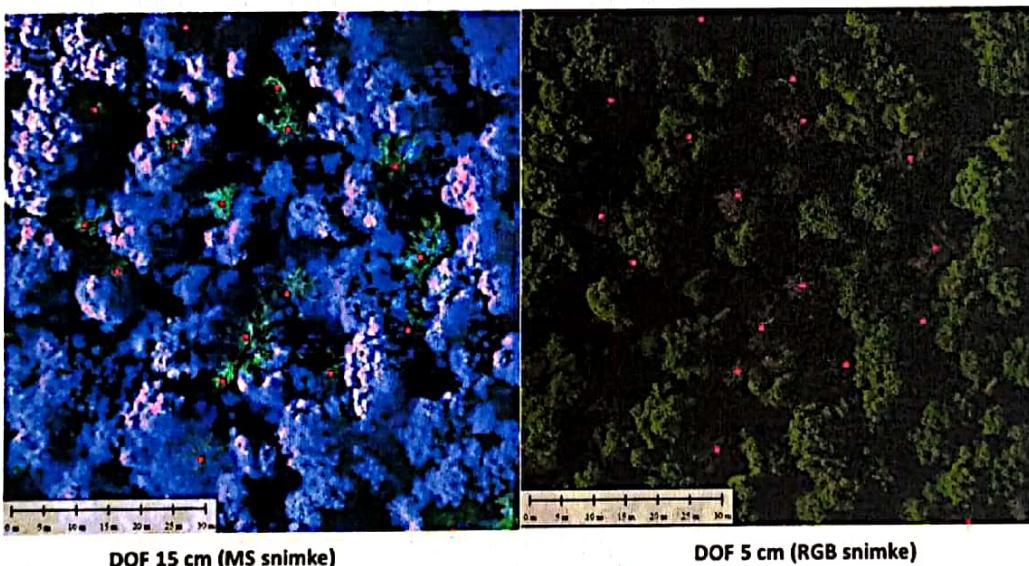
Slika 30. Potencijalne 'žarišne' površine za hitnu sanaciju i izdvojene površine P-2 i P-3 koje se predlažu kao prioritetne (žuti okvir).

7.4. Detekcija suhih stabala i uvid u stanje vegetacije

Detekcija suhih stabala

Detekcija suhih stabala provedena je vizualnom interpretacijom na DOF izrađenom iz MS snimaka, korištenjem kolorkompozita sastavljenog od bliskog infracrvenog (IC) i drugih spektralnih kanala (zeleni, crveni, rubni crveni). Za manje područje PŠ Marjan koje je bilo nepokriveno MS snimkama (zbog tehničkih smetnji tijekom snimanja) prilikom vizualne interpretacije korišten je DOF izrađen iz RGB snimaka.

Infracrveni (IC) spektralni kanal čini dio spektra nevidljiv ljudskom oku, ali ga je moguće zabilježiti multispektralnim kamerama poput kamere Sequoia+ korištene u ovom istraživanju. Zdrava vegetacija, točnije klorofil u lisnoj masi reflektira veću količinu IC i zelenog zračenja, a apsorbira crveno i plavo zračenje. Zato ljudsko oko vegetaciju vidi u zelenoj boji. Stabla narušenog zdravstvenog stanja reflektiraju manju količinu IC zračenja. Stoga su razlike između zdrave i 'bolesne' vegetacije lakše uočljive na MS snimkama korištenjem IC kanala nego na klasičnim RGB snimkama (Slika 31).



Slika 31. Detekcija suhih stabala i stabala s manjkom klorofila. Usporedba 'razlučivosti' suhih stabala na DOF-u izrađenom iz MS snimaka (lijevo), i DOF-u izrađenom iz RGB snimka (desno).

Vizualnom interpretacijom na DOF izrađenom iz MS (i u manjoj mjeri na DOF-u izrađenom iz RGB) snimaka ukupno je detektirano 491 suho stablo (i stablo s manjkom

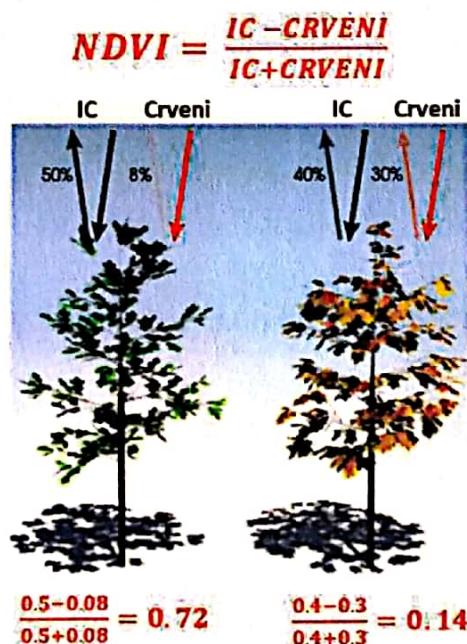
klorofila). Svako stablo je precizno prostorno definirano (Slika 32), što značajno olakšava terenski rad i uklanjanje stabala sanitarnom sjećom.



Slika 32. Prostorni raspored vizualnom interpretacijom detektiranih suhih stabala.

