

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:

Možina, M., 2014. Primerjava višin iz lidarskih podatkov in GNSS-višinomerstva na območju Prevalje pod Krimom. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Pavlovčič Prešeren, P., somentorica Vrečko, A.): 25 str.

Datum arhiviranja: 10-10-2014

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:

Možina, M., 2014. Primerjava višin iz lidarskih podatkov in GNSS-višinomerstva na območju Prevalje pod Krimom. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Pavlovčič Prešeren, P., co-supervisor Vrečko, A.): 25 pp.

Archiving Date: 10-10-2014

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 ŠTUDIJ
PRVE STOPNJE GEODEZIJE
IN GEOINFORMATIKE

Kandidatka:

META MOŽINA

**PRIMERJAVA VIŠIN IZ LIDARSKIH PODATKOV IN GNSS-
VIŠINOMERSTVA NA OBMOČJU PREVALJE POD KRIMOM**

Diplomska naloga št.: 69/GIG

**Comparison of heights from LiDAR-data and from GNSS levelling at the
area of Prevalje under Krim**

Graduation thesis No.: 69/GIG

Mentorica:

doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren

Somentor:

Anja Vrečko, dipl. inž. geod.

Predsednik komisije:

prof. dr. Bojan Stopar

Ljubljana, 18. 9. 2014

"Ta stran je namenoma prazna."

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisana **Meta Možina** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom: »**Primerjava višin iz lidarskih podatkov in GNSS-višinomerstvana območju Prevalje pod Krimom**«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, september 2014

Meta Možina

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.2(497.4)(043.2)
Avtor:	Meta Možina
Mentorica:	doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren
Somentorica:	Anja Vrečko, dipl. inž. geod.
Naslov:	Primerjava višin iz lidarskih podatkov in GNSS-višinomerstva na območju Prevalje pod Krimom
Tip dokumenta:	diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	25 str., 8 sl., 4 graf., 5 pregl.
Ključne besede:	GNSS-višinomerstvo, lidar, RTK-metoda izmere, metoda naravnih sosedov, laserski skenerji, DMR, ortofoto

Izvleček

V diplomski nalogi primerjamo višine točk, interpolirane iz lidarskih podatkov, z višinami, ki smo jih pridobili s terensko izmero z GNSS-višinomerstvom na območju Ljubljanskega barja, v vasi Prevalje pod Krimom. Izbrali smo tri delovišča, za katera smo predvidevali, da so za lasersko skeniranje manj ugodna. To so: breg, brežina manjšega vodotoka in njiva z vegetacijo. Četrto delovišče je predstavljal raven travnik, ki naj bi bil enakovreden obema načinoma določevanja višin: z lidarjem in z GNSS-višinomerstvom. V okviru GNSS-višinomerstva smo na vseh štirih deloviščih opravili meritve z RTK-metodo izmere. Diskretno pridobljene točke smo uporabili za interpolacijo štirih ploskev z metodo naravnih sosedov, za vsa štiri delovišča. Višine iz interpoliranih ploskev smo primerjali z DMR-jem, ki je bil izdelan iz lidarskih podatkov. Ugotovili smo, da se višine na problematičnih območjih precej razlikujejo. Zato menimo, da je obravnavi višin iz lidarskih podatkov na podobnih območjih potrebno posvetiti posebno pozornost.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	528.2(497.4)(043.2)
Author	Meta Možina
Supervisor:	Assist. Prof. Polona Pavlovčič Prešeren, Ph. D.
Co-advisor:	Anja Vrečko, B.Sc.
Title:	Comparison of heights from lidar data and from GNSS levelling in the area of Prevalje pod Krimom
Document type:	Graduation thesis – University studies
Notes:	25 p., 8 fig., 4 graph., 5 tab.
Keywords:	GNSS levelling, lidar, RTK surveying, natural neighbor method, laser scanner, DTM, orthophoto

Abstract

The scope of this work is comparison of heights, gathered from lidar data and GNSS-levelling in the particular area Prevalje under Krim. Three working places were chosen, that were assumed to be less favorable for laser scanning: a river's edge, a slope and a field with vegetation. The fourth was a level meadow, where the results should be equivalent on both modes of height determination: lidar and GNSS levelling. In the context of GNSS levelling we have performed measurements with the real time kinematic method. From those points (also for all four worksites) four surfaces were interpolated using natural neighbor method. The heights of the interpolated planes were then compared with digital terrain model, which is made on the ground of lidar's data. We found out that heights of above mentioned questionable areas are quite variable. Therefore, we believe that the quality of heights from lidar data at this particular area as well as in similar areas should be treated with special attention.

ZAHVALA

V prvi vrsti se zahvaljujem mentorici, doc. dr. Poloni Pavlovčič Prešeren za vse spodbude in za vso pomoč. Prav tako gre velika zahvala pri izdelavi diplomske naloge somentorici, Anji Vrečko.

Rada bi se zahvalila tudi mojim domačim, ki so me podpirali tekom celotnega študija. Zahvala pa gre tudi prijateljem in sošolcem, brez katerih leta študija nebi bila tako lepa. Hvala mojemu fantu Joštu za vsestransko podporo in potrpežljivost.

KAZALO

IZJAVE	IV
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	V
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT.....	VI
ZAHVALA.....	VII
1 UVOD	1
2 GNSS.....	3
2.1 Metoda RTK-izmere.....	4
2.2 Lokalni model geoida.....	5
3 LIDAR	6
4 TERENSKO DELO.....	7
4.1 Postopek meritev na terenu.....	8
5 OBDELAVA PODATKOV IZMERE GNSS	9
5.1 Metoda naravnih sosedov (angl. Natural neighbor)	9
5.2 Statistični izračuni	10
6 REZULTATI.....	12
6.1 Opis izvornih podatkov in rezultatov meritev	12
6.1.1 ORTOFOTO.....	12
6.1.2 Lidar	12
6.1.3 Točke, pridobljene z RTK metodo izmere	13
6.2 Rezultati statične GNSS metode izmere.....	13
6.3 Višinske razlike na posameznih deloviščih	15
6.3.1 Njiva z vegetacijo	15
6.3.2 Brežina.....	17
6.3.3 Breg	19
6.3.4 Travnik	21
7 ZAKLJUČEK.....	23
VIRI.....	24

KAZALO SLIK

Slika 1: Lokacije delovišč ($\varphi = 45^{\circ} 58' 06,28'' S$; $\lambda = 14^{\circ} 23' 49,46'' V$).....	7
Slika 2: Skica Voronijevih poligonov	9
Slika 1: Območje bloka A8 ter območje posnetih oslonilnih in kontrolnih točk za blok A8	12
Slika 4: Lokacije točk statične izmere: delovišče Prevalje pod Krimom.....	14
Slika 5: Primerjava višin iz lidarskih podatkov in GNSS-višinomerstva– njiva z vegetacijo	15
Slika 6: Primerjava višin iz lidarskih podatkov in GNSS-višinomerstva – brežina.....	17
Slika 7: Primerjava višin iz lidarskih podatkov in GNSS-višinomerstva – breg.....	19
Slika 8: Primerjava višin iz lidarskih podatkov in GNSS-višinomerstva – travnik	21

KAZALO PREGLEDNIC:

Preglednica 1: Rezultati statične GNSS izmere – položaj točk v koordinatnem sistemu D96/TM.....	13
Preglednica 2: Rezultati statističnih izračunov - njiva z vegetacijo	16
Preglednica 3: Rezultati statističnih izračunov - brežina	18
Preglednica 4: Rezultati statističnih izračunov - breg	20
Preglednica 5: Rezultati statističnih izračunov - travnik	22

KAZALO GRAFOV

Grafikon 1: Višinske razlike med merjenima višinama - njiva z vegetacijo	175
Grafikon 2: Višinske razlike med merjenima višinama - brežina	187
Grafikon 3: Višinske razlike med merjenima višinama - breg	19
Grafikon 4: Višinske razlike med merjenima višinama - travnik.....	21

UPORABLJENE KRATICE IN KRAJŠAVE

DMR	digitalni model reliefa
DOP	angl. Dilution of Precision
DTM	angl. digital terrain model
ETRS89	angl. European Terrestrial Reference System 1989
GLONASS	rus. GLObal'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GNSS	angl. Global Navigation Satellite System
GPS	ang. Global Positioning System
GSM	angl. Global System for Mobile communications
IGS	angl. International GNSS Service
INS	inercialni sistemi
ipd.	in podobno
KT	kontrolne točke
LIDAR	angl. Light Detection And Ranging
OS	oslonilne točke
oz.	oziroma
PPP	angl. Precise Point Positioning
RGB	red, green, blue
RMS	angl. root mean square
RMSE	angl. Root Mean Square Error
RTK	angl. Real Time Kinematic
VRS	angl. Virtual Reference Station

"Ta stran je namenoma prazna."

