

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:

Krančič, K., 2015. GNSS - izmera z analizo stanja na izbranem melioracijskem območju. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Pavlovčič Prešeren, P., somentorja Kuhar, M., Kosmatin Fras, M.): 27 str.

Datum arhiviranja: 23-07-2015

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:

Krančič, K., 2015. GNSS - izmera z analizo stanja na izbranem melioracijskem območju. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Pavlovčič Prešeren, P., co-supervisors Kuhar, M., Kosmatin Fras, M.): 27 p.

Archiving Date: 23-07-2015

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

**VISOKOŠOLSKI STROKOVNI
ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE
STOPNJE TEHNIČNO
UPRAVLJANJE
NEPREMIČNIN**

Kandidat:

KLEMEN KRANČIČ

**GNSS - IZMERA Z ANALIZO STANJA NA IZBRANEM
MELIORACIJSKEM OBMOČJU**

Diplomska naloga št.: 42/TUN

**GNSS - APPLICATION TO ANALYZE THE QUALITY
OF DATA AT THE SPECIFIC MELIORATION AREA**

Graduation thesis No.: 42/TUN

Mentorica:

doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren

Predsednik komisije:

doc. dr. Miran Kuhar

Somentor:

doc. dr. Miran Kuhar

doc. dr. Mojca Kosmatin Fras

Ljubljana, 14. 07. 2015

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani **Klemen Krančič** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »**GNSS-izmera z analizo stanja na izbranem melioracijskem območju**«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, julij 2015

Klemen Krančič

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.2(043.2)
Avtor:	Klemen Krančič
Mentorica:	doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren
Somentor:	doc. dr. Miran Kuhar, doc. dr. Mojca Kosmatin Fras
Naslov:	GNSS - izmera z analizo stanja na izbranem melioracijskem območju
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – visokošolski strokovni študij
Obseg in oprema:	27 str., 4 pregl., 5 graf., 7 sl.
Ključne besede:	lidarski DMV, RTK-metoda izmere GNSS, prečni profili, melioracijsko območje, GNSS-višinomerstvo

Izvleček

V diplomski nalogi podrobno obravnavamo razliko v višinah, ki jih pridobimo z dvema povsem različnima postopkoma. Prvi postopek sloni na geodetski terenski izmeri in drugi izhaja iz pridobitve podatkov iz lidarskega digitalnega modela višin (DMV). V nalogi smo se odločili problem proučiti na izbranem melioracijskem območju Ljubljanskega barja. Z uporabo RTK-metode izmere GNSS smo določili 3D-koordinate točk na skupno 13 prečnih profilih na dveh vzporednih melioracijskih jarkih, ki služita za odvodnjavanje padavinskih voda. Kakovost terenskih meritev smo lahko preverjali sproti ob merjenju, saj smo uporabili RTK-metodo izmere, ki omogoča določitev koordinat in njihove kakovosti v realnem času. Nadalje smo geometrijsko določene elipsoidne višine pretvorili v fizikalne normalne-ortometrične višine z uporabo modela geoida Slovenije. V drugem delu naloge smo za povsem iste točke, ki smo jim na terenu določili višine z GNSS-višinomerstvom, določili višine iz lidarskega DMV. Grafično smo predstavili rezultate dveh različnih nizov višin in jih nadalje statistično ovrednotili. Iz pridobljenih rezultatov lahko zaključimo, da so razlike v različno pridobljenih podatkih višin znatne, zato je izvedba terenske izmera boljša izbira za določitev kakovostnih podatkov, ki jih potrebujemo za nadaljnje študije.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	528.2(043.2)
Autor:	Klemen Krančič
Supervisor:	Assist. Prof. Polona Pavlovčič Prešeren, Ph. D.
Co-advisor:	Assist. Prof. Miran Kuhar, Ph.D., Assist. Prof. Mojca Kosmatin Fras, Ph.D.
Title:	GNSS application to analyze the quality of data at the specific melioration area
Document type:	Graduation Thesis – Higher professional studies
Notes:	27 p., 4 tab., 5 graph., 7 fig.
Key words:	lidar-based DTM, GNSS RTK-method, cross profiles, melioration area, GNSS-levelling

Abstract:

The main purpose of this graduation thesis is comparison of heights, gathered from two completely different procedures. First, by obtaining data at the field and second by obtaining data from lidar-based digital terrain model (DTM). We have focused our study on the specific melioration area at Ljubljansko barje. By using GNSS RTK-method we have determined 3D-coordinates of points on the overall 13 cross profiles at the field. Cross profiles were located on the two parallel melioration ditches, used for drainage and rain water run-off purposes. Since we have used RTK-method, D96/TM coordinates as well as their quality have been obtained and checked while measuring. To address the physical heights we had to convert ellipsoidal heights to normal-orthometric heights by the use of Slovenian geoid model. At the second part of the graduation thesis we have gained heights from the lidar DTM for every single surveyed point. Further we have compared two different sets of data on cross profiles. For this reason we have presented cross profiles graphically and evaluated the results statistically. From our study we can conclude that deviation in heights from GNSS-levelling and from lidar DTM at this particular area are significant and because of that terrain-work should be a better choice to obtain high quality data for further studies.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Poloni Pavlovčič Prešeren in somentorjema doc. dr. Miranu Kuharju ter doc. dr. Mojci Kosmatin Fras za mentorstvo pri diplomi, ter Albinu Mencinu za pomoč pri izvedbi terenskih meritev.

Posebej se zahvaljujem moji družini za podporo v času študija ter moji Martini za vzpodbudo 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 RTK-metoda izmere	4
2.2 Geoid in elipsoidne višine	4
3 LASERSKO SKENIRANJE ALI LIDAR.....	7
4 DELO NA TERENU	9
4.1 Izbor delovišča	10
4.2 Terenske meritve.....	10
5 OBDELAVA PODATKOV.....	12
5.1 Bilinearna interpolacija	12
5.2 Statistična analiza.....	12
6 PROFILI.....	14
6.1 Izdelava profilov v programu.....	14
7 REZULTATI	15
7.1 Opredelitev vhodnih podatkov	15
7.1.1 Ortofoto.....	15
7.1.2 Podatki RTK metode izmere	15
7.1.3 Podatki lidarskih meritev	15
7.2 Grafični rezultati	16
7.2.1 Vzhodni jarek	18
7.2.2 Zahodni jarek	19
7.3 Številski rezultati.....	20
7.3.1 Vse točke	20
7.3.2. Vzhodni jarek in zahodni jarek.....	21
7.3.3 Zgornje točke in ostale točke.....	23
8 ZAKLJUČEK.....	25
VIRI.....	26