Uvid u stanje vegetacije

Kako bi se dobio uvid u stanje vegetacije na području PŠ Marjan, iz MS snimaka izračunat je i NDVI indeks (engl. *Normalized Difference Vegetation Index*) (Slika 33).

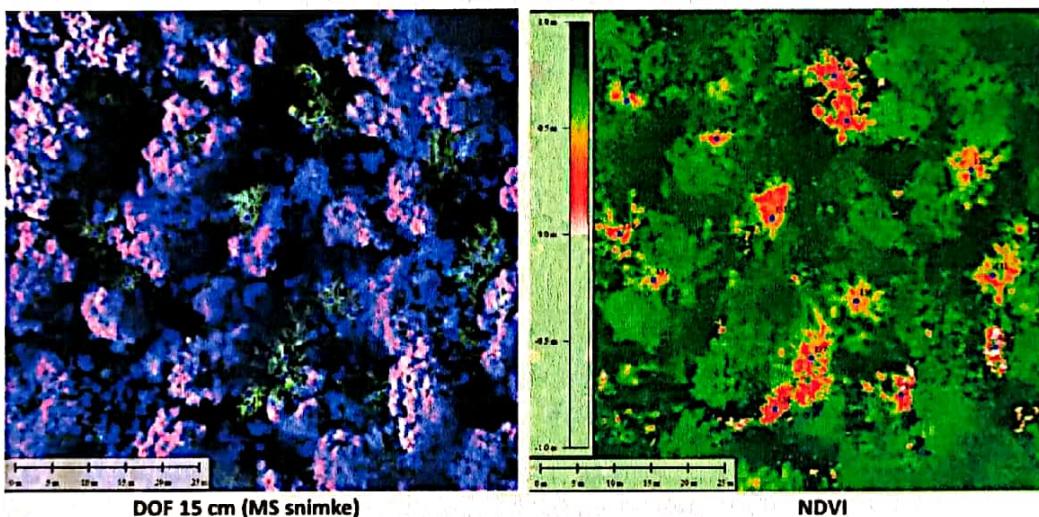


Izvor: NASA

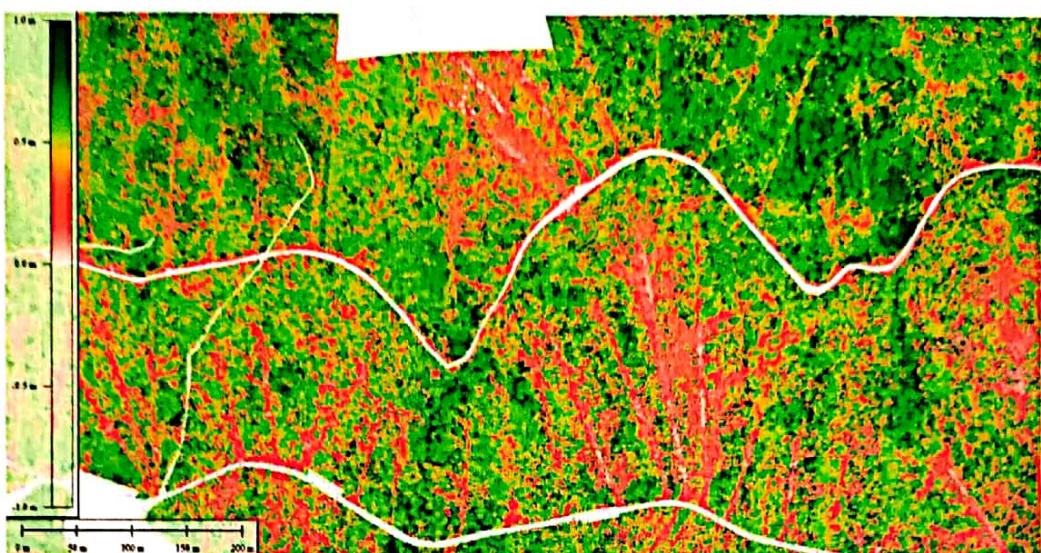
Slika 33. NDVI indeks (formula za izračun i primjer izračuna za zdravo stablo i stablo narušenog zdravstvenog stanja).

NDVI indeks označava odnos između kanala u crvenom i infracrvenom dijelu spektra (osjetljiv je na sadržaj klorofila lisnoj masi i količini lisne mase). Vrijednosti NDVI indeksa kreću se od -1 do 1. Primjerice, zdrava vegetacija (klorofil) reflektira veću količinu IC zračenja, a apsorbira crveni kanal što rezultira s višim NDVI iznosima (\approx iznad 0,4). S druge strane, suha stabla reflektiraju manju količinu IC zračenja, a veću količinu zračenja crvenog kanala što rezultira s višim NDVI iznosima (\approx ispod 0,4). Međutim, granice između zdravih i stabala narušenog zdravstvenog stanja nisu jasno definirane (ovise o nizu faktora te o vrsti drveća). Tlo i područje bez vegetacije daju NDVI iznose oko 0 (\approx 0-0,2), kao i vodene površine ($<0,1$).

Izračunati NDVI indeks korišten je kao dodatna informacija kod detekcije suhih stabala (potvrda detekciji) (Slika 34), ali prvenstveno za uvid u stanje vegetacije na području PŠ Marjan (Slika 35).

