

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:

Anželak, A., 2015. Terenska izmera na območju gozda za oceno kakovosti višin, določenih z laserskim skeniranjem: delovišče v Radovljici. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Pavlovčič Prešeren, P., somentor Urbančič, T.): 26 str.

Datum arhiviranja: 02-10-2015

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:

Anželak, A., 2015. Terenska izmera na območju gozda za oceno kakovosti višin, določenih z laserskim skeniranjem: delovišče v Radovljici. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Pavlovčič Prešeren, P., co-supervisor Urbančič, T.): 26 pp.

Archiving Date: 02-10-2015

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:

**ANITA ANŽELAK**

**TERENSKA IZMERA NA OBMOČJU GOZDA ZA  
OCENO KAKOVOSTI VIŠIN, DOLOČENIH Z  
LASERSKIM SKENIRANJEM: DELOVIŠČE V  
RADOVLJICI**

Diplomska naloga št.: 85/GIG

**TERRAIN SURVEY IN THE FOREST FOR  
EVALUATION OF QUALITY OF HEIGHTS FROM  
AIRBORNE LASER SCANNING SITE IN RADOVLJICA**

Graduation thesis No.: 85/GIG

**Mentorica:**

doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren

**Somentor:**

asist. Tilen Urbančič

Ljubljana, 08. 09. 2015

## **STRAN ZA POPRAVKE**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisana Anita Anželak izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom: »Terenska izmera na območju gozda za oceno kakovosti višin, določenih z aerolaserskim skeniranjem: delovišče v Radovljici«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 1.9. 2015

---

(podpis)

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

UDK/UDC:	528.72:528.236(497.4)(043.2)
Avtor:	Anita Anželak, gimnazijski maturant
Mentor/mentorica:	doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren
Somentor:	asist. Tilen Urbančič
Naslov:	Terenska izmera na območju gozda za oceno kakovosti višin, določenih z aerolaserskim skeniranjem: delovišče v Radovljici
Tip dokumenta:	Diplomska naloga
Obseg in oprema:	26 str., 2 pregl., 11 sl., 4 graf., 5 en.
Ključne besede:	višine točk, aerolasersko skeniranje, GNSS, klasična terestrična izmera, ovire sprejema signala GNSS

### **Izvleček**

V diplomski nalogi smo primerjali višine točk, ki smo jih določili s terensko izmero oziroma so bile rezultat aerolaserskega skeniranja. Prvi cilj diplomske naloge je bil opredeliti kakovost višin iz aerolaserskega skeniranja na poraščenih terenih, zato smo za delovišče izbrali gozd v bližini Radovljice. Nadalje smo želeli opredeliti zmožnost določanja položaja s tehnologijo GNSS v listnatem gozdu v obdobju brez bujne vegetacije in pokazati prednost uporabe kombinirane GNSS in klasične terestrične izmere na območjih, kjer imamo težave z direktnim sprejemom signala GNSS. Hipotezo, da na območju listnatega gozda v času brez bujne vegetacije lahko določamo položaj z GNSS, za konkretno delovišče lahko potrdimo, vendar velja omeniti, da bi za to bilo potrebno izvesti precej bolj obsežne teste tudi na drugih deloviščih tekom celotnega leta. Nadalje smo ugotovili, da je ocena kakovosti določitve višin iz aerolaserskega skeniranja s terensko izmero zelo dober postopek za ugotavljanje razlik med višinami, vendar je hkrati tudi zamuden postopek, ki ga splošno ne moremo uporabljati. Uporabimo ga primerih, ko na osnovi poznavanja pomanjkljivosti delovanja tehnologije množičnega zajema podatkov že vnaprej predpostavimo slabšo kakovost določitve višin.

**BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

UDK/UDC:	528.72:528.236(497.4)(043.2)
Author:	Anita Anželak, high school graduate
Supervisor:	Assist. Prof. Polona Pavlovčič Prešeren, Ph. D.
Co-supervisor:	Assist. Tilen Urbančič
Title:	Terrain survey in the forest for evaluation of quality of heights from airborne laser scanning: site in Radovljica
Document type:	Graduation thesis – University studies
Notes:	26 p., 2 tab., 11 fig., 5 eq.
Key words:	Radovljica, compraison of heights, airborne laser scanning, lidar, classical terrestrial method of survey, GNSS survey, orthometric elevation

**Abstract**

The main purpose of this graduation thesis is the comparison of heights, gathered from two completely different procedures. First by aerial laser scanning and second by the terrain field work. We have evaluated the quality of heights on the specific area with high vegetation. For this reason we have decided to perform terrain work in the forest near Radovljica. Furthermore, we wanted to define the GNSS point determination ability in a deciduous forest in the period, excluding lush vegetation. By using combination of GNSS and classical terrestrial methods we have shown advantages of such positioning in the areas with problematic direct GNSS signals' reception. In this particular case we can confirm the hypothesis, that GNSS positioning in deciduous forest is possible over the period with less vegetation. However, we emphasize that far more studies in different locations and times over the year should be performed to get a general assessment of the possibility of GNSS positioning in deciduous forests. From the results of height quality evaluation we can conclude, that heights from aerial laser scanning should be checked using different technologies, especially by terrain field work. At the same time this is a time consuming procedure that cannot be used in all cases where lidar heights are for wide area studies. Such a procedure of evaluation of quality of heights is used in cases, where a lower quality of results from aerial laser scanning due to the deficiencies of the technology itself is assumed.

## **ZAHVALA**

Za pomoč, nasvete in strokovno vodenje se iskreno zahvaljujem mentorici doc. dr. Poloni Pavlovčič Prešeren ter somentorju asist. Tilnu Urbančiču.

Zahvaljujem se svojim staršem in bližnjim za vso pomoč in podporo. Hvala tudi vsem ostalim, ki ste mi pomagali skozi študijska leta in v času nastajanja diplome.

»Ta stran je namenoma prazna«.



## KAZALO

<b>IZJAVA O AVTORSTVU .....</b>	<b>IV</b>
<b>BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....</b>	<b>V</b>
<b>BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT.....</b>	<b>VI</b>
<b>ZAHVALA.....</b>	<b>VII</b>
<b>1 UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Opredelitev cilja in hipotez naloge .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Opis strukture naloge.....</b>	<b>2</b>
<b>2 UPORABLJENE METODE DOLOČITVE PROSTORSKEGA POLOŽAJA.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Tehnologija GNSS .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Metoda RTK .....</b>	<b>4</b>
<b>2.3 Klasične terestrične metode izmere.....</b>	<b>5</b>
<b>2.4 Kombinacija klasične terestrične metode in metode izmere GNSS .....</b>	<b>5</b>
<b>2.5 Aerolaserko skeniranje .....</b>	<b>6</b>
<b>2.5.1 Neposredno georeferenciranje .....</b>	<b>7</b>
<b>3 DELOVIŠČE IN TERENSKA IZMERA .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1 Potek terenskega dela.....</b>	<b>10</b>
<b>4 OBDELAVA PODATKOV GNSS IZMERE IN LIDAR-JA .....</b>	<b>13</b>
<b>4.1 Obdelava podatkov terenske izmere .....</b>	<b>13</b>
<b>4.2 Rezultati .....</b>	<b>13</b>
<b>4.3 Prikaz rezultatov za območje A.....</b>	<b>14</b>
<b>4.4 Prikaz rezultatov za območje B.....</b>	<b>18</b>
<b>5 ZAKLJUČEK.....</b>	<b>22</b>
<b>VIRI .....</b>	<b>24</b>

»Ta stran je namenoma prazna«.

## KAZALO SLIK

Slika 1: Slika vektorjev kalibracije snemalnega sistema (Kocijančič, 2013).....	7
Slika 2: Delovišče v Radovljici .....	9
Slika 3: Začetek 3-metrskega pasu na vrhu hriba – delovišče B. V delovišče smo namerno vključili tudi ostanek posekanega drevesa. ....	11
Slika 4: Tri-metrski pas delovišča B, slikano z vrha hriba navzdol. ....	11
Slika 5: Manjša kotanja delovišča A, ki je tudi vključevalo ostanek posekanega drevesa. ....	12
Slika 6: Kombinacija meritev z GNSS in elektronskim tahimetrom (delovišče B). ....	12
Slika 7: Območje A - pogled iz <i>Fugroviewer</i> -ja na podlagi terestričnih točk. Merilo je označeno na sliki zgoraj desno na mestu večjega štora v metrih (modra barva točk – meritve s terena, rumena barva točk – lidar). ....	14
Slika 8: Območje A - Pogled iz <i>Fugroviewer</i> -ja na podlagi terestričnih točk. Merilo je označeno na sliki v zgornjem desnem kotu z rumeno črtico, ki predstavlja dolžino 0,1 m (modra barva točk – meritve s terena, rumena barva točk – lidar). ....	15
Slika 9: Območje B - 3D pogled, izdelan v programu <i>Fugroviewer</i> .....	18
Slika 10: Območje B - Pogled na podlagi terestričnih točk. Merilo je označeno na sliki na mestu večjega štora v metrih (modra barva točk – meritve s terena, rumena barva točk – lidar). ....	19
Slika 11: Območje B - Pogled na podlagi terestričnih točk. Merilo je označeno na sliki na mestu manjšega štora v metrih (modra barva točk – meritve s terena, rumena barva točk – lidar). ....	19

»Ta stran je namenoma prazna«.

## **KAZALO GRAFIKONOV**

Grafikon 1: Območje A - Razmerje pozitivnih in negativnih razlik višin. ....	16
Grafikon 2: Območje A - Razlike višin med terestričnimi višinami in višinami lidarskega DMV-ja. ...	17
Grafikon 3: Območje B - Razmerje pozitivnih in negativnih razlik višin. ....	20
Grafikon 4: Območje B - Razlike višin med terestričnimi višinami in višinami lidarskega DMV-ja. ...	21

## **KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Območje A - Statistični podatki o razlikah višin. ....	17
Preglednica 2: Območje B - Statistični podatki o razlikah višin. ....	20

»Ta stran je namenoma prazna«.

## **KRAJŠAVE IN KRATICE**

<b>GNSS</b>	– globalni navigacijski satelitski sistemi (angl. Global Navigation satellite System)
<b>LiDAR</b>	– angl. Light Detection And Ranging
<b>RTK</b>	– angl. Real Time Kinematic
<b>GPS</b>	– angl. Global Positioning System
<b>GLONASS</b>	– rus. Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistema
<b>INS</b>	– angl. Inertial Navigation System
<b>tj.</b>	– to je
<b>oz.</b>	– oziroma
<b>itd.</b>	– in tako dalje
<b>WGS-84</b>	– angl. World Geodetic System 1984
<b>DMV</b>	– digitalni model višin
<b>RMSE</b>	– koren srednjega kvadratnega odklona (angl. Root Mean Square Error)
<b>ALS</b>	– aerolasersko skeniranje (angl. Airborne Laser Scanning)
<b>IMU</b>	– inercialna merska enota (angl. Inertial Measurement Unit)
<b>ppm</b>	– število delcev na milijon (angl. Parts Per Million)

»Ta stran je namenoma prazna«.