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Položaji prečnih profilov.....	17
Preglednica 2: Rezultati statistične analize; vse točke.	20
Preglednica 3: Primerjava rezultatov statistične analize; vzhodni jarek in zahodni jarek.	22
Preglednica 4: Primerjava rezultatov statistične analize; zgornje točke in ostale točke.	24

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Višinske razlike med različno določenimi višinami; vse točke.	20
Grafikon 2: Višinske razlike med različno določenimi višinami; vzhodni jarek.....	21
Grafikon 3: Višinske razlike med različno določenimi višinami; zahodni jarek.	22
Grafikon 4: Višinske razlike med različno določenimi višinami; zgornje točke.	23
Grafikon 5: Višinske razlike med različno določenimi višinami; ostale točke.....	23

KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz razmerij med zemeljskim površjem, geoidom in elipsoidom. (Stopar, 2013) ...	5
Slika 2: Nadmorska, elipsoidna in geoidna višina. (Kuhar, 2013)	6
Slika 3: Koncept tehnologije LIDAR. (splet; FERI UM, 2015)	8
Slika 4: Območje delovišča in lokacije izmerjenih profilov.	9
Slika 5: Območje bloka A8 ter lokacije posnetih oslonilnih in kontrolnih točk. (GURS, 2011, cit. po Možina, M., 2014).....	16
Slika 6: Primerjava različnih prečnih profilov, iz podatkov RTK in LIDAR; vzhodni jarek.	18
Slika 7: Primerjava različnih prečnih profilov, iz podatkov RTK in LIDAR; zahodni jarek.	19

UPORABLJENE KRATICE IN KRAJŠAVE

DMV	Digitalni Model Višin
DOP	angl. Dilution Of Precision
D96/TM	geodetski Datum, realiziran 1996/ Transverzalna Mercatorjeva projekcija
GLONASS	rus. Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GNSS	angl. Global Navigation Satellite System
GPS	angl. Global Positioning System
GSM	angl. Global System for Mobile Communications
INS	angl. Inercialni Navigacijski Sistem
LIDAR	angl. Light Detection And Ranging
PPP	angl. Precise Point Positioning
RGB	angl. Red Green Blue
RMS	angl. Root Mean Square
RMSE	angl. Root Mean Square Error
RTK	angl. Real Time Kinematic
VRS	angl. Virtual Reference Station

1 UVOD

V zadnjih desetletjih se je na področju geodezije in drugod poleg klasičnih metod izmere uveljavilo več drugih metod določitve položajev in višin točk. Danes za določitev položajev točk v globalnem koordinatnem sistemu uporabljamo tudi izmero z GNSS (angl. Global Navigation Satellite System), za višine pa velikokrat uporabljamo modele, pridobljene iz množičnega zajema podatkov.

RTK (angl. Real Time Kinematic) je ena izmed GNSS-metod določitve položajev točk s prednostjo pred ostalimi, da položaje točk določimo v času izmere na terenu. Čeprav je GNSS splošno uporabljen sistem v vsakodnevem življenju, pa moramo v geodeziji za naloge, ki zahtevajo najvišjo kakovost določitve položaja, uporabiti boljše in dražje instrumente, ki nam ob ustrezni uporabi omogočajo tudi milimetrsko točnost določitve položaja. RTK-metoda izmere GNSS sicer ne omogoča doseganje tako visoke točnosti, kljub temu pa še vedno takšno, da je za veliko večino geodetskih nalog v praksi primerna in smiselna izbira.

Metoda aerolaserskega skeniranja ali krajše lidar (iz akronima angleškega opisa tehnologije Light Detection And Ranging) se v današnjem času vse pogosteje uporablja za snemanje stanja terena, tako naravnega kot urbanega. Z lidarskim snemanjem in obdelavo izvornih podatkov se velikemu številu točk, ki ga imenujemo oblak točk, določijo koordinate oziroma položaj. Prednost te metode je hiter in enostaven zajem velike količine podatkov. Zaradi tega je metoda primerna za projekte lokalnih, regionalnih in državnih razsežnosti. To pa je vzrok, da se oblasti in stroke v različnih državah odločajo za uporabo te tehnologije pri izvedbi lastnih projektov. Tako je tudi pri nas, zato je bilo v letih 2011 do 2015 izvedeno vsedržavno aerolasersko skeniranje in za določena območja so izdelki že na voljo uporabnikom (Triglav Čekada, Bric, Mongus, 2015).

Cilj diplomske naloge je bil s terensko izmero določiti prečne profile melioracijskih jarkov za odvodnjavanje na obravnavanem območju Ljubljanskega barja. Ker se v praksi pogosto zgodi, da za izris prečnih profilov uporabljajo kar podatke iz množičnega zajema, smo želeli pokazati, da je pri obravnavanih nalogah za korektno predstavitev situacije neobhodna terenska izmera.

Vendar je potrebno vedeti, da je pri obravnavani tematiki posebno pozornost potrebno posvetiti že izbiri metode terenske izmere. Ker z GNSS direktno določimo le elipsoidne višine točk, ki imajo le geometrične lastnosti, se lahko zgodi, da v tem višinskem sistemu »voda teče tudi navzgor«. Dodatna uporaba modela geoida nam omogoča prehod v sistem normalnih-ortometričnih višin, vendar je na obravnavanem območju vprašljiva kakovost modela geoida. Za povsem korektno višinsko predstavitev profilov bi bilo dobro na danem območju oceniti kakovost modela geoida.

Razlog, da v naši nalogi tega nismo naredili, izhaja iz namena naloge. Naš cilj je bil odgovoriti, ali obstaja razlika med prečnimi profili, določenimi iz modelov višin in profili, določenimi z izmero GNSS. Razlog za konkretno primerjavo izhaja iz dejstva, imata določitev višin iz podatkov laserskega skeniranja in določitev višin iz izmere GNSS, skupno pomanjkljivost – v obeh primerih uporabimo za prehod v normalne-ortometrične višine točk aktualni model geoida Slovenije SLOG2000 (Pribičević, 1999).

Za pridobitev podatkov, dobljenih z GNSS-višinomerstvom, smo uporabili RTK-metodo izmere in na terenu določili koordinate točkam, katere smo nato povezali tako, da prikazujejo prečne profile melioracijskih jarkov za odvodnjavanje. Lidarski podatki predstavljajo interpolirane nadmorske višine za točke z enakimi horizontalnimi koordinatami. Višine konkretnih točk smo pridobili iz digitalnega modela višin (DMV 1) s postopkom bilinearne interpolacije.