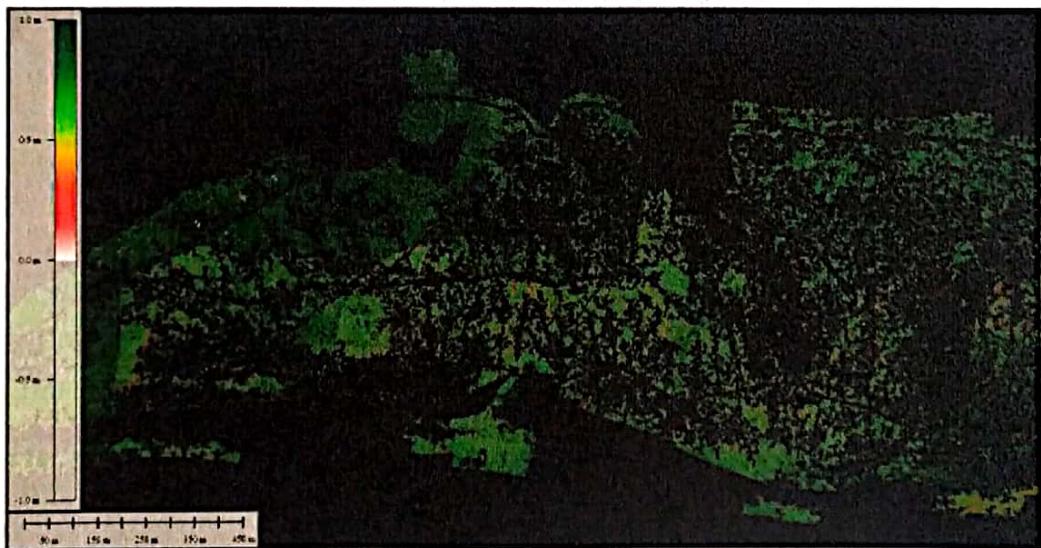


Slika 34. Detekcija suhih stabala i stabala s manjom klorofilom. Lijevo: DOF izrađenom iz MS snimaka, Desno: NDVI indeks koji potvrđuje valjanost vizualne interpretacije.



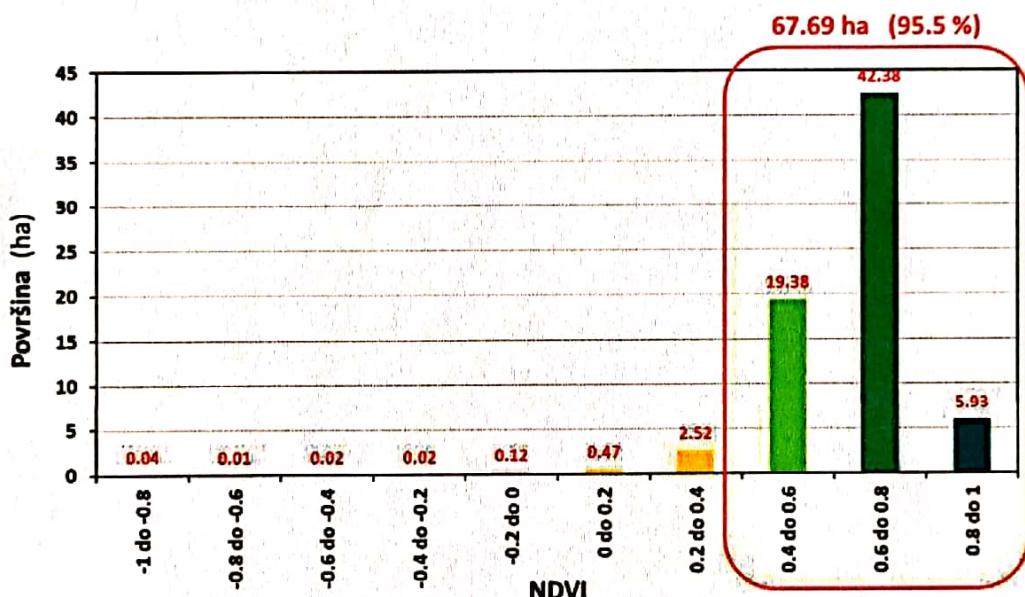
Slika 35. NDVI indeks koristen za uvid u stanje vegetacije na području PŠ Marjan.

Da bi se dobio uvid u stanje vegetacije na području PŠ Marjan, i to prvenstveno odraslih stabala nadstojne etaže, odabrana su samo područja s visinskom kategorijom vegetacije >5 m, dok je ostali dio PŠ Marjan bio isključen (zamaskiran) iz analize (Slika 36). Analizom je obuhvaćena površina od 70,9 ha od ukupno 78,0 ha klasificirano kao visinska kategorija >5 m. Naime, zbog tehničkih smetnji tijekom snimanja MS snimke za pojedine dijelove PŠ Marjan nisu bile uporabljive.



Slika 36. NDVI indeks izračunat za područja s vegetacijom klasificiranom u visinsku kategoriju >5 m.