1 UVOD

Uporaba globalnih navigacijskih sistemov GNSS (angl. Global Navigation Satellite System) se je zaradi njihove praktičnosti in uporabnosti razširila takorekoč po celotnem planetu. Poznamo manj natančne navigacijske sisteme, uporabne v avtomobilih, kot tudi bolj natančne tehnologije GNSS, ki jih s pridom uporabljamo v geodetski stroki. Znotraj tega poznamo različne metode izmere (statična izmera GNSS in hitra statična izmera GNSS kot primera, ko so nekaj časa (več deset minut ali več) instrumenti GNSS nepremično postavljeni na točki, ter kinematične metode izmere, kjer z instrumentom na točki sprejemamo opazovanja le kratek čas, nato pa smo v fazi gibanja (angl. Stop and Go). Med temi metodami ima posebno mesto RTK (angl. Real Time Kinematic) metoda izmere, saj koordinate stojišča dobimo v realnem času izmere. Metode se razlikujejo predvsem v hitrosti trajanja meritev oz. hitrosti zajema opazovanj za nadaljnjo obdelavo kot tudi v dosegljivi točnosti določitve položaja.

V zadnjem času je vse bolj v uporabi tudi tehnologija laserskega snemanja, lidar (angl. Light Detection And Ranging). Pozitivna lastnost laserskega snemanja je zagotovo hiter in enostaven zajem podatkov. Zato se vse večkrat dogaja, da točkam na terenu prostorske podatke določamo z laserskim snemanjem, GNSS-metode izmere pa služijo zgolj za določitev položajev oslonilnih točk in točk za namen georeferenciranja oblaka točk, ki ga dobimo z laserskim snemanjem. V nadaljevanju smo se spraševali predvsem, v kakšnih okoliščinah je še vedno pametneje uporabljati metode izmere GNSS oz. kdaj lasersko skeniranje zadosti naše potrebe po točnosti podatkov.

V diplomski nalogi primerjamo višinske ploskve reliefa, določene na različne načine. Pri tem smo višine točk, na osnovi katerih smo te ploskve interpolirali, pridobili na dva različna načina, in sicer z lidarjem in z GNSS-višinomerstvom. V okviru GNSS-višinomerstva smo uporabili RTK-metodo izmere za določitev elipsoidnih višin in nadalje lokalni model geoida (Pribičević, 2000) za izračun geoidnih undulacij, preko katerih pridemo do nadmorskih višin. Za analizo smo si izbrali štiri delovišča, od tega so bila tri taka, na katerih smo pričakovali slabšo točnost lidarskih podatkov. To so: brežina potoka, njiva z vegetacijo in jasa v bregu sredi gozda. Eno delovišče je bilo izbrano tako, da so bili pogoji za obe metodi izmere dobri – to je raven travnik, kjer ni druge posebne vegetacije kot nizka trava.

Obdelavo podatkov smo naredili v programu ArcMap. Za interpolacijo ploskev iz položajev opazovanih točk na posameznih deloviščih smo uporabili metodo naravnih sosedov. Primerjavo višinskih razlik med interpoliranimi ploskvami in lidarskim DMR-jem (digitalni model reliefa) smo naredili tako, da smo med seboj odšteli višine v istoležnih mrežnih celicah. Na dobljenih višinskih razlikah smo izvedli nadaljnjo statistično analizo, ki je stremela h končni določitvi srednjega kvadratnega pogreška RMS (angl. root mean square).

Pri dani nalogi smo si postavili delovni hipotezi:

- na manj problematičnih območjih (ravninska območja brez bujne in ne enakomerne višine vegetacije) zajem podatkov z lidarjem nadvlada tehnologijo GNSS predvsem v smislu hitrosti in količine podatkov in v predvideni točnosti zajema podatkov;
- na bolj problematičnih območjih (brežina vodotoka, breg in njiva z vegetacijo) ima terenska izmera prednost v smislu dosegljive točnosti določitve višin.

Že vnaprej bi bilo smiselno omeniti, da ima dana naloga pomanjkljivost v tem, da smo GNSS-izmero izvedli tri leta po lidarskem snemanju. Najbolje bi bilo to narediti istočasno. Pri interpolaciji višinskih razlik moramo tako upoštevati, da so lahko posledica dejanskih sprememb v naravi. Ker pa je lidarski DMR ponavadi uporabnikom na voljo daljši čas, je prav zaradi morebitnih sprememb v naravi po določenem obdobju smiselno narediti ponovno kontrolo kakovosti izdelka.

2 GNSS

GNSS zajema vse navigacijske satelitske sisteme. Navigacijski satelitski sistemi nam omogočajo določitev prostorskega položaja skoraj kjer koli na Zemlji. Še več. Položaj je odvisen tudi od trenutka določitve, torej lahko govorimo o štiri-dimenzionalnem določanju položaja. Položaj je določen na podlagi merjenih psevdo-razdalj satelitov GNSS do sprejemnika na ali v bližini zemeljske površine. Poznamo več različnih navigacijskih satelitskih sistemov:

- GPS (ang. Global Positioning System) je ameriški navigacijski satelitski sistem in je trenutno v najbolj množični uporabi, izhaja iz leta 1973;
- GLONASS (rus. GLObal'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) je ruski navigacijski satelitski sistem ter izhaja iz leta 1982, ko so vtirili prva satelita;
- Evropski Galileo navigacijski satelitski sistem (točno vtirjeni so štirje sateliti, dva dodatna, ki so ju poizkušali vtiriti letošnjega avgusta, še vedno nista v pravi tirnici) ter
- kitajski COMPASS (Beidou-2) navigacijski sistem.

GPS predstavlja prvi navigacijski satelitski sistem, ki so ga Američani razvili najprej za potrebe vojske, šele kasneje pa so ga predali tudi v splošno uporabo. V prvotni različici je bilo mišljeno, da bi le ameriška vojska imela zmožnost najnatančnejše določitve položaja, vendar so znanstveniki tekom let predstavili možnost določitve položaja na osnovi faznih opazovanj z najvišjo možno točnostjo.

V okviru GNSS-ja poznamo več različnih metod določitve položaja, ki se razlikujejo predvsem v trajanju sprejemanja opazovanj na določeni točki in posledično v natančnosti določitve koordinat nove točke. Poznamo naslednje metode določevanja koordinat z GNSS-jem:

- statična izmera GNSS;
- hitra statična izmera GNSS;
- kinematične metode izmere (z naknadno obdelavo ali obdelavo v realnem času (RTK-metoda izmere));
- metoda PPP (angl. Precise Point Positioning).

Metode, predstavljene v prvih treh alinejah, temeljijo na relativni določitvi položaja na osnovi faznih opazovanj GNSS (velja le za GPS in Galileo, saj je pri GLONASS-u vloga kodnih in faznih opazovanj ravno obratna kot pri GPS), zadnja pa na osnovi absolutne določitve položaja na osnovi faznih opazovanj GNSS.

V diplomski nalogi smo v okviru metod izmere GNSS za določitev 3D-položajev točk izbrali RTK-metodo izmere.

2.1 Metoda RTK-izmere

RTK-GPS metodo izmere uvrščamo med kinematične metode na osnovi faznih opazovanj, zato je ključna izvedba inicializacije pred izmero. Gre za določitev faznih nedoločenosti, za kar potrebujemo najmanj pet skupnih satelitov na baznem stojišču (točka z znanim položajem, kjer je instrument mirujoč) in na premikajoči se enoti (velikokrat imenovana rover). RTK-metodo uporabljamo v načinu Stop-and-Go, kar pomeni, da nekaj trenutkov stojimo na točki, katere položaj želimo določiti, nato smo v fazi gibanja ter se zopet ustavimo na točki, katere položaj želimo določiti. Lahko jo uporabljamo tudi kot kombinacijo kinematične in hitre statične metode izmere GPS. RTK-GPS metoda potrebuje komunikacijsko povezavo med referenčnim in premičnim sprejemnikom GPS (lahko je radijska ali GSM) in ustrezno programsko opremo za obdelavo opazovanj referenčnega in premičnega GPS-sprejemnika tekom izmere. Ker nam metoda ob primerno izbrani oddaljenosti premikajoče enote od baznega stojišča omogoča tudi nekaj centimetrsko natančnost določitve položaja v realnem času, je ena izmed najbolj uporabnih metod izmere v današnjem času. Največja prednost RTK-metode je v zmožnosti pridobitve položajnih podatkov visoke natančnosti tekom izvedbe.

Z referenčnim sprejemnikom običajno izvajamo opazovanja na dani točki (točka, ki ima podan položaj v koordinatnem sistemu, vezanim na GNSS, npr. ETRS89 (angl. European Terrestrial Reference System 1989) koordinatni sistem) – lahko je to točka stalnega omrežja permanentnih postaj (v Sloveniji se imenuje SIGNAL) ali pa gre za lastno permanentno postajo GNSS. V primeru, ko smo od stalnih postaj omrežja SIGNAL preveč oddaljeni, lahko vzpostavimo tudi virtualno referenčno postajo – VRS (angl. Virtual Reference Station). Ker so v takih primerih vplivi na opazovanja zelo lokalni in so na kraju izvajanja meritev drugačni kot na lokaciji permanentnih postaj, nam programsko orodje v centru omrežja na osnovi neprekinjenih opazovanj GNSS na okoliških permanentnih postajah zmodelira vplive na opazovanja za lokacijo VRS-ja, ki si jo izberemo sami. To nam omogoča, da čim bolj upoštevamo dejanske vplive na opazovanja, hkrati pa so bazni vektorji med novimi točkami in VRS-jem krajši, kot bi bili z navezavo na stalne postaje GNSS. Krajši kot so bazni vektorji, na podlagi katerih se izračunajo koordinate novih točk, boljša je točnost določitve koordinat novih točk v GNSS-koordinatnem sistemu.