Za delovišče smo izbrali melioracijske jarke za odvodnjavanje na območju Ljubljanskega barja. Pri izbiri območja smo pričakovali, da se bodo nadmorske višine, določene z različnimi metodama, dovolj razlikovale za prikaz razlik v višinah. Razlike smo pričakovali predvsem zaradi rastja v jarkih in bližnji okolici.

Pri danem delu smo si postavili **delovno hipotezo**:

- višine, interpolirane iz podatkov lidarskega modela višin velikost 1m krat 1 m, so večje od višin, določenih z RTK metodo. Predpostavljamo, da lidarske točke ležijo previsoko in ne predstavljajo terena dovolj dobro za projekte, vezane na odvodnjavanje, čemur služijo melioracijski jarki.

Ker smo terenske meritve opravili tri leta po izvedenem lidarskem snemanju, lahko kot pomanjkljivost dela razlagamo, da so mogoče razlike višin iz lidarskih podatkov in tistih, določenih z RTK-metodo izmere, posledica sprememb v naravi, bodisi naravnih ali umetnih zaradi človekovih posegov v prostor. Ker pa vemo, da v tem časovnem obdobju na tem območju ni bilo bistvenih sprememb v naravi, ne umetnih in ne naravnih (te se ob odsotnosti izrednih dogodkov ne dogajajo tako hitro, pa tudi izrednih dogodkov ni bilo) in ker že dovolj dobro poznamo delovanje obeh tehnologij v praksi, lahko upravičeno predpostavimo, da dobljene višinske razlike niso posledica sprememb v naravi, ampak dejanskih razlik med uporabljenima tehnologijama določitve višin. To trditev lahko razlagamo kot prednost dela v tem smislu, da prikažemo smiselnost izvedbe terenske izmere vsaj na delu območja, kjer uporabljamo podatke, določene iz množičnega zajema.

2 GNSS

Globalni navigacijski satelitski sistemi GNSS (angl. Global Navigation Satellite System), so se začeli razvijati na začetku druge polovice dvajsetega stoletja. Poleg ameriškega GNSS sistema, ki se je včasih imenoval NAVSTAR GPS, danes GPS, je popolnoma delujoč in globalno uporaben tudi ruski sistem GLONASS. Kitajski sistem BeiDou ali COMPASS je sicer operativen, vendar na regionalni ravni, saj zaenkrat zagotavlja navigacijo le azijski celini, načrtovani pa so dodatni sateliti in izboljšave za globalno operativnost. Sistem Evropske Unije (EU) Galileo je v razvoju, čeprav bi po prvotnih načrtih moral biti že popolnoma operativen v letu 2014. Po sedanjih načrtih naj bi to dosegli najhitreje do leta 2020. (Wikipedia; Satellite navigation, 2015)

Princip določitve položaja na Zemlji z uporabo katerekoli metode izmere GNSS, so meritve psevdorazdalj od satelitov do sprejemnika na površini ali v bližnji okolici Zemlje. Sateliti sistemov GNSS imajo znan položaj na tirnici okoli Zemlje v vsakem trenutku. S satelita oddani signal elektro-magnetnega valovanja (EMV), se na Zemlji sprejema s primernim sprejemnikom GNSS, ki meri čas potovanja signala od satelita do sprejemnika. Ker poznamo hitrost razširjanja EMV in ker poznamo položaj satelita, se na podlagi izmerjenega časa potovanja signala izračuna razdalja od satelita do sprejemnika, ki jo imenujemo psevdorazdalja. Na podlagi izmerjene ene psevdorazdalje, bi se GNSS sprejemnik nahajal nekje na površini krogle, s polmerom enakim tej psevdorazdalji in satelitom v središču krogle. To pomeni, da potrebujemo za določitev položaja 3 psevdorazdalje oziroma signal s treh različnih satelitov. Na podlagi treh psevdorazdalj dobimo presečišče treh krogel, v katerem se nahaja točka, kateri določamo položaj. Ker pa čas potovanja signala merimo z dvema različnima urama, satelitovo, ki predstavlja sistemski čas, in sprejemnikovo, potrebujemo še signal s četrtega satelita, da izločimo časovno neznanko oziroma neuskkljenost sprejemnikove ure s satelitovo uro. Za določitev treh koordinatnih in ene časovne neznanke, oziroma določitev položaja točke, potrebujemo torej štiri psevdorazdalje izmerjene v enakem trenutku od štirih različnih satelitov do sprejemnika.

Poznamo več geodetskih metod GNSS določitve položaja, ki se razlikujejo predvsem v trajanju sprejemanja signala s satelitov na posamezni točki. Posledično se predvsem zaradi tega razlikujejo kakovosti različno določenih položajev točk.

Poznamo naslednje geodetske metode GNSS določitve položaja, ki vse temeljijo na obdelavi faznih opazovanj:

- statična metoda
- hitra statična metoda
- kinematične metode; z naknadno ali obdelavo podatkov v realnem času (RTK metoda)
- metoda PPP (angl. precise point positioning)

Prve tri metode predstavljajo relativno določitev položaja glede na referenčni sprejemnik, zadnja metoda pa predstavlja absolutno določitev položaja.

Za izvedbo diplomskega dela smo za določitev prostorskih položajev točk uporabili RTK-metodo izmere.

2.1 RTK-metoda izmere

RTK-metoda je ena izmed kinematičnih metod izmere GNSS. To pomeni, da s sprejemnikom GNSS med izmero po delovišču premikamo, razen v tistem kratkem časovnem obdobju, ko mora antena sprejemnika mirovati, da določi kakovosten položaj določene detajlne točke. Daleč najboljša lastnost metode je, da pridobimo položaj oziroma koordinate novih točk, na katerih izvajamo opazovanja, že med samo izmero, prav tako pa tudi natančnosti teh koordinat, ki je ovrednotena s tako imenovanimi DOP faktorji (angl. Dilution of Precision), ki predstavljajo enostavno merilo kakovosti določitve položajev točk.

Dosežena točnost izmerjenih položajev točk je na nivoju nekaj centimetrov, ob pravilni uporabi metode pa tudi centimeter (z notranjimi kontrolami; opazovanja na dani točki, ki je bila določena s statično metodo GNSS izmere ali vsaj trikratna neodvisna izmera na kontrolni točki z različno posamezno inicializacijo sprejemnika in po preteku časa predhodne izmere vsaj 20 minut).

