

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Jazbec, Š., 2015. Primerjava višin iz GNSS-višinomerstva in iz DMP-ja, izdelanega z malim brezpilotnim letalnikom. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Pavlovčič Prešeren, P., somentor Grigillo, D.): 24 str.

Datum arhiviranja: 18-09-2015

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Jazbec, Š., 2015. Primerjava višin iz GNSS-višinomerstva in iz DMP-ja, izdelanega z malim brezpilotnim letalnikom. B.Sc Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Pavlovčič Prešeren, P., co-supervisor Grigillo, D.): 24 p.

Archiving Date: 18-09-2015

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM PRVE STOPNJE  
GEODEZIJA IN  
GEOINFORMATIKA

Kandidatka:

**ŠPELA JAZBEC**

**PRIMERJAVA VIŠIN IZ GNSS-VIŠINOMERSTVA IN IZ  
DMP-JA, IZDELANEGA Z MALIM BREZPILOTNIM  
LETALNIKOM**

Diplomska naloga št.: **91/GIG**

**COMPARISON OF HEIGHTS FROM GNSS LEVELLING  
AND FROM DSM, MADE WITH UNMANNED AERIAL  
VEHICLE**

Graduation thesis No.: **91/GIG**

**Mentorica:**

doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren

**Predsednica komisije:**

izr. prof. dr. Anka Lisec

**Somentor:**

asist. dr. Dejan Grigillo

Ljubljana, 15. 09. 2015

## **STRAN ZA POPRAVKE**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

Ta stran je namenoma prazna.

## **IZJAVE**

Podpisana Špela Jazbec izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »Primerjava višin iz GNSS-višinomerstva in iz DMP-ja, izdelanega z malim brezpilotnim letalnikom«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, september 2015

Špela Jazbec

Ta stran je namenoma prazna.

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	528.2(043.2)
<b>Avtor:</b>	Špela Jazbec
<b>Mentorica:</b>	doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren
<b>Somentor:</b>	asist. dr. Dejan Grigillo
<b>Naslov:</b>	Primerjava višin iz GNSS-višinomerstva in iz DMP-ja, izdelanega z malim brezpilotnim letalnikom
<b>Tip dokumenta:</b>	diplomska naloga – univerzitetni študij
<b>Obseg in oprema:</b>	24 str., 10 sl., 3 graf., 3 preg.
<b>Ključne besede:</b>	GNSS-višinomerstvo, brezpilotni letalnik, matching, ortofoto, DMP, RTK-metoda izmere

### **Izvleček:**

V diplomski nalogi primerjamo višine, pridobljene z GNSS-višinomerstvom, z višinami iz digitalnega modela površja, izdelanega z malim brezpilotnim letalnikom. Meritve so potekale v naselju Vače v okviru terenskih vaj. Koordinate točk smo na terenu pridobili z RTK-metodo izmere GNSS. Istočasno z izmero GNSS je območje preletaval brezpilotni letalnik podjetja Geavis d. o. o. S pomočjo programske opreme so v podjetju iz posnetih fotografij izdelali digitalni model površja, ki je bil predmet primerjave višin, ter ortofoto, ki smo ga uporabili pri obdelavi podatkov. GNSS-točke smo klasificirali v tri razrede: cesta, pokošen travnik, nepokošen travnik. S primerjavo obeh načinov pridobitve višine na istih točkah smo ločeno po razredih izračunali višinske razlike. Ugotovili smo, da le-te večinoma presegajo doseženo točnost določitve položajev z RTK-metodo izmere. Višinske razlike so najmanjše na pokošenem in največje na nepokošenem travniku. Iz tega lahko zaključimo, da je pri interpretaciji višin iz digitalnega modela reliefa oziroma površja, narejenega z brezpilotnim letalnikom, potrebna določena mera kritičnosti, še posebej na območjih z večjo vegetacijo.

Ta stran je namenoma prazna.



## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

<b>UDC:</b>	528.2(043.2)
<b>Author:</b>	Špela Jazbec
<b>Supervisor:</b>	Assist. Prof. Polona Pavlovčič Prešeren, Ph.D.
<b>Cosupervisor:</b>	Assist. Dejan Grigillo, Ph.D.
<b>Title:</b>	Comparison of heights from GNSS levelling and from DSM, made with unmanned aerial vehicle
<b>Document type:</b>	Graduation Thesis – University studies
<b>Scope and tools:</b>	24 p., 10 fig., 3 graph., 3 tab.
<b>Keywords:</b>	GNSS levelling, unmanned aerial vehicle, matching, orthophoto, DSM, RTK surveying

### **Abstract:**

In this graduation thesis heights gathered from GNSS levelling are being compared with heights from digital surface model (DSM), made with an unmanned aerial vehicle. The measurements took place in the Vače village. Points in the field were measured with the real time kinematic method of GNSS levelling. At the same time an unmanned aerial vehicle, owned by Geavis d. o. o. company, flew over the area and took photographs of it. Using their software they made a digital surface model, which we used for comparison. They also created an orthophoto to help us recognize points on site. Measured points were divided into three classes: road, mowed grassfield and unmowed grassfield. From compared heights of the same points, acquired from GNSS and DSM, for each class differences in heights were computed. They exceeded the possible accuracy of RTK-method of GNSS-levelling, with smallest differences at the mowed grassfield and biggest at the unmowed ones. Based on our results we suggest caution when using DSM height data from unmanned aerial vehicle, especially in the areas with high vegetation.

Ta stran je namenoma prazna.

## **ZAHVALA**

Mentorici in somentorju se zahvaljujem za spodbudne besede in konstruktivne pripombe pri pisanju naloge – njuna hitrost in zagnanost je občudovanja vredna.

Zahvala gre tudi Roku Valiču iz podjetja Geavis d. o. o. in Gregorju Trobcu, za izvedbo izmere z brezpilotnim letalnikom ter za pomoč pri obdelavi podatkov.

Te naloge pa seveda ne bi bilo brez mojih najbližjih. Hvala.

Ta stran je namenoma prazna.

## KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE.....	I
IZJAVE.....	III
BIBLIOTRAFNSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	V
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT.....	VII
ZAHVALA.....	IX
KAZALO VSEBINE.....	XI
KAZALO SLIK.....	XIII
KAZALO PREGLEDNIC.....	XV
KAZALO GRAFIKONOV.....	XVII
UPORABLJENE KRATICE IN OKRAJŠAVE.....	XIX
<b>1 UVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1 Delovne hipoteze.....	2
1.2 Struktura naloge.....	2
<b>2 MALI BREZPILOTNI LETALNIKI.....</b>	<b>3</b>
2.1 Snemanje na terenu.....	3
2.2 Oblak točk.....	6
2.3 Digitalni model površja.....	6
2.4 Ortofoto.....	7
<b>3 GNSS-VIŠINOMERSTVO.....</b>	<b>9</b>
3.1 RTK-metoda izmere.....	10
3.2 Terenska izmera.....	11
3.3 Model geoida.....	12
<b>4 OBDELAVA PODATKOV.....</b>	<b>13</b>
4.1 Klasifikacija točk.....	13
4.2 Primerjava višin.....	14
4.3 Statistični izračuni.....	14
<b>5 REZULTATI.....</b>	<b>16</b>
5.1 Cesta.....	16
5.2 Pokošeni travnik.....	18
5.3 Nepokošen travnik.....	20
<b>6 ZAKLJUČEK.....</b>	<b>22</b>
VIRI.....	24

Ta stran je namenoma prazna.

## KAZALO SLIK

Slika 1: Lokacija delovišča .....	3
Slika 2: Mali brezpilotni letalnik podjetja Geavis (levo) in njegova sprogramirana trajektorija leta (desno).....	4
Slika 3: Oslonilne točke – njihova lokacija na ortofotu (levo) in primer signalizacije (desno).....	5
Slika 4: Oblak točk snemanega območja .....	6
Slika 5: Digitalni model površja snemanega območja s senčenjem, izdelan v podjetju Geavis d. o. o.....	7
Slika 6: Ortofoto snemanega območja, izdelan v podjetju Geavis d. o. o., postavljen na ortofoto v Google Maps	8
Slika 7: Klasifikacija točk na terenu .....	13
Slika 8: GNSS-točke na cesti (sive barve), prikazane na ortofotu.....	16
Slika 9: GNSS-točke na pokošenem travniku (zelene barve), prikazane na ortofotu.....	18
Slika 10: GNSS-točke na nepokošenem travniku (rumene barve), prikazane na ortofotu .....	20

Ta stran je namenoma prazna.