Množično uporabo GNSS metod izmere (v katastru, detajlni izmeri in inženirski geodeziji) in množično uporabo RTK-metode izmere opravičujejo mnoge dobre značilnosti metode:

- koordinate točk, na katerih smo sprejemali opazovanja s satelita, so znane že med samo izmero, prav tako njihova natančnost, ki je ovrednotena predvsem s faktorji DOP (angl. Dilution of Precision);
- dosežena točnost je navadno cm, vendar je potrebno le-to preverjati z notranjimi kontrolami (opazovanja na dani točki, če je bila določena s statično izmero GNSS; ali vsaj trikratna neodvisna izmera na kontrolni točki z različno inicializacijo in po preteku vsaj 20 minut).

RTK-metoda izmere ima tudi nekatere slabe lastnosti:

- za delovanje je potreben radijski ali GSM signal;
- nujna je vzpostavitev inicializacije, t.j. določitve neznanega števila celih valov;
- deluje v predvideni nekaj centimetrski točnosti določitve položaja v ravnini, višinsko je vezana na 1,5 krat slabšo točnost.

2.2 Lokalni model geoida

Z RTK-metodo pri meritvah na terenu pridobimo elipsoidne višine. Te za praktično uporabo niso dovolj, zato potrebujemo lokalni model geoida, da preko tega pridemo do nadmorskih višin. Pri tem je kvaliteta lokalnega modela geoida izredno pomembna.

Pri tej diplomski nalogi smo, kot je že prej navedeno, uporabili lokalni model geoida Slovenije, ki izhaja iz leta 2000 (Pribečević, 2000). Lokalnega modela geoida za naše območje nismo posebej preverjali tudi zato, ker bi bila diplomatska naloga v tem primeru preobsežna. Vemo pa tudi, da je bil DMR izdelan na podlagi istega geoida, kot smo ga za pretvorbo iz elipsoidnih višin v nadmorske višine uporabili mi. Na podlagi tega menimo, da prehod iz elipsoidnih višin v nadmorske višine na višinske razlike nima vpliva.

3 LIDAR

Ko govorimo o lidarju, govorimo o tehnologiji daljinskega zaznavanja. Pri aero laserskem skeniranju gre za snemanje površja z laserskim skenerjem, ki se lahko nahaja na letalu ali helikopterju, vse bolj pa so popularna tudi brezpilotna letala z mini laserskimi skenerji. Laserski skener omogoča zajem velike količine podatkov v zelo kratkem času. Deluje po naslednjem principu: skener odda laserski žarek, ki se nato od objekta skeniranja (t.i. tarče) odbije nazaj proti skenerju. Laserski skener zabeleži smer oddanega žarka ter na podlagi časa potovanja žarka od skenerja do tarče in nazaj izračuna razdaljo med skenerjem in tarčo. Na podlagi obeh podatkov lahko določimo relativni položaj točke glede na laserski skener. Lokacijo in orientacijo skenerja v prostoru določimo na podlagi meritev GNSS sprejemnika in inercialnega sistema (INS), ki sta pritrjena na zrakoplovu, ter kalibracijskih parametrov. Skener lahko s pomočjo sistema vrtljivih ali nihajočih zrcal oddaja laserske žarke v kratkih časovnih intervalih. Rezultat laserskega skeniranja je oblak točk.

Zajem podatkov z lidarjem je čedalje bolj razširjen. Razvijanje vedno novih aplikacij pa omogoča, da se obstoječim dobrim lastnostim laserskega skeniranja stalno dodajajo nove. Zagotovo največjo uporabno vrednost laserskemu skeniranju dajo naslednje dobre lastnosti:

- hiter in relativno poceni zajem podatkov v primerjavi z nekaterimi drugimi primerljivimi metodami;
- možna je večkratna uporaba dobljenega oblaka točk, lahko za povsem neodvisne primere;
- aktiven senzor z lastnim izvorom elektromagnetnega valovanja omogoča zajem podatkov tudi ponoči.

Zdi se, da opisana tehnologija skoraj nima slabih lastnosti – pa vendar. Na nekaterih območjih je položaj točk z lidarjem težko določiti. Sem spadajo na primer: brežine rek in potokov, bregovi in neravni tereni, območja visoke vegetacije ipd. Pri tem ima velik vpliv divergenca laserskega žarka – žarek se ne odbije od točke, ampak od neke večje površine, zato je točnost določitve položaja točk slabša. Ta vpliv je večji pri večjih vpadnih kotih žarka, npr. v primeru brežin in terena v naklonu.

Velik vpliv na višino tal, določeno z laserskim skeniranjem, ima vegetacija. Kadar gre za visoko vegetacijo, se take točke odstranijo s filtriranjem, pri nizki vegetaciji (nizka trava, grmičevje, ...) pa je odboje od vegetacije težje odstraniti. Zaradi vegetacije se laserski žarek morda ne odbije od tal, pač pa od vegetacije na neki višini od tal, do katere žarek prode. Take točke ponavadi vseeno obravnavamo kot talne točke, upoštevati pa je treba, da so njihove višine manj zanesljive. Zato na takšnih območjih uporaba meritev laserskega skeniranja ni priporočljiva, v kolikor potrebujemo natančno določene višine točk.

4 TERENSKO DELO

Terensko delo za potrebo diplomske naloge smo izvedli 10. januarja 2014. Meritve smo izvajali v neposredni bližini kraja Prevalje pod Krimom. Na terenu smo uporabili inštrument GNSS Leica Viva. Zaradi precejšnje oddaljenosti od stalnih permanentnih postaj omrežja SIGNAL (najbližja je v Ljubljani GSR1) smo RTK-metodo izmere navezali na virtualno stojišče VRS, da bi s tem zagotovili boljšo kvaliteto določitve položajev točk.

Lokacije v nadaljevanju podrobneje opisanih štirih delovišč smo prikazali na sliki 1.



Slika 2: Lokacije delovišč ($\varphi = 45^{\circ} 58' 06,28'' S$; $\lambda = 14^{\circ} 23' 49,46'' V$)

Približne koordinate oglišč ortofota na sliki, ki prikazuje lokacijo vseh štirih delovišč:

Desno zgoraj: $\varphi = 45^{\circ} 58' 06,28'' S$ $\lambda = 14^{\circ} 23' 49,46'' V$

Desno spodaj: $\varphi = 45^{\circ} 57' 38,68'' S$ $\lambda = 14^{\circ} 23' 50,41'' V$

Levo zgoraj: $\varphi = 45^{\circ} 58' 05,16'' S$ $\lambda = 14^{\circ} 22' 46,77'' V$

Levo spodaj: $\varphi = 45^{\circ} 57' 40,64'' S$ $\lambda = 14^{\circ} 22' 52,05'' V$

Lokacije vseh štirih delovišč so označene na državnem ortofotu DOF050.

4.1 Postopek meritev na terenu

Meritve smo izvajali na štirih deloviščih. Predhodno smo izvedli statično metodo izmere GNSS z namenom določitve kvalitetnih kontrolnih točk. Pri statični metodi izmere smo na posameznih kontrolnih točkah opazovanja sprejemali trikrat neodvisno po 1 uro. Interval registracije signala smo nastavili na 5 s, uporabili smo instrumente Trimble 4000 SSI. Opazovanja statične metode izmere GNSS smo obdelali v programu Leica Geo Office, pri tem smo uporabili precizne efemeride službe IGS ter navezavo na stalno permanentno postajo omrežja SIGNAL – GSR1. Koordinate detajlnih novih točk smo na vseh deloviščih določili z RTK-metodo izmere. Nadalje smo uporabili točke, ki so glede natančnosti zadostile zahtevam za kvaliteno izvedbo metode RTK-izmere (kontrola faktorjev DOP in terenska kontrola kvalitetno izvedene inicializacije). Najprej smo meritve izvedli na bregu, kjer smo določili položaje okoli 300-tim točkam. Sledila je terenska izmera brežine ter nato še njive z vegetacijo. Četrto delovišče smo dodali naknadno, čeprav na začetku ni bilo v načrtu določiti položaje tem točkam. Določili smo položaje še 27-im točkam na travniku, kjer ni bilo opaziti posebne vegetacije (opazovanja v januarju, vendar brez snežene podlage). Domnevamo, da bi se morale višine, merjene z GNSS-višinomerstvom in lidarjem, na takšnem delovišču najmanj razlikovati.