Ima pa RTK-metoda tudi nekaj slabih lastnosti, ki danes niso več težko odstranljive, da bi bistveno vplivale na uporabnost metode za namene in naloge, za katere se tako pogosto uporablja:

- za uporabo RTK metode je potrebna pokritost delovišča z radijskim ali GSM signalom za povezavo referenčnega in mobilnega sprejemnika,
- nujno je opraviti inicializacijo sprejemnika, to je določitev neznanega začetnega števila celih valov elektro-magnetnega valovanja signala od satelita do sprejemnika, za kar v praksi potrebujemo pet satelitov nad obzorjem,
- točnost višinske komponente položaja je približno 1,5 krat slabša od točnosti ravninskih koordinat.

2.2 Geoid in elipsoidne višine

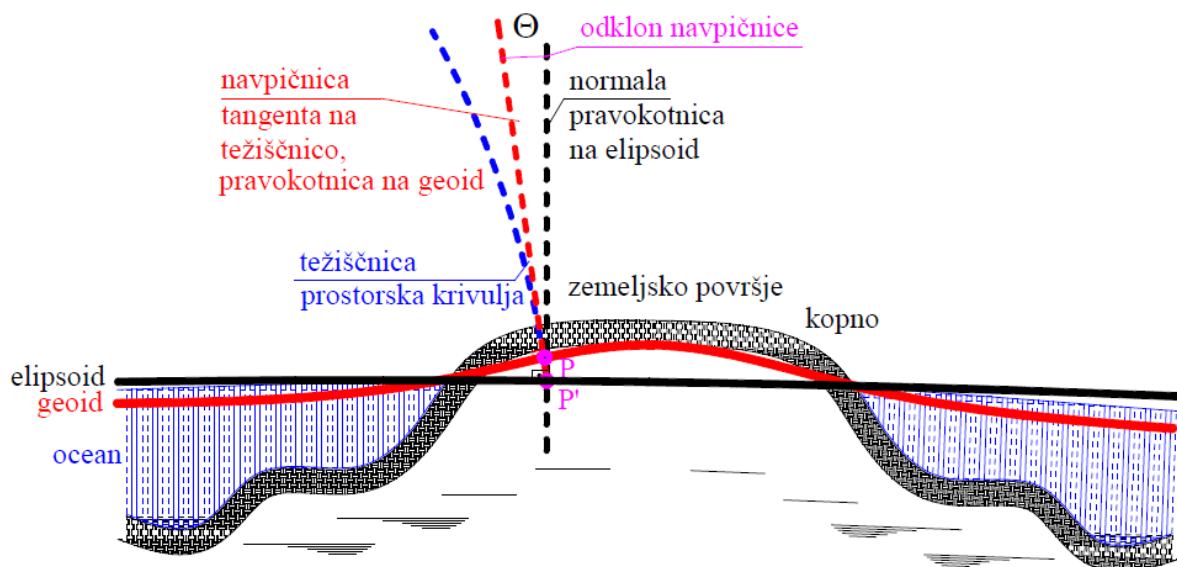
Pri satelitski geodeziji imamo opravka s popolnoma geometrično določenimi višinami, ki jih moramo povezati z višinskimi sistemi, vezanimi na fizikalno definicijo oblike Zemlje. Povezati moramo tri osnovne višine in sicer: elipsoidno višino h in nadmorsko višino H preko geoidne višine ali ondulacije N . Pri vseh metodah izmere GNSS pridobimo elipsoidne višine, ki zaradi tega, ker imajo povsem geometrične lastnosti, v vsakdanjem življenju niso uporabne. Za določitev višin v fizikalnem smislu uporabljamo nadmorske višine (v geodeziji imenovane normalne-ortometrične višine). Za prehod iz elipsoidnih višin v nadmorske potrebujemo geoidne višine N , ki jih izračunamo iz modela geoida. Prehod lahko opišemo z enačbo:

$H = h - N$, ki ji pravimo enačba GNSS-višinomerstva.

Elipsoidna višina h , ki jo pridobimo z GNSS-izmero, predstavlja geometrično razdaljo med točko na elipsoidu in točko na površju Zemlje, kjer izvajamo meritve, merjeno vzdolž normale oziroma pravokotnice na elipsoid, ki poteka skozi točko na površju, kjer izvajamo meritve (slika 1).

Geoid si razlagamo in predstavljamo kot telo, ki je omejeno z eno izmed neskončno mnogo ekvipotencialnih ploskev. Ekvipotencialna ploskev je ploskev, na kateri je po vsej njeni površini enak potencial, v tem primeru, torej v geodeziji je to težnostni potencial na Zemlji. Ekvipotencialno ploskev v geodeziji imenujemo tudi nivojska ploskev. Geoid, kakor tudi vse ostale nivojske ploskve, je v vsaki svoji točki vodoraven oziroma horizontalen. To pomeni, da so težiščnice (to so krivulje, po kateri telo prosto pada v težnostnem polju) v vsaki točki pravokotne oziroma navpične na nivojsko ploskev. Na morju geoid predstavlja površina mirujočih oceanov, kadar bi bile vse vodne mase na Zemlji v popolnem ravnovesju. Geoid, oziroma ploskev, ki ga omejuje dobimo, če gladino mirujočih oceanov namišljeno podaljšamo pod kontinente, tako da je povsod pravokotna na težiščnico. (Stopar, 2013)