## **KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Rezultati statističnih izračunov – cesta .....	17
Preglednica 2: Rezultati statističnih izračunov – pokošen travnik.....	19
Preglednica 3: Rezultati statističnih izračunov – nepokošen travnik.....	21

Ta stran je namenoma prazna.

## **KAZALO GRAFIKONOV**

Grafikon 1: Višinske razlike med določitvama z GNSS-višinomerstvom in iz DMP-ja – cesta .....	16
Grafikon 2: Višinske razlike med določitvama z GNSS-višinomerstvom in iz DMP-ja – pokošen travnik .....	18
Grafikon 3: Višinske razlike med določitvama z GNSS-višinomerstvom in iz DMP-ja – nepokošen travnik ....	20

Ta stran je namenoma prazna.

## **UPORABLJENE KRATICE IN OKRAJŠAVE**

GNSS	angl. Global Navigation Satellite System
GPS	angl. Global Positioning System
GTRF	angl. Global Terrestrial Reference System
DMP	digitalni model površja
DMR	digitalni model reliefa
RMSE	angl. Root Mean Square Error
RTK	angl. Real Time Kinematic
VRS	angl. Virtual Reference Station

Ta stran je namenoma prazna.

## 1 UVOD

Uporaba brezpilotnih letalnikov se je v zadnjih nekaj letih zaradi svoje vsesplošne uporabnosti in cenovne dosegljivosti močno razširila. Uporabljajo jih v vojaške namene, po drugi strani pa najdemo izjemno majhne kvadrokopterje, ki lahko s termo-senzorjem v rastlinjaku posnamejo vsako rastlino posebej. Uporaba brezpilotnih letalnikov je danes praktično neomejena. V zadnjem času jih s pridom uporabljamo tudi v geodeziji, kjer lahko bolj enostavno in hitreje izdelamo digitalne modele reliefa (DMR), ortofote ali zgolj posnetke stanja na terenu. Mali brezpilotni letalniki postajajo priljubljeni za snemanja manjših območij, kjer potrebujemo dober pregled stanja. Razlog je v hitrosti in večji učinkovitosti v primerjavi s klasičnimi geodetskimi metodami. Čeprav ima omenjena tehnologija ogromno prednosti, moramo poznati tudi njene pomanjkljivosti in jih pravilno vrednotiti. Predvsem se je potrebno vprašati, kako natančni so dejansko geodetski izdelki malih brezpilotnih letalnikov.

Pred tem se je na podoben način zaradi istih razlogov po svetu razširila uporaba globalnih navigacijskih sistemov GNSS (angl. Global Navigation Satellite System). Poznamo manj natančne naprave za civilno uporabo, recimo za navigacijo v avtomobilu ali gorah, na drugi strani pa geodezija s pridom izkorišča fazna opazovanja za določitev položajev točk visoke točnosti. Poznamo več metod izmere GNSS, ki se razlikujejo predvsem v načinu izmere in hitrosti pridobitve rezultatov obdelave. Najbolj razširjena je RTK (angl. Real Time Kinematic) metoda izmere GNSS, ker je hitra, enostavna in nam da rezultate obdelave v obliki položajev točk v realnem času. Prednosti tehnologije GNSS uporabljamo v postopkih izdelave DMR-ja z malimi brezpilotnimi letalniki, velikokrat tudi za določitev položajev oslonilnih in kontrolnih točk.

V diplomski nalogi bomo opisali izdelavo digitalnega modela površja (DMP) iz aerofotografij iz malega brezpilotnega letalnika podjetja Geavis d. o. o. Pozornost bomo namenili kakovosti določitve višin iz tako izdelanega DMP-ja. V ta namen smo na delu območja, posnetega z letalnikom, opravili izmero GNSS za določitev položajev in višin točk. Točke GNSS-izmere smo klasificirali, ker smo predvidevali, da so razlike v višinah točk nastale tudi zaradi vrste podlage, na kateri so se nahajale kontrolne točke. Točke smo razvrstili v tri kategorije: cesta, pokošen in nepokošen travnik. Višine smo pridobili direktno na terenu z GNSS-višinomerstvom, v programu Global Mapper pa smo z interpolacijo iz DMP-ja določili višine točk, ki so imele položajne koordinate, kot smo jih pridobili s terensko izmero.

## 1.1 Delovne hipoteze

Pri nalogi smo si postavili dve hipotezi:

- razlike med višino iz GNSS-višinomerstva in iz DMP-ja niso večje od 10 cm, kolikor je ponavadi dosežena točnost določitve položaja pri RTK-izmeri;
- največje razlike med DMP-jem, izdelanim z malim brezpilotnim letalnikom, ter med kontrolnimi točkami, določenimi z RTK-izmero, so na nepokošenem travniku, najmanjše pa na cesti, kjer vegetacije ni.

## 1.2 Struktura naloge

Po uvodu sledi najprej poglavje o malih brezpilotnih letalnikih, kjer le-te opisujemo in predstavimo način izmere na terenu z letalnikom podjetja Geavis. Predstavljeni so tudi vsi izdelki, ki jih je omenjeno podjetje izdelalo iz posnetih fotografij. V tretjem poglavju v splošnem govorimo o GNSS-izmeri in RTK-metodi izmere ter o izvedbi terenske izmere s to metodo. V četrtem poglavju o obdelavi podatkov pišemo o klasifikaciji točk iz izmere GNSS, njihovi primerjavi z DMP-jem ter osnovnih statističnih kazalcih. V petem poglavju so rezultati po posameznih razredih grafično predstavljeni in interpretirani. V zaključku povzamemo rezultate višinske analize in poudarimo glavne ugotovitve naloge.



## 2 MALI BREZPILOTNI LETALNIKI

Brepilotni letalnik je zračno plovilo, ki je brez letalske posadke na krovu sposobno izvršiti vnaprej načrtovan in varen samostojni let. Vodeno in upravljano je na daljavo in lahko leti zunaj vidnega polja upravljalca. Za začetek razvoja brezpilotnih zračnih plovil štejemo balone z razstrelivom, ki so jih Avstrijci sredi 19. stoletja poslali nad Benetke. Razvoj brezpilotnih letalnikov, kakršne poznamo danes, se je začel na začetku 20. stoletja, uporabljali so jih med obema svetovnjima vojnama za napade na sovražnikovo območje. Kasneje je letalnike razvijala predvsem ameriška vojska, konec prejšnjega stoletja pa so prešli v uporabo tudi drugje. Danes so brezpilotni letalniki v pomoč pri nadzoru državne meje, odkrivanju, pregonu in reševanju ljudi, obalni straži, pri gašenju požarov, naravnih nesrečah, ipd. Z njihovo pomočjo strokovnjaki spremljajo seizmične in vulkanske dogodke, incidente onesnaževanja in energetske infrastrukture. Letalniki ne predstavljajo samo sistema za opazovanje, ampak tudi recimo načrtovano oprahujejo ali zalivajo posamezne rastline (Unmanned aerial vehicle, 2015).

Na brezpilotne letalnike so nameščeni različni senzorji, odvisno od namena uporabe. Največkrat so to navadni digitalni fotoaparati, včasih kamere s širšim spektrom elektromagnetnega valovanja – poleg vidne svetlobe še infrardeča, ki je posebej uporabna za izdelavo posnetkov vegetacije. Vojska in drugi državni organi večkrat uporabljajo termalne senzorje, pri velikih brezpilotnih letalnikih je možno na krov namestiti celo radar ali lidar.

### 2.1 Snemanje na terenu

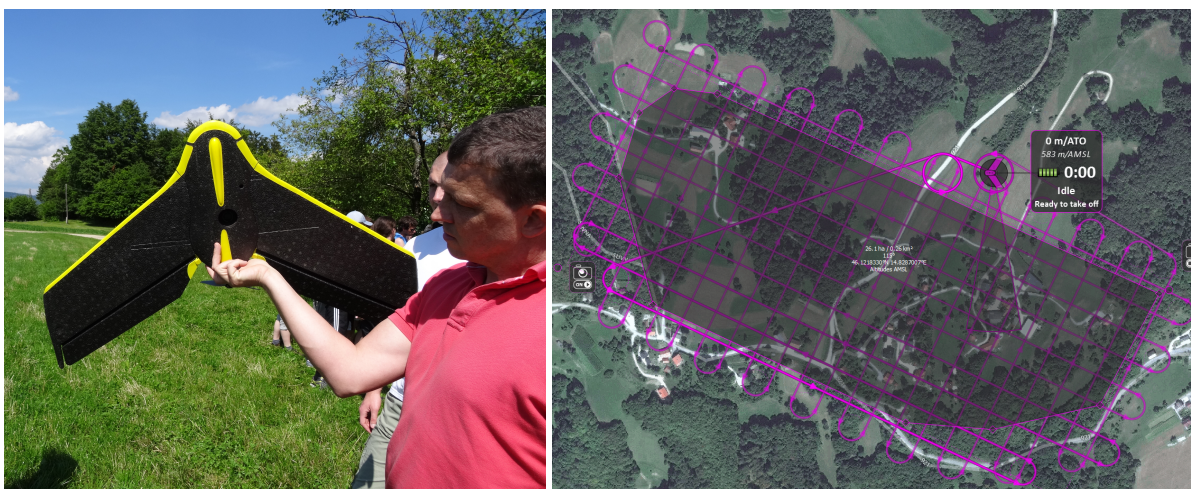
Podjetje Geavis d. o. o. je za namene izdelave digitalnega modela površja (DMP) z digitalnim fotoaparatom na krovu malega brezpilotnega letalnika posnelo testno območje. Snemanje so opravili 6. junija 2014 v naselju Vače (slika 1).