Največ težav med meritvami GNSS je povzročala nenehna prekinitev inicializacije. Več težav z inicializacijo smo imeli pri določanju položajev točk brega in brežine. To je bilo najbrž povezano z manj ugodnim terenom za izmero z GNSS-jem. Brežina in breg sta bila namreč obdana z drevjem oz. z gozdom za razliko od njive in travnika, ki ležita na povsem odprtem območju. Skozi celotno izvajanje meritev smo pozorno spremljali kvaliteto izvedbe RTK-metode izmere (inicializacija, faktorji PDOP). V primeru težav smo z GNSS-anteno za nekaj časa šli na čim bolj odprt teren ali pa smo prekinili inicializacijo in prisilili njeno ponovno vzpostavitev.

5 OBDELAVA PODATKOV IZMERE GNSS

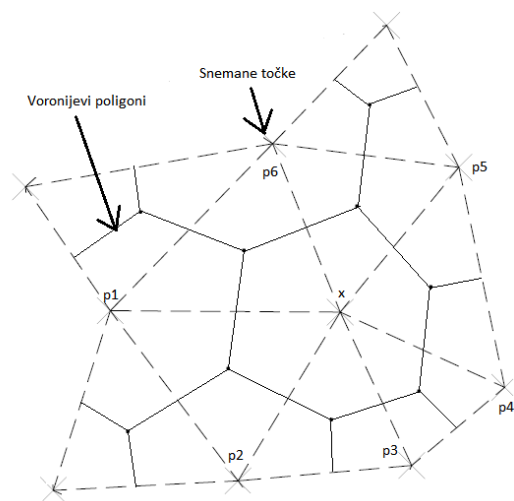
Položaji, pridobljeni z RTK-metodo izmere, so služili kot vhodni podatki za program ArcMap, v katerem smo izvedli obdelavo rezultatov meritev in primerjavo višin.

Cilj izvedbe obdelave je bil določiti interpolirane ploskve na osnovi podatkov točk, katerih položaj smo določili s terensko izmero. Nadalje smo le-to primerjali z lidarskim DMR-jem za obravnavano območje. Z odštetjem ploskev smo pridobili razlike v višinah, dobljenimi z lidarjem (DMR), in tistimi, dobljenimi z interpoliranjem ploskve iz točk, določenih na terenu.

5.1 Metoda naravnih sosedov (angl. Natural neighbor)

Metodo naravnih sosedov zaradi njene lastnosti, da je mogoče lepše predstaviti gladke ploskve iz neenakomerno razporejenih podatkov kot z drugimi metodami, pogostokrat uporabljamo pri reševanju problemov interpolacije ploskev iz diskretno pridobljenih podatkov. Metodo je utemeljil matematik Robin Sibson leta 1980 in 1981, ki je za izhodišče uporabil razdelitev prostorskih podatkov na manjša območja, pri tem pa je uporabil Voronijevo teselacijo.

Postopek določitve Voronojevih poligonov poteka tako, da najprej sosednje točke povežemo med seboj, nato pa s simetralami na povezave med točkami razmejimo prostor. Na presečiščih simetral dobimo oglišča Voronojevega poligona, ki jih povežemo med seboj (slika 2).



Slika 3: Skica Voronijevih poligonov

Osnovna enačba metode naravnih sosedov je zelo podobna enačbi metode interpolacije z inverzno uteženo razdaljo, le da so uteži izračunane na drugačen način (Sibson, 1981):

$$f(x) = \sum_{i=1}^k w_i(x) a_i$$

Pri tem so:

$f(x)$... interpolirana vrednost v točki x ,

$w_i(x)$... uteži,

a_i ... atribut (numerična vrednost, v našem primeru višina) naravnega sosedu,

k ... število naravnih sosedov (točk naravnih sosedov).

Vsak naravni sosed prispeva k izračunu interpolirane vrednosti, sorazmerno s površino preseka med njegovim Voronijev poligonom (teselacija brez točke x) in Voronojevimi poligoni točke x (teselacija s točko x). Naravni sosedi (oziroma uteži w_i) določajo, v kolikšni meri bodo višine naravnih sosedov vplivale na izračun interpolirane vrednosti. Na ta način dobimo zvezno funkcijo, ki je zvezna povsod, samo v danih točkah ne.

V našem primeru je šlo za interpolacijo z naravnimi sosedi v treh dimenzijah, to je z x smo označili ravninski koordinati, z interpolacijo pa smo pridobili višine.

Ena glavnih pozitivnih lastnosti metode naravnih sosedov je torej ta, da se uteži določajo lokalno – za vsako točko posebej. Uteži se spremenijo, če povečamo število točk, s katerimi želimo interpolirati ploskev. Spremenijo pa se tudi Voronijevi poligoni. Metodo naravnih sosedov smo uporabili tudi zato, ker imamo neenakomerno razporejene točke, katerim smo lahko določili položaj. Velja namreč, da je s to metodo iz neenakomernih točk lažje predstaviti gladko ploskev kot z drugimi metodami. Tako interpolirano ploskev smo zapisali v celično strukturo identinčo strukturi lidarskega DMR-ja (velikosti celic 1 m x 1 m).

5.2 Statistični izračuni

Po interpolaciji ploskev z metodo naravnih sosedov smo na posameznih deloviščih ploskev pridobljeno z interpolacijo primerjali z lidarskim DMR-jem. Za posamezno območje smo kot rezultat dobili višinske razlike v vseh celicah. Višinske razlike smo izračunali kot:

$$\Delta H = H_{\text{lidar}} - H_{\text{RTK}}$$

Pri tem sta:

H_{lidar} ... višina v celici ploskve lidarskega DMR-ja;

H_{RTK} ... višina v celici ploskve, interpolirane iz podatkov RTK-izmere.

Dobljene višinske razlike smo zbrali ter jih uredili v preglednice. Za vsako delovišče smo pridobili največjo in najmanjšo višinsko razliko med ploskvama ΔH_{max} in ΔH_{min} , standardni odklon in srednjo vrednost višinskih razlik ter izrisali grafikon. Prav tako smo za vsako delovišče izračunali vrednost RMS.

RMS oz. srednji kvadratni pogrešek predstavlja pozitivno vrednost kvadratnega korena sredine kvadratov odstopanj. Konkretno v našem primeru govorimo o odstopanjih med višinami, interpoliranimi iz lidarskih podatkov in višinami, interpoliranimi iz podatkov GNSS-višinomerstva. Gre za statistično količino, s katero lahko opredelimo grobe napake. Posamezno odstopanje označimo za grobo napako v primeru, da presega srednjo vrednost več kot je 3-kratnik vrednosti RMS. Srednjo vrednost in RMS lahko označimo kot osnovi za določitev zanesljivosti rezultata.

$$\text{RMS izračunamo po enačbi: } \Delta H_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{n} (\Delta H_1^2 + \Delta H_2^2 + \dots + \Delta H_n^2)} .$$

Pri čemer je v našem primeru n število odstopanj in vrednosti $\Delta H_{1x}, \Delta H_{2x}, \dots, \Delta H_n$ so posamezna višinska odstopanja med ploskvama, interpoliranimi iz lidarskih oz. GNSS-meritev.

6 REZULTATI

Za komentar rezultatov potrebujemo natančno opredeljene vhodne podatke (lidar, RTK-metoda) ter lastnosti ortofota, s pomočjo katerega smo interpretirali višinske razlike.

6.1 Opis izvornih podatkov in rezultatov meritev

6.1.1 ORTOFOTO

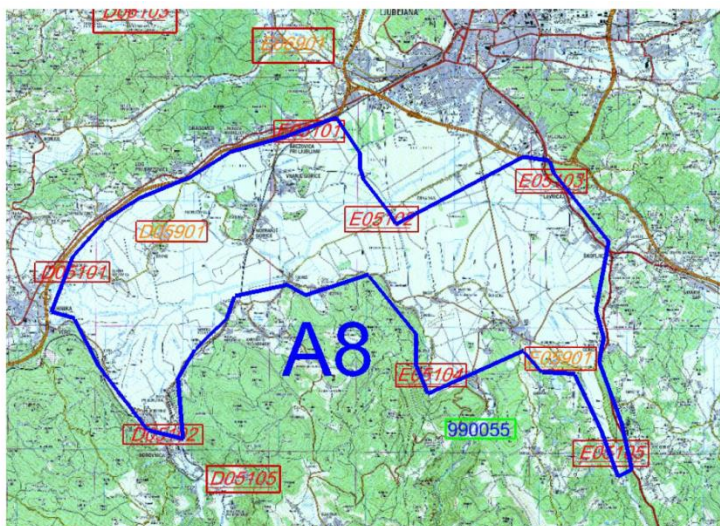
Aerosnemanje, na podlagi katerega je bil izdelan ortofoto, je potekalo 11. 3. 2011. Gre za podatke bloka 8. Rezolucija ortofota je 10 cm, natančnost izdelka (RMSE) je 20 cm. Gre za barvni ortofoto (RGB, 24-bitni).