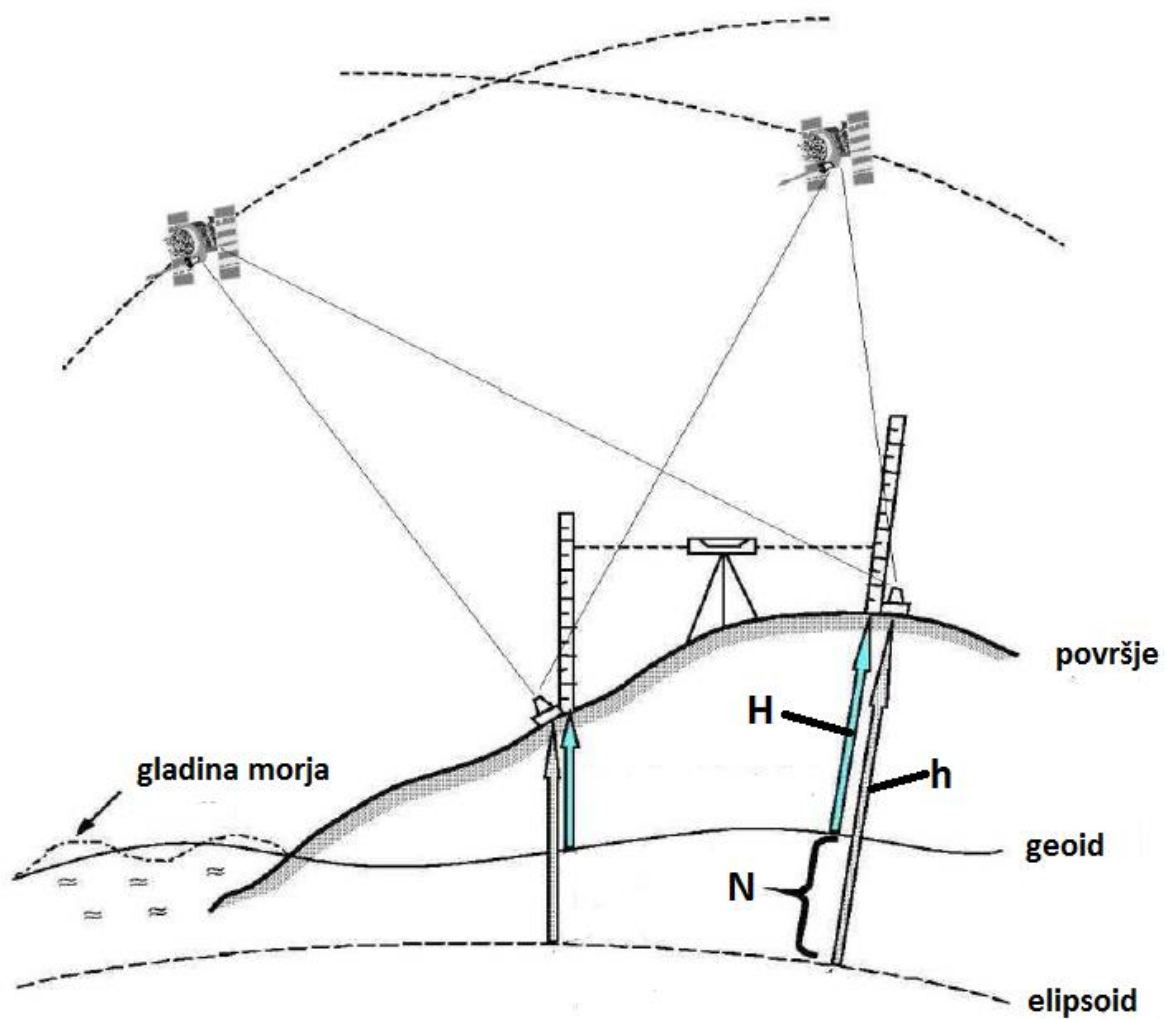
Oblike težiščnic oziroma smeri navpičnic določajo obliko geoida. Težiščnica je prostorska krivulja, navpičnica pa je tangenta na težiščnico, torej je premica. Z navpičnicami lahko torej naenkrat opišemo oziroma prikažemo le eno nivojsko ploskev oziroma EPP, ki jo določajo, kakor tudi vse ostale, težiščnice oziroma njihove oblike. Oblike težiščnic in smeri navpičnic so odvisne od razporeditve gostote mas v Zemlji, ker pa so te neenakomerno razporejene, ima geoid dokaj neenakomerno obliko. (Stopar, 2013)



Slika 1: Prikaz razmerij med zemeljskim površjem, geoidom in elipsoidom. (Stopar, 2013)

Geoidna višina N , ki jo potrebujemo za preračun elipsoidne v nadmorsko višino, je razdalja med točko P na geoidu in točko P' na elipsoidu, merjena vzdolž težiščnice, ki je prostorska krivulja pravokotna na geoid in poteka skozi točki P in P' .

Za preračun višin, pridobljenih z GNSS-meritvami, torej potrebujemo geoidno višino N , ki jo pridobimo posredno iz modelov geoida, ki so prilagojeni za uporabo na manjših lokalnih območjih. Model je lahko globalni ali lokalni. Praviloma so lokalni bolj točni. Kakovost modela geoida je pomembna, kadar izvajamo nalogo kjer je potrebna relativno visoka kakovost določitve položaja. Tako je tudi pri tem diplomskem delu. Uporabili smo model geoida Slovenije iz leta 2000 (Pribičević 2000), prav ta model geoida pa je bil uporabljen tudi pri izvedbi projekta laserskega skeniranja Slovenije iz leta 2011, od koder smo pridobili podatke laserskega skeniranja. S tem je izključena možnost, da bi višinske razlike med RTK in lidarskimi meritvami, ki jih preučujemo, bile posledica uporabe različnih modelov geoida. Zaradi tega lahko s še večjo gotovostjo trdimo, da so višinske razlike posledica pomanjkljivosti posamezne tehnologije.



Slika 2: Nadmorska, elipsoidna in geoidna višina. (Kuhar, 2013)