Rezultati NDVI indeksa za promatrano područje (70,9 ha) prikazani su na slici 37. Iz grafikona je vidljivo da 67,69 ha ili 95,5% promatrane površine ima NDVI indeks iznad 0,4. Stoga možemo zaključiti da je 95,5% površine pokriveno krošnjama odraslih stabala u vrijeme snimanja (kolovoz 2019. g.) bilo zadovoljavajućeg zdravstvenog stanja. Ostatak površine, točnije 4,5% promatrane površine pokriven je krošnjama suhih stabala (Slika 34). Dobiveni rezultati ukazuju na uspješnost provedenih zahvata sanitарне sječe tijekom 2019. g. Nakon provedene sanitарne sječe nije ostavljen velik broj stabala koji bi bili izvorom zaraze potkornjaka te se može reći da su uklonjena više manje sva fiziološki slaba stabla koja su uobičajena meta potkornjaka. Međutim, s obzirom na trajnu prisutnost i opasnost od gradacije potkornjaka i dalje treba pratiti njegovu dinamiku.

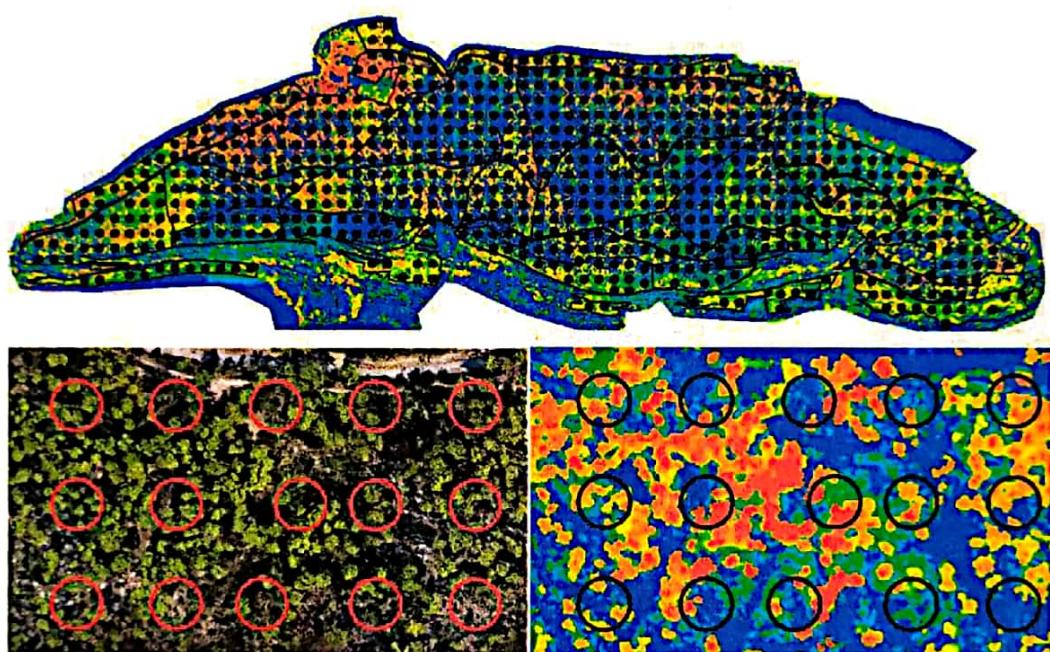


Slika 36. NDVI indeks izračunat za područja (70,9 ha) s vegetacijom klasificiranim u visinsku kategoriju >5m.

7.5. Procjena broja stabala

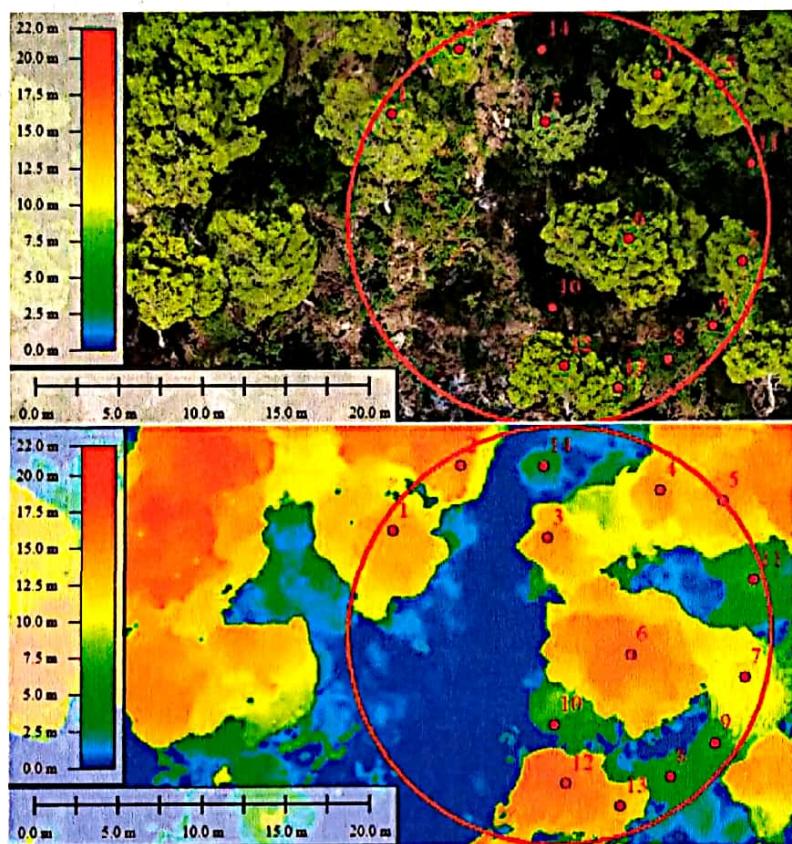
Procjena broja stabala na području PŠ Marjan provedena je vizualnom interpretacijom (manualna fotogrametrijska izmjera) korištenjem DOF-a izrađenog iz RGB snimaka prostorne rezolucije 5 cm i DMV. Zbog izrazito heterogene strukture vegetacije (naročito nakon sječa) preko cijelog područja PŠ Marjan postavljen je gusti uzorak (mreža 50 × 50 m) velikog broja

