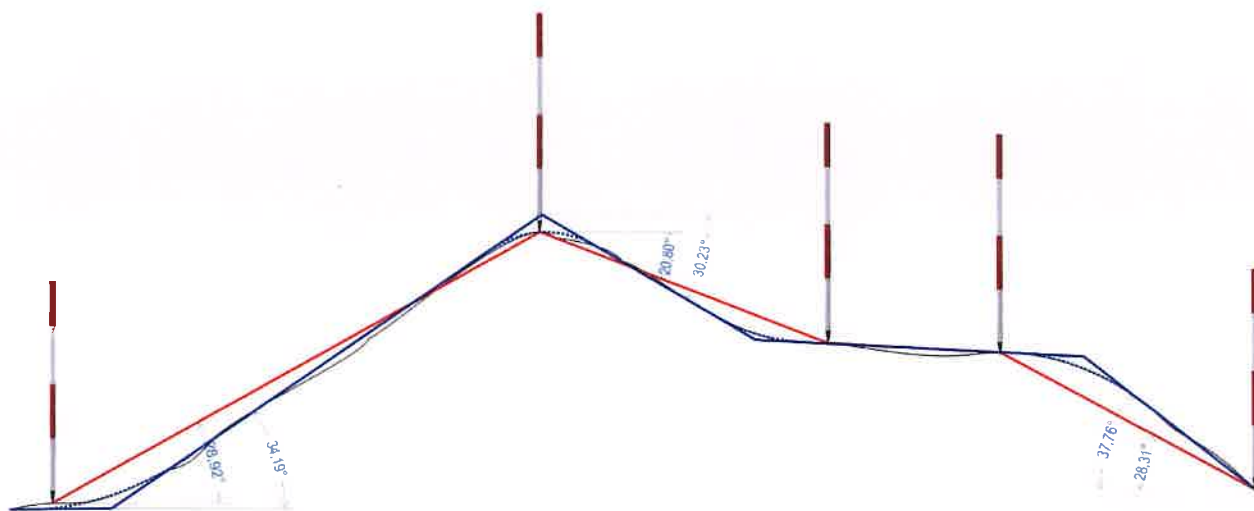


## IZVJEŠĆE O NOVOJ METODI PRAVILNOG ODREĐIVANJA UZDUŽNOG PROFILA ŠUMSKE PROMETNICE UZ UPOTREBU GNSS UREĐAJA

Trenutna izmjera terenskih podataka o konfiguraciji terena na šumskom zemljištu otežana je prvenstveno zbog nedostatka kvalitetnog internet signala i gps prijema u uvjetima razvedene konfiguracije terena i zastora krošanja. Izmjera geodetskom stanicom najtočnija je metoda direktne izmjere na terenu, ali uz veliki utrošak vremena, znatan novčani trošak i velika ovisnost o ljudskom faktoru prilikom izmjere, što može rezultirati nedovoljno točnim podacima za potrebe istraživanja (slika 1.). Nadalje, vrlo visoka osjetljivost geodetske stanice u teškim terenskim uvjetima iziskuje često skupo održavanje, kako bi se održala visoka preciznost mjenog uređaja. Suvremene tehnologije pružaju mogućnost izmjere iz zraka uz definiranje preciznih referentnih točaka preciznim GNSS uređajima u svrhu izrade 3D modela terena.

Jedan od ciljeva istraživanja na ovom projektu bilo je osmisliti novu metodu terenske izmjere i određivanja uzdužnog nagiba šumske prometne infrastrukture sa maksimalnim smanjivanjem utjecaja ljudskog faktora, bržu i jednostavniju terensku izmjeru, točnijim određivanjem parametara i dobivanje pouzdanijih podataka. Za to istraživanje pribavljen je GNSS uređaj sa svoje 3 komponente (gps komponenta, terestrička komponenta i zračna komponenta), koji je poslužio za definiranje metode terenske izmjere i kasnije obrade podataka radi definiranja točnosti izmjere novom metodom.