## 1 UVOD

Uporaba modernih tehnologij je v geodeziji pripomogla h kakovosti načina dela vse do izdelave končnih produktov, ki jih stroka nudi širšim uporabnikom. Satelitsko podprto tehnologijo GNSS (angl. Global Navigation Satellite System) za določitev prostorskega položaja kadarkoli in kjerkoli na zemeljskem površju danes uporablja ali pa je zanjo slišal skorajda že vsak posameznik. Tehnologijo GNSS v geodeziji uporabljamo v povezavi z najbolj kakovostnimi faznimi instrumenti GNSS, ki omogočajo centimetrovsko ali boljšo točnost določitve položaja. Kljub veliko prednostim pa ima tehnologija GNSS določene pomanjkljivosti, kot na primer, da je določitev položajev objektov vezana na območja brez ovir sprejema satelitskih signalov. To pomeni, da je v primeru gozdov z bujno vegetacijo določanje 3D položaja z GNSS težavno ali celo onemogočeno. Tehnologija aerolaserskega skeniranja ALS ima v primerjavi z GNSS-prostorskim referenciranjem prednosti v hitrejšem in celovitem zajemu prostorskih podatkov. Ker laserski žarki pri ALS lahko prodrejo skozi višjo ali nižjo vegetacijo, tehniko uporabljajo za določitev prostorskih podatkov tudi na območju gozdov. V Sloveniji je lidar čedalje pogosteje uporabljena metoda množičnega zajema podatkov. V sklopu projekta, ki sicer še ni zaključen, je digitalni model višin DMV velikosti celice 1 m x 1 m določen prav na osnovi snemanja ALS. Poleg veliko prednosti pa je na testnih območjih vseeno potrebno ovrednotiti kakovost končnega izdelka, ki ga uporabniki nadalje uporabljajo kot vhodni podatek za nadaljnja planiranja.

V diplomski nalogi smo preverili točnost terensko pridobljenih prostorskih podatkov s kombinacijo GNSS in klasičnih geodetskih metod izmere ter točnost podatkov, pridobljenih s tehnologijo ALS. Določitev točk pri kombinirani metodi klasične terestrične in izmere GNSS je odvisna od vrste uporabljenega elektronskega tahimetra, od kakovosti signala med satelitom GNSS in sprejemnikom, od raznih zunanjih vplivov na satelitski signal ter od uporabljene metode izmere GNSS. Pri izmeri GNSS je statična metoda najbolj kakovostna metoda določitve položaja točke, poznamo pa tudi hitro statično metodo, kinematično metodo ter RTK (angl. Real Time Kinematic) metodo izmere GNSS. Glavna razlika med statično in hitro statično metodo izmere je v času trajanja opazovanj in v končni točnosti določitve položaja. S kinematično metodo izmere položaj določamo premikajoči točki, zato je hitrejša metoda določitve položaja. Nadgradnja kinematične metode izmere je metoda izmere RTK, ki temelji na pridobivanju podatkov v realnem času. To pomeni, da dobimo 3D-koordinate točk že v času merjenja, vendar pa je ta metoda manj točna kot statična metoda izmere GNSS.

Kakovost določitve točk pri ALS je najbolj odvisna od natančnosti določitve položaja snemalnega sistema, kakovosti kalibracije snemalnega sistema, laserskega razdaljemera ter tarče oz. površine, od katere se je impulz odbil. Da bi dobili koordinate točke na površju, od katere se je signal odbil, je potrebno izvesti postopek georeferenciranja.

## 1.1 Opredelitev cilja in hipotez naloge

Glavni cilj diplomske naloge je bil ugotoviti kakovost izvedbe terenske izmere z GNSS na območju gozda v času, ko še ni bilo bujne vegetacije (pomlad). Hkrati smo na konkretnem primeru želeli pokazati prednost uporabe kombinirane GNSS in klasične metode izmere. Prva prednost je v večji zanesljivosti določitve prostorskih podatkov in druga v možnosti določitve prostorskih podatkov in opredelitev njihove kakovosti v realnem času. Delovišče smo namerno izbrali na območju gozda, kjer je tudi dostopnost impulzov ALS slabša kot na neporaščenih tleh. Nadalje smo primerjali višine terestrično izmerjenih točk z višinami, ki so jih določili z ALS. Končni rezultat naloge je prikaz višinskega odstopanja za izbrano število točk, ki so imele višine določene na osnovi tehnologij GNSS (ali kombinacije GNSS in klasične izmere) in ALS.

V diplomski nalogi smo si postavili tri delovne hipoteze:

### 1. hipoteza:

Na poraščenih območjih, kot je to primer listnatega gozda, je v času brez bujne vegetacije mogoče določati položaj tudi s tehnologijo GNSS s točnostjo nekaj centimetrov.

### 2. hipoteza:

Višine, določene na podlagi aerolaserskega skeniranja, so slabše kakovosti, kot višine, pridobljene s terenskimi metodami izmere (GNSS v povezavi s klasičnimi metodami).

### 3. hipoteza:

Ker se pri laserskem skeniranju zajame manj točk na poraščenih predelih, bo na tem območju digitalni model višin slabše kakovosti kot na neporaščenih območjih, zato lahko s kombinirano metodo klasične in GNSS-izmere na poraščenih območjih izboljšamo modeliranje, saj število posnetih točk pri tej metodi ni omejeno (je pa zamudno).

Kombinirano metodo izmere smo uporabili zaradi dejstva, da z uporabo samo tehnologije GNSS v gozdu ne moremo povsod določati položaja zaradi ovir sprejema signala GNSS. Upoštevali smo tudi, da se točnost določitve položaja s kombinirano metodo v gozdu ne zmanjša.

## 1.2 Opis strukture naloge

V prvem poglavju je predstavljen uvod v diplomsko nalogo s postavljenimi hipotezami. Drugo poglavje je namenjeno opisu tehnologije GNSS, metode RTK, terestrične klasične metode izmere in kombinacije klasične terestrične metode in metode izmere GNSS. Vse navedene tehnologije smo uporabili pri terenskem delu. V tretjem poglavju predstavljamo delovišče v Radovljici in potek terenskega dela. V naslednjem poglavju opisujemo obdelavo podatkov terenske izmere in lidarskih podatkov. Predzadnje, peto poglavje, je najpomembnejše poglavje, saj v njem predstavljamo rezultate, ki smo jih pridobili s primerjavo terenskih meritev in lidarskih podatkov. Zadnje poglavje je namenjeno zaključku, kjer smo podrobneje ovrednotili zastavljene hipoteze.

## 2 UPORABLJENE METODE DOLOČITVE PROSTORSKEGA POLOŽAJA

V dani nalogi smo uporabili prednosti različnih metod določanja 3D-položaja objektov v prostoru. Z namenom lažjega razumevanja bomo v nadaljevanju kratko opisali bistvene lastnosti posameznih metod. Pri tem se bomo omejili tako na kratek opis delovanja metode ter njihovih prednosti in pomanjkljivosti z namenom, da utemeljimo smisel izvedbe celotnega diplomskega dela.

### 2.1 Tehnologija GNSS

V okviru satelitske geodezije poznamo najbolj razširjeno tehnologijo, imenovano globalni navigacijski satelitski sistemi GNSS. Tehnologija GNSS je cenovno ugodna, dosega visoko točnost določitve položaja v globalnem koordinatnem sistemu, poleg naknadne obdelave pa je možna tudi obdelava podatkov v realnem času. Poznamo različne sisteme GNSS. V lasti Združenih držav Amerike je GPS, v lasti Rusije GLONASS, v lasti Evrope Galileo, v lasti Kitajske pa Beidou (Navodila za izvajanje..., 2006). Za določitev položaja točke na zemeljski površini potrebujemo vsaj štiri vidne satelite (Šledziński, 1997). Glede na dinamiko izmere GNSS ločimo statično in kinematično metodo izmere. Pri statični metodi izmere določamo položaj nepremičnim objektom, pri kinematičnih pa premičnim objektom (Vodopivec, 1996). Kinematično metodo izmere danes, ko imamo na voljo zelo izpopolnjene algoritme obdelave opazovanj, uporabljamo tudi za določitev položajev nepremičnim objektom v primeru, ko želimo določiti položaj več objektov v dokaj kratkem času izvedbe opazovanj.

Prednosti izmere GNSS pred klasičnimi metodami izmere so predvsem v izvedbi izmere, ko ni zagotovljene vidnosti med točkami. V primeru določanja položaja z GNSS vidnost med točkami ni potrebna, ampak moramo imeti zagotovljen neoviran sprejem signalov s satelitov. Prav tako ni potrebno predhodno planirati izmere v smislu optimizacije geodetskih mrež. Za doseganje visoke točnosti določitve položaja je potrebno vložiti manj truda kot pri klasičnih metodah izmere. Pri GNSS je pomembno tudi to, da vremenske razmere ali čas izvedbe izmere ne vplivajo na razpoložljivost satelitskih signalov. Kljub temu pa obstajajo tudi slabosti. Prva je, da mora biti signal, ki prehaja od satelita do sprejemnika, prost, kar pomeni, da se nad opazovališčem ne smejo nahajati ovire, ki bi onemogočale kontinuiran sprejem satelitskega signala. Ravno zaradi ovir se moramo večkrat posluževati drugih geodetskih metod izmere oz. metode izmere GNSS kombinirati z drugimi terenskimi metodami. Ena od lastnosti GNSS-določanja položaja je tudi ta, da je prostorski položaj točk določen v posebnem GNSS-koordinatnem sistemu. Pri tem je višina sicer določena, vendar ne v fizikalnem, ampak v geometričnem smislu. Govorimo o elipsoidni višini, ki predstavlja višino nad rotacijskim elipsoidom. Koordinate točk moramo najprej transformirati v državni koordinatni sistem, višine pa pretvoriti iz geometrično definiranih elipsoidnih višin v fizikalno določene višine. Tem laično rečemo nadmorske višine, v geodeziji pa normalne-ortometrične ali višine drugih višinskih

sistemov s fizikalno osnovo. Za prehod uporabljamo model geoida, v Sloveniji trenutno še vedno model geoida iz leta 2000 (Pribičević, 2000).

Poznamo več različnih vplivov na kakovost izvedbe opazovanj pri izmeri GNSS, ki jih moramo upoštevati, če želimo dobiti kakovostne rezultate izmere. Med vplivi ločimo tiste, ki imajo izvor v satelitih, mediju razširjanja signala in okolici sprejemnika. V dani nalogi bomo podrobneje obravnavali le slednje, saj so ostali vplivi s primerno izbrano metodo izmere (relativna metoda na osnovi uporabe kakovostnih algoritmov odstranjevanja vplivov) in ustreznim programskim paketom v večji meri odstranjeni. Če pri dvofrekvenčnih opazovanjih upoštevamo vplive, kot so pogrešek ure sprejemnika, vpliv troposfere, fazno nedoločeno, kodni zamik, slučajne pogreške in druge vplive, dobimo enačbi, s katerima lahko skoraj popolnoma odstranimo vpliv ionosfere (Sterle, 2013 in Sterle, 2014):

$$L_3 = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot L_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot L_2 = \rho + c\Delta t + T + N_3 + \xi + \varepsilon_{L_3}$$

$$P_3 = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot P_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot P_2 = \rho + c\Delta t + T + D_3 + \xi + \varepsilon_{P_3}$$

$L_3$  predstavlja vpliv ionosfere za fazna opazovanja,  $P_3$  pa za kodna opazovanja. Tretji je vpliv, ki izvira iz samega sprejemnika oz. iz okolice. Ravno zaradi vpliva ionosfere v geodeziji uporabljamo večfrekvenčne instrumente GNSS. Zaradi objektov v bližini se lahko pot signala podaljša, kar imenujemo večpotje. Spremeni se lahko položaj faznega centra v anteni sprejemnika, lahko pa pride tudi do šuma sprejemnika in antene (Sterle, 2014). GNSS-tehnologije načeloma ne moremo uporabljati v gozdu, saj je signal, ki prihaja od satelita do sprejemnika, velikokrat prekinjen. To pomeni, da tekom obdelave faznih opazovanj pride do nenadnih skokov signala (angl. cycle slips), ki jih v veliko primerih algoritmi obdelave kinematičnih opazovanj ne morejo razrešiti. Lahko pa v kombinaciji tehnologije GNSS s klasičnimi metodami izvedemo meritve tudi na bolj poraščenih območjih. To nam omogoča tudi tehnologija podjetja Leica Geosystems »Smart-pole« (Šledziński, 1997).