6.1.2 Lidar

Podatki laserskega skeniranja, na podlagi katerega je bil izdelan DMR, so bili zajeti 9. 3. 2011 in 10. 3. 2011 v okviru projekta Ministrstva za okolje in prostor RS in GURS-a z naslovom Lasersko skeniranje in aerofotografiranje 2011. Takrat so opredelili gostoto točk 10 točk/m², višinoleta 850 m infrekvenco skenerja 125 kHz.

Izvedena je bila klasifikacija in na podlagi talnih točk je bil s pomočjo mreže nepravilnih trikotnikov (TIN) izdelan lidarski DMR, ki je predstavljen v gridnimreži velikosti 1 m x 1 m.

Na sliki 3 je prikazano območje bloka A8 ter območje oslonilnih in kontrolnih točk za blok A8. Blok A8 predstavlja območje laserskega skeniranja, ki zavzema tudi območje, ki je predmet obdelave te diplomske naloge (Prevalje pod Krimom).



Slika 4: Območje bloka A8 ter območje posnetih oslonilnih in kontrolnih točk za blok A8 (GURS, 2011)

Uporabljen lidarski DMR in ortofotose nanašata na koordinatni sistem D96/TM. Podatke o lastnostih ortofota in lidarskih podatkih smo pridobili iz tehnične dokumentacije izdelave izdelka, ki jo kot naročniki hranijo na Geodetski upravi Republike Slovenije.

6.1.3 Točke, pridobljene z RTK-metodo izmere

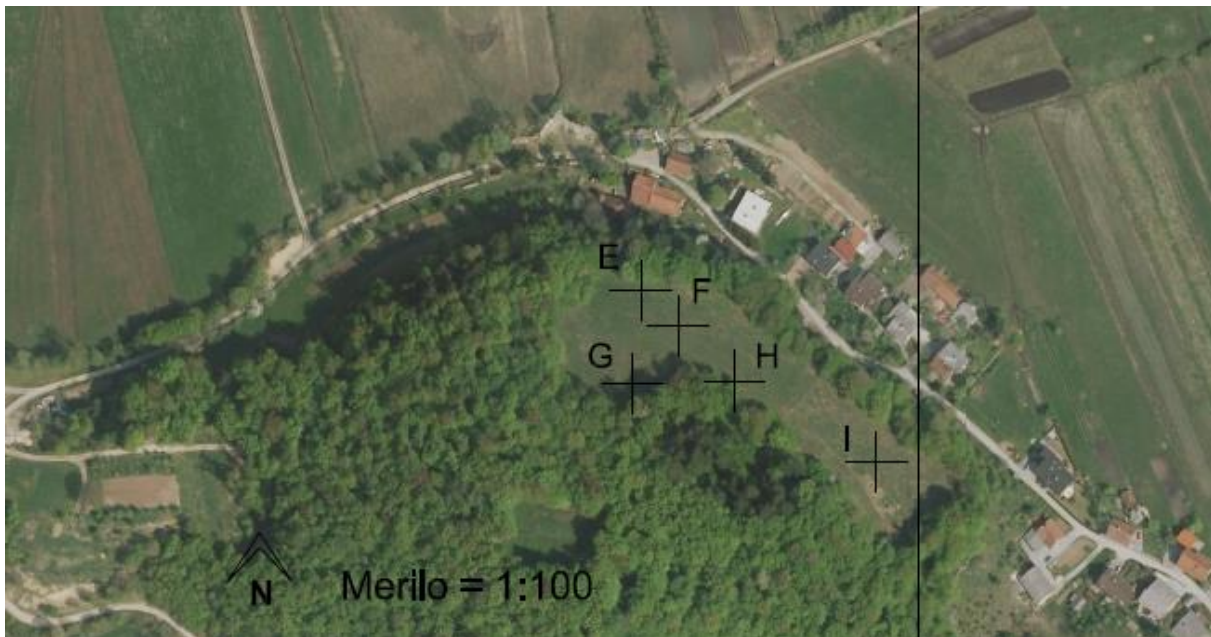
Ena od cenilk kvalitete izvedenih meritev je vrednost PDOP-a (angl. Positional Dilution of Precision), ki jo za vsako izmerjeno točko posebej najdemo v datoteki z izvedenimi opazovanji. Njegova vrednost mora biti manjša od 6 (GURS, 2007). Temu je tako, torej na podlagi tega lahko jamčimo kvaliteto opravljenih meritev. Da bi bile meritve res korektno opravljene, smo se v času same izmere na vsakih nekaj točk postavili na kontrolne točke z namenom zagotovitve zanesljivih opazovanj.

6.2 Rezultati statične GNSS metode izmere

Opazovanja s statično GNSS-izmero smo na posamezni točki izvajali približno 1,5 ure, interval registracije signala GNSS je bil 5 s. 95% elipse so bile velikosti do 5 mm. Pri izvajanju meritev in obdelavi smo se navezali na permanentno postajo omrežja SIGNAL – GSR1. Uporabili smo precizne efemeride službe IGS (ang. International GNSS Service) ter Hopfieldov model troposferske refrakcije. Dobljene koordinate predstavljamo v preglednici 1, lokacije vseh petih točk, na katerih smo izvajali opazovanja s statično GNSS-metodo izmere, pa so prikazane na sliki 4.

Preglednica 1: Rezultati statistične GNSS izmere – položaj točk v koordinatnem sistemu D96/TM

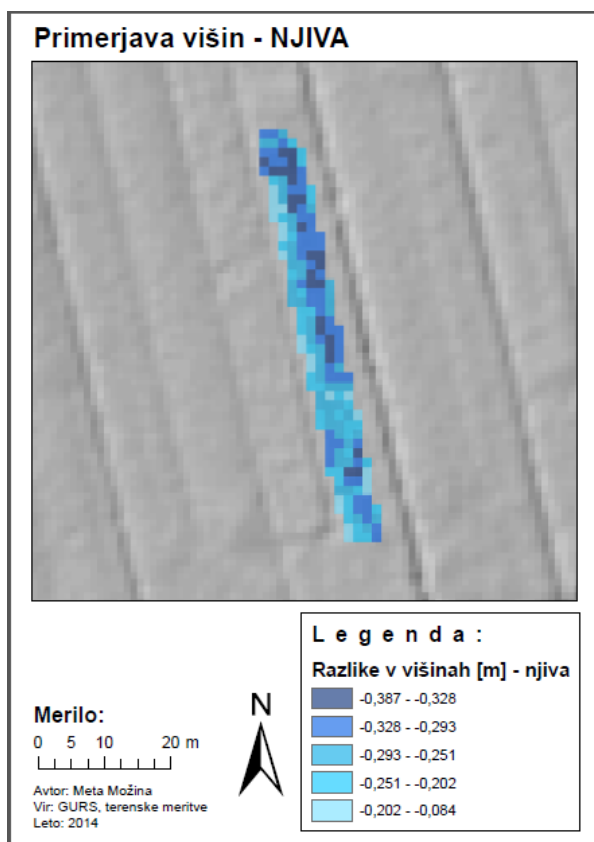
Točka	e	n	H [m] (model geoida)
E	452614,371	91892,324	308,085
F	452632,401	91874,871	310,978
G	452610,258	91846,794	320,220
H	452660,097	91848,059	312,351
I	452729,536	91808,534	308,725



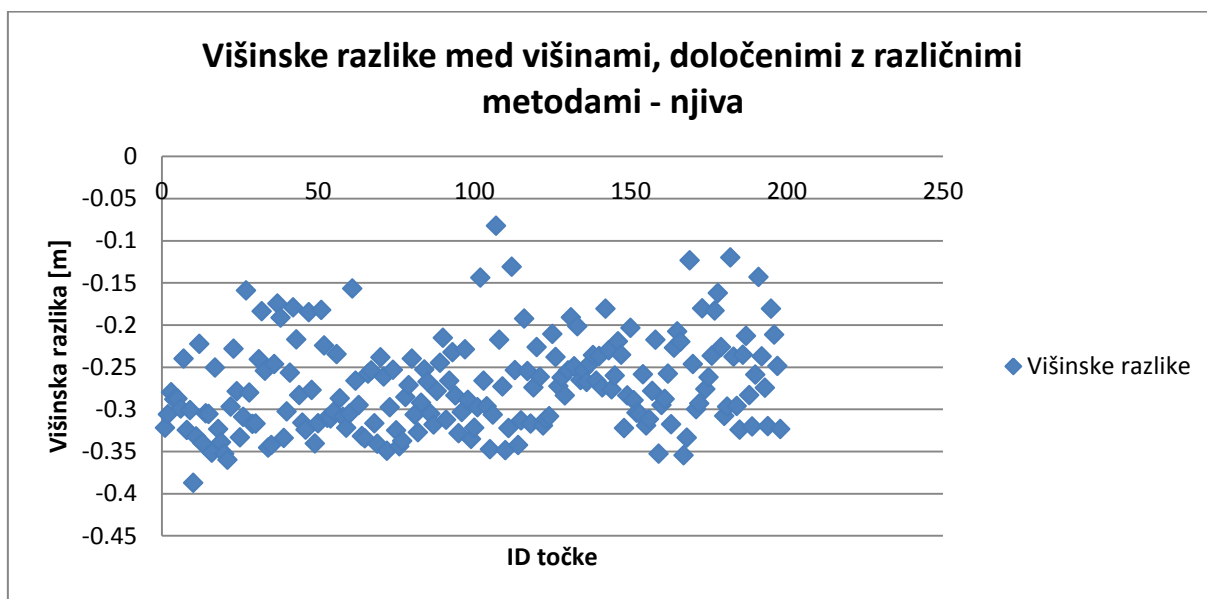
Slika 5: Lokacije točk statične izmere: delovišče Prevalje pod Krimom