3 LASERSKO SKENIRANJE ALI LIDAR

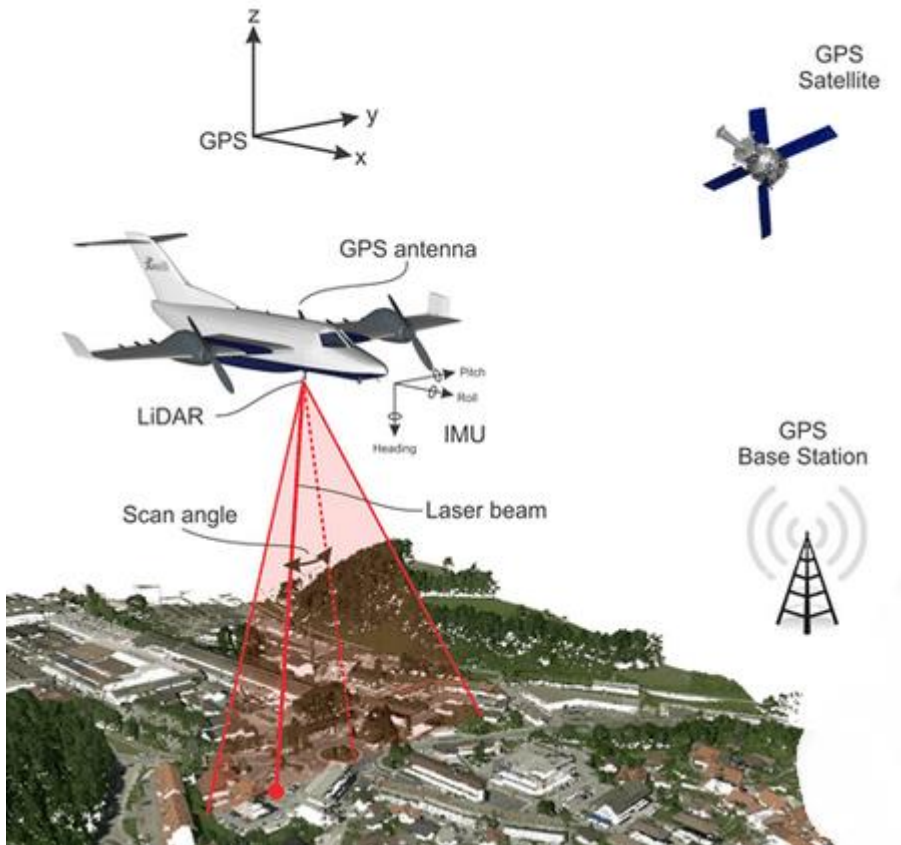
Lasersko skeniranje ali krajše lidar je tehnologija daljinskega zajemanja podatkov oziroma ena izmed tehnologij daljinskega zaznavanja. To pomeni, da podatke pridobimo z neke oddaljenosti od površja, za katere pridobivamo podatke, torej se fizično ne nahajamo na teh točkah, kot je praksa pri terestričnih metodah izmere točk. Najsplošnejša delitev laserskega skeniranja oziroma lidarskega snemanja zajema aerolasersko skeniranje (kratica ALS) ali zračno lidarsko snemanje, terestrično lasersko skeniranje (kratica TLS) ali terestrično lidarsko snemanje in lasersko skeniranje iz kratkih razdalj ali lidarsko snemanje iz kratkih razdalj. V tem delu opisujemo tehnologijo ter uporabljamo podatke zračnega lidarskega snemanja, zanj pa uporabljamo kratico lidar.

Zračno lidarsko snemanje se izvaja s pomočjo zračnega plovila, torej je lidarski sistem pritrjen na letalo ali helikopter, v današnjem času pa se čedalje bolj pojavljajo tudi plovila manjših izvedb brez posadke na krovu in z manjšimi lidarskimi sistemi. Osnova lidarskega sistema je lidarski skener. Ta je sestavljen iz več komponent, laserskega razdaljemera, optično mehanskega skenerja ter naprave za nadzor in beleženje podatkov. Glavna sestavna dela razdaljemera sta oddajnik in sprejemnik. Oddajnik svetlobe, oziroma laserskega žarka oddaja v določenih časovnih intervalih določeno veliko število laserskih žarkov pod določenim kotom. Vsak oddan laserski žarek se na podlagi kota oddaje zabeleži in oštevilči, zabeleži pa se tudi trenutek oddaje vsakega oddanega žarka. Žarek potuje po mediju, ki je v tem primeru zrak, do neke površine, ki je lahko naravna ali umetna, in se od nje odbije, ter potuje nazaj proti skenerju. Sprejemnik laserskih žarkov zaznava in sprejema žarke, ki pripotujejo nazaj do skenerja. Na podlagi zabeleženih kotov oddaje jih prepozna in za vsak sprejet žarek se zabeleži trenutek sprejema. Zabeležena trenutka oddaje in sprejema določenega žarka sta osnova za izračun razdalje med lidarskim skenerjem in tarčo na odbojni površini, ki se ji določi položaj v prostoru oziroma koordinate. Osnova za izračun razdalje je poznana hitrost svetlobe in zabeležen časovni interval potovanja žarka. Vendar za določitev položaja točke nista dovolj poznana razdalja med lidarskim skenerjem in tarčo, ter kot oddaje žarka. S tem pridobimo le relativni položaj tarče glede na lidarski skener. Za določitev absolutnega položaja moramo poznati tudi položaj in orientacijo lidarskega skenerja. Ta nam zagotovita preostala dva sistema, ki sestavljata lidarski sistem in sta pritrjena na plovilo. To sta enota GNSS in inercialni navigacijski sistem INS. Enota GNSS določi položaj plovila, INS pa orientacijo. INS meri nagib, naklon in zasuk plovila oziroma lidarskega skenerja, v vsakem trenutku. Medsebojni položaj in orientacijo lidarskega skenerja, enote GNSS ter INS, določajo kalibracijski parametri. Ti se določijo pred izvedbo snemanja, oziroma pri sestavljanju ali vzdrževanju lidarskega sistema, ter se med izvedbo ne spreminjajo. Vnesejo se v računalniški del lidarskega sistema, ki jih uporabi in upošteva pri določitvi položaja točk (Oštir, 2006).

Rezultat lidarskega snemanja je oblak točk, ki ga pridobimo naknadno po obdelavi podatkov snemanja z ustrezno programsko opremo. Za vsako zabeleženo točko v oblaku so znane koordinate v trirazsežnem prostoru ter morebitni dodatni atributi.

Lidarsko snemanje se čedalje pogosteje uporablja, saj se s to metodo relativno hitro in poceni zajame velike količine podatkov s takšno kakovostjo, ki je zadovoljiva za precej različnih vrst projektov. Ima pa metoda tudi pomanjkljivosti in težave. Na težavnih terenih za lidar je položaj točk težko določljiv zaradi vpliva divergence laserskega žarka. To pomeni, da je oddis žarka, ki ima običajno obliko elipse, dosti večji kot običajno zaradi strmega terena, zaradi česar je kakovost določitve položaja točk slabša, ker se točka odboja določi teoretično kot center elipse. Težavni tereni za lidar so brežine rek in potokov, razgibani tereni in bregovi ter območja z visoko vegetacijo. Vegetacija ima posebno velik vpliv na lidarsko snemanje, ker laserski žarek pogosto ne prodre do tal, ampak se posamezni deli žarka večkrat odbijejo od višje ležečih