Slika 1. Problematika preciznog određivanja nagiba neposredno na terenu geodetskom stanicom

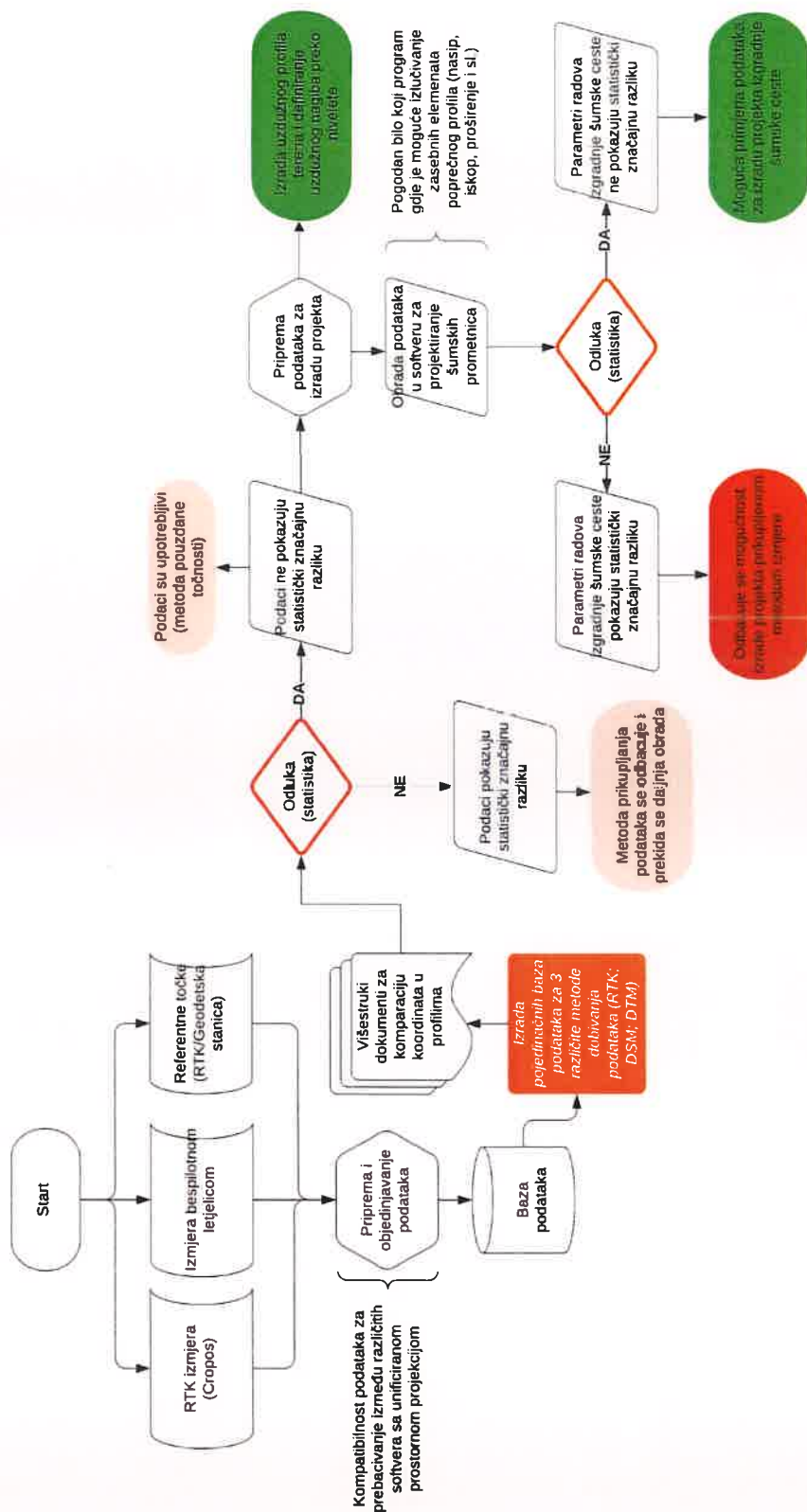
## 1. OSNOVNE HIPOTEZE I OPERACIJE ZA PROVJERU NOVE METODE ODREĐIVANJA NAGIBA

Kako bi se postavili pravilni koraci u definiranju nove metode izmjere uzdužnog nagiba šumskih prometnica potrebno je jasno formirati hipoteze samog istraživanja i korake koji vode do konačnog rezultata (slika 2.). Podaci na terenu su prikupljeni sa sve 3 komponente GNSS uređaja te je svaki terenski podatak prikupljan određenom komponentom uređaja, kako bi se ostvarila maksimalna točnost podataka uz ostvarivanje ciljanih koraka u samom istraživanju odnosno u konačnici testiranju same metode određivanja uzdužnog nagiba.