6.3 Višinske razlike na posameznih deloviščih

6.3.1 Njiva z vegetacijo



Slika 6: Primerjava višin iz lidarskih podatkov in GNSS-višinomerstva – njiva z vegetacijo



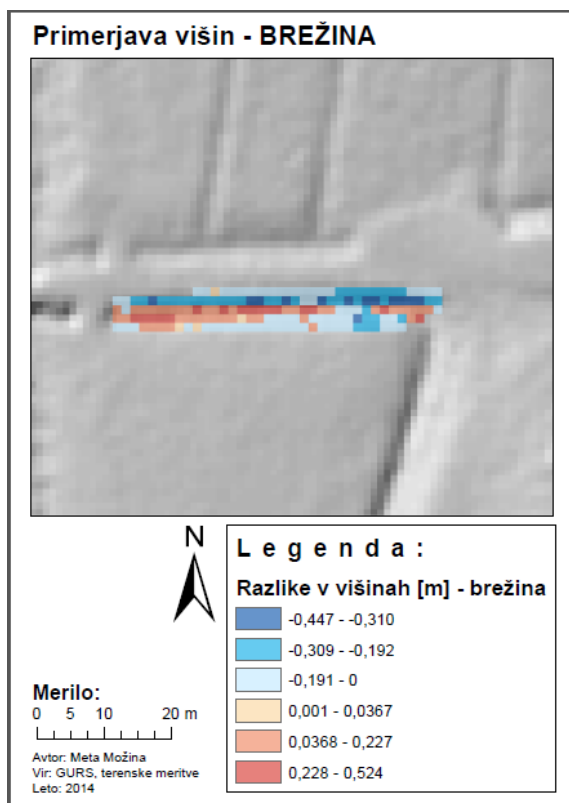
Grafikon 1: Višinske razlike med različno določenimi višinami (lidar in GNSS-višinomerstvo) – njiva z vegetacijo

Preglednica 1: Rezultati statističnih izračunov – njiva z vegetacijo

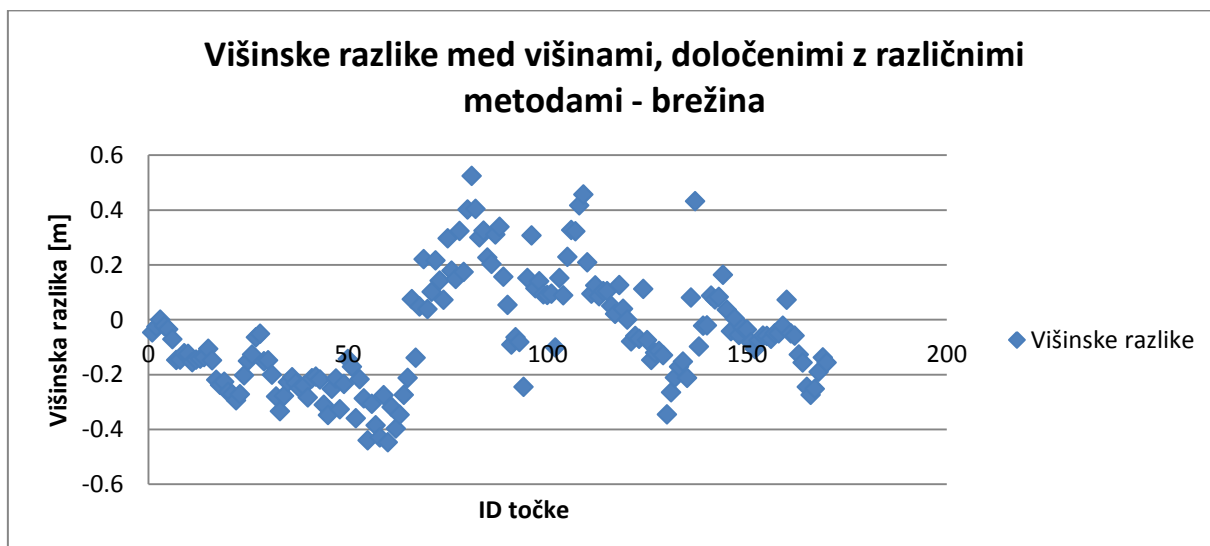
Delovišče:	Njiva
Največja višinska razlika [m]	-0,387
Najmanjša višinska razlika [m]	-0,082
Standardni odklon [m]	0,054
Srednja vrednost [m]	-0,272
RMS	0,522

Pri njivi z vegetacijo je najvišja absolutna višinska razlika znašala 38,7 cm. Absolutne višinske razlike so sicer preko ploskve različne (slika 1), vendar redko pod 20 cm. Ploskev, interpolirana iz točk, zajetih z RTK-metodo izmere, je v povprečju 27,2 cm nižje kot DMR, interpoliran iz lidarskih točk (preglednica 2). Razpršenost podatkov je majhna (razvidno tudi na grafikonu 1), o čemer priča nizek standardni odklon, njegova vrednost je 0,054 m. Na podlagi tega sklepamo, da gre za sistematičen višinski zamik med obema ploskvama. Iz vrednosti izračunanega RMS-ja lahko sklepamo, da med vrednostmi ni grobih napak, saj nobeno odstopanje med višinama ne presega srednje vrednosti za trikratno vrednost RMS-ja. Podatke smo z RTK-metodo izmere zajeli v času, ko na njivi ni bilo vegetacije. Glede na situacijo na terenu je bilo razvidno, da na njivi sicer raste nizka vegetacija (buče, ipd.), vendar, glede na veliko višinsko razliko, sklepamo, da je v času laserskega skeniranja tam rasla tudi višja vegetacija (koruza ...). Vegetacija je torej pomemben dejavnik, ki ima velik vpliv na točnost zajema podatkov z lidarjem. To pomeni, da je posplošena ocena kvalitete lidarskih podatkov na območjih z vegetacijo vprašljiva.

6.3.2 Brežina



Slika 7: Primerjava višin iz lidarskih podatkov in GNSS-višinomerstva – brežina



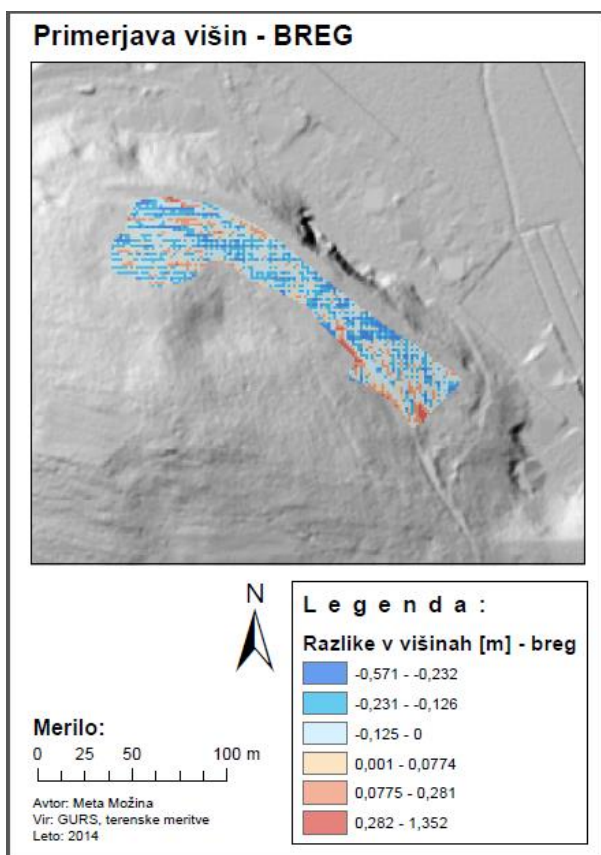
Grafikon 2: Višinske razlike med različno določenimi višinami (lidar in GNSS-višinomerstvo) – brežina