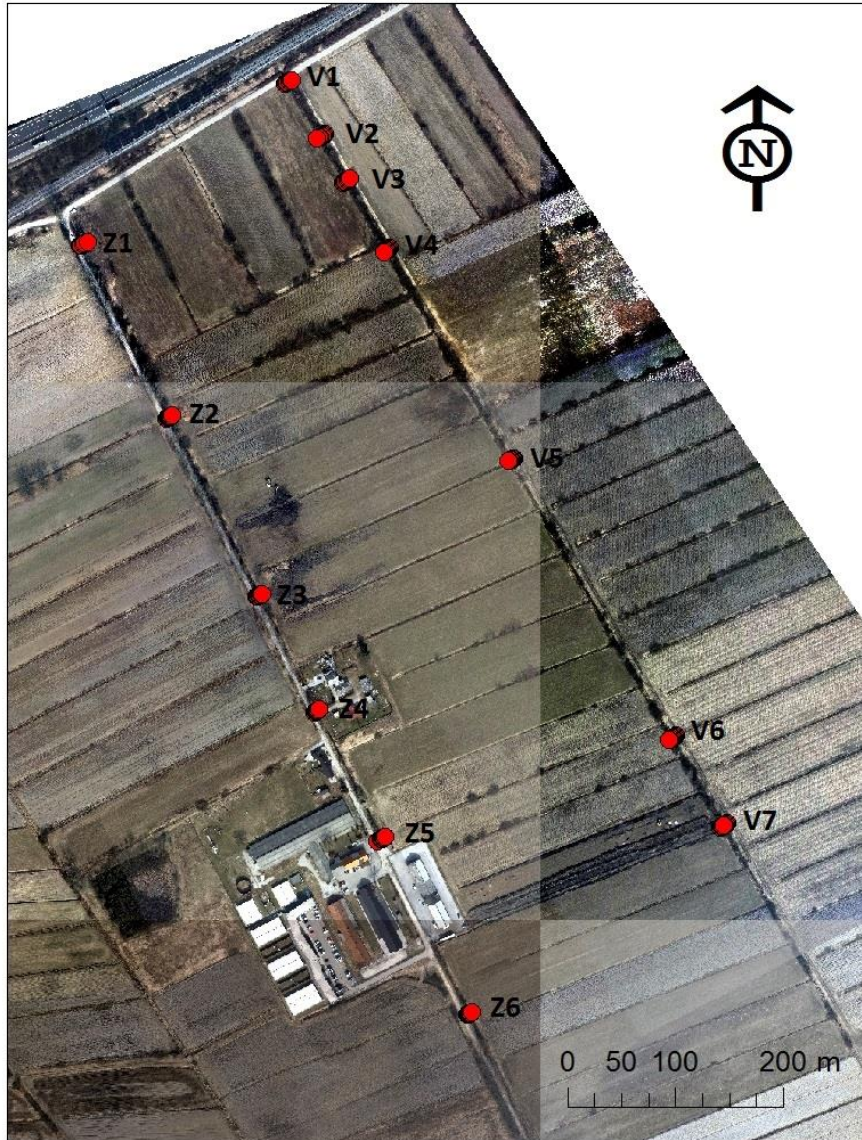
delov vegetacije oziroma rastlin. V takih primerih imajo točke previsoke nadmorske višine in ne predstavljajo dejanskega poteka terena. V primeru visoke vegetacije se take točke odstranijo s filtriranjem v programski opremi. Pri nizki vegetaciji, kot je trava in grmičevje, pa je nepravilne odboje žarka težje prepoznati in odstraniti, kar ima fizikalno ozadje, saj je natančnost merjenja časa omejena, posledično torej ne moremo zaznati razlike med zaporednima odbojema z majhno višinsko razliko (Triglav Čekada, 2009).



Slika 3: Koncept tehnologije LIDAR. (splet; FERI UM, 2015)

4 DELO NA TERENU

Terensko delo smo izvedli 25. 9. 2014 ter 2. 10. 2014. Meritve smo izvajali v neposredni bližini zaselka Gmajnice v katastrski občini 1994 Dobrova, na Ljubljanskem barju. Položaji izmere prečnih profilov melioracijskih jarkov so prikazani na sliki.



Slika 4: Območje delovišča in lokacije izmerjenih profilov.

Lokacije profilov so označene na državnem ortofotu DOF050.

Približne koordinate oglišč ortofota na sliki, ki prikazuje območje delovišča in položaji izmerjenih profilov:

Spodaj levo: $\varphi = 46^{\circ} 01' 06,9''$ S $\lambda = 14^{\circ} 26' 17,8''$ V

Spodaj desno: $\varphi = 46^{\circ} 01' 07,1''$ S $\lambda = 14^{\circ} 26' 55,1''$ V

Zgoraj desno: $\varphi = 46^{\circ} 01' 41,3''$ S $\lambda = 14^{\circ} 26' 54,7''$ V

Zgoraj levo: $\varphi = 46^{\circ} 01' 41,1''$ S $\lambda = 14^{\circ} 26' 17,4''$ V

4.1 Izbor delovišča

Izbor lokacije delovišča ni potekal naključno, ampak smo lokacijo izbrali zaradi več razlogov:

- za to območje obstaja kakovosten digitalni model višin (DMV), izdelan iz podatkov lidarskega snemanja. Za nas je najpomembnejša lastnost tega DMV-ja poleg tega, da je izdelan na podlagi lidarskega snemanja, ta, da je predstavljen oziroma izdelan v prostorski ločljivosti 1m x 1 m.
- Za območje obstaja tudi kakovosten ortofoto, ki je bil izdelan na podlagi aerosnemanja, ki je bilo izvedeno hkrati z lidarskim snemanjem. Na ortofotu smo lahko grafično lepo in razumljivo predstavili lokacije profilov oziroma posameznih točk profilov RTK izmere.
- Kot mikrolokacijo delovišč smo izbrali melioracijske jarke za odvodnjavanje meteornih voda na tem območju, ker smo pričakovali, da bo v teh jarkih odstopanje med izmerjenimi višinami največje, oziroma bo tolikšno, da bomo lahko prikazali in primerjali razlike, ter vzrok za njih pripisali različnemu delovanju različnih merskih tehnologij.
- Ker so ti jarki pomembni za odvodnjavanje Ljubljanskega barja, smo se odločili za njihovo izmero zato, da lahko prikažemo kako pomembna je izbira merske tehnologije za prikaz reliefa. To je lahko pomembno dejstvo za službo, ki upravlja s temi melioracijskimi jarki, ki predstavljajo naprave za odvodnjavanje meteornih voda ne samo Barja, ampak širšega območja, predvsem dela mesta Ljubljana Vič, ki se nahaja severovzhodno od obravnavanega območja. To območje je ob močnejših padavinah poplavno najbolj ogrožen del mesta. (poplave 2010, 2014).