## 2.2 Metoda RTK

V danem primeru smo za določitev položajev točk uporabili kinematično metodo izmere z obdelavo v realnem času RTK. Metoda RTK je relativna metoda določitve položaja točke v realnem času na osnovi faznih opazovanj (SIGNAL, 2015). To je metoda, ki se imenuje tudi »Stop-and-Go« metoda in nam omogoča pridobitev koordinat v GNSS-koordinatnem sistemu med samo izmero (Navodilo za izmero..., 2006). Za izvedbo RTK-metode potrebujemo referenčno postajo GNSS, mobilni sprejemnik GNSS in brezžično povezavo med referenčno postajo in sprejemnikom. Oprema mora omogočati

direkten prenos podatkov med referenčno postajo in sprejemnikom (Portal RTK/DGPS, 2015). Točnost, ki jo lahko dosežemo s to metodo, se približa točnosti statične metode izmere GNSS v definicijskem območju centimetra.

### **2.3 Klasične terestrične metode izmere**

S klasičnimi metodami izmere določamo položaj točk v geodetski mreži in naprej na detajlu. Najprej moramo zasnovati projekt geodetske mreže in ga pred samo izvedbo meritev tudi dokončati. To nam predstavlja pogoj za izvedbo klasične metode izmere. V sklopu klasične terestrične izmere poznamo več metod, kot so trigonometrično višinomerstvo, geometrični nivelman, trilateracija in triangulacija. Meritve so v preteklosti najprej začeli izvajati s pomočjo teodolitov. Do danes je tehnologija napredovala v taki meri, da se namesto teodolitov uporabljajo elektronski razdaljemeri in nivelirji. Sodobna, pa tudi starejša tehnologija, omogoča merjenje višinskih razlik, zenitnih razdalj, dolžin in horizontalnih kotov (Kogoj, 2014). Danes v večini uporabljamo elektronske razdaljemere in nivelirje, vendar včasih še vedno posegamo po teodolitih, saj lahko v določenih primerih dosežemo boljšo točnost določitve položaja kot pri novejši tehnologiji.

### **2.4 Kombinacija klasične terestrične metode in metode izmere GNSS**

Včasih meritve zaradi različnih tehničnih ali naravnih pogojev ne moremo izvesti ne s klasičnimi metodami in ne z metodami GNSS-izmere. Lahko pa s kombinacijo obeh metod. Kot je bilo že prej omenjeno, dobimo pri metodah izmere GNSS opazovanja, ki se nanašajo na geocentrični referenčni elipsoid, opazovanja pri klasičnih terestričnih metodah pa se nanašajo na težnostno polje Zemlje (Kogoj, 2014). Izvajanje kombinacije obeh metod nam omogoča prej omenjena tehnologija Smart-pole podjetja Leica Geosystems. To je sistem, ki združuje meritve iz elektronskega tahimetra in iz instrumenta GNSS. Antena na elektronskem tahimetru nam omogoča sprejem podatkov z referenčnih postaj GNSS, da lahko z obdelavo opazovanj relativnega določanja položaja pridobimo položaj instrumenta GNSS. Korekcijske parametre lahko pridobimo tudi s povezavo elektronskega tahimetra in instrumenta GNSS preko brezžične povezave. Položaj stojišča elektronskega tahimetra lahko torej določimo iz opazovanj GNSS, kar pomeni, da nam ni potrebno vzpostavljati geodetske mreže, kot pri klasičnih terestričnih metodah izmere (Tuno, 2010). Tako prihranimo čas v pisarni, ker nam ni treba planirati geodetske mreže, saj koordinate stojišča in orientacij določimo direktno na terenu. Kadar je sprejem signala GNSS oviran, uporabimo način, ko položaj točke izmerimo z elektronskim tahimetrom. Kadar pa med elektronskim tahimetrom in prizmo ni vidnosti, uporabimo način, kjer položaj točke izmerimo s pomočjo signala GNSS (Vidic, 2010).

## 2.5 Aerolaserko skeniranje

Postopek, ko topografijo terena snemamo iz zraka, imenujemo zračno ali aerosnemanje. To je način, kjer uporabljamo snemalni sistem s posebnimi senzorji, ki so pritrjeni na platforme, kot so letala, helikopterji itd. Eden teh senzorjev je tudi lidar. Lidar je instrument, ki najprej oddaja laserske žarke, nato pa zaznava odboj tega laserskega žarka od nekega predmeta. Je instrument, ki je pomemben predvsem na območju gozda, saj je natančnejši in točnejši od drugih metod v daljinskem zaznavanju (Oštir, 2006).

Lidarski snemalni sistem je sestavljen iz zračnega in terenskega segmenta (Urbančič in Grigillo, 2015). Zračni segment vsebuje:

- plovilo,
- laserski skener in
- sistem za določanje položaja (pozicioniranje) (sprejemnik globalnega določanja položaja GNSS in inercialni navigacijski sistemi INS (angl. Inertial Navigation System)).

Terenski segment pa sestavljajo:

- referenčna postaja za globalno določanje položaja in
- strojna ter programska oprema za obdelavo podatkov, ki se izvaja po snemanju.

Lidar pošilja kratke impulze navpično proti zemeljski površini, tj. snop impulzov bližnje infrardeče in vidne svetlobe. Njegovo vidno polje je zelo ozko. Na podlagi merjenega časa potovanja žarka  $t_L$ , med lidarjem in predmetom, od koder se je žarek odbil, ter na podlagi hitrosti svetlobe  $c$ , lahko izračunamo razdaljo  $R$  med lidarjem in predmetom po enačbi (Oštir, 2006):

$$t_L = \frac{2R}{c}$$

Poleg odbitega impulza lahko zaznavamo tudi intenziteto oz. jakost odboja, ki nam posredno podaja informacije o lastnosti materiala predmeta, od katerega se je žarek odbil. Podatki, ki jih pridobimo z laserskega snemalnega sistema, so položaj snemalnega sistema ( $x, y, z$ ), koti in izračunana razdalja žarka med lidarjem in predmetom, od katerega se je žarek odbil, red in jakost odboja ter kalibracijski podatki, v katerih se nahajajo parametri opreme. Rezultat obdelave teh podatkov je oblak točk s kartezičnimi koordinatami  $(X, Y, Z)$  oz. z elipsoidnimi koordinatami  $(\varphi, \lambda, h)$ . Koordinate predstavljajo točko na predmetu, od katerega se je odbil žarek. Sledijo postopki filtriranja, kalibracije in rastriranja podatkov. Na podlagi teh postopkov odstranimo vse nepravilne odboje, prepoznamo določene oblike predmetov iz oblaka točk, ustvarimo in izboljšamo končni izdelek, ki je lahko digitalni model površja, digitalni model višin, 3D model površja itd. (Oštir, 2006 in Vosselman, 2010). Lidar v Sloveniji uporabljamo tudi za odkrivanje nevarnosti naravnih nesreč, kot so plazovi in razni premiki zemljine. Vertikalna natančnost teh premikov znaša deset centimetrov (Lamovec, 2011). V

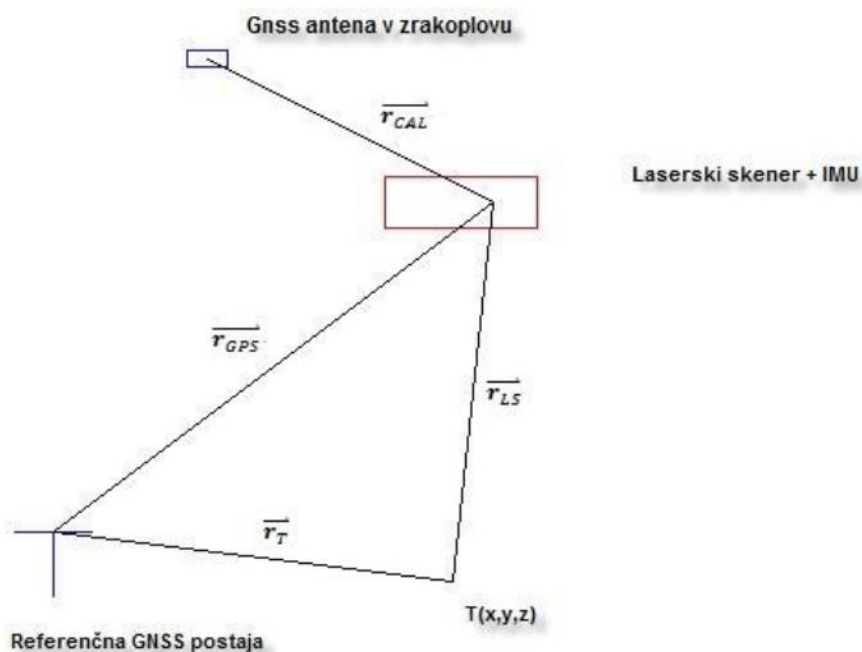
gozdu se nekateri impulzi odbijejo od listja, nekateri pa prodrejo skozi listje in se odbijejo šele na tleh. Žarki se najbolje odbijajo od vej dreves, najmanj pa od debel dreves in grmičevja. Digitalni model višin pridobimo iz točk, ki se odbijejo od tal. Vsi prvi odboji od predmetov nad tlemi predstavljajo digitalni model površja. Dobra lastnost laserskega skeniranja v gozdu je, da laserski žarki tudi na tem območju prihajajo do tal. Slabost je v tem, da se kljub temu, da nekaj laserskih žarkov pride do tal, veliko teh odbije od listja ali debla. To pomeni, da v gozdu ne moremo sklepati, da točke, kjer se je odbil laserski žarek, prikazujejo pravilne višine tal. Zaradi tega sta pri laserskem snemanju gozda ključna postopka filtriranja in klasificiranja podatkov. Dejstvo je, da bo digitalni model višin iz pridobljenih podatkov na območju gozda slabši, kot na neporaščenem terenu. Razlog za to je manjše število uporabljenih točk. Slabost laserskega skeniranja je tudi ta, da je cena tehnologije precej visoka, zato je tudi cena pridobitve podatkov za uporabnika temu primerna (Sodnik, 2012).

### 2.5.1 Neposredno georeferenciranje

Georeferenciranje je postopek, s katerim umestimo točke ALS v referenčni prostor. Največkrat pri ALS uporabimo neposredno georeferenciranje. Pri neposrednem ali direktnem georeferenciranju iščemo položaj točke  $T(X, Y, Z)$  oz. vektor  $\vec{r}_T$  (slika 1), ki ga izračunamo po enačbi (Urbančič, 2015):

$$\vec{r}_T = \vec{r}_{LS} + \vec{r}_{CAL} + \vec{r}_{GPS}$$

Vektor  $\vec{r}_{CAL}$  je kalibrirana dolžina med faznim centrom antene GNSS na zrakoplovu in koordinatnim izhodiščem laserskega skenerja. Vektor  $\vec{r}_{GPS}$  je določen kot položaj faznega centra antene GNSS na zrakoplovu,  $\vec{r}_{LS}$  pa je vektor, ki predstavlja poševno razdaljo od izhodišča koordinatnega sistema lidarja do točke  $T$ .