Pri tome su se na terenu prikupljali terenski podaci u imaginarnim profilima šumske prometnice na približno svakih 10-ak metara, kako bi se dobila dovoljno točna konfiguracija snimane prometnice. Ta izmjera obavljena je komponentom 1 GNSS uređaja i mjereno je pomoću GPS uređaja korištenjem CROPOS sustava za precizno pozicioniranje snimljenih terenskih točaka (slika 3). Referentne točke za potrebe pozicioniranje u procesu procesuiranja snimaka prikupljenih komponentom 3 (zračnom komponentom), prikupljene su terestričkom metodom pomoću komponente 2, gdje je točnost podataka postignuta u milimetrima. Zadnja izmjera prometnice izvršena je komponentom 3 gdje su se prikupljale fotografije iz zraka za koje je definiran preklap susjednih fotografija od 80%.

Podaci su se statistički obrađivali kako bi se utvrdila pouzdanost izmjere za novu metodu određivanja uzdužnog nagiba. Na temelju rezultata statističke obrade donose se odluke o daljnjoj obradi ili upotrebi dobivenih podataka u cilju potvrđivanja ili pobijanja hipoteza istraživanja.

U istraživanju postavljena je hipoteza čijom bi pozitivnom potvrdom mogli reći da nova metoda izmjere uzdužnog nagiba daje zadovoljavajuće rezultate i dovoljnu točnost podataka za buduća istraživanja ovog tipa. Kroz istraživanje je razmatrana mogućnost korištenje tako prikupljenih podataka i za daljnje korištenje u izradi glavnih projekata rekonstrukcije takvih šumskih prometnica te dovoljno točno izračunavanje parametara zemljanih radova prilikom gradnje šumskih prometnica.



Slika 2. Dijagram toka podataka sa definiranjem operacija rada i hipoteze istraživanja/testiranja

## 2. KOMPONENTE GNSS UREĐAJA ZA TESTIRANJE NOVE METODE IZMJERE UZDUŽNOG NAGIBA ŠUMSKE PROMETNICE

Korišten GNSS uređaj koji se sastoji od 3 komponente korišten je u terenskoj izmjeri za potrebe ovog istraživanja i u konačnici za definiranje nove metode izmjere uzdužnog nagiba.

Komponenta 1 GNSS uređaja, koja je korištena je model Stonex S900A (slika 3.) opremljen je GNSS pločom od 800 kanala visokih performanse i sposoban je podržati sve satelitske konstalacije: GPS, GLONASS, BEIDOU, GALILEO, QZSS i IRNSS, uključujući korekciju L-pojava–Atlas. Peta generacija GNSS prijemnika s poboljšanim performansama i mogućnošću prijema ATLAS korekcija i aRTK rješenja. S900A možemo postaviti kao RTK bazu ili rover, i kao VRS rover tijekom VRS-RTK mjerenja. Ima integriran E-Bubble senzor koji omogućuje mjerenje nedostupnih točaka s ukoso postavljenim štapom. Točnu koordinatu točke izračunava mjerenjem iz 3 različita položaja. Opremljen je opcionalnim IMU senzorom s nagibom do 60°.

Komponentu 2 GNSS uređaja predstavlja RTK modul integriran direktno u Phantom 4 RTK, pružajući podatke o pozicioniranju na razini centimetra u realnom vremenu za poboljšanu apsolutnu točnost meta podataka fotografije. Pored optimizirane sigurnosti leta i preciznog prikupljanja podataka, Phantom 4 RTK pohranjuje i podatke satelitskog pozicioniranja, koji se kasnije koriste za naknadno obrađenu kinematiku, koja se može provesti pomoću nekog softvera za obradu oblaka točaka. Obrada u našem istraživanju provedena je pomoću programa Pix4Dmapper, dok je za upravljanje misijom leta korištena mobilna aplikacija istog proizvođača naziva Pix4Dcapture.