Slika 1: Lokacija delovišča

Območje snemanja zajema  $0,26 \text{ km}^2$ , približne koordinate središča snemanega območja so:  $\varphi = 46^\circ 7' 22,48'' \text{ S}$ ;  $\lambda = 14^\circ 49' 50,83'' \text{ V}$ .

Geavis d. o. o. uporablja model letalnika eBee podjetja senseFly (slika 2 levo). Na terenu je letalnik letel v pasovih v dveh pravokotnih smereh s 70 % prečnim in 75 % vzdolžnim prekrivanjem, s povprečno višino leta 122 m in velikostjo piksla na tleh 3,8 cm. Tekom leta se je motor v vsaki ekspoziciji za kratek čas ustavil in zajadral, da se je fotoaparatus lahko umiril in posnel fotografijo brez tresljajev. To si lahko privoščijo, ker ima krila in tehta manj kot 1 kg, recimo pri kvadrokopterjih morajo propelerji ves čas delovati. Vsega skupaj je nastalo 341 fotografij. Upravljevalec letalnika je le-tega nadziral s telemetrijo preko radijske povezave, točen potek leta (slika 2 desno) so vnaprej določili s programskim paketom eMotion podjetja senseFly. Četudi pride do situacije, da je radijska povezava prekinjena, je letalnik še vedno znotraj trajektorije leta, ker ima na krovu kodni instrument GPS, s katerim absolutno določa svoj približni položaj.



Slika 2: Mali brezpilotni letalnik podjetja Geavis (levo) in njegova sprogramirana trajektorija leta (desno)

Mali brezpilotni letalnik na krovu nima visoko-natančnega sprejemnika GNSS in inercialnega sistema, zato je potrebno za georeferenciranje posnetkov predhodno zakoličiti, signalizirati in določiti položaje oslonilnih točk. Te so signalizirali z velikimi rdečimi tarčami (slika 3). Ker je šlo za predstavitev tehnologije, so vse točke določili z RTK-metodo izmere GNSS, z uporabo storitve VRS omrežja SIGNAL. Točke so določili trikrat neodvisno s časom trajanja meritev 1 minuto po uspešni inicializaciji z vsaj polurnimi premori med ponovno določitvijo položajev točk. V drugih primerih lahko položaje točk določijo tudi z bolj kakovostno hitro statično metodo izmere GNSS.



Slika 3: Oslonilne točke – njihova lokacija na ortofotu (levo) in primer signalizacije (desno)

Potrebno je poudariti, da je bilo snemanje tega območja z letalnikom opravljeno zgolj za predstavitev delovanja tehnologije, zato postopka niso opravili z visokimi kriteriji kakovosti. Oslonilnih točk na območju snemanja sicer postavijo precej več in v veliko primerih jih določijo s hitro statično metodo GNSS-izmere, s katero dosežemo mnogo boljšo kakovost določitve položaja kot pri RTK-izmeri. Problem je na splošno tudi v tem, da nikjer ne obstajajo zapisani protokoli za zagotavljanje kakovosti oslonilnih točk v povezavi z izdelavo izdelkov z brezpilotnimi letalniki.

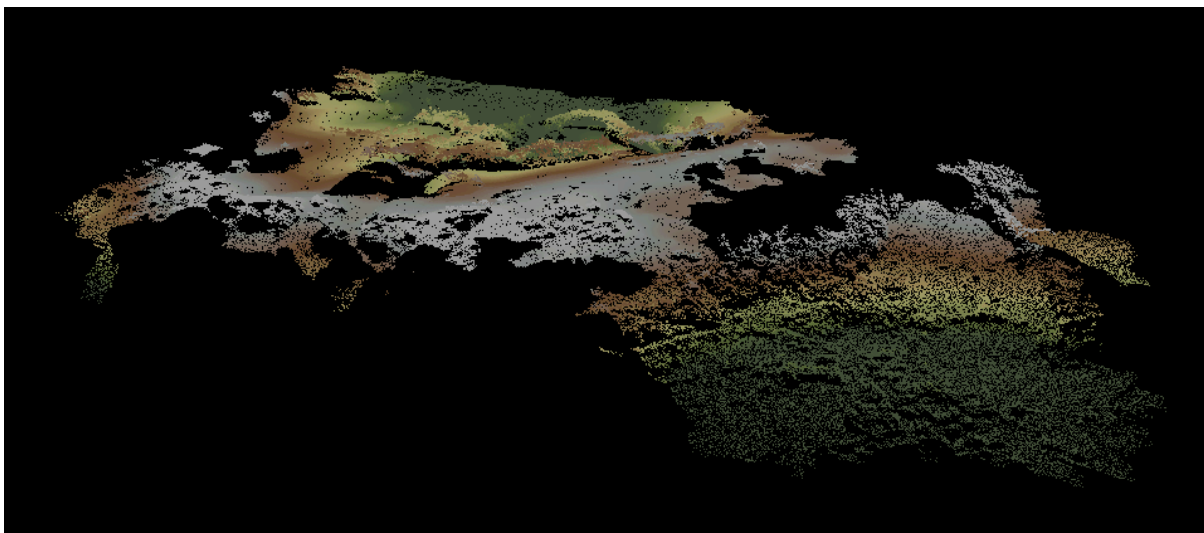
Obdelavo podatkov od aerofotografij do DMP-ja in drugih izdelkov, opisanih spodaj, je izdelalo podjetje Geavis d. o. o. s programskim paketom Postflight Terra 3D. Uporabili so metodo ujemanja podob (angl. image matching), ki deluje povsem samodejno in digitalno. Še vedno ni tako natančna, kot če bi ročno obdelali stereopare, vendar nam prihrani veliko časa. Temelji na iskanju istih objektov na različnih fotografijah oziroma podobah. To so lahko:

- značilne točke (angl. feature point), ki so vidne tudi v naravi in so zato najbolj primerne za natančno in zanesljivo ujemanje;
- gridne točke (angl. grid point), ki se uporabljajo na območjih brez nekih izstopajočih objektov, zaradi česar jih programska oprema težje najde na različnih podobah;
- robovi (angl. edge), ki pridejo prav predvsem pri strmih vrhovih in v naseljih.

Pri tej metodi največje težave povzročajo podobni si objekti, pomanjkanje značilnih točk na terenu, enoličen relief, premikajoči se objekti s sencami, transparentni objekti, ipd. (Zhang in Gruen, 2006).