Slika 1: Slika vektorjev kalibracije snemalnega sistema (Kocijančič, 2013).

### 3 DELOVIŠČE IN TERENSKA IZMERA

Terensko delo v Radovljici smo izvedli 13. aprila 2015. Meritve smo izvajali v manjšem gozdu na dveh deloviščih. Pri terenski izmeri smo uporabili dva tahimetra Leica TCRP 1201+ ter dva GNSS sprejemnika Leica Viva GS15.

Tehnične lastnosti tahimetra Leica TCRP 1201+ so bile:

- kotna natančnost: 1"
- dolžinska natančnost: 2 mm + 2 ppm
- domet pri uporabi mini prizme: 5 – 100 m
- domet pri uporabi 360° prizme: < 300 m

Tehnične lastnosti sprejemnika GNSS Leica Viva GS15 so bile:

- frekvenca brezžične povezave: 2402 – 2480 MHz
- sprejem signala treh frekvenc: GPS, GLONASS, Galileo
- dolžinska natančnost v horizontalni smeri – opazovanja v realnem času:
  - statična izmera: 5 mm + 0,5 ppm
  - kinematična izmera: 10 mm + 1 ppm
- dolžinska natančnost v vertikalni smeri – opazovanja v realnem času:
  - statična izmera: 10 mm + 0,5 ppm
  - kinematična izmera: 20 mm + 1 ppm





MERILO  
1:2.000

Slika 2: Delovišče v Radovljici

Približne koordinate območja A v koordinatnem sistemu D96/TM:

- $n = 134.546,669$  m
- $e = 436.398,701$  m
- $H = 506,662$  m

Približne koordinate območja B v koordinatnem sistemu D96/TM:

- $n = 134.511,366$  m
- $e = 436.403,945$  m
- $H = 506,325$  m

### 3.1 Potek terenskega dela

V gozdu smo izbrali dve delovišči A in B (slika 2), ki sta najbolj ustrezali izpolnitvi namena naloge. To pomeni, da sta se delovišči nahajali v območju bujne vegetacije mešanega gozda, pri čemer listavci še niso popolnoma ozeleneli. Šlo je za razgiban teren, pri čemer smo namerno v delovišče B vključili izmero dveh ostankov posekanih dreves. Meritve na deloviščih smo izvajali istočasno. Najprej smo z izmero GNSS vzpostavili geodetsko mrežo na obravnavanem terenu. Stojišči smo določili s pomočjo merjenj treh orientacij na točke, določenih z metodo GNSS. Položaj detajlnim točkam smo določili s kombinacijo RTK-metode izmere GNSS in klasičnih meritev. Delovišče A je vsebovalo teren v obliki manjše kotanje (slika 5). Delovišče B je zajemalo teren v obliki tri-metrskega pasu, ki se je z vrha gozda spuščal proti dnu (slike 3, 4 in 6). Detajlne točke na obeh deloviščih smo določili na vsakih dvajset centimetrov, da smo dobili dovolj gosto mrežo za primerjavo z rezultati lidarja. Pri tem smo si pomagali z lesenim okvirjem s stranico 1 m, kjer so bile označene zareze za 20 cm, kar je razvidno na sliki 3. Na delovišču B (slika 3) smo določili položaje približno 1300 točkam, na delovišču A (slika 5) pa približno 500 točkam. Na delovišču B smo detajlne točke določali s sprejemnikom GNSS, ki je bil povezan z elektronskim tahimetrom ob uporabi 360° prizme. Detajlne točke smo določali najprej samo z GNSS metodo izmere, kasneje pa samo zaradi prihranka denarja (pretok podatkov v realnem času je plačljiv) z elektronskim tahimetrom. Na delovišču A smo uporabili sprejemnik GNSS v povezavi z mini prizmo. V primeru določanja položajev detajlnih točk pri obeh deloviščih pravzaprav ne bi potrebovali signala GNSS, saj smo se odločili uporabiti kombinacijo klasične in izmere GNSS.

Pri določanju položajev točk za orientacijo pri obeh instrumentih smo imeli nekaj težav s prekinitvijo satelitskega signala GNSS zaradi dreves in z dolgotrajno izvedbo inicializacije. Orientacije smo zato določili na manj poraščenih območjih. Za najboljšo določitev stojišča smo upoštevali pogoj, da so bile orientacije čim bolj enakomerno razporejene okrog stojiščnih točk. Glede na to, da je v času terenske izmere preteklo skoraj enoletno obdobje po laserskem skeniranju, bi lahko že vnaprej predpostavili na določene razlike v višinski komponenti. Predvidevali smo manjše spremembe v podrasti in večje spremembe v primeru, če so sekali drevesa. Na te smo bili pozorni že na terenskem ogledu, zato smo v delovišče B namerno vključili izmero ostanka posekanega drevesa (slika 3).



Slika 3: Začetek 3-metrskega pasu na vrhu hriba – delovišče B. V delovišče smo namerno vključili tudi ostanek posekanega drevesa.



Slika 4: Tri-metrski pas delovišča B, slikano z vrha hriba navzdol.



Slika 5: Manjša kotanja delovišča A, ki je tudi vključevalo ostanek posekanega drevesa.



Slika 6: Kombinacija meritev z GNSS in elektronskim tahimetrom (delovišče B).

## 4 OBDELAVA PODATKOV GNSS IZMERE IN LIDAR-JA

Vhodni podatki za programa *Surfer* in *Fugroviewer* so bile koordinate točk, pridobljene z laserskim skeniranjem in koordinate točk s terenske izmere. Oblak točk laserskega skeniranja je imel gostoto 100 točk na kvadratni meter. S pomočjo programov smo poskušali prikazati razliko v višinah med enim in drugimi podatki. Pri tem smo za določitev digitalnega modela višin iz rezultatov terenskih meritev kot tudi za interpolacijo lidarskega oblaka točk uporabili metodo *kriging*.

*Kriging* je geostatična interpolacijska metoda, ki je najbolj uporabna in prilagodljiva za interpolacijo oblaka točk. Tu ločimo več postopkov. Interpolirano vrednost točke dobimo na podlagi utežne linearne kombinacije znanih točk okrog ocenjene točke. Bližje, kot so vrednosti vhodnih točk vrednostim ocenjene točke, pravilnejše so končne korelacije (Beers, 2004). *Kriging* temelji na zmanjšanju vrednosti variance in nastavitvi sredine predvidenih pogreškov na vrednost 0 z namenom, da se znebi pogreškov nad ali pod vrednostjo ocenjene točke. Rezultat *kriginga* je tudi *semivariogram*, ki omogoča prikaz uteži okoliških točk med samo interpolacijo. *Kriging* nam omogoča izračun pogreška v vsaki interpolirani točki, ocenimo pa tudi stopnjo zaupanja. Kakovost metode je odvisna od pravilno podanih parametrov, na podlagi katerih je opisan *semivariogram* (Eotvos University, 2008).

### 4.1 Obdelava podatkov terenske izmere

V programu *Surfer* smo na podlagi točk, ki smo jih določili na terenu, izvedli interpolacijo točk z metodo *kriging*. Dobili smo model višin. Položajnim koordinatam lidarskega DMV-ja smo dodali interpolirane višine, ki smo jih dobili v programu *Surfer*, ter tako dobili točke, ki smo jih primerjali s točkami lidarskega DMV-ja (v nadaljevanju tudi terestrične točke). Dobljene višine terestričnih točk (v nadaljevanju tudi terestrične višine) smo primerjali z višinami točk iz lidarskega DMV-ja. Razlika med dobljenimi koordinatami terestričnih točk in koordinatami točk iz lidarskega DMV-ja je le v višinski komponenti, medtem ko je položaj terestričnih točk in točk DMV-ja enak. V programu *Fugroviewer* smo slikovno prikazali razlike med višinskimi komponentami z namenom, da dobimo razliko med meritvami direktno s terena in meritvami lidarja. Nadalje smo statistično ovrednotili rezultate primerjav.

### 4.2 Rezultati

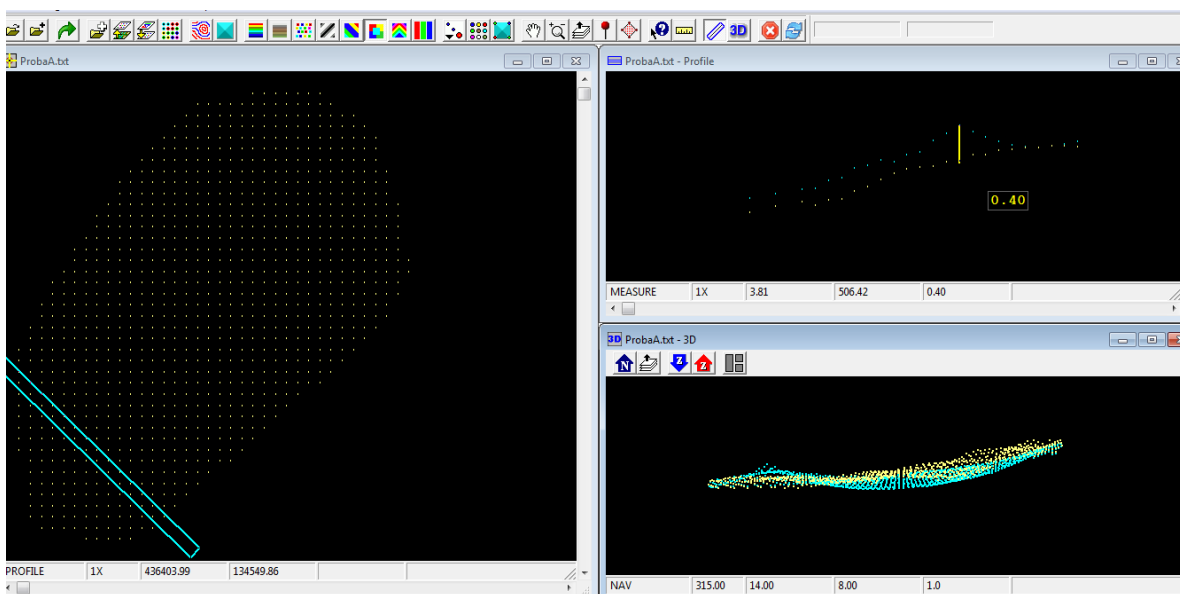
V obdelavi smo najprej izračunali razlike višin med DMV-jem terestrične izmere (normalne-ortometrične višine, pridobljene z GNSS-višinomerstvom ob uporabi modela geoida Slovenije 2000) in DMV-jem iz talnih točk oblaka laserskega snemanja (normalne-ortometrične višine ob uporabi modela geoida Slovenije 2000):