primjernih ploha. Na 35 odsjeka ukupne površine 174,29 ha postavljeno je 686 primjernih ploha polumjera 15 m (Slika 37). Ukupna površina primjernih ploha iznosila je 34,32 ha što čini intenzitet uzorkovanja od 19,69%. Procjena broja stabala nije provedena na manjem dijelu površine (odjel 16 - neuspjelo snimanje, odsjeci UR makije i neobraslo proizvodno tlo) zbog već navedenih razloga. Tim za procjenu broja stabala sastojao se od 2 doktora znanosti i 2 inženjera. Prije same procjene, članovi tima odradili su pripremu (međusobno usklađivanje) na 47 zajedničkih ploha. Po završetku izmjere, provedena je neovisna kontrola izmjere, od strane doktora znanosti koji nije bio član tima.



Slika 37. Pravilni uzorak (mreža 50×50 m) primjernih ploha postavljen na području PŠ Marjan (gore) na kojem je provedena procjena broja stabala vizualnom interpretacijom korištenjem DOF (dolje lijevo) i DMV (dolje desno).

Tijekom vizualne interpretacije (manualne fotogrametrijske izmjere) vrh svakog stabla na plohi (iznad 2 m visine) zabilježen je točkastim objektom (Slika 38). Na taj način svakom stablu je zabilježena njegova pozicija (x, y, koordinate), a naknadno je iz DMV dobivena i visina stabla.



Slika 38. Primjer procjene stabala na jednoj plohi. Gore: DOF, Dolje: DMV.

Nakon fotogrametrijske procjene broja stabala, vektorski podaci (točkasti objekti) s točno definiranim prostornim koordinatama (x, y , visine stabala) su eksportirani i kreirana je baza podataka koja je korištena za daljnje analize. Svakom izmjerrenom stablu pridodani su dodatni atributi (npr. broj plohe, ime odsjeka). Podaci su potom grupirani po visinskim kategorijama, plohama i odsjecima.

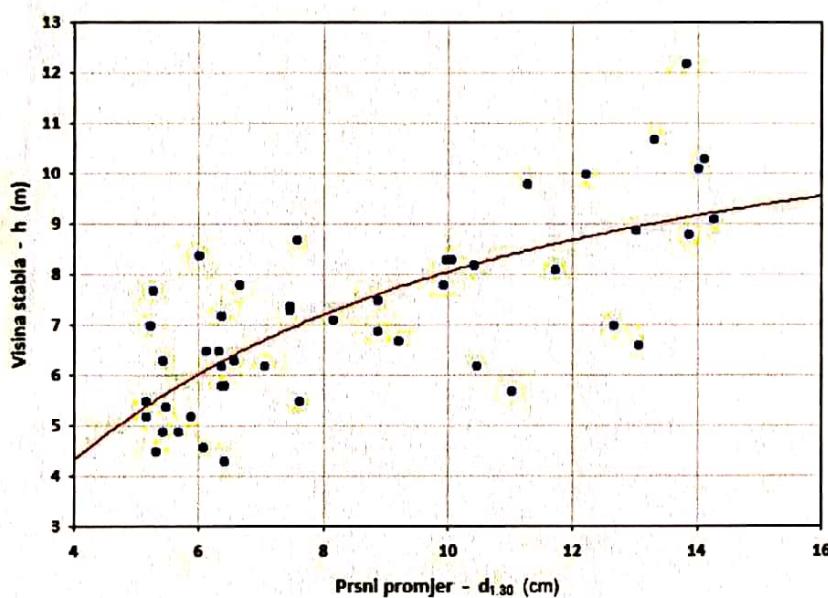
Budući da je fotogrametrijskom izmjerom iz snimaka bespilotnih letjelica moguće direktno procijeniti visinu stabla, ali ne i prsni promjer, provedena je dodatna terenska izmjera prsnih promjera i visina stabala. Cilj terenske izmjere bio je prikupiti podatke za izradu visinske krivulje iz koje je potom izračunata visina stabla koja odgovara prsnom promjeru od 10 cm. Naime, prsni promjer stabala od 10 cm predstavlja taksacijsku granicu iznad koje se u Osnovama i Programima gospodarenja iskazuju podaci po odsjecima (Pravilnik o uređivanju šuma). Stoga je i u ovom slučaju, taksacijska granica od 10 cm korištena za iskaz procijenjenog broja stabala. Terenska izmjera obuhvatila je ukupno 49

stabala s rasponom prsnog promjera od 5 cm do 15 cm. Uzorak stabala bio je raspoređen po čitavoj površini PŠ Marjan. Visinska krivulja Izjednačena je pomoću Mihajloviće funkcije koja se u hrvatskoj šumarskoj praksi najčešće koristi za procjenu ovisnosti visine o prsnom promjeru:

$$h = b_0 \cdot e^{-\frac{b_1}{d}} + 1.30$$

gdje je h visina stabla, b_0 i b_1 parametri procijenjeni metodom najmanjih kvadrata, e baza prirodnog logaritma, d prjni promjer stabla.