## 2.2 Oblak točk

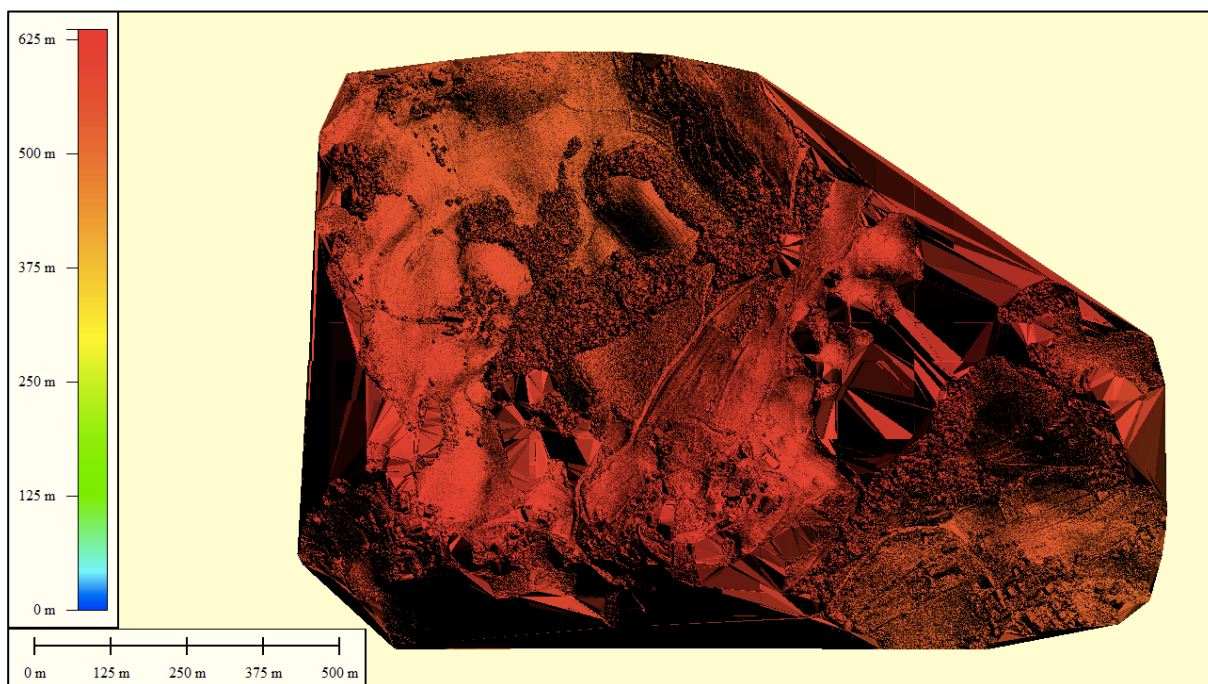
S slikovnim ujemanjem pridobimo oblak točk (slika 4), kjer ima vsaka točka prostorske koordinate (x, y, z). Gostota točk je neenakomerna. Tak izdelek je zelo primeren za 3D predstavitev terena.



Slika 4: Oblak točk snemanega območja

## 2.3 Digitalni model površja

Med točkami oblaka je bila narejena triangulacija, na podlagi katere so bili višinski podatki interpolirani v celično mrežo, in tako je nastal DMP (slika 5). Njegova prostorska ločljivost znaša 5 cm. DMP vsebuje tudi stavbe, vegetacijo in druge umetne objekte, kar načeloma pri višinski analizi ni uporabno. Ker v tej nalogi analiziramo višine s pomočjo GNSS-višinomerstva, kjer določamo položaje točk le na tleh (travniki in ceste), je ta digitalni model pravzaprav dovolj. Naš osnovni izdelek, na katerem delamo višinsko analizo, je torej rastrska pravokotna mreža z danimi višinami točk na ogliščih. Te so bile pridobljene z interpolacijo iz trikotniške neenakomerne mreže po aerotriangulaciji, s čimer se že lahko naredijo manjše razlike med interpolirano in dejansko višino na terenu. Slabša kakovost DMP se je pojavila predvsem na območju strnjene gozda, kjer s slikovnim ujemanjem ne moremo zanesljivo poiskati homolognih točk na posnetkih. Ta območja so na sliki 5 prikazana z velikimi trikotniki (Geavis, 2015).



Slika 5: Digitalni model površja snemanega območja s senčenjem, izdelan v podjetju Geavis d. o. o.

## 2.4 Ortofoto

Ortofoto je rastrski izdelek oziroma fotografska vsebina, ki je ortogonalno preslikana na površino digitalnega modela. Za izdelavo ortofota potrebujemo digitalni posnetek iz zraka, parametre zunanje in notranje orientacije posnetka ter digitalni model višin. V našem primeru je bil ortofoto izdelan s pomočjo DMP-ja, kar je zadoščalo za interpretacijo podlage pri klasifikaciji točk. Njegova prostorska ločljivost znaša 5 cm. Na natančnost ortofota vplivajo natančnost oziroma kakovost vseh omenjenih vhodnih podatkov in uporabljena metoda prevzorčenja. Prostorski položaj posnetka v trenutku ekspozicije definiramo s parametri zunanje orientacije, ki jih izračunamo sočasno za vse posnetke v bloku s pomočjo aerotriangulacije. Ravno zato potrebujemo tudi prečni preklop, da služi za povezavo med snemalnimi pasovi (Kosmatin Fras, 2014).

Ortofoto je zelo uporaben za izboljšavo in dopolnitev že obstoječih spletnih pregledovalnikov, kot recimo Google Maps (slika 6).



Slika 6: Ortofoto snemanega območja, izdelan v podjetju Geavis d. o. o., postavljen na ortofoto v Google Maps

### 3 GNSS-VIŠINOMERSTVO

Pod GNSS razumemo vse globalne navigacijske satelitske sisteme, s pomočjo katerih določamo prostorski položaj in čas točk na Zemlji. Koordinate objektov so določene na podlagi merjenja psevdorazdalje med satelitom GNSS in sprejemnikom na zemeljski površini. Poznamo več navigacijskih satelitskih sistemov:

- ameriški GPS (ang. Global Positioning System), ki je operativen od leta 1984, najbolj široko uporabljan na svetu in katerega referenčni koordinatni sistem je WGS-84 oziroma mednarodni in regionalni referenčni koordinatni sistemi, ki so večinoma vezani na elipsoid GRS-80;
- ruski GLONASS (rus. GLObal'naya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema), katerega začetki segajo v leto 1983 in ima lasten referenčni koordinatni sistem PZ 90;
- evropski Galileo, ki je tehnološko zasnovan enako kot GPS, z začetki v letu 2005 in trenutno štirimi delujočimi sateliti, v celoti naj bi začel delovati leta 2020 v svojem terestričnem koordinatnem sestavu GTRF, ki bo povezan z mednarodnim referenčnim terestričnim koordinatnim sestavom ITRFyy;
- kitajski COMPASS (BeiDou-2), ki je trenutno še v izgradnji (Satellite navigation, 2015).

Našteti navigacijski sistemi se med seboj razlikujejo po številu satelitov, številu orbitalnih ravnin, višini in obhodnem času satelitov, inklinaciji proti ekvatorju, sicer pa delujejo dokaj podobno, zato lahko za opazovanja naenkrat uporabimo satelite iz različnih sistemov ter tako pridobimo še boljši položaj. GNSS je sicer sestavljen iz treh segmentov: vesoljski z delujočimi GNSS sateliti, kontrolni sledilno in glavno kontrolno postajo ter uporabniški segment, kamor spadajo uporabniki GNSS sistema (Ocepek, 2013).

Tako kot večina drugih izumov, pomembnih za današnji čas, so se tudi satelitski navigacijski sistemi najprej razvili za potrebe vojske. Začelo se je z razvojem sistema GPS leta 1973 v ZDA, ki je bil dan v civilno uporabo 10 let kasneje in široko uporabljan v geodeziji od leta 1989. To uvedbo štejemo za največjo revolucijo v zgodovini geodezije, saj smo s tem pridobili možnost določitve položaja z veliko natančnostjo v dokaj kratkem času (Stopar, 2014).

S sistemi GNSS lahko določimo absolutni ali relativni položaj. V preteklosti je bil prvi povezan predvsem z navigacijo in drugi z geodezijo. Absolutne koordinate točke določimo, če uporabimo en sprejemnik, s katerim določimo razdalje od vsaj štirih satelitov. V okviru geodetske izmere uporabljamo le relativne položaje, ker nam omogočajo večjo kakovost določitve položaja. To pomeni, da v istem trenutku z dvema sprejemnikoma sprejemamo opazovanja od vsaj štirih istih satelitov. Koordinate ene od obeh točk so znane (referenčni sprejemnik ali baza) v globalnem koordinatnem sistemu, položaj druge točke (mobilni sprejemnik ali rover) pa je relativen glede na položaj prve. Pri

tem referenčni sprejemnik med postopkom določitve nove točke miruje. Glede na dinamiko izmere oziroma sprejemnika ločimo dve osnovni GNSS izmeri z nekaj modifikacijami:

- statična izmera GNSS, kjer sprejemnik miruje; sem spada še hitra statična izmera GNSS;
- kinematična izmera GNSS, kjer se sprejemnik premika; npr. Stop-and-Go in RTK.

Rezultate obdelave opazovanja izmere GNSS lahko pridobimo v realnem času med samo izmero (npr. RTK) ali z naknadno obdelavo opazovanj (npr. statična izmera) (Stopar, 2014).

V našem primeru smo za določitev položajev točk na območju, ki ga je preletel brezpilotni letalnik, izbrali RTK-metodo izmere GNSS.