$$\Delta h_i = H_{terestrična_i} - H_{lidar_i}$$

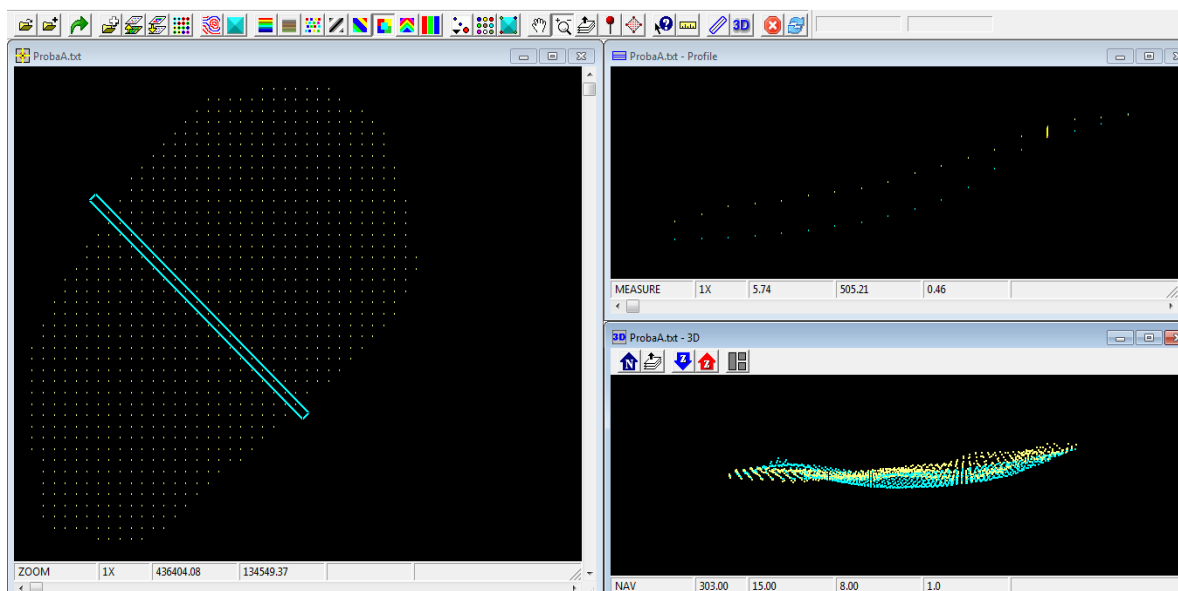
### 4.3 Prikaz rezultatov za območje A

Na sliki 5 predstavljamo območje A, ki smo ga izbrali zato, ker vključuje manjše brezno. Nadmorske višine terestričnih točk odstopajo od lidarskega DMV-ja tudi za pol metra in več. Iz rezultatov lahko sklepamo, da je lidarski oblak točk geolociran previsoko in vključuje neko sistematično napako. Razlog za takšno odstopanje lahko iščemo v tem, da so bile prej na tem območju naložene veje, zato filtriranje in klasifikacija podatkov lidarja ni bila točna. Na sliki 5 lahko vidimo, da so povsod okoli naložene veje, zato ne smemo izključiti možnosti, da je bilo tudi tu naloženo vejevje v času laserskega snemanja. Nadmorske višine terestričnih meritev odstopajo od lidarskih podatkov tudi zaradi tega, ker so vsi drevesni štora iz podatkov lidarja izločeni, na terenu pa smo jih posneli in jih v izdelavi modela višin iz terenskih podatkov tudi upoštevali.

Drevesna štora, prikazana na sliki 5, sta visoka približno od 20 do 50 cm. Slika 7 (priloga A) iz *Fugroviewer-ja* na podlagi terestričnih višin nam pokaže, da so na mestu večjega štora, ki je na sliki 5 v ospredju, nadmorske višine terena višje za približno od 35 do 40 cm od lidarskega DMV-ja. Na sliki 8 (priloga B) vidimo, da na mestu drugega manjšega štora, ki je na desni strani na sliki 5, nadmorske višine lidarskih točk odstopajo samo za okoli 10 cm. Sklepamo, da je sta bili drevesi v času lidarskega snemanja že posekani in hkrati, da so bile točke odbojev večjega štora pravilno klasificirane med točke, ki ne predstavljajo odbojev od tal. Točke odboja drugega štora drevesa očitno niso bile pravilno klasificirane, saj so na tem mestu terestrične višine in višine lidarskih točk blizu skupaj.



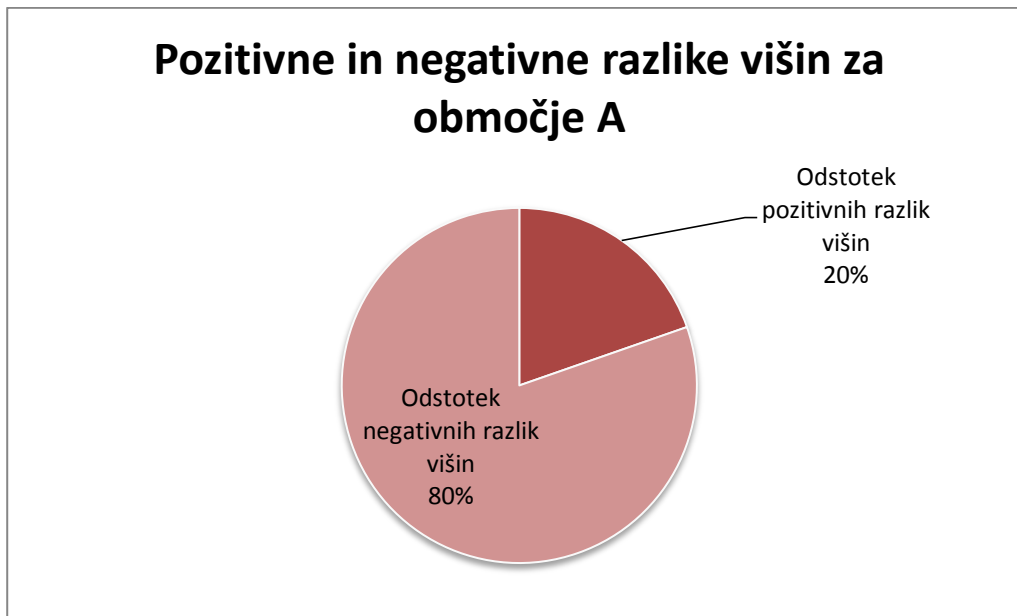
Slika 7: Območje A - pogled iz *Fugroviewer-ja* na podlagi terestričnih točk. Merilo je označeno na sliki zgoraj desno na mestu večjega štora v metrih (modra barva točk – meritve s terena, rumena barva točk – lidar).



Slika 8: Območje A - Pogled iz *Fugroviewer*-ja na podlagi terestričnih točk. Merilo je označeno na sliki v zgornjem desnem kotu z rumeno črtico, ki predstavlja dolžino 0,1 m (modra barva točk – meritve s terena, rumena barva točk – lidar).

Nadalje smo primerjali razlike višin z namenom, da bi ugotovili, ali prevladujejo pozitivne ali negativne razlike višin med različnima DMV-jema. Za območji A in B smo grafično predstavili delež pozitivnih oz. negativnih razlik višin (grafikona 1 in 2).

Z grafikona 1 je razvidno, da je pozitivnih razlik višin 20 %. To pomeni, da je ena petina točk DMV-ja terestrične izmere višja od lidarskega DMV-ja. Ker je točk malo, sklepamo, da večino teh točk predstavljajo točke na območjih večjega drevesnega štora, vidnega na sliki 5. 80 % razlik višin je negativnih, kar pomeni, da je v teh primerih terestrična višina nižja kot višina lidarskega DMV-ja. Ta podatek nam potrди zgornjo razlago, da je v višinskem smislu v lidarskem oblaku točk verjetno prisotna sistematična napaka oz. je točnost višin slabše kakovosti.



Grafikon 1: Območje A - Razmerje pozitivnih in negativnih razlik višin.

Na grafikonu 2 prikazujemo delež pozitivnih in negativnih razlik višin za območje B. Vidimo, da je največ razlik med 0,2 m in - 0,4 m. Grafikon 2 in preglednica 1 kažeta, da je maksimalna absolutna vrednost razlike med terestričnimi in lidarskimi DMV višinami 0,57 m, najmanjša absolutna vrednost pa 0,00 m. Maksimalna vrednost razlik višin znaša 0,39 m, minimalna pa - 0,57 m. Srednja vrednost absolutnih razlik nadmorskih višin znaša 0,17 m, oz. v primeru srednje vrednosti nadmorskih višin 0,13 m. To pomeni, da je višinsko odstopanje med terestričnimi višinami in višinami lidarskega DMV-ja na območju A precej visoko. Če drevesnih štorov v obdelavi ne bi upoštevali, bi znašala srednja vrednost - 0,17 m, kar je več, kot pa če jih upoštevamo. Vrednost standardnega odklona je razvidna iz preglednice 1 kot tudi z grafikona 2, kjer vidimo, da je razpršenost podatkov okrog srednje vrednosti velika.





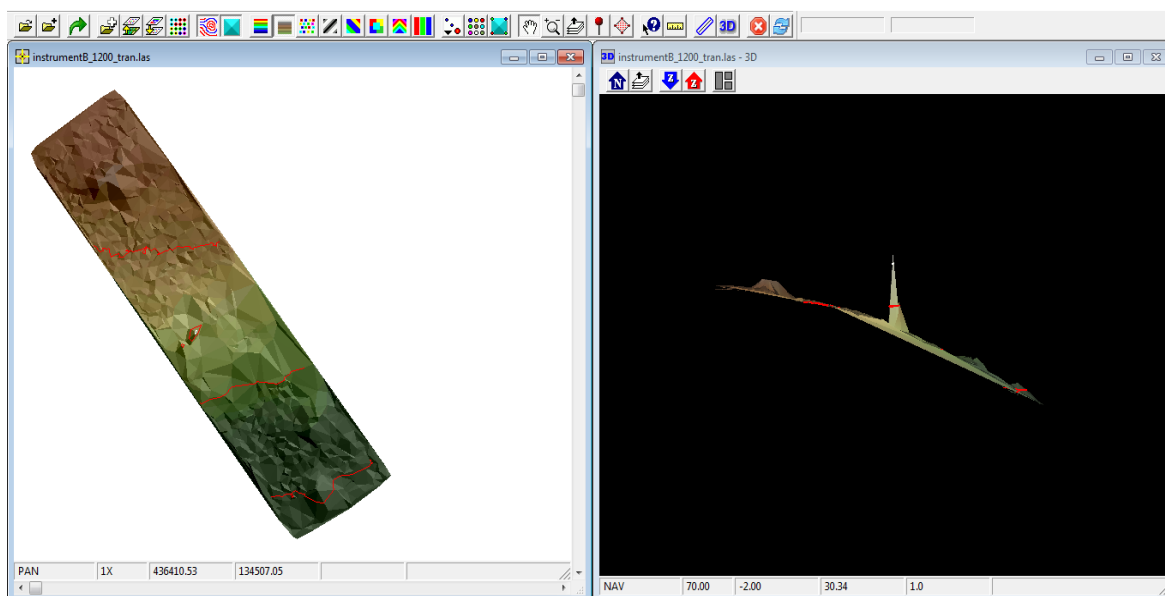
Grafikon 2: Območje A - Razlike višin med terestričnimi višinami in višinami lidarskega DMV-ja.

Preglednica 1: Območje A - Statistični podatki o razlikah višin.