Izjednačenje visinske krivulje provedeno je u statističkom programu STATISTICA 11. Slika 39 daje grafički prikaz izjednačenja visinske krivulje.



Slika 39. Izjednačena visinska krivulja (crvena linija) na temelju uzorka od 49 izmjerениh stabla na terenu.

Izjednačeni model visinske krivulje s koeficijentom korelacije $r=0,72$, kao i parametri modela bili su statistički značajni ($p<0,05$):

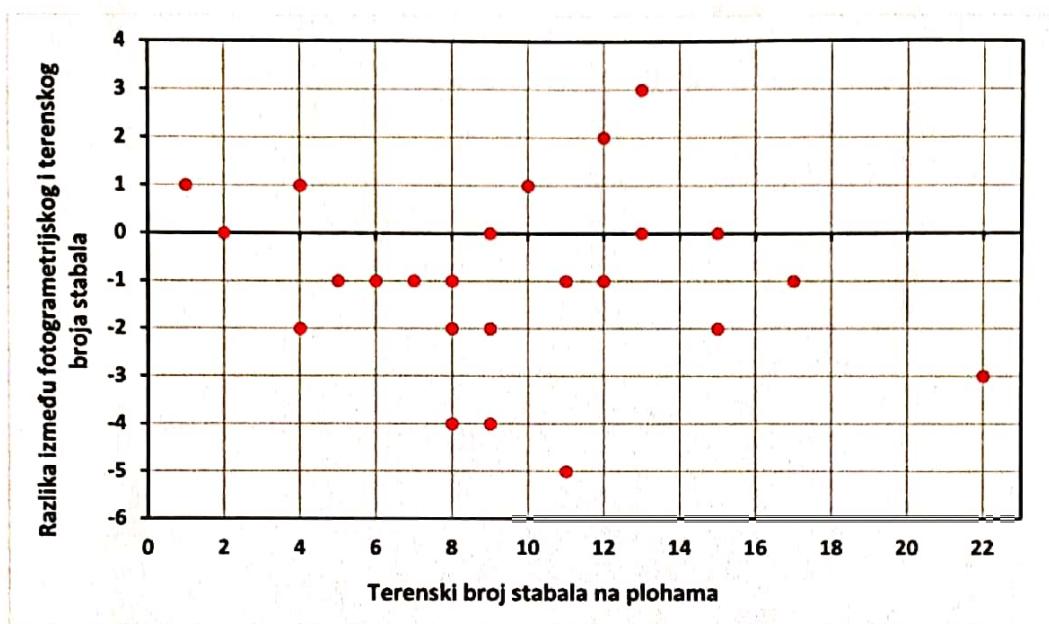
$$h = 11,53 \cdot e^{-\frac{5,35}{d}} + 1,30$$

Na temelju izjednačenog modela visinske krivulje izračunata je visina stabala od 8,06 m koja odgovara prnom promjeru od 10 cm. Stoga je u daljnjoj analizi procjene broja stabala naglasak stavljen na stabla s visinom iznad 8 m.

Također, provedena je i kontrolna terenska izmjera broja stabala na odabranim plohami. Usporedbom fotogrametrijski i terenski procijenjenog broja stabla provedena je validacija točnosti fotogrametrijske procjene broja stabala te korekcija procijenjenog broja stabala. Terenska izmjera broja stabala provedena je na uzorku od 26 ploha. Rezultati usporedbe prikazani su u tablici 5 i na slici 40.

Tablica 5. Rezultati kontrolne terenske izmjere broja stabala i fotogrametrijske procjene broja stabala ($h > 8$ m; stabla iznad 8 m visine) na uzorku od 26 ploha.

Ploha	FOT	TER	Razlika (FOT - TER)
AC_27	13	15	-2
AC_34	19	22	-3
AD_25	4	8	-4
AD_41	11	10	1
AD_42	2	1	1
AD_44	4	5	-1
AE_45	6	8	-2
AE_49	6	7	-1
AE_50	10	11	-1
AE_51	5	6	-1
AF_53	7	9	-2
AF_54	13	13	0
AF_55	16	17	-1
AI_15	7	8	-1
AJ_33	9	9	0
AJ_39	2	4	-2
AJ_55	14	12	2
AK_17	13	15	-2
AK_24	16	13	3
AK_32	5	4	1
AM_21	15	15	0
AM_25	2	2	0
AM_26	2	4	-2
AN_26	5	9	-4
AN_27	11	12	-1
AN_57	6	11	-5
UKUPNO	206	227	-21



Slika 40. Razlika između fotogrametrijski procijenjenog i terenski izmjereno broja stabala (y os) u odnosu na terenski izmjereno broj stabala.