Slika 3. Komponenta 1 GNSS uređaja (stonex S900A)



Slika 4. Komponenta 2 GNSS uređaja (DJI Phantom 4 RTK)

Komponenta 3 GNSS uređaja je uređaj za tahimetrijsko mjerenje terena STONEX R35LR (slika 5). Ta komponenta služi za snimanje u uvjetima kada se na ni koji način ne mogu koristiti prethodne dvije komponente, jer je neovisna o gps signalu ili zastoru krošanja u šumi. STONEX R35LR je totalna stanica s provjerenim tehnološkim rješenjima uz sve napredne značajke prethodnog modela (beskonačni vijci za fini pomak i bočna tipka za okidanje mjerenja), štedi vrijeme pri radu na terenu. Visoke je točnosti 2" i 2mm. Ima obostrani ekran na dodir u boji, koji u potpunosti podržava grafiku MicroSurvey FieldGenius ili CARLSON SurvCE terenskog programa (kompatibilan sa DXF vektorskim i rasterskim formatima) a što omogućuje vrlo pregledan i transparentan terenski rad (rad s pozadinskim mapama) i grafičkom obradom odmah na terenu. Precizni laserski daljinomjer (Laser class 1-3R) ima vidljivu jasnu lasersku nišansku točku i dometa je do 1000m bez prizme uz točnost mjerenja kuteva 2" i točnost mjerenja duljine na prizmu od 2mm. USB/MiniUSB portovi osiguravaju komunikaciju s računalom uz internu memoriju od 2GB za spremanje podataka. Putem Bluetooth-a može se spojiti s vanjskim kontrolerom radi paralelnog rada s GNSS gps prijemnikom (komponentom 1).



Slika 5. Komponenta 3 GNSS uređaja (Stonex R35LR)

### 3. PRIKUPLJANJE I OBRADA TERENSKIH PODATAKA ZA TESTIRANJE NOVE METODE ODREĐIVANJA UZDUŽNOG NAGIBA

Terenska izmjera obavljena je kako je opisano u prvom poglavlju ovog izvješća, krenuvši od izmjere komponentom 1 (slika 6.), zatim komponentom 3 (slika 8.) i na poslijetku komponentom 2 (slika 7.). Na terenu definirano je 29 terenskih profila za potrebe potvrđivanja hipoteze 2, 4-6 točaka u svakom profilu. Definirano je 14 referentnih točaka za precizno procesuiranje snimaka iz zraka. Ukupno je istraživano na duljini trase od 550 m na šumskom slabo obraslom zemljištu.