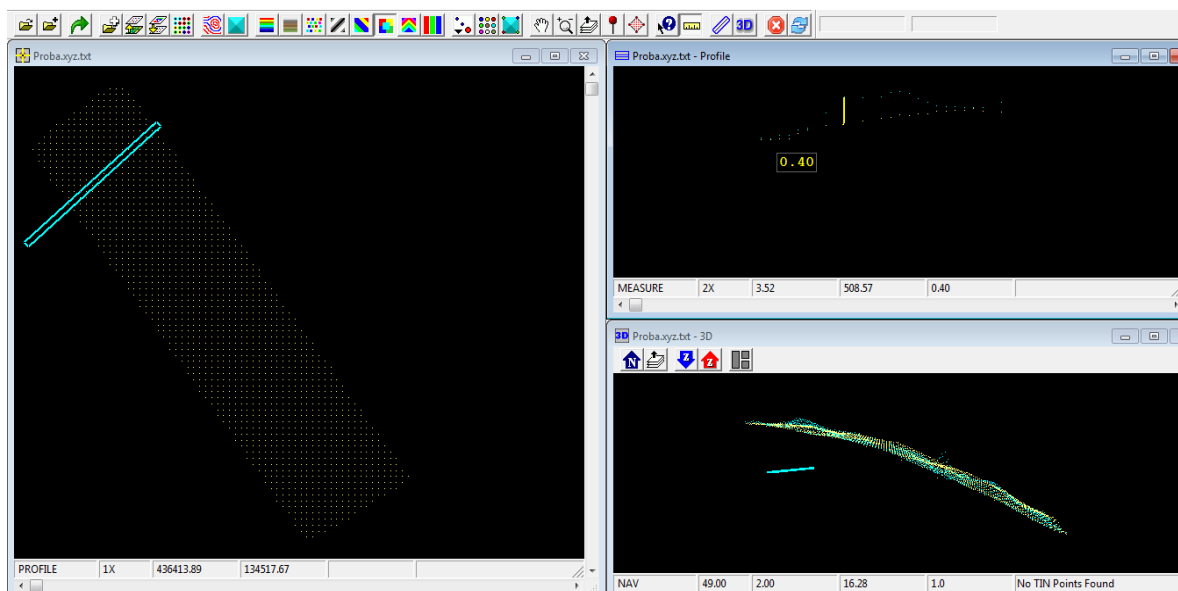
<b>Največja absolutna vrednost</b>	0,57 m
<b>Največja vrednost</b>	0,39 m
<b>Najmanjša absolutna vrednost</b>	0,00 m
<b>Najmanjša vrednost</b>	- 0,57 m
<b>Srednja absolutna vrednost</b>	0,17 m
<b>Srednja vrednost</b>	- 0,13 m
<b>Srednja vrednost, če ne upoštevamo drevesnih štorov</b>	- 0,17 m
<b>Standardni odklon</b>	0,16 m
<b>RMSE (koren srednjega kvadratnega odklona)</b>	0,04 m <sup>2</sup>

#### 4.4 Prikaz rezultatov za območje B

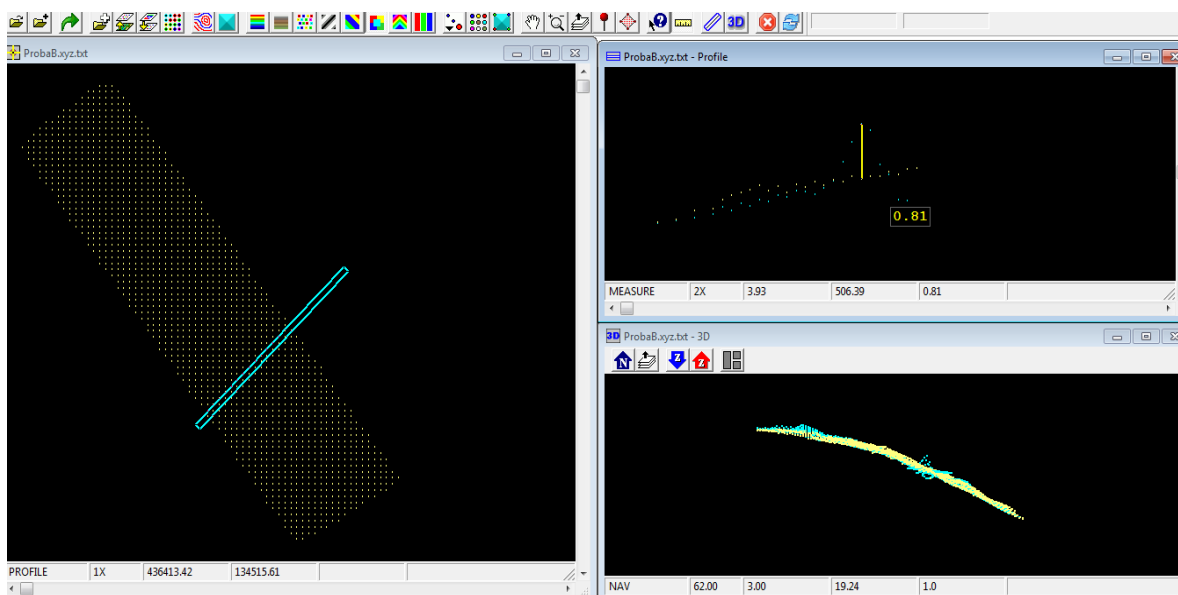
Območje B vsebuje približno 3-metrski pas od vrha do vznožja hriba. Razlike višin med nadmorskimi višinami terestričnih točk in nadmorskimi višinami točk iz lidarskega DMV-ja znašajo tudi do 0,8 m. Na sliki 9 prikazujemo 3D območje, ki smo ga vključili v terensko izmero. Na levi strani prikazujemo tloris reliefa, na desni strani pa pogled od strani. Opazimo lahko, da je na treh mestih relief višji kot drugod na območju. S slik 3 in 4 vidimo, da se na dveh mestih nahajata ostanka posekanih dreves, ki ju imenujemo štora. S slike 10 (priloga C), izdelane na podlagi terestričnih točk, je razvidno, da so nadmorske višine terestričnih točk višje za okoli 40 cm, kar ustreza višini štora, prikazanega na sliki 3. Pri sliki 11 (priloga D), izdelane na podlagi terestričnih točk, lahko vidimo, da tudi te nadmorske višine terestričnih točk odstopajo in sicer za okoli 80 cm, kar ustreza višini štora, prikazanega na sliki 4. Tako kot pri območju A lahko tudi za območje B sklepamo, da so bile točke odbojev od štora pravilno klasificirane. S stranskega profila tega območja na sliki 9 je na sredini razvidno višje odstopanje točk. Razlog za to je verjetno napaka v meritvah. To lahko potrdimo tudi s pomočjo prikaza na sliki 10 (priloga C) na podlagi terestričnih točk, kjer odstopanja v nadmorskih višinah na tem območju ni.



Slika 9: Območje B - 3D pogled, izdelan v programu *Fugroviewer*.



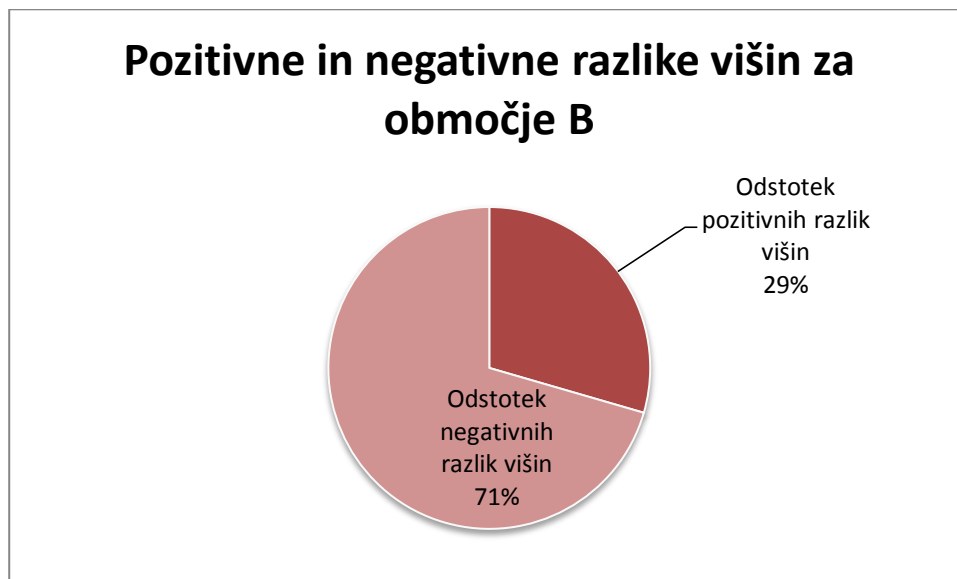
Slika 10: Območje B - Pogled na podlagi terestričnih točk. Merilo je označeno na sliki na mestu večjega štora v metrih (modra barva točk – meritve s terena, rumena barva točk – lidar).



Slika 11: Območje B - Pogled na podlagi terestričnih točk. Merilo je označeno na sliki na mestu manjšega štora v metrih (modra barva točk – meritve s terena, rumena barva točk – lidar).

Z grafikona 4 je razvidno, da je večina razlik višin med terestričnimi točkami in lidarskim DMV-jem med - 0,2 m in 0,2 m. Iz preglednice 2 lahko razberemo, da srednja vrednost absolutnih razlik višin (oz. srednja vrednost razlik višin) na tem območju znaša 0,08 m, kar je manj kot na območju A, vendar še vedno visoko. Če drevesnih štorov ne bi upoštevali, bi znašala srednja vrednost - 0,02 m. Z grafikona 3 vidimo, da je negativnih razlik višin 71%. To pomeni, da je na tem delu 71 % razlik višin, kjer so višine iz lidarskega DMV-ja večje kot višine terestričnih točk. Višine terestričnih točk in

višine iz lidarskega DMV-ja so bližje skupaj kot na območju A, kjer absolutna srednja vrednost (in srednja vrednost) znaša približno enkrat več kot na območju B.



Grafikon 3: Območje B - Razmerje pozitivnih in negativnih razlik višin.

Preglednica 2: Območje B - Statistični podatki o razlikah višin.

<b>Največja absolutna vrednost</b>	0,82 m
<b>Največja vrednost</b>	0,82 m
<b>Najmanjša absolutna vrednost</b>	0,00 m
<b>Najmanjša vrednost</b>	- 0,81 m
<b>Srednja absolutna vrednost</b>	0,08 m
<b>Srednja vrednost</b>	- 0,03 m
<b>Srednja vrednost, če ne upoštevamo drevesnih štorov</b>	- 0,02 m
<b>Standardni odklon</b>	0,12 m
<b>RMSE (koren srednjega kvadratnega odklona)</b>	0,07 m <sup>2</sup>

Iz preglednice 2 lahko razberemo, da največja absolutna vrednost razlike višin znaša kar 0,82 m. Kot je navedeno že zgoraj, največje razlike v višinah predstavljajo območja, kjer se nahajajo drevesni štori. Najmanjša absolutna vrednost razlike višin je manjša kot milimeter. Najmanjša vrednost znaša - 0,812

m. Vrednost standardnega odklona 0,12 m kaže, da je razpršenost okrog srednje vrednosti majhna in tudi manjša kot na območju A. Majhna razpršenost podatkov je razvidna tudi z grafikona 4.



Grafikon 4: Območje B - Razlike višin med terestričnimi višinami in višinami lidarskega DMV-ja.