Na temelju dobivenih i prikazanih rezultata vidljivo je da fotogrametrijska procjena broja stabala uglavnom podcjenjuje stvarni (terenski) broj stabala, što je i bilo očekivano. Ukoliko gledajući, fotogrametrijski procijenjen broj stabala na 26 kontrolnih ploha iznosio je 206, dok je na istim ploham terenski izmjereno 227 stabala. Prema tome, iz utvrđene razlike od 21 stabla proizlazi da se fotogrametrijskom procjenom podcjenjuje stvarni broj stabala za 9%. Na najvećem broju ploha radi se o podcenjivanja do maksimalno 2 stabla, dok je samo na 4 kontrolne plohe uočeno veće podcenjivanje (do maksimalno 5 stabala). Također, do podcenjivanja dolazi uglavnom na ploham s brojem stabala od 4 pa naviše. Ukoliko se usporede samo plohe s brojem stabala većim od 4, tada srednja pogreška fotogrametrijske procjene iznosi -1,3, a medijan odstupanja -1. Slijedom toga, korekcija fotogrametrijske procjene napravljena je na način da je na svim ploham za koje je fotogrametrijski procijenjen broj stabala veći od 4, na ukupan broj stabala dodano je jedno stablo. Za plohe na kojima je fotogrametrijski procijenjeno 3 stabla, korekcija je napravljena na svakoj drugoj plohi. Za plohe na kojima je fotogrametrijski procijenjeno 1 ili 2 stabla, korekcija nije provedena. Pojednostavljeni tablični prikaz obračuna fotogrametrijski procijenjenog broja stabala te rezultati prikazani su u Tablici 6.

Tablica 6. Rezultati fotogrametrijski procijenjenog (i korigiranog) broja stabala po odsjecima i ukupno (pojednostavljeni tablični prikaz obračuna).

Odsjek	P (ha)	N ploha	I (%)	Broj stabala								po ha (bez S)
				u uzorku		u odsjeku						
				Σ	Σ	>8 m	>8 m_K	Suho (S)	>8 m_K + S	>8 m_K		
1a	7,91	29	18	290	1581	1156	1281	67	1348	162		
1b	3,25	12	19	126	682	601	666	2	668	205		
1c	2,75	11	20	140	700	420	470	0	470	171		
2a	3,35	13	19	163	839	762	824	4	828	246		
2b	1,42	4	14	53	376	355	383	2	385	270		
3a	10,46	45	21	533	2476	2114	2314	34	2348	221		
3b	6,45	26	20	298	1478	1096	1220	43	1263	189		
3c	3,48	12	17	90	522	174	197	83	280	57		
4a	9,38	35	19	414	2218	1821	1955	29	1984	208		
4b	4,06	14	17	230	1333	916	997	0	997	246		
4c	3,04	14	23	86	373	169	195	1	196	64		
4d	0,73	3	21	46	224	126	136	0	136	187		
5a	14,59	59	20	679	3356	2150	2392	10	2402	164		
5b	3,00	12	20	182	909	784	859	1	860	286		
6a	4,60	18	20	198	1011	710	807	0	807	175		
7a	11,33	48	21	440	2076	1156	1345	2	1347	119		
7b	9,67	38	20	430	2187	1378	1531	42	1573	158		
8a	8,21	34	21	426	2056	1211	1327	0	1327	162		
8b	3,21	12	19	131	700	449	503	7	510	157		
9a	5,2	21	20	287	1420	881	970	23	993	187		
9b	4,11	16	19	228	1171	868	945	6	951	230		
9c	2,52	10	20	121	609	322	368	16	384	146		
10a	10,76	46	21	530	2478	1225	1407	82	1489	131		
10b	3,36	16	23	289	1213	617	688	1	689	205		
11a	13,42	38	21	392	2767	1772	2012	3	2015	150		
11b	2,62	9	17	106	617	483	535	1	536	204		
11c	1,89	7	19	101	545	318	356	1	357	188		
12a	6,64	28	21	323	1531	763	872	4	876	131		
12b	2,97	11	19	103	556	318	367	1	368	124		
12e	1,04	3	17	30	208	166	187	1	188	180		
13a	2,65	8	15	111	735	404	444	6	450	167		
14a	4,51	15	17	206	1238	937	1028	9	1037	228		
14c	2,44	9	18	133	721	520	564	9	573	231		
14e	0,29	2	17	37	107	104	110	0	110	380		
15a	0,8	8	13	149	298	230	246	1	247	307		
16a	5,73	PG								1788		
16b	1,99	PG								452		
16c	0,81	PG								189		
ΣΣ	184,64	686	20	8101	41309	27477	30499	491	33418	181		

Legenda tablice 6.