Slika 6. Izmjera komponentom 1 pomoću sustava CROPOS i sustav baza-rover

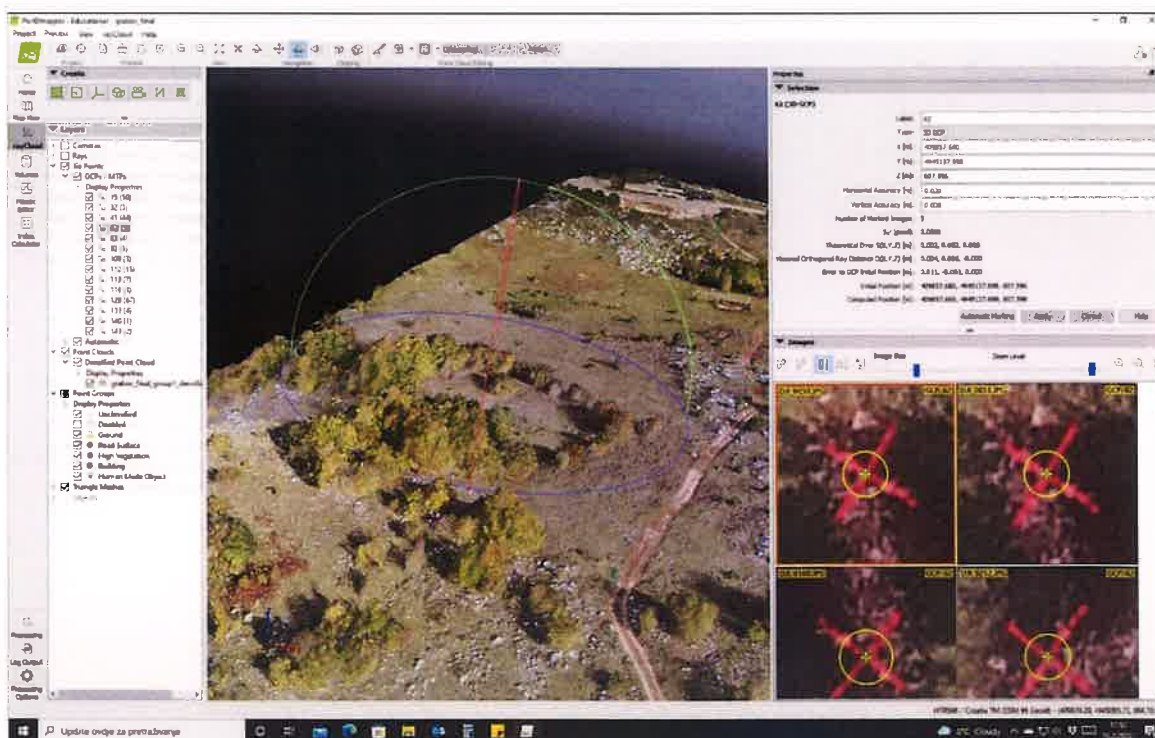


Slika 7. Izmjera komponentom 2 za prikupljanje georeferenciranih fotografija



Slika 8. Izmjera referentnih točaka komponentom 3

Obrada podataka iz zraka odrađena je u programu Pix4Dmapper (slika 9.) koristeći 681 fotografiju istraživanog područja. Produkti procesuiranja predmetnog programa su DTM (digitalni model terena), DSM (digitalni model površina) i ortomozaik istraživanog područja. Iz podataka DTM i DSM korišteni su podaci o visini terenskih točaka u identičnim pozicijama snimanih profila pomoću komponente 1 (RTK gps). Ti podaci su se uspoređivali statistički u programu Statistica 10. i korištena je analiza varijance za hipotezu 1, a T-test za hipotezu 2.