## 5 ZAKLJUČEK

Glavni namen diplomske naloge je bil ovrednotiti kakovost izvedbe terenske izmere GNSS na območju bujne vegetacije kot tudi narediti primerjavo na terenu določenih višin z višinami, pridobljenimi z laserskim skeniranjem. To smo storili tako, da smo primerjali DMV iz podatkov laserskega skeniranja z DMV-jem, določenim iz podatkov izmere s kombinirano GNSS in klasičnimi metodami izmere. S tem smo želeli pokazati, da modelom višin laserskih podatkov na območju gozda ni moč v celoti zaupati. Zato moramo pred uporabo takih modelov višin paziti, za kakšne namene jih bomo uporabili, da bomo dosegli željeno kakovost rezultatov. Hkrati je potrebno povedati, da je primerjava rezultatov na način, kot smo ga naredili v dani nalogi, zamudna in cenovno neugodna in se je v splošnem tako podrobno ne dela.

Veliko ljudi uporablja podatke laserskega skeniranja, vendar se jih le malo zaveda, da odstopanje vrednosti podatkov od prave vrednosti ni tako nezamisljivo. Iz rezultatov diplomske naloge je razvidno, da razlike višin med terestričnimi točkami in točkami iz lidarskega DMV-ja na območju gozda odstopajo okoli 10 cm in več. Podatek je pomemben za vse planerje in graditelje objektov. Natančna določitev normalno-ortometričnih višin (nadmorskih višin) je pomembna predvsem na tistih območjih, kjer so pogoste poplave, saj so na teh območjih odločilni že centimetri. Glede na to, da se z laserskim skeniranjem na poraščenih območjih zajame manj točk kot na neporaščenih, lahko s točkami, pridobljenimi s kombinirano metodo klasične in GNSS izmere, izboljšamo modele višin na območjih gozdov. Idealno bi bilo, če bi lahko na takšen način zgostili oblak točk ter tako izboljšali nadmorske višine na območju celotnih gozdov v Sloveniji, vendar bi bil strošek in čas izvedbe meritev prevelik in ekonomično nesprejemljiv.

Prvo postavljeno hipotezo, da na območju listnatega gozda v času brez bujne vegetacije lahko določamo položaj z GNSS, lahko potrdimo. Vendar velja omeniti, da bi za to potrebovali narediti precej bolj obsežne teste tekom celotnega leta, ko res vladajo različni pogoji za izvedbo izmere GNSS.

Drugo hipotezo, postavljeno v uvodu naloge, lahko v celoti potrdimo. Na kakovost izdelanih modelov višin iz meritev laserskega skeniranja v gozdu vplivata število odbitih laserskih žarkov od tal, ki je manjše kot na neporaščenem območju in pa kakovost klasifikacije. Kakovost meritev kombinirane metode izmere (GNSS in klasična izmera) je odvisna od točnosti določitve položaja stojišča. Sklepamo lahko torej, da so podatki, pridobljeni s kombinirano metodo klasične in GNSS izmere, boljši kot podatki, pridobljeni z laserskim skeniranjem, predvsem gledano v višinski komponenti. Tudi tretjo hipotezo lahko potrdimo, ampak kot smo že omenili, če bi hoteli na takšen način izboljšati model višin, bi to zahtevalo veliko časa in predvsem denarja.

Kljub hitremu razvoju laserskih sistemov, ti sistemi še vedno ne dosegajo kakovosti terenskih izmer, imajo pa veliko prednost, da lahko hitro pridobimo ogromno količino podatkov, ki jih s terensko

izmero ne moremo. Zato je smiselno izbrati testna območja in s terensko izmero oceniti kakovost podatkov na način, kot smo to naredili tudi mi.

**VIRI**

Beers, W.C.C., Kleijnen, J.P.C. 2004. Kriging interpolation in simulation: A survey.

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.384.485&rep=rep1&type=pdf> (Pridobljeno 3. 8. 2015.)

Eotvos University, Department of Cartography and Geoinformatics. 2008. Kriging interpolation. <http://lazarus.elte.hu/hun/digkonyv/havas/mellekl/vm25/vma07.pdf> (Pridobljeno 16. 7. 2015.)

Kocijančič, L. 2013. Kalibracija sistema za aerolasersko skeniranje. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba L. Kocijančič): 44 str.

Kogoj, D., Stopar, B. 2014. Geodetska izmera. Programska zasnova in priprava gradiv za izvedbo strokovnega dela izpita iz geodetske stroke, str. 6, 22-23.

[http://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/ogs/GEODETSKA\\_IZMERA.pdf](http://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/ogs/GEODETSKA_IZMERA.pdf) (Pridobljeno 10. 4. 2015.)

Lamovec, P., Mikoš, M. 2011. Analiza poplav z uporabo satelitskih posnetkov - primer hudourniške poplave v Selški dolini leta 2007 = Analysis of floods using satellite images - case study of the 2007 torrential flood in the Selška valley. Geodetski vestnik 55, 3: 483-494.

doi: [http://drugg.fgg.uni-lj.si/3705/1/gv55-3\\_483-494\\_lamovec\\_mikos\\_k.pdf](http://drugg.fgg.uni-lj.si/3705/1/gv55-3_483-494_lamovec_mikos_k.pdf)

Navodila za izvajanje izmere z uporabo globalnih navigacijskih sistemov v državnem koordinatnem sistemu. 2006. Različica 2.0, str. 1, 31, 34.

[http://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/ogs/Horiz\\_koord\\_sistem\\_D96/Navodila/Navodilo\\_za\\_GNSS-izmero-v2.pdf](http://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/ogs/Horiz_koord_sistem_D96/Navodila/Navodilo_za_GNSS-izmero-v2.pdf) (Pridobljeno 24. 4. 2015.)

Oštir, K. 2006. Daljinsko zaznavanje. Ljubljana, Založba ZRC: 250 str.

Portal omrežje SIGNAL. 2015. Omrežje Signal, Služba za GPS. Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje in prostor, Geodetska uprava Republike Slovenije.

<http://www.gu-signal.si/node/1> (Pridobljeno 19. 4. 2015.)

Portal RTK/DGPS. 2015. Omrežje Signal, Služba za GPS. Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje in prostor, Geodetska uprava Republike Slovenije.

<http://www.gu-signal.si/node/3> (Pridobljeno 19. 4. 2015.)

Śledziński, J. 1997. Proceedings of the international symposium on DGPS in engineering and cadastral measurements - education and practice. Warszawa, Instytut Geodezji Wyższej i Astronomii Geodezyjnej Politechniki Warszawskiej: 149 str.



Sodnik, J., Vrečko, A., Podobnikar, T., idr. 2012. Digitalni modeli reliefa in matematično modeliranje drobirskih tokov = Digital terrain models and mathematical modelling of debris flows. Geodetski vestnik 56, 4: 826-837.

doi: [http://www.geodetski-vestnik.com/56/4/gv56-4\\_826-837.pdf](http://www.geodetski-vestnik.com/56/4/gv56-4_826-837.pdf)

Sterle, O., Stopar, B., Pavlovčič Prešeren, P. 2013. Modeliranje ionosferske refrakcije za izboljšavo absolutnega GNSS-položaja s kodnimi instrumenti: priprava na 24. sončev cikel = Ionospheric refraction modeling for better autonomous GNSS code positioning: in preparation of solar cycle 24. Geodetski vestnik 57, 1: 9-24.

doi: [http://drugg.fgg.uni-lj.si/4493/1/gv57-1\\_sterle\\_k.pdf](http://drugg.fgg.uni-lj.si/4493/1/gv57-1_sterle_k.pdf)

Sterle, O., Stopar, B., Pavlovčič Prešeren, P. 2014. Metoda PPP pri statični izmeri GNSS = PPP method for static GNSS survey. Geodetski vestnik 58, 3: 466-481.

doi: [http://www.geodetski-vestnik.com/58/3/gv58-3\\_sterle.pdf](http://www.geodetski-vestnik.com/58/3/gv58-3_sterle.pdf)

Tuno, N., Mulahusić, A., Marjetič, A., idr. 2010. Pregled razvoja elektronskih tahimetrov Leica Geosystems = Overview of development of electronic tachymeters Leica Geosystems. Geodetski vestnik 54, 4: 643-660.

doi: [http://www.geodetski-vestnik.com/54/4/gv54-4\\_643-660.pdf](http://www.geodetski-vestnik.com/54/4/gv54-4_643-660.pdf)

Urbančič, T., Grigillo, D. 2015. Lidar in uporaba podatkov laserskega skeniranja v geodeziji. [http://www.izs.si/uploads/tx\\_izsizobgeo/Lidar\\_in\\_uporaba\\_podatkov\\_laserskega\\_skeniranja\\_v\\_geodeziji\\_2015\\_.pdf](http://www.izs.si/uploads/tx_izsizobgeo/Lidar_in_uporaba_podatkov_laserskega_skeniranja_v_geodeziji_2015_.pdf) (Pridobljeno 12. 8. 2015.)

Vidic, A. 2010. Sodobni elektronski tahimetri in geodetska terestrična izmera. Diplomsko naloga. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba A. Vidic): 62 str.

Vodopivec, F., Stopar, B., Kuhar, M. 1996. Projekt uvajanja sodobnih geodetskih tehnologij v Republiki Sloveniji. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, katedra za geodezijo: 112 f str.

Vosselman, G., Maas, HG. 2010. Airborne and terrestrial laser scanning. Laser scanning. Dunbeath, Whittles Publishing. Boca Raton, CRC Press: 318 str.

»Ta stran je namenoma prazna«.

## **SEZNAM PRILOG**

**PRILOGA A:** Območje A - pogled na podlagi terestričnih točk. Merilo je označeno na sliki zgoraj desno na mestu večjega štora v metrih (modra barva točk – meritve s terena, rumena barva točk – lidar)