P (ha) - površina odsjeka u hektarima,

N ploha - broj fotogrametrijski procijenjenih (izmjerenih) ploha u odsjecima,

I (%) - intenzitet izmjere (procjene) po odsjecima,

Broj stabala

U uzorku

Σ - ukupan broj fotogrametrijski procijenjenih stabala u uzorku (na plohamu)

U odsjeku

Σ - fotogrametrijski procijenjen broj stabala preračunat na površinu odsjeka

>8 m - fotogrametrijski procijenjen broj stabala s visinom iznad 8 m preračunat na površinu odsjeka
>8 m_K - fotogrametrijski procijenjen i korigiran broj stabala s visinom iznad 8 m preračunat na površinu odsjeka

Suho (S) - fotogrametrijski detektiran broj suhih stabala po odsjecima

>8 m_K + S - ukupan broj stabala po odsjecima – zbroj fotogrametrijski procijenjenog (i korigiranog) broja stabala s visinom iznad 8 m i fotogrametrijski detektiranih suhih stabala

po ha (bez S)

>8 m_K - broj stabala po ha po odsjecima (bez suhih stabala)

PG - podatak iz Programa Gospodarenja (za tri odsjeka na kojima nije provedena fotogrametrijska izmjera)

Kao što je već navedeno i vidljivo iz Tablice 6, fotogrametrijska procjena broja stabala provedena je na uzorku od 686 ploha. Fotogrametrijska procjena broja stabala nije provedena u tri odsjeka ukupne površine 8,53 ha te je za te odsjeke korišten podatak o broju stabala iz Programa gospodarenja koji se trenutno nalazi u fazi prihvaćanja. U tim odsjecima tijekom 2019. g. nisu provedeni jači zahvati sječe pa je korištenje podataka iz Programa gospodarenja bilo prihvatljivo.

Na 686 ploha ukupno je detektirano (izbrojano) 8101 stablo. Kada se to preračuna na površinu 35 odsjeka, korištenjem snimaka bespilotne letjelice ukupno je detektirano 41309 stabala. Od toga 27477 ima visinu veću od 8 m, koja je određena kao taksacijska granica, tj. ona visina kod koje stablo ima prsnii promjer veći od 10 cm. Na temelju kontrolne terenske izmjere provedena je korekcija fotogrametrijskog broja stabala. Također, svakom odsjeku pridodan je i broj detektiranih suhih stabala. Nапослјетку, ukupnom broju stabala (fotogrametrijski procijenjenom i korigiranom) dodan je podatak o broju stabala iz Programa gospodarenja za tri odsjeka na kojima nije provedena fotogrametrijska procjena. Na temelju obrazloženog, za 38 odsjeka uređajnog razreda alepski bor ukupne površine 184,64 ha procijenjeno je 33418 stabala.

Naposljetu, potrebno je istaknuti da svaka procjena pa tako i fotogrametrijska za sobom povlači i određenu pogrešku. Prikazanom metodologijom pokušalo se pogreške procjene svesti na minimum. Naime, provedena je manualna (vizualna) interpretacija na velikom uzorku ploha i s visokim intezitetom izmjere, izrađene su visinske krivulje te provedena kontrolna terenska izmjera što je poslužilo za validaciju i korekciju fotogrametrijski procijenjenog broja stabala.

8. Zaključci

Na temelju provedenog istraživanja dobiveni su prostorno precizno određeni podaci o trenutnom stanju (kolovoz 2019. g.) vegetacije na području Park šume Marjan.

Dobiveni podaci korišteni su kao podloga za izradu Akcijskog plana i predstavljaju temelj za uspostavu daljnog monitoringa (terenskim metodama i metodama daljinskih istraživanja) i donošenje pravovremenih stručnih aktivnosti na području Park šume Marjan.

9. Projektni tim

- Voditelj: dr.sc. **Ivan Balenović** (ivanb@sumins.hr)
- Koordinacija: dr.sc. Ivan Balenović; doc.dr.sc. **Sanja Perić**; dr.sc. **Jasnica Medak**; dr.sc. **Ivan Pilaš**
- Fotogrametrijsko procesiranje: **Luka Jurjević**, mag. ing. geod. et geoinf.; dr.sc. Ivan Balenović
- GIS procesiranje: dr.sc. Ivan Balenović; **Danijela Ivanković**, dipl. ing. šum.; Luka Jurjević, mag. ing. geod. et geoinf.
- Procjena broja stabala i suhih stabala: dr.sc. **Elvis Paladinić**; dr.sc. **Maša Zorana Ostrogović Sever**; **Goran Tijan**, mag. ing. silv.; Luka Jurjević, mag. ing. geod. et geoinf.; dr.sc. **Krunoslav Indir**; Danijela Ivanković, dipl. ing. šum.; dr.sc. Ivan Balenović
- Terenski rad: Luka Jurjević, mag. ing. geod. et geoinf.; Goran Tijan, mag. ing. silv.; dr.sc. Ivan Balenović
- Analiza i interpretacija podataka: dr.sc. Ivan Balenović; dr.sc. Krunoslav Indir; Luka Jurjević, mag. ing. geod. et geoinf.; dr.sc. **Martina Đodan**; dr.sc. **Milan Pernek**
- Izrada izvješća: dr.sc. Ivan Balenović; dr.sc. Krunoslav Indir; Luka Jurjević, mag. ing. geod. et geoinf.

Izradio:

Ravnateljica
Hrvatskog šumarskog instituta

Dr. sc. Ivan Balenović,
ovlašteni inženjer šumarstva

Doc. dr. sc. Sanja Perić

Jastrebarsko, 10. 12. 2019. g.