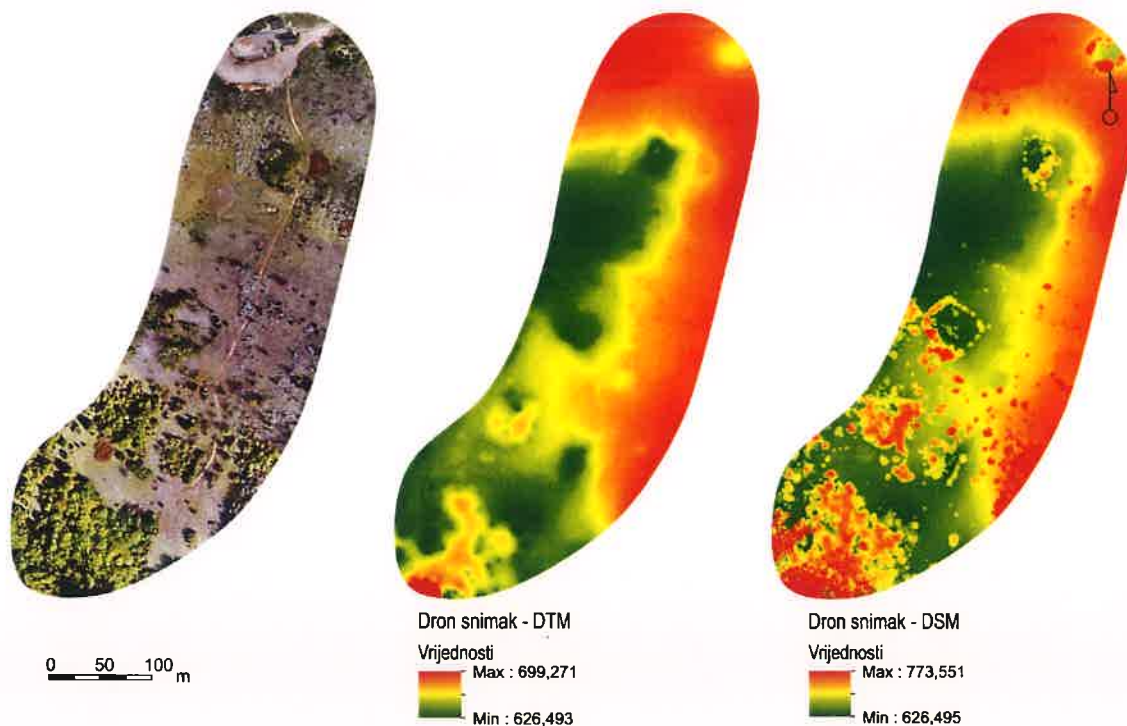


Slika 9. Procesuiranje podataka u programu Pix4Dmapper

#### 4. Rezultati izmjere i testiranja nove metode izmjere uzdužnog nagiba

Kao rezultat dobivene su rasterske karte DTM i DSM rezolucije 1,77 cm/px(piksel) (slika 10.). U profilima na identičnim koordinatama uspoređivane su visinske točke DSM, DTM i RTK točaka (slika 10.). Kao referentna vrijednost uzimana je izmjera komponentom 1, koja je davala točnost u horizontalnom i visinskom smislu do 1 cm. Prvo se provjerila statistička razlika između različitih izvora podataka, kako bi se dalje mogla provjeriti nova metoda u programu za projektiranje šumskih prometnica i definiranje nagibima nivelete odnosno preciznim načinom određivanja uzdužnog nagiba. Analizom varijance (tablica 2.) utvrđeno je da postoji značajna razlika između nekih uzoraka, pa se provela post-hoc analiza kako bi utvrdili između kojih podataka postoji značajna razlika i postoji li uopće koji uzorak da zadovoljava točnost odnosno statistički ne pokazuje značajna odstupanja od referentnih vrijednosti. Post-hoc Tukey HSD analizom utvrđena je značajna razlika kod podataka iz DSM karte, dok su podaci dobiveni iz DTM karata bez značajnog odstupanja u odnosu na referentne vrijednosti.

Ti podaci su korišteni za daljnju usporedbu u programu za projektiranje šumskih prometnica CESTA, gdje se na temelju referentnih točaka definirala niveleta i odredili precizni uzdužni nagibi (slika 11.), pa se na identičnoj niveleti zamijeni 3D teren dobiven DTM podacima (slika 12.), kako bi se utvrdila eventualna odstupanja i potvrdila ili odbacila hipoteza 1. Provedenom usporedbom različitih 3D terena nije primijećeno znatno odstupanje terena kojim bi se niveleta morala prilagođavati terenu dobivenom iz DTM podataka. Time je potvrđena hipoteza i testirala se nova metoda određivanja uzdužnog nagiba šumskih prometnica pomoću GNSS uređaja.



Slika 10. Rezultat procesuiranja u programu Pix4Dmapper



Tablica 1. Parametri obrađenih snimaka iz zraka za istraživano područje

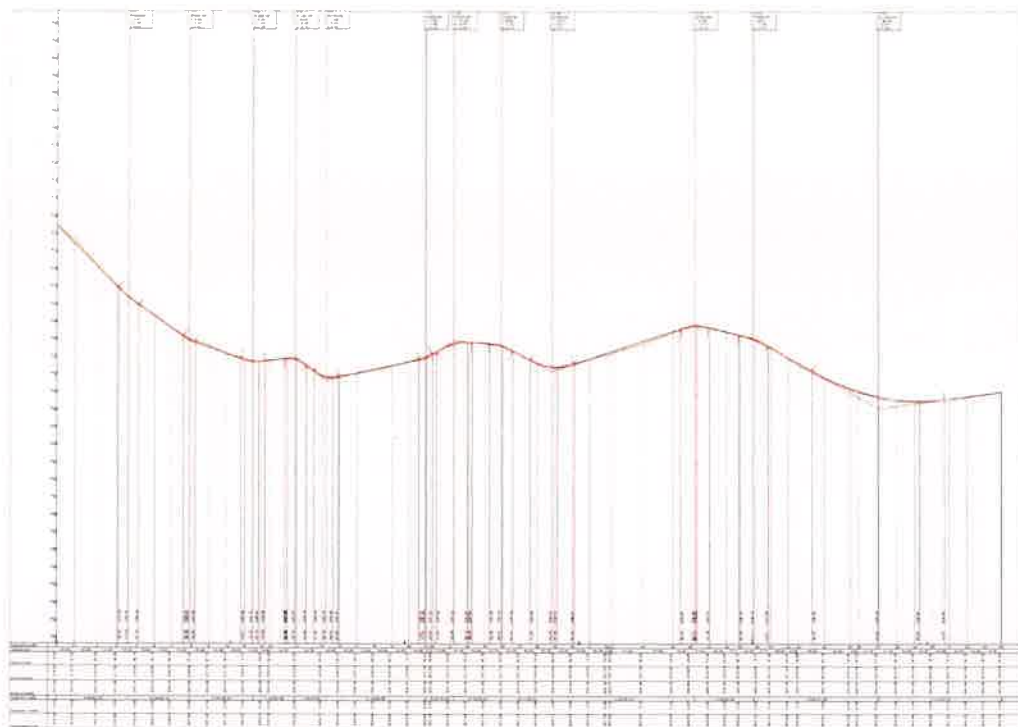
PARAMETRI	Obrada snimaka komponente 2
Model kamere i rezolucija slike	FC6310_8.8 5472x3648 (RGB)
Oblik rešetke snimanja misije leta	Dupli grid (za 3D modele)
Planiran razmak između piksela po programu pix4dcapture (visina snimanja 50 m)	1,66 cm/px
Stvaran razmak između piksela (GSD)	1,77 cm/px
Pokrivena površina	0,136 km <sup>2</sup> /13,6 ha
Broj kalibriranih fotografija	680 od 681
Broj 3D točaka u oblaku točaka	68 093 217
Prosječna gustoća točaka (na m <sup>3</sup> )	632.4