### 3.1 RTK-metoda izmere

RTK (angl. Real Time Kinematic) metoda izmere GNSS je, kot nam že ime pove, ena izmed kinematičnih metod izmere. Sprejemnik, s katerim določamo položaj točk, se premika. Kinematične metode so ravno zaradi tega manj zanesljive od statičnih, saj ne temeljijo na obdelavi nadštevilnih opazovanj. Značilnost kinematičnih metod je, da moramo pred začetkom meritev nujno določiti fazno nedoločenost oziroma neznano število celih valov, kar v praksi pomeni, da izvedemo inicializacijo. Za to potrebujemo najmanj pet skupnih satelitov na krajiščih vektorja, ki ga obdelujemo. Koordinate in informacije o njihovi natančnosti imamo na razpolago med izmero. Kakovost razporeditve položajev satelitov nad območjem izmere je ovrednotena z DOP (angl. Dilution of Precision) faktorji. Praktična terenska izvedba je kombinacija statične in kinematične metode GNSS-izmere, t. i. Stop-and-Go metoda. Mobilni sprejemnik premikamo, vendar se vmes za nekaj sekund ustavimo na točkah, katerih koordinate želimo določiti (Stopar, 2014).

Referenčna postaja in mobilni sprejemnik morata biti telemetrično povezana, ponavadi s pomočjo mobilnega interneta ali radijske povezave. Premikajoča enota, ki jo velikokrat imenujemo kar rover, sprejema opazovanja GNSS in popravke z bazne postaje ter jih s programsko opremo obdela skupaj s svojimi. Referenčna postaja je točka z znanimi koordinatami v koordinatnem sistemu, v katerem deluje GNSS, npr. ETRS89 (angl. European Terrestrial Reference System 1989). Za referenčno postajo lahko izberemo eno izmed točk v državnem omrežju stalnih postaj, ki se v Sloveniji imenuje SIGNAL, ali pa uporabimo lastno stalno postajo GNSS. Zadovoljiva točnost določitve položaja je omejena na območje do 20 km okrog stalne postaje, zato pri večjih razdaljah za bazo uporabimo virtualno referenčno postajo VRS (angl. Virtual Reference Station). Njeno lokacijo si sami izberemo nekje v bližini delovišča, center omrežja SIGNAL pa nam zmodelira vplive na opazovanja in pripravi opazovanja za izbrano točko VRS. To se izvede s pomočjo neprekinjenih opazovanj na okoliških



stalnih postajah, zato mora biti lokacija VRS-ja znotraj trikotnika stalnih postaj. S tem je določitev koordinat merjenih točk bolj točna, ker so bazni vektorji med VRS-jem in novimi točkami krajši, kot če bi se povezali na stalno postajo. Prav tako so vplivi na opazovanja bolj podobnim dejanskim (Goleš, 2007).

Dosežena točnost horizontalnega položaja je navadno od enega do nekaj cm, višinska komponenta pa je za faktor 1,5 slabša. Med meritvami moramo opravljati kontrolo tako, da se večkrat vrnemo na točko, ki ima znane koordinate iz statične izmere, ali pa isto točko izmerimo vsaj trikrat neodvisno s polurnimi premori in različno inicializacijo (GURS, 2007).

### 3.2 Terenska izmera

GNSS-izmero smo opravili v naselju Vače 6. junija 2014 na istem območju in v istem času, ko ga je preletaval brezpilotni letalnik podjetja Geavis. Prvotni namen izmere je bila izdelava geodetskega načrta v okviru terenskih vaj ob tem, da bi uporabili le podatke terenske izmere. Kasneje smo ugotovili, da so rezultati izmere uporabni tudi za primerjavo višin z DMP-jem, ki ga je izdelalo podjetje Geavis.

Na terenu je bilo v prejšnjih dnevih izmerjenih nekaj točk s statično izmero, ki so služile tudi drugim nalogam, predvsem oceni kakovosti inicializacije pri RTK-metodi izmere. Uporabili smo instrumente Trimble 4000 SSI z intervalom registracije 5 s, trikrat neodvisno po eno uro. Navezali smo se na najbližjo stalno postajo omrežja postaj v Ljubljani z imenom GSR1. Meritve smo obdelali v programu Leica Geo Office s preciznimi efemeridami službe IGS (angl. International GNSS Service).

RTK-izmero smo naredili z GNSS sistemom Leica Viva GS15. Ker so Vače od najbližje stalne postaje omrežja SIGNAL oddaljene več kot 20 km in smo imeli možnost navezave na omrežje SIGNAL, smo uporabili metodo vzpostavitve virtualnega stojišča VRS. S tem smo zagotovili krajše bazne vektorje in posledično večjo kakovost obdelave do določitve položaja točk. Merili smo po principu metode Stop-and-Go, kar pomeni, da smo na vsaki točki stali od 5 do 8 s. Med snemanjem smo bili pozorni na faktorje DOP in inicializacijo. Zadnja nam ni delala pretiranih težav, ker smo večinoma merili na odprtih travnikih. Samo okrog hiš, kjer je bilo nekaj dreves, je bil včasih signal moten, zato smo šli na odprt teren in naredili novo inicializacijo. Pri faktorjih smo bili pozorni predvsem na PDOP (angl. Position Dilution of Precision), katerega vrednost naj ne bi presegala 6 (GURS, 2007).

Ena od prednosti RTK-metode izmere GNSS je tudi podatek o natančnosti določitve položaja v realnem času. Naše točke so položajno izmerjene zelo natančno, okrog 1 cm. Vendar, kot že rečeno,

---

višinska komponenta je izmerjena nekajkrat slabše in podatki meritev kažejo, da je natančnost določitve višine 3 cm in več.

### 3.3 Model geoida

Z izmero GNSS lahko na terenu neposredno pridobimo elipsoidne višine točk, ki za praktično uporabo niso dovolj. Te namreč odstopajo od fizikalno določenih normalnih-ortometričnih višin, ki jim laično rečemo nadmorske višine. Za prehod iz geometričnih elipsoidnih višin v fizikalno določene višine potrebujemo model geoida, da lahko izračunamo odstopanje med ploskvijo geoida in rotacijskega elipsoida v dani točki. To imenujemo geoidna ondulacija  $N$ . Prehod tako naredimo po enačbi GNSS-višinomerstva:

$$H = h - N.$$

V Sloveniji se splošno še vedno uporablja Pribičevičev lokalni model geoida Slovenije iz leta 2000.

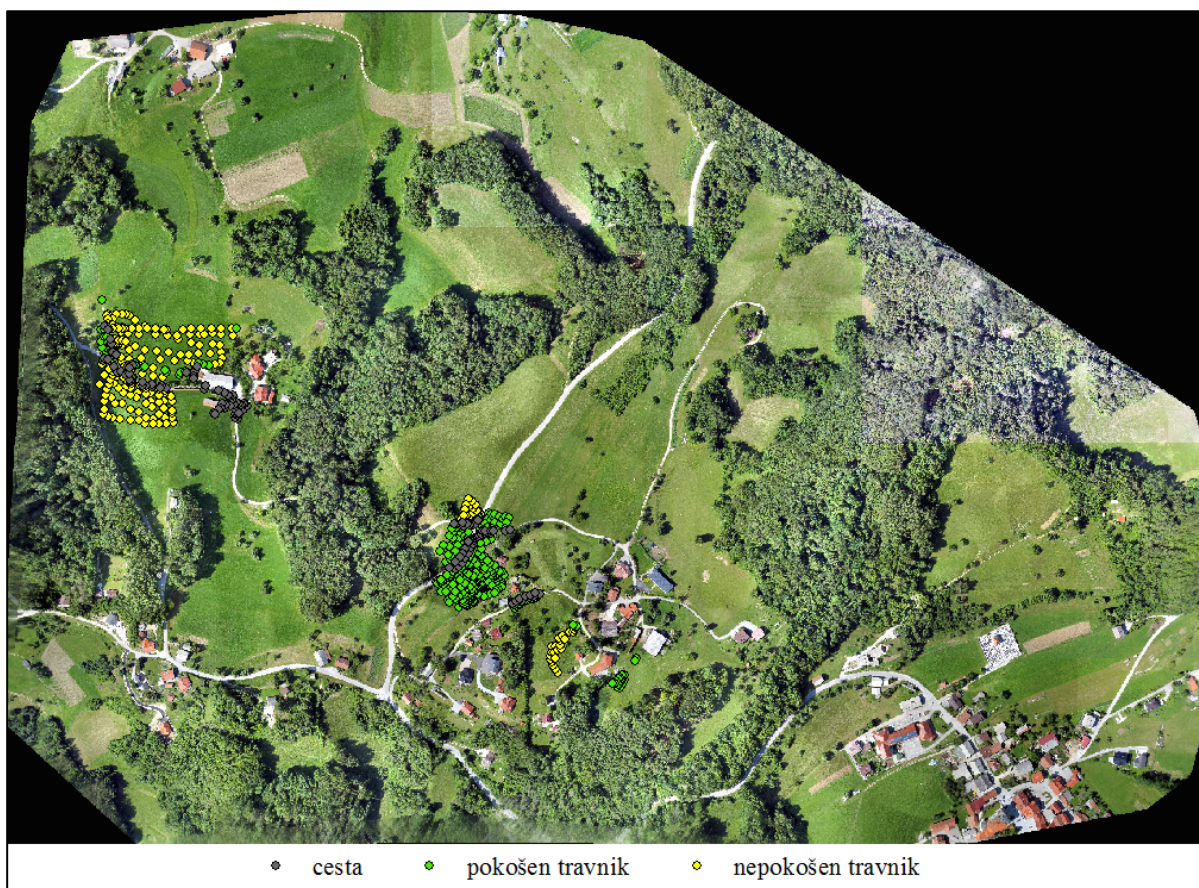
Absolutno gledano je dosegljiva točnost GNSS-višinomerstva odvisna tudi od kakovosti modela geoida na danem območju. Namen te diplomske naloge je primerjava višin točk, izmerjenih na terenu, z višinami istih točk, interpoliranih iz DMP-ja. Ker je bil pri obeh načinih določitve višine uporabljen isti lokalni model geoida, lahko predvidevamo, da le-ta nima vpliva na končne rezultate.