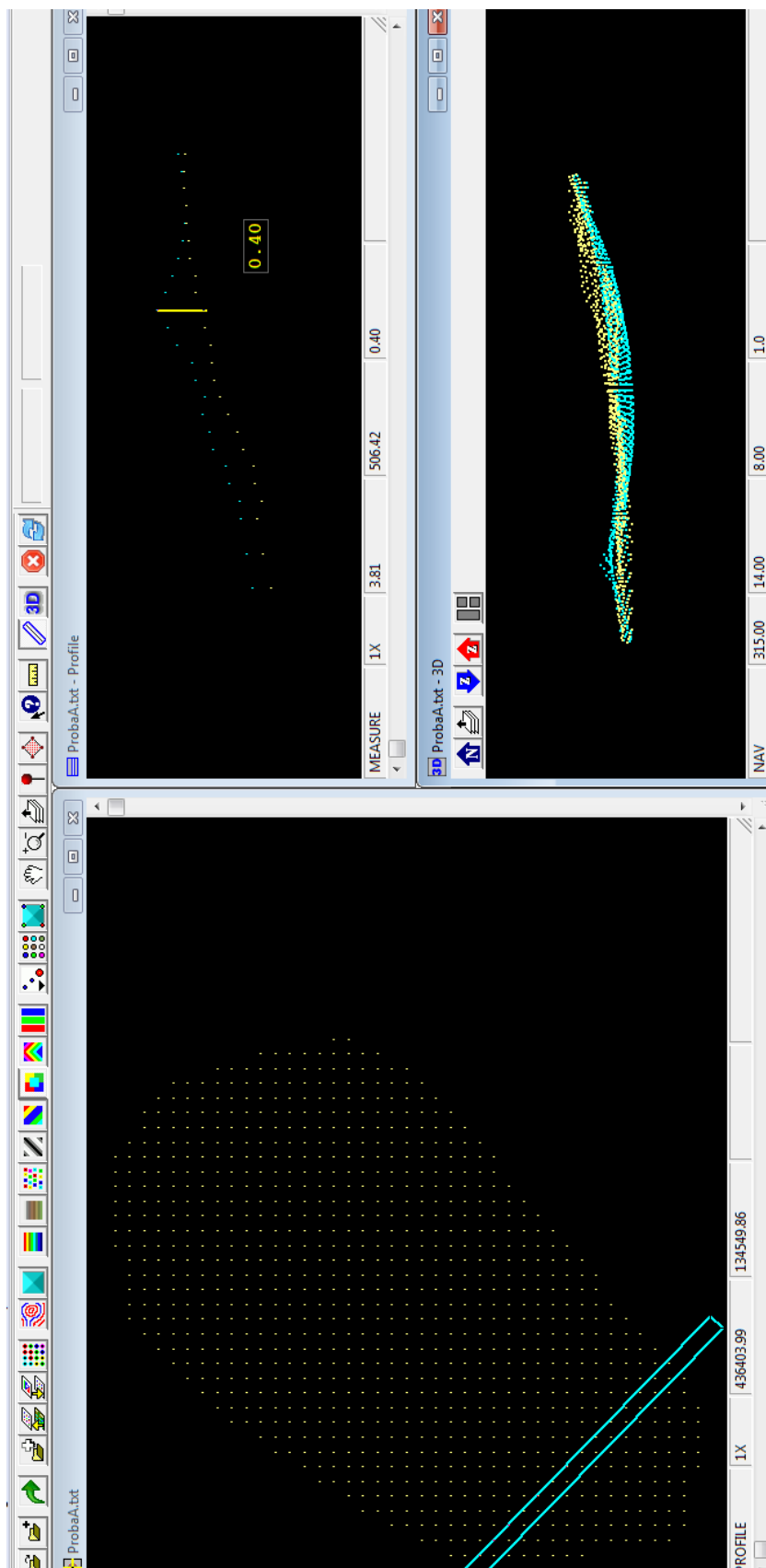
**PRILOGA B:** Območje A - pogled na podlagi terestričnih točk. Merilo je označeno na sliki v zgornjem desnem kotu z rumeno črtico, ki predstavlja dolžino 0,1 m (modra barva točk – meritve s terena, rumena barva točk – lidar)

**PRILOGA C:** Območje B - pogled na podlagi terestričnih točk. Merilo je označeno na sliki na mestu večjega štora v metrih (modra barva točk – meritve s terena, rumena barva točk – lidar)

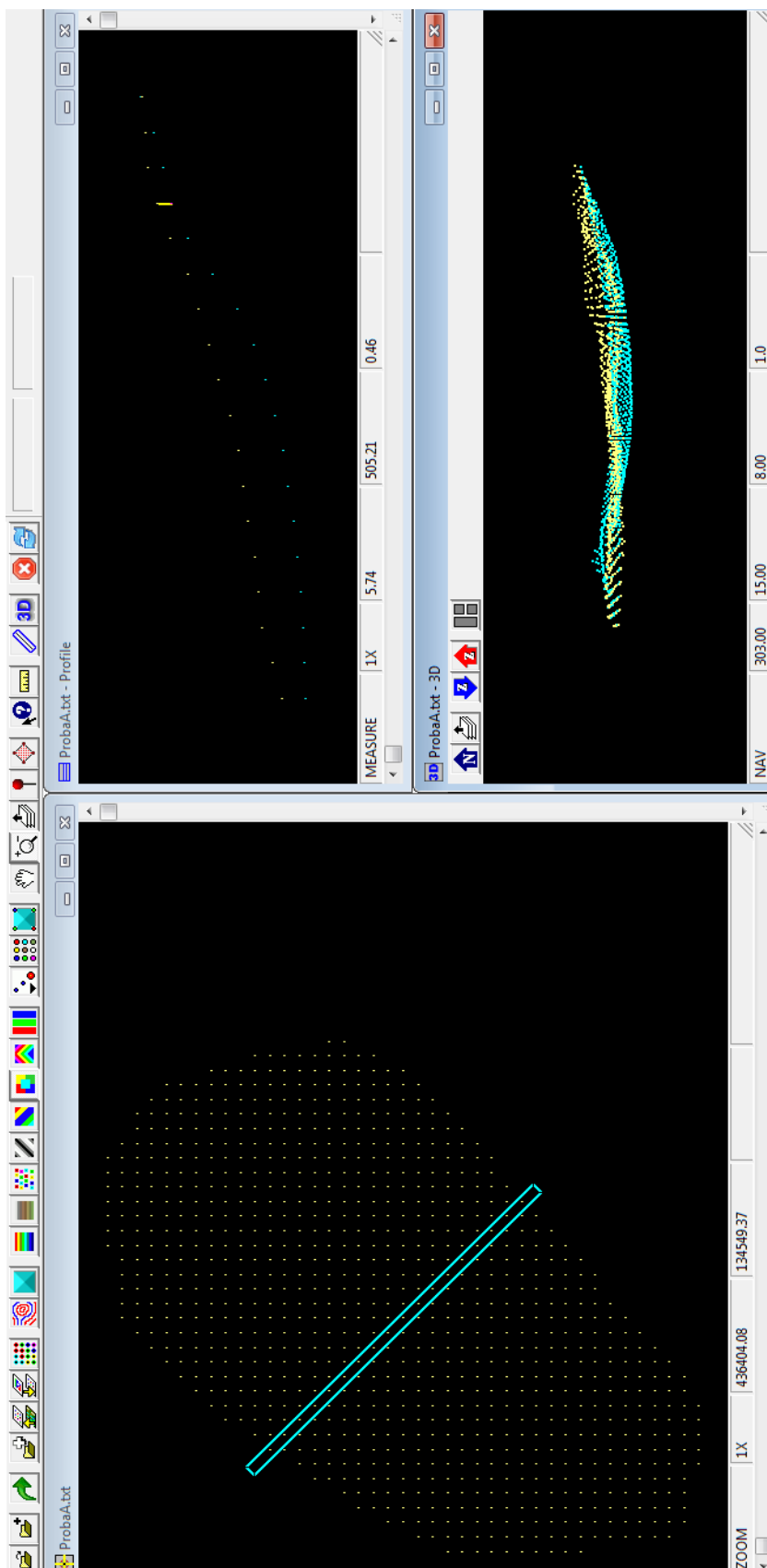
**PRILOGA D:** Območje B - pogled na podlagi terestričnih točk. Merilo je označeno na sliki na mestu manjšega štora v metrih (modra barva točk – meritve s terena, rumena barva točk – lidar)

»Ta stran je namenoma prazna«.

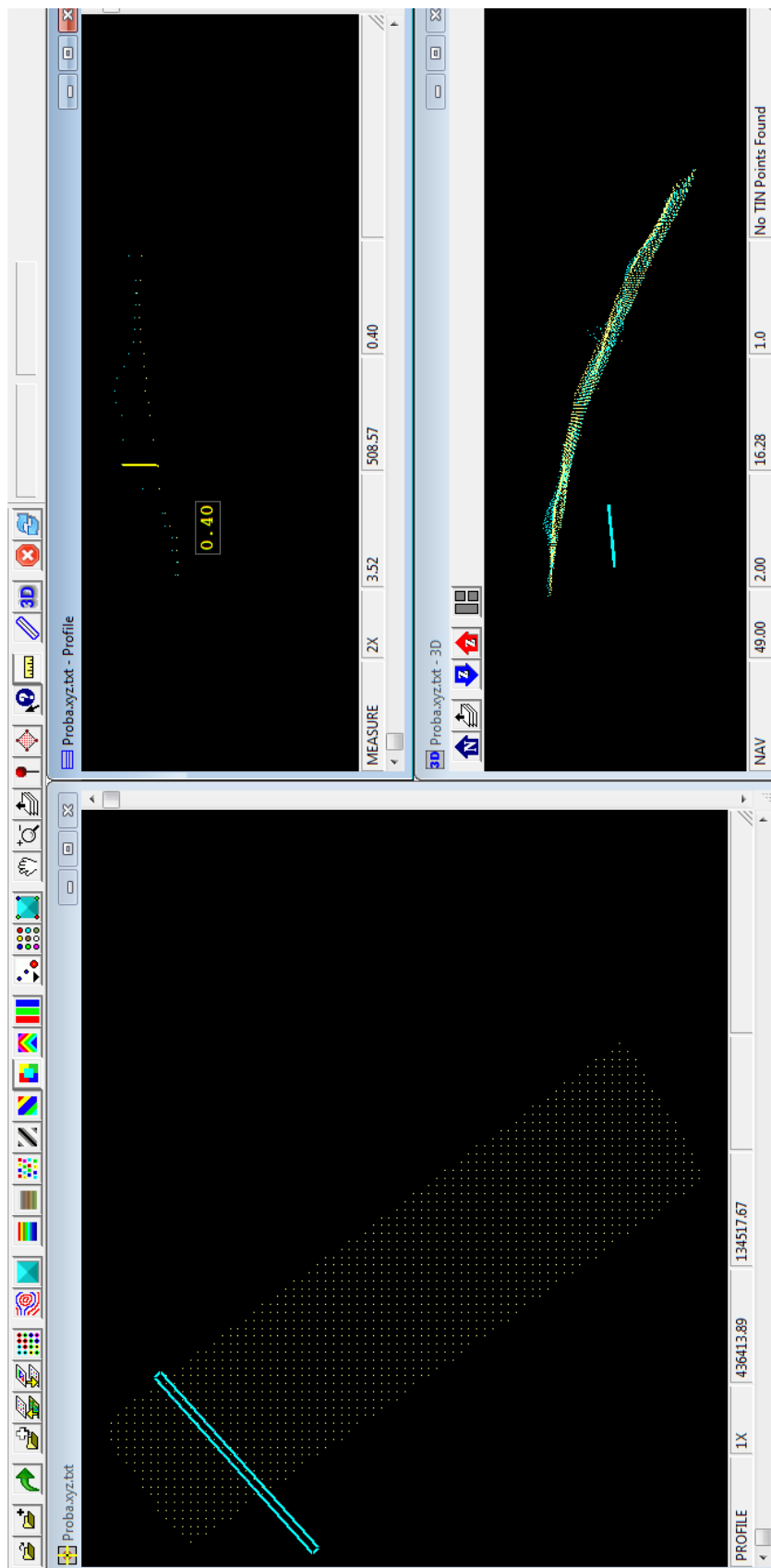
**PRILOGA A:** Območje A - pogled na podlagi terestričnih točk. Merilo je označeno na sliki zgoraj desno na mestu večjega štora v metrih (modra barva točk – lidar, rumena barva točk – meritve s terena)



**PRILOGA B:** Območje A - pogled na podlagi terestričnih točk. Merilo je označeno na sliki v zgornjem desnem kotu z rumeno črtico, ki predstavlja dolžino 0,1 m (modra barva točk – meritve s terena, rumena barva točk – lidar)



**PRILOGA C:** Območje B - pogled na podlagi terestričnih točk. Merilo je označeno na sliki na mestu večjega štora metrih (modra barva točk – meritve s terena, rumena barva točk – lidar)



**PRILOGA D:** Območje B - pogled na podlagi terestričnih točk. Merilo je označeno na sliki na mestu manjšega štora v metrih (modra barva točk – meritve s terena, rumena barva točk – lidar)