Tablica 2. Analiza varijance i post-hoc test radi utvrđivanja razlike parova

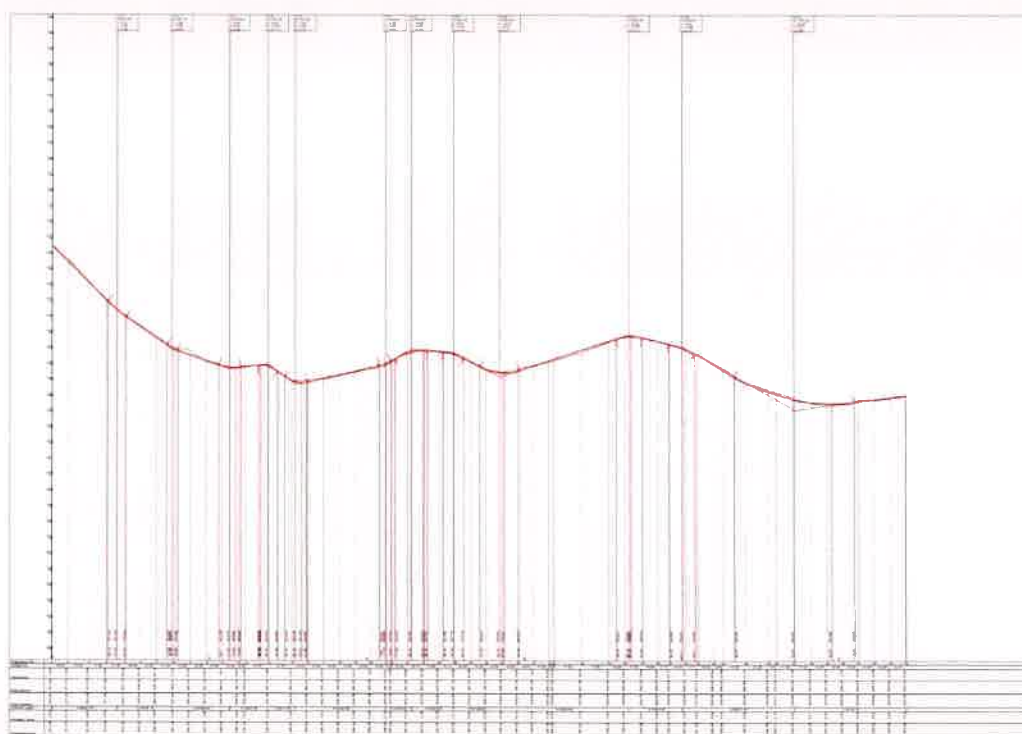
	Analiza varijance ponovljenih mjerenja				
	SS	Stupnjevi slobode	MS	F	p
Intercept	156101808	1	156101808	7194011	0,000000
Pogreška	3038	140	22		
METODE	0	2	0	8	0,000422
Pogreška	6	280	0		