## 4 OBDELAVA PODATKOV

### 4.1 Klasifikacija točk

Vse točke, katerih položaji so bili določeni z RTK-izmero, je bilo potrebno ločiti glede na rabo tal, kjer so se nahajale. Predvidevali smo namreč, da bodo razlike med višinami iz GNSS-ja in DMP-ja odvisne od rabe tal. Tako smo se odločili za tri kategorije: cesta, pokošen travnik in nepokošen travnik.

Klasifikacijo smo naredili s programsko opremo ArcMap. Uvozili smo ortofoto in ravninske koordinate izmerjenih točk ter jih s pomočjo poznavanja terena in izdelanega ortofota razdelili v omenjene tri kategorije (slika 7). Meritve smo naredili na dveh ločenih lokacijah (na sliki 7 zahodno in v sredini), zato je mogoče, da se bodo tudi znotraj enega razreda pojavile opazne razlike. Teren na zahodu ortofota je namreč pretežno raven, del na sredini pa je bolj razgiban.



Slika 7: Klasifikacija točk na terenu

## 4.2 Primerjava višin

DMP in GNSS-točke so bili vhodni podatki za primerjavo višin, ki smo jo naredili v programu Global Mapper. Program je točkam iz RTK-izmere, ki so imele podane ravninske koordinate in nadmorsko višino, poiskal pripadajočo višino na DMP-ju. Koordinate GNSS-točk so določene s točnostjo nekaj centimetrov, prostorska ločljivost DMP-ja pa je 5 cm. Zato iskanje identičnih točk na digitalnem modelu površja ni neposredno, ampak se izvaja s pomočjo bilinearne interpolacije.

## 4.3 Statistični izračuni

Ko smo iz programa Global Mapper pridobili podatke o višinah točk, pridobljenih z GNSS višinomerstvom in iz digitalnega modela površja, smo višine medsebojno primerjali v programu Microsoft Excel. Najprej smo izračunali višinske razlike kot:

$$\Delta H = H_{\text{DMP}} - H_{\text{GNSS}},$$

pri čemer sta:

$H_{\text{DMP}}$  ... interpolirana višina točk, izmerjenih z GNSS-višinomerstvom, iz digitalnega modela površja;

$H_{\text{GNSS}}$  ... višina točk, pridobljena z RTK-metodo izmere GNSS.

Dobljene višinske razlike smo obravnavali ločeno v treh razredih in izrisali višinske razlike v grafikonu. Izračunali smo najmanjšo in največjo vrednost višinskih razlik ter njihovo srednjo vrednost in standardni odklon. Zadnji dve količini kažeta na razpršenosti meritev, za izračun katerih smo uporabljali absolutne vrednosti višinskih razlik. Menimo namreč, da je sama vrednost bolj pomembna od predznaka oziroma od tega, ali je posneta GNSS-točka pod ali nad ploskvijo digitalnega modela površja.

Za vsakega od razredov smo izračunali še koren srednjega kvadratnega pogreška RMSE (angl. Root Mean Square Error). RMSE je kvadratni koren sredine kvadratov meritev, v našem primeru višinskih razlik. Izračunamo ga po enačbi:

$$\Delta H_{\text{RMSE}} = \sqrt{\frac{1}{n} (\Delta H_1^2 + \Delta H_2^2 + \dots + \Delta H_n^2)},$$

pri čemer je  $n$  število višinskih razlik v razredu,  $\Delta H_1, \Delta H_2 \dots \Delta H_n$  pa so posamezne razlike višin, pridobljenih na dva načina – z GNSS-višinomerstvom in z interpolacijo iz DMP-ja.

S to količino lahko najdemo grobe napake – meritev, katere vrednost je večja od trikratnika RMSE-ja, opredelimo za grobo pogrešeno. Vrednost RMSE računamo, dokler niso izločeni vsi pogreški. Skupaj s srednjo vrednostjo je RMSE osnova za določitev zanesljivosti rezultata (Höhle, Potuckova, 2006).

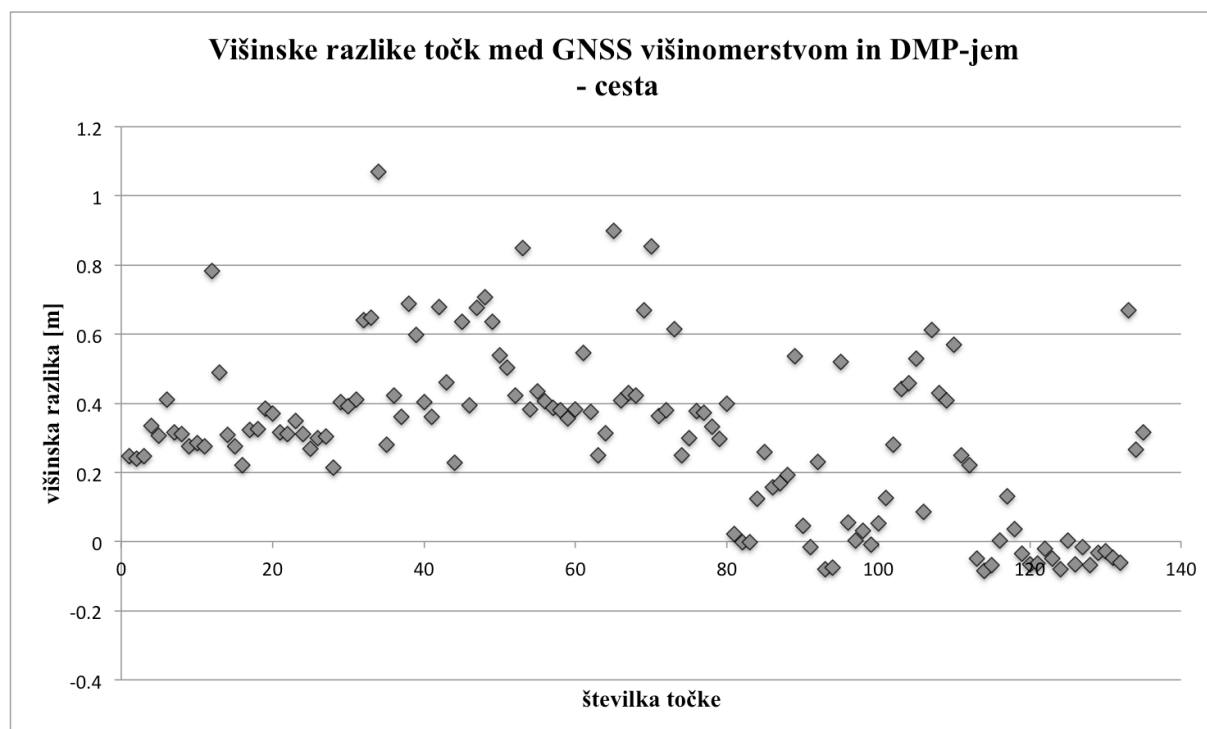
Zgoraj opisani statistični kazalci, ki so predstavljeni v poglavju Rezultati, so izračunani po izločitvi morebitnih grobih pogreškov.