Preglednica 2: Rezultati statističnih izračunov - brežina

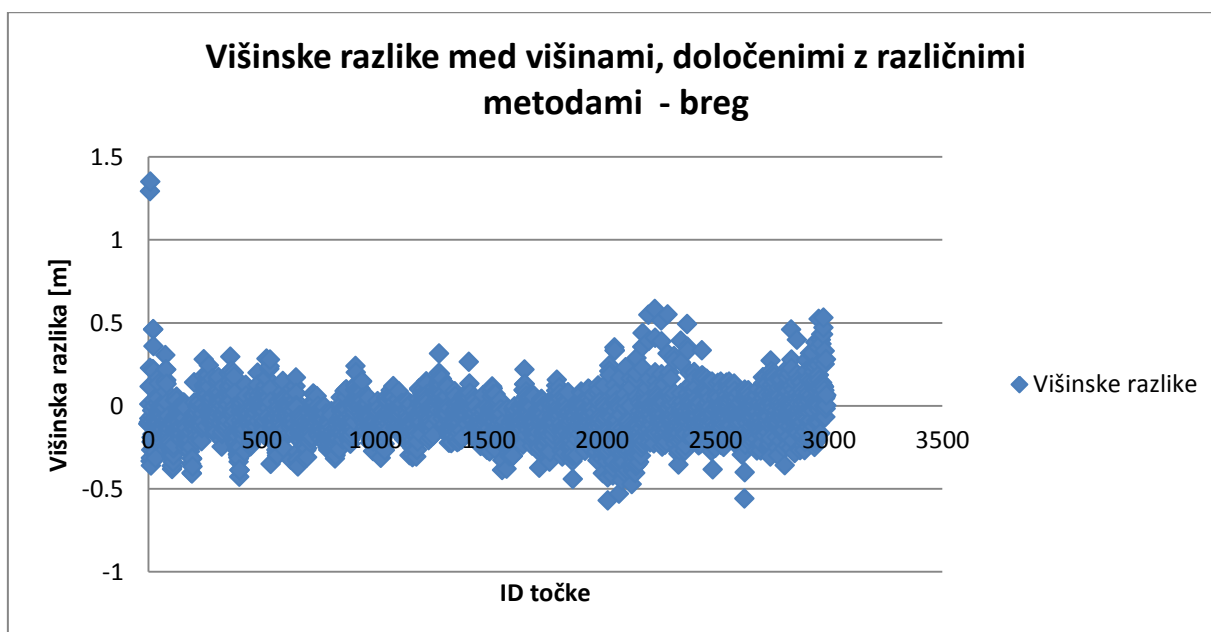
Delovišče:	Brežina
Največja višinska razlika [m]	0,524
Najmanjša višinska razlika [m]	0,0002
Standardni odklon [m]	0,203
Srednja vrednost [m]	0,172
RMS	0,233

Pri brežini so rezultati zanimivi. Vrednosti višin se razlikujejo in sicer tako, da so višine iz lidarskega DMR-ja po eni strani za do 44 cm višje od višin, pridobljenih z RTK-metodo izmere, in po drugi strani do 52 cm nižje od interpoliranih višin iz točk RTK-metode izmere (slika 6). Na brežini so bile tudi razmere za zajem podatkov z RTK-metodo izmere nekoliko neugodne, ker je bil potok precej nad normalnim vodostajem, saj so bile pred izvajanjem meritvam večdnevne padavine. Rob potočne struge se ni dobro videl. Kljub temu smo pričakovali, da se bodo višine razlikovale v nekaj cm, saj je teren pod naklonom. Ker gre torej za kombinacijo težje in zato slabše kvalitete izvedenih meritev z RTK-metodo izmere in zaradi naklona slabše točnosti lidarskega DMR-ja, so tudi razlike v višinah večje in precej neenakomerne. Na sliki 6 lahko prav tako opazimo, da se višine manj razlikujejo ob robu interpolirane ploskve in več po sredini. To je pričakovano, saj prav po sredini potočnega jarka točk z RTK-metodo sploh nismo določili. Prav na robu, kjer je bila tudi že ravnina, pa se ponekod višine razlikujejo tudi v milimetrih ali manj. Srednja vrednost absolutnih višinskih razlik je 17,2 cm (preglednica 3) in je precej visoka, pogojujejo pa ji najverjetneje že prej omenjeni težji pogoji za meritev z RTK-metodo in lidarski DMR slabše kvalitete. Z izračunanim RMS-jem lahko trdimo, da med vrednostmi ni grobih napak. Vrednost standardnega odklona kaže na precej večjo razpršenost podatkov okrog srednje vrednosti kot v primeru delovišča njive. Razpršenost podatkov lahko jasno vidimo tudi na grafikonu 2. Omeniti moramo, da gre v našem primeru za relativno majhno območje brežine, pa so že vidne takšne razlike v merjenih višinah. Na območju brežin rek in večjih potokov bi lahko najbrž pričakovali še večje razlike med lidarskimi podatki in dejanskimi terenskimi podatki.

6.3.3 Breg



Slika 9: Primerjava višin iz lidarskih podatkov in GNSS-višinomerstva – breg



Grafikon 3: Višinske razlike med različno določenimi višinami (lidar in GNSS-višinomerstvo) – breg

Preglednica 3: Rezultati statističnih izračunov - breg

Delovišče:	Breg
Največja višinska razlika [m]	1,352
Najmanjša višinska razlika [m]	0
Standardni odklon [m]	0,135
Srednja vrednost [m]	0,11
RMS	0,264

Breg predstavlja naše največje delovišče. Na terenu je bilo določenih skoraj 280 točk. Delovišče breg predstavlja pašnik sredi gozda. Zavedati se moramo, da so točke ob robu lahko nekoliko slabše kvalitete zaradi bližine gozda. Interpolacijo ploskve iz na terenu določenih točk smo izvedli dvakrat. Pri prvi interpolaciji je bilo opaziti problematično točko na vrhu brega blizu gozda. Ena točka je imela namreč občutno nižjo nadmorsko višino, kot je bilo pričakovati (kar za 11 m). Ker je bilo odstopanje od okolice tako veliko, sklepamo, da gre za grobo napako v izmeri GNSS.

Grobo pogrešeno točko smo na terenu poimenovali TF1 in ima koordinate:

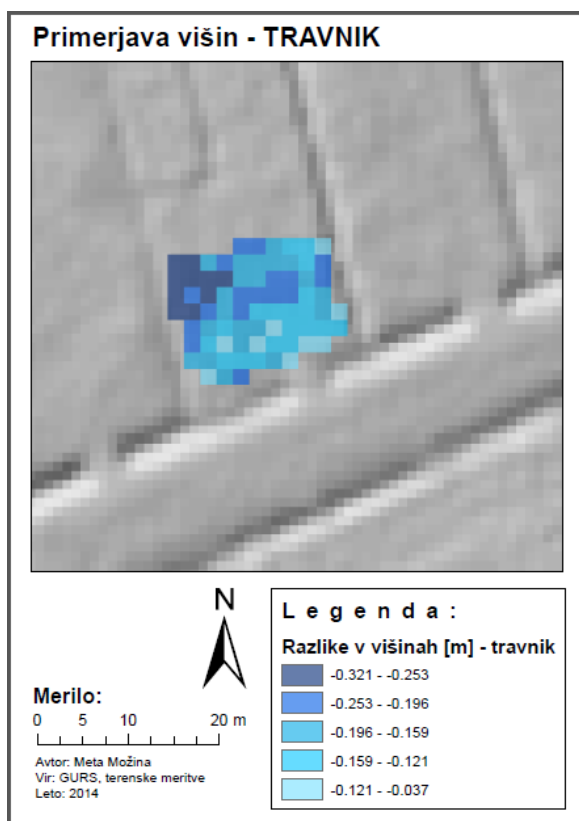
$$e = 452606,608 \text{ m}$$

$$n = 91847,696 \text{ m}$$

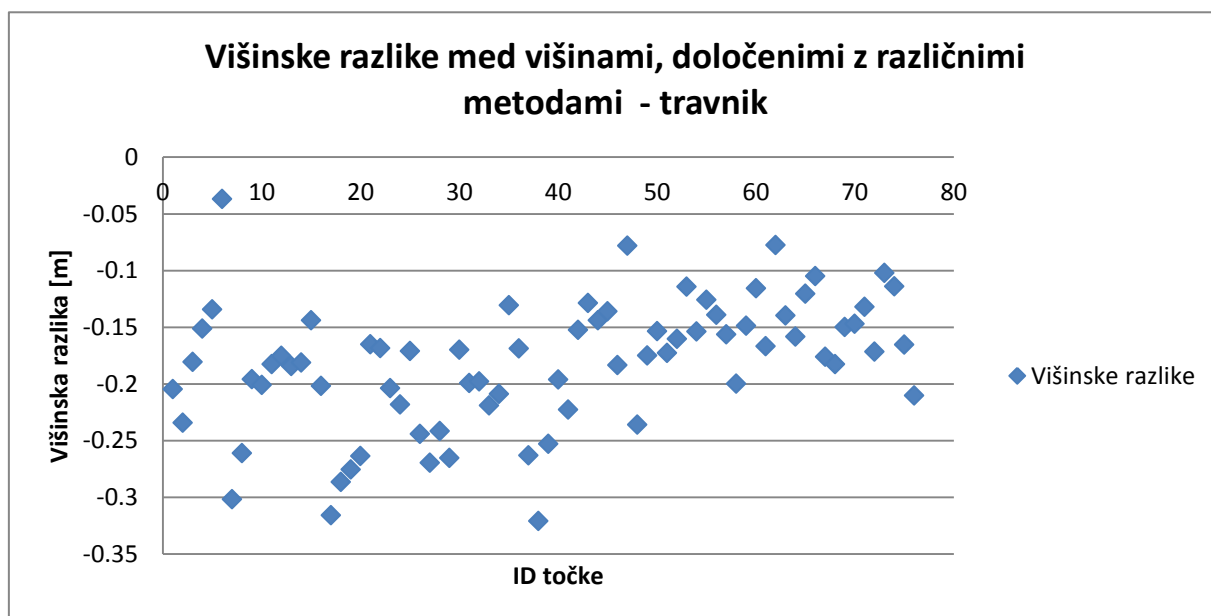
$$H = 306,748 \text{ m}$$

Za ponovno interpolacijo smo točko odstranili s seznama točk, določenih z RTK-metodo izmere GNSS, iz katerih smo interpolirali novo ploskev. Rezultati pričajo o problematiki določevanja višinske komponente z lidarjem na območju z naklonom. Na eni strani so višine točk iz lidarskega DMR-ja do 57 cm večje od višin, pridobljenih z RTK-metodo, na drugi strani pa je lidarski DMR ponekod do 58 cm nižji kot ploskev, interpolirana iz točk, zajetih z RTK-metodo izmere (slika 7). Modri odtenki na sliki 7 predstavljajo negativne višinske razlike. Opazimo lahko, da na sliki modri odtenki prevladujejo. Razlog je lahko zopet vegetacija in posledično težja določljivost talnih in netalnih točk pri lidarju. Izjema sta dve višinski razliki, v katerih je lidarski DMR kar za 1,294 m in 1,352 m nižji od na novo interpolirane ploskve. Menimo, da so takšni rezultati posledica težkega terena tako za lidarsko snemanje kot tudi za RTK-metodo izmere GNSS, saj ji pogojujeta gozd ob robu pašnika ter močno prehojena podlaga od goveda, ki se običajno pase na pašniku. Na podlagi izračunanega RMS-ja (preglednica 4) lahko trdimo, da sta največji višinski razliki (1,352 m in 1,294 m) najbrž rezultat grobega pogreška. Poleg tega pa so meritve na bregu trajale dolgo, zato je vmes kar nekajkrat prišlo do izgube inicializacije (ponavadi ob robu pašnika). Vse ostale višinske razlike najdemo v intervalu od -0,5 m do 0,5 m (grafikon 3). Interpolirani ploskvi v eni točki celo sovpadata. Takšne razlike med lidarskim DMR-jem in interpolirano ploskvijo iz točk, določenih z RTK-metodo, opozarjajo na slabšo kakovost lidarskih podatkov na terenu z naklonom, kjer ponavadi pride do večjih vpadnih kotov laserskega žarka. Uporabi lidarskega DMR-ja na takšnih območjih za naloge, ki zahtevajo visoko točnost določitve prostorskih podatkov, je potrebno posvetiti posebno pozornost.

6.3.4 Travnik



Slika 10: Primerjava višin iz lidarskih podatkov in GNSS-višinomerstva – travnik



Grafikon 4: Višinske razlike med različno določenimi višinami (lidar in GNSS-višinomesrvo) – travnik

Preglednica 4: Rezultati statističnih izračunov - travnik

Delovišče:	Travnik
Največja višinska razlika [m]	-0,321
Najmanjša višinska razlika [m]	-0,037
Standardni odklon [m]	0,056
Srednja vrednost [m]	0,182
RMS	0,426

Naknadno smo si izbrali še četrto delovišče za kontrolo, in sicer manjši del travnika, na katerem smo ugotovili, da v času snemanja z lidarjem ni bilo druge vegetacije kot trava. Kljub temu se tudi na tem delovišču v manjšem delu pojavijo razlike v višinah v velikosti do 30 cm (slika 8). Z izjemo nekaj točk, na katerih so višinske razlike okrog 30 cm, pa so razlike v višinah v območju 10 cm in manj (grafikon 4), kar smo pričakovali in kar je odraz tega, da je kakovost lidarskega DMR-jana ravnih območjih boljša. Podobno kot pri njivi tudi tu ugotovimo, da je ploskev, ki smo jo določili z interpolacijo iz točk RTK-metode, povsod nižja kot lidarski DMR. Na sliki 8 nam lahko to razberemo tudi iz barv, saj modri odtenki predstavljajo negativne višinske razlike. Najmanjša razlika je 3,7 cm, največja pa 32,1 cm (preglednica 5). Razlike v višini so lahko tudi posledice tega, da pri terenski izmeri dejansko instrument postavimo na fizična tla, medtem ko odboj laserskega žarka še vedno ovira trava. V kolikor bi razpolagali z več točkami, določenimi direktno na terenu in na večjem travniku, bi bili rezultati morda bolj zgovorni.

7 ZAKLJUČEK

Lasersko skeniranje se v množični določitvi prostorskih podatkov zelo pogosto uporablja. Če je bila nedavno to stvar večjih, specializiranih podjetij ali raziskovalnih inštitucij, postaja lasersko skeniranje vse bolj cenovno dostopno uporabnikom. Prav je, da smo do izdelkov, pridobljenih z laserskim skeniranjem, kritični. S to diplomsko nalogo smo namreč poiskovali preveriti predvidevanja o problematiki laserskega skeniranja na območjih z naklonom, rečnih brežinah in njivah z vegetacijo, saj se na vseh območjih v veliki večini lidarski DMR močno razlikuje od ploskve, interpolirane s točkami, katerih položaj je bil določen z RTK-metodo izmere GNSS.

Rezultati na vseh treh problematičnih območjih so naša predvidevanja v večji meri potrdili. Višine so se povsod v povprečju razlikovale v nekaj cm, celo na območju travnika, kjer naj bi bile razlike minimalne. Pri tem je potrebno vedeti, da so bila naša obravnavana delovišča relativno majhna. Z izvedbo primerjave na večjih deloviščih in zajemom večjega števila točk z RTK-metodo bi mogoče pridobili še boljše ocene.

Postavljeni dve hipotezi ne moremo v celoti sprejeti, saj se na vseh deloviščih pojavljajo tako pričakovani kot nepričakovani rezultati. Z ustrežno interpretacijo rezultatov predvidimo razloge za nekatere nepričakovano velike višinske razlike med različno dobljenima višinama. Na podlagi tega pa lahko trdimo, da so višinske razlike med višinama v našem primeru dejansko najmanjše na območju travnika, največje pa na območju brežine in brega, ki je pod naklonom. Prav tako opazimo, da je lidarski DMR na območju njive z vegetacijo v celoti nekoliko višji kot interpolirana ploskev iz točk, posnetih z RTK izmero, kar je najverjetneje posledica vegetacije. Vegetacija ima pri določanju višinske komponente točk, določenih z lidarjem izredno pomemben vpliv, ki ga je potrebno upoštevati.

Pri delu z izdelki iz laserskega skeniranja je zato potrebno biti pozoren, kdaj opravljamo naloge, ki zahtevajo visoko točnost podatkov. Vprašljiva je predvsem kvaliteta višin. Že res, da je zajem podatkov z laserskim skeniranjem hiter in enostaven, vendar bodo pri oceni točnosti zaradi značilnosti v naravi (vegetacija, naklon, ...) terenske meritve (GNSS ali klasične) še vedno imele posebno mesto.

VIRI**Uporabljeni viri:**

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 (Pridobljeno 6. 9. 2014)

GURS. 2014. Tehnična dokumentacija za projekt Lasersko skeniranje in aerofotografiranje 2011. Osebna komunikacija. Str. 41 (19. 6. 2014).

Pribičević, B. 2001. Uporaba geološko-geofizičnih in geodetskih baz podatkov za računanje ploskve geoida Republike Slovenije. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 114

Sibson, R. (1981). "A brief description of natural neighbor interpolation (Chapter 2)". In V. Barnett. *Interpreting Multivariate Data*. Chichester: John Wiley. pp. 21–36.

Ostali viri:

Balon, M. 2007. Analiza uporabnosti tehnologije terestičnega laserskega skeniranja za metrično dokumentacijo zemeljskih plazov. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Balon): str. 24,25.

Goleš, M. 2007. GPS-višinomerstvo s pomočjo RTK-metode izmere. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Goleš): str. 64.

Mozetič, B. 2004. Terestično 3D (Trirazsežno) lasersko skeniranje. *Geodetski vestnik* 48-3: 351-362.

Švab Lenarčič, A. 2009. Uporaba lidarskih podatkov za klasifikacijo pokrovnosti. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba A. Švab Lenarčič): str. 20,21.

Triglav Čekada, M. 2011. Možnosti uporabe zračnega laserskega skeniranja (LIDAR) za geomorfološke študije. Geografski vestnik 83-2: 81-93.

Zapiski iz predavanj Fotogrametrija I, Mojca Kosmatin-Fras.