	Tukey HSD test	
	Približne vjerojatnosti za post hoc testove	
	Pogreška: Unutar MS =,02196, df = 280.00	
RTK		0,000247
DSM	0,000247	
DTM	0,321485	0,032217

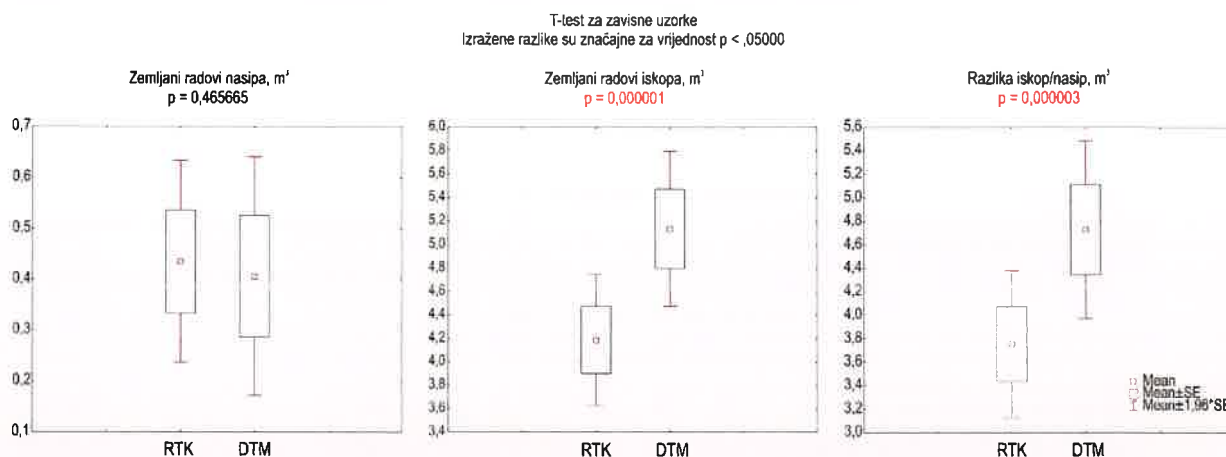


Slika 11. Uklopljena niveleta na mjerenoj šumske prometnice komponentom 1 (referentnom izmjerom) GNSS sustava.



Slika 12. Uklopljena ista niveleta u teren DTM-a snimane šumske prometnice komponentom 2 iz zraka.

Kako bi se provela analiza za potrebe utvrđivanja hipoteze 2, projektirana je šumska prometnice duljine 542,55 m, sa 10 horizontalnih tjemena (8 krivina), minimalnim radijusom krivine 20 m, maksimalnim radijusom krivine 700 m. Projekt je izrađen na podlozi 3D terena iz podataka dobivenih pomoću komponente 1 uređaja GNSS i podataka iz karata DTM-a. Uspoređivane su površine iskopa i nasipa u svakom profilu projektirane šumske prometnice te se analizom T-testa u programu Statistica 10. Testom je utvrđena značajna razlika u površinama iskopa te u razlici iskop/nasip i zaključeno je da se tim načinom izmjere ne mogu izrađivati dovoljno precizni i detaljni glavni projekti rekonstrukcije ili izgradnje šumskih prometnica.



Slika 13. T-test usporedbe zemljanih radova u projektu rekonstrukcije šumske prometnice

## 5. Zaključak

Nova metoda određivanja uzdužnog nagiba šumskih prometnica uz korištenje softvera za projektiranje šumskih prometnica i prikupljanja prostornih podataka uz pomoć GNSS uređaja daje pouzdanu točnost čime je **potvrđena hipoteza istraživanja**. Time je postignut cilj ovog istraživanja i testirana nova metoda izmjere uzdužnog nagiba šumskih prometnica.

Terenski podaci prikupljeni predmetnom metodom uz precizno georeferenciranje referentnim točkama još uvijek ne daju pouzdanu točnost za izradu preciznog glavnog projekta izgradnje/rekonstrukcije šumskih prometnica.

Datum: 8.12.2022.

Za izvješće: doc. dr. sc. Kruno Lepoglavec

prof. dr. sc. Marijan Šušnjar

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Marijan Šušnjar", is written over a horizontal line.

---

voditelj projektnog tima  
Fakultet šumarstva i drvne tehnologije  
Sveučilišta u Zagrebu