## 5 REZULTATI

### 5.1 Cesta



Slika 8: GNSS-točke na cesti (sive barve), prikazane na ortofotu



Grafikon 1: Višinske razlike med določitvama z GNSS-višinomerstvom in iz DMP-ja – cesta

Preglednica 1: Rezultati statističnih izračunov – cesta

CESTA – višinske razlike	
Najmanjša vrednost [m]	-0,08
Največja vrednost [m]	1,07
Srednja vrednost [m]	0,32
Standardni odklon [m]	0,22
RMSE [m]	0,39

Razpon višinskih razlik za točke na cesti je precej velik, njihove vrednosti variirajo od -8 cm do 1,07 m. Srednja vrednost znaša 32 cm, standardni odklon pa 22 cm, kar kaže na veliko razpršenost rezultatov (preglednica 1). Zaradi grobih pogreškov smo s pomočjo izračunanega RMSE-ja izločili dve višinski razliki.

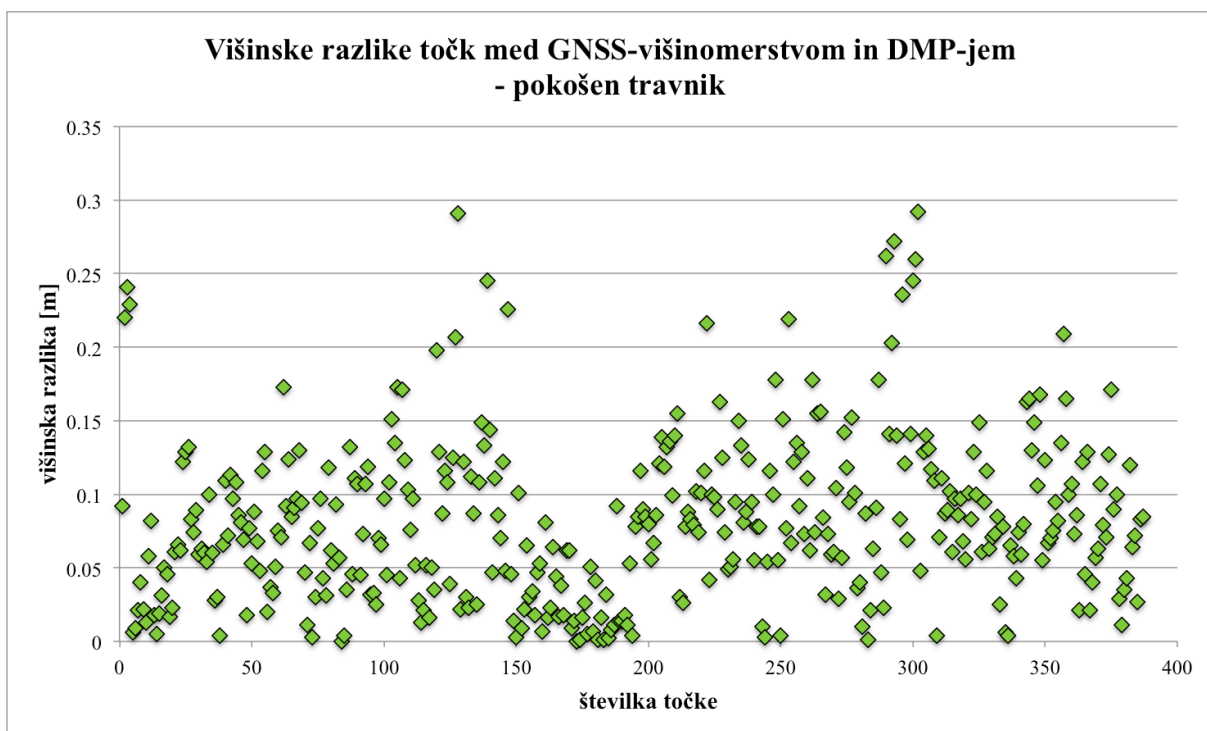
Večina točk ceste je glede na GNSS-meritve nižje od višine iz DMP-ja. Približno dve tretjini točk izmere GNSS odstopa od digitalnega modela površja za 20 cm in več (grafikon 1), veliko točk z desnega delovišča (slika 8 desno) pa ima precej manjšo višinsko razliko, do 10 cm absolutno. Do te razlike je najbrž prišlo, ker je cesta na desni bolj utrjena.

V tem razredu smo pričakovali najboljše rezultate, vendar se je izkazalo drugače. Razlog je verjetno v načinu snemanja točk ob robu ceste namesto direktno na njej, saj so bile te konkretne točke prvotno namenjene izrisu ceste v geodetskem načrtu. Glede na to, da je cesta na fotografiji videti brez teksture, pa je razlago možno iskati tudi v slabšem slikovnem ujemanju.

## 5.2 Pokošen travnik



Slika 9: GNSS-točke na pokošenem travniku (zelene barve), prikazane na ortofotu



Grafikon 2: Višinske razlike med določitvama z GNSS-višinomerstvom in iz DMP-ja – pokošen travnik



Preglednica 2: Rezultati statističnih izračunov – pokošen travnik

POKOŠEN TRAVNIK – višinske razlike	
Najmanjša vrednost [m]	-0,16
Največja vrednost [m]	0,29
Srednja vrednost [m]	0,08
Standardni odklon [m]	0,06
RMSE [m]	0,10

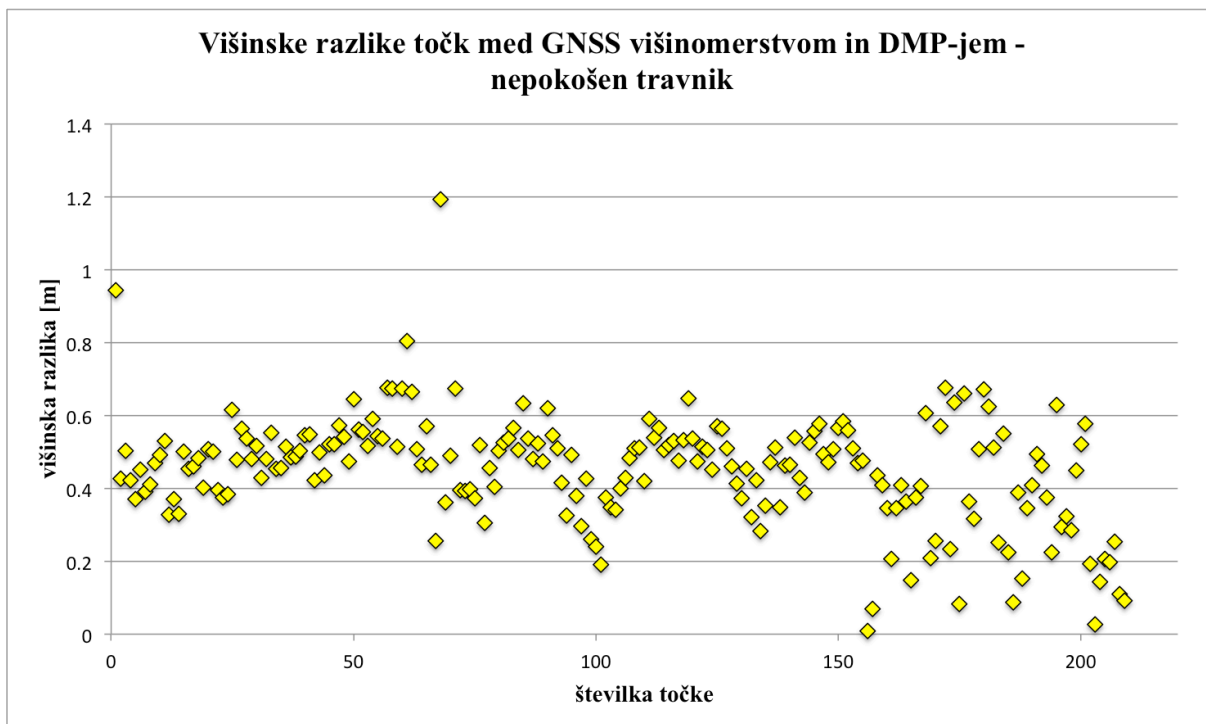
Pri nepokošenem travniku nekaj točk odstopa (grafikon 2), sicer pa so precej zgoščene okrog povprečja, kar dokazuje tudi majhen standardni odklon (preglednica 2). Z izračunom RMSE-ja smo izločili 28 grobo pogrešenih meritev. Pri teh točkah je višinska razlika znašala med 0,4 in 0,5 m, kar sovпада z višino trave na nepokošenem travniku. Odločitev za uporabo GNSS-meritev v okviru diplomske naloge je bila narejena nekaj mesecev po opravljenem terenskem delu, zato v času meritev nismo bili pozorni na podrobnosti, ki bi nam pri obdelavi prišle prav. Tako si recimo ob skici takrat nismo zapisali, katere točke so bile na pokošenem travniku in katere v visoki travi. Zato dopuščamo možnost, da je bilo teh 28 točk narobe klasificiranih, vendar se iz ortofota ne da bolje razbrati.

Meritev je glede na druga dva razreda največ, zato lahko te rezultate dojemamo kot bolj zanesljive. Točke, določene z RTK-izmero, so večinoma nižje kot iste točke na DMP-ju. Sicer so višinske razlike točk v tem razredu presenetljivo majhne, srednja vrednost znaša le 8 cm (preglednica 2). To je precej manj, kot smo pričakovali, sploh na travniku. Razlog je v sveže pokošenih travnikih, ki so dobro utrjeni in vidni tudi na kameri brezpilotnega letalnika (slika 9). Glede na metodo izmere veliko boljše točnosti kot približno decimeter tudi ne moremo pričakovati.

### 5.3 Nepokošen travnik



Slika 10: GNSS-točke na nepokošenem travniku (rumene barve), prikazane na ortofotu



Grafikon 3: Višinske razlike med določitvama z GNSS-višinomerstvom in iz DMP-ja – nepokošen travnik

Preglednica 3: Rezultati statističnih izračunov – nepokošen travnik

NEPOKOŠEN TRAVNIK – višinske razlike	
Najmanjša vrednost [m]	0,01
Največja vrednost [m]	1,19
Srednja vrednost [m]	0,45
Standardni odklon [m]	0,15
RMSE [m]	0,48

V tem razredu smo pričakovali najslabše rezultate zaradi visoke vegetacije. In res srednja vrednost meritev znaša kar 45 cm (preglednica 3), kar je približno toliko kot višina trave v času meritev. Po izračunu RMSE-ja smo izločili le en grobi pogrešek. Vse višinske razlike so pozitivne (grafikon 3), kar pomeni, da je digitalni model površja povsod višji od točk, izmerjenih z RTK metodo. Razpršenost višinskih razlik ni velika, saj standardni odklon znaša le 15 cm. Torej gre izmed vseh treh razredov za najbolj jasen in enoten odmik s terensko izmero določenih točk od ploskve DMP-ja. Čeprav je meritev na nepokošenem travniku le nekaj čez 200, lahko z gotovostjo trdimo, da ima vegetacija velik vpliv na natančnost digitalnega modela površja.

Dve meritvi na grafikonu 3 z višinsko razliko 0,95 m in 1,2 m odstopata in sta najbrž posledica zgoraj omenjenih razlogov in slabega signala, v kolikor sta to točki blizu dreves (slika 10).

## 6 ZAKLJUČEK

Brepilotni letalniki niso samo vohunska plovila za vojsko ali pripomoček za atraktivnejše filme. Zadnje čase se čedalje več uporabljajo za geodetske naloge, ki so jih prej opravljala letala, sateliti ali geodeti s klasično izmero. Tehnologija je resda že zelo napredovala, tehnike izdelave npr. digitalnih modelov reliefov in ortofotov se izboljšujejo. Na začetku vsake inovacije, tudi pripomočka za množično zajemanje podatkov, kar brezpilotni letalnik nedvomno je, moramo biti previdni. Vprašati se moramo o kakovosti, natančnosti, točnosti izdelkov, predvsem je pri snemanju iz zraka problematična višina. V diplomski nalogi smo zato skušali ovrednotiti dejansko uporabnost malih brezpilotnih letalnikov pri izdelavi digitalnih modelov reliefa oziroma površja.

Pri višinski analizi smo ugotovili, da se v splošnem digitalni model površja oziroma točke, interpolirane iz le-tega, od točk iz RTK-metode izmere GNSS razlikujejo za 23 cm – brez razvrstitve v razrede. To je mnogo večja razlika, kot smo jo pričakovali, upoštevajoč možno natančnost RTK-izmere. Zato lahko prvo hipotezo o predvideni višinski razliki ovržemo.

Potrebno je poudariti, da imajo meritve v okviru diplomske naloge nekatere pomanjkljivosti, ki so prav tako vzrok slabim rezultatom. Digitalni model površja je relativno izdelan zelo natančno zaradi velike resolucije uporabljenega fotoaparata in velikega preklopa pri snemanju, vendar je zaradi pomanjkanja oslonilnih točk in premalo natančne metode izmere le-teh absolutna natančnost DMP-ja slabša, kot bi lahko bila. Že tukaj nastanejo razlike med različnima določitvama višin. Naslednji morebitni vzrok za slabe rezultate je interpolacija, ki je bila uporabljena dvakrat. Prvič, ko je bil iz oblaka točk izdelan DMP, in drugič pri določitvi višine iz DMP-ja za točke s koordinatami iz RTK-izmere.

Drugo hipotezo, kjer smo napovedali razreda z najmanjšimi in največjimi višinskimi razlikami, lahko le delno potrdimo. Za resnično se je izkazala trditev, da bodo največje razlike med DMP-jem in izmero GNSS na nepokošenem travniku. Iz tega lahko zaključimo, da ima vegetacija zares velik vpliv pri izdelavi digitalnega modela površja ali reliefa. Pri cesti razlike niso najmanjše, vendar predvidevamo, da je to zaradi izbire mesta za izmero točk. Za najboljši rezultat se je izkazal pokošen travnik, na katerem je bila povprečna vrednost višinskih razlik manjša od predvidevane. Tam je bil vzorec največji in točke razporejene po večji površini travnika. V kolikor bi na vseh območjih izmerili več točk, jih enakomerno razporedili in jih določili ob popolnoma istem času kot brezpilotni letalnik, bi najverjetneje dobili boljše rezultate, tj. manjše odstopanje DMP-ja od točk iz izmere GNSS. Zaključimo lahko, da ne glede na vse napake, narejene pri meritvah, digitalni model površja sistematično odstopa od GNSS-točk, in sicer je nad njimi.

Digitalni model površja je bil izdelan na podlagi slikovnega ujemanja, kar ni tako zanesljiva metoda kot ročne meritve, kljub temu pa so rezultati zaradi velikega števila izmerjenih točk (precej več, kot jih lahko izmerimo ročno) in s tem nadštevilnih meritev prav tako zanesljivi. Na splošno je v obdelavi fotografij z malega brezpilotnega letalnika in izdelavi digitalnih modelov višin še veliko neznank, ki jih je potrebno s testi ovrednotiti. Na drugi strani je izmera GNSS že stara znanka geodetskih strokovnjakov in njene zmožnosti in delovanje dobro poznamo. Izdelava digitalnega modela površja z malim brezpilotnim letalnikom lahko prihrani veliko časa in denarja, vendar ji je potrebno dati čas za razvoj. V višinskem smislu ji namreč zaenkrat še ne gre povsem zaupati. Do takrat pa bomo pri nalogah, ki zahtevajo visoko točnost in natančnost, še vedno uporabljali GNSS in klasično izmero.

---

**VIRI**

Geavis. 2015. Snemanje na terenu iz izdelava DMP-ja iz fotografij brezpilotnega letalnika. Osebna komunikacija. (8. 9. 2015.)

Goleš, M. 2007. GPS-višinomerstvo s pomočjo RTK-metode izmere. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Goleš): str. 15-17.

GURS. 2007. Tehnično navodilo za uporabo novega koordinatnega sistema v zemljiškem katastru: str.10.

[www.gu.gov.si/fileadmin/gu.gov.si/pageuploads/ogs/razlicica1\\_0.doc](http://www.gu.gov.si/fileadmin/gu.gov.si/pageuploads/ogs/razlicica1_0.doc) (Pridobljeno 7. 9. 2015.)

Höhle, J., Potuckova, M. 2006. EuroSDR No. 51: Checking and Improving of Digital Terrain Models. European Spatial Data Research.

<http://www.eurocdr.net/publications/official-publication-no-51-2006> (Pridobljeno: 5. 7. 2015)

Ocepek, M. 2013. Navigacijski sistemi. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Ocepek): str. 15.

Satellite navigation. 2015.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Satellite\\_navigation](https://en.wikipedia.org/wiki/Satellite_navigation) (Pridobljeno 20. 8. 2015.)

Unmanned aerial vehicle. 2015.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned\\_aerial\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle) (Pridobljeno 20. 8. 2015.)

Zhang, L., Gruen, A. 2006. Multi-image matching for DSM generation from IKONOS imagery. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 60, 3: 195-211.

Kosmatin Fras, M. 2014. Fotogrametrija I. Zapiski s predavanj: loč. pag.

Stopar, B. 2014. GNSS v geodeziji. Zapiski s predavanj: loč. pag.