4.2 Terenske meritve

Meritve smo izvajali na melioracijskih jarkih za odvodnjavanje meteornih voda. Ker smo želeli prikazati prečne profile, smo za vsak profil izmerili 6 ali 7 točk, skupno smo izmerili 85 točk. Na dveh jarkih, ki sta skoraj vzporedna in oddaljena povprečno približno 250 metrov, smo izmerili 13 profilov, na enem jarku 7, na drugem pa 6. Pri obeh jarkih je razdalja med prvim in zadnjim profilom enaka 800 metrov. Razdalje med posameznimi profili smo merili približno s koraki, saj smo želeli, da bi znašale približno 100 metrov, znašajo pa različno, med 50 in 350 metri. Glavni razlog za takšno razliko je ta, da smo iskali primerne položaje za izvajanje RTK meritev, saj ob jarkih raste visoko grmovje in posamezna drevesa. Bližina rastja pa močno slabša kakovost določitve položajev točk ali ga celo onemogoči, če stojimo na primer pod drevesom. To pa zaradi tega, ker rastje prekinja oziroma onemogoča prost prehod GNSS signala, ki je v bistvu elektromagnetno valovanje.

Uporabili smo GNSS-sprejemnik Leica Viva, meritve pa smo izvedli z RTK-metodo. Ker je oddaljenost od najbližje stalno delujoče GNSS postaje le nekaj kilometrov, smo uporabili RTK-metodo z navezavo na stalno delujočo GNSS postajo omrežja SIGNAL, GSR1. Vsako točko smo izmerili z vsaj 10 zabeleženimi epohami registracije signala GNSS. Med samo izmero smo sproti spremljali kakovost določitve položaja vsake izmerjene točke posebej, kar je precej enostavno s kontrolo vrednosti DOP faktorjev vsake izmerjene točke, ki se zabeleži. Večini točk smo enostavno določili položaj z GNSS, le v nekaj primerih, kjer so se v bližini nahajala drevesa, smo slabo izmerjene točke sproti izločili in jih izmerili ponovno z zadovoljivo kakovostjo. Ves čas izvajanja meritev smo spremljali tudi stanje inicializacije GNSS-sprejemnika oziroma jo sproti obnavljali, ker tudi dobra inicializacija veliko prispeva k kakovostni določitvi položajev točk. V primerih v bližini dreves je bila inicializacija nekajkrat nepopolna, zato smo jo prekinili in vzpostavili ponovno. To je bilo pri istih primerih točk, kjer so bili faktorji DOP slabi, saj so ti povezani s kakovostjo geometrije razporeditve satelitov na obzorju.

Največ težav pri terenskih meritvah je predstavljala zaraščenost jarkov. Ti so namreč zaraščeni ne samo z visoko travo, ampak tudi z močvirskimi rastlinami, robidovjem in koprivami. Vse to rastje pa krepko presega višino pasu. V nekaj primerih smo se tej težavi izognili tako, da smo točke profilov izmerili kar iz prevoznih mostov, ki čez jarke vodijo do njiv, travnikov ali do hiš v zaselku. Nekaj težav je bilo tudi z visokim grmovjem in drevesi, nekaj pa tudi z vodostajem oziroma višino vode v jarkih, ki je v nekaj primerih presegala višino škornjev. To težavo pa smo rešili z uporabo lesene palete, na kateri smo stali tekom meritev najnižjih točk jarka.

Največje razlike med terensko izmerjenimi višinami točk in interpoliranimi iz DMV-ja smo pričakovali na območjih, kjer so drevesa in visoko grmovje. Za ta območja predvidevamo, da laserski žarek ne more prodreti do tal, ampak se odbije od listja in vejevja. Najmanj razlik pa smo pričakovali na delu jarka v neposredni bližini zaselka, ki je pokošen in urejen, saj je tam trava visoka le nekaj centimetrov, torej se laserski žarki in njihovi posamezni deli odbijajo manj razpršeno v višinskem smislu, posledično so tudi izmerjene točke manj razpršene.

5 OBDELAVA PODATKOV

Podatkov oziroma položajev točk, ki smo jih pridobili z RTK-metodo izmere, ni bilo potrebno posebej obdelovati. Potrebno je bilo le pregledati podatke o kakovosti določitve položajev (DOP faktorji in standardni odkloni) za posamezno točko, ter zbrati in urediti podatke o položajih oziroma koordinate točk v tabelo. Te koordinate smo nato najprej uporabili za interpolacijo nadmorskih višin točk iz lidarskega DMV-ja v programu GlobalMapper. Višine iz DMV-ja so bile interpolirane z metodo bilinearne interpolacije. Vse te podatke, torej koordinate, dobljene z RTK-metodo izmere, in višine, interpolirane iz DMV-ja, smo nato uporabili v programu AutoCAD za grafični prikaz razlik višin točk in poteka prečnih profilov jarkov, ter v programu Excell za statistično analizo in prikaz razlik višin točk. Koordinate točk smo uporabili tudi v programu ArcMap, za prikaz lokacij profilov na državnem ortofotu DOF050.

5.1 Bilinearna interpolacija

Nadmorske višine, pridobljene iz lidarskega DMV-ja, so bile izračunane z bilinearno interpolacijo. Bilinearna interpolacija upošteva uteženo povprečje štirih najbližjih sosedov (Oštir, 2006). Ta metoda interpolacije torej zajame okolico opazovanega območja oziroma pojava, ki nas zanima, ter nam da takšno povprečje, ki najbolje opiše okolico, oziroma pripiše pojavu tako vrednost ki je najbolj verjetna. V našem primeru so ti pojavi nadmorske višine izmerjenih točk. Te višine so torej interpolirane z uteženim povprečjem znanih višin štirih najbližjih točk iz DMV-ja.

5.2 Statistična analiza

Za prikaz višinskih razlik v številkah smo za vsako točko izračunali višinsko razliko med izmerjeno višino in interpolirano višino iz lidarskega DMV-ja. Višinske razlike smo računali po enačbi:

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

Oznake v enačbi pomenijo:

ΔH ; razlika v višinah, določenih iz lidarskega DMV-ja in višin iz GNSS-višinomerstva

H_{lidar} ; višina točke, interpolirana iz lidarskega DMV-ja

H_{RTK} ; višina točke, določena na podlagi GNSS-višinomerstva

Izračunane višinske razlike smo uredili v preglednici zraven višin, interpoliranih iz lidarskih meritev in z GNSS-višinomerstvom določenih višin, vsake točke. Izmed višinskih razlik smo določili največjo in najmanjšo višinsko odstopanje (ΔH_{max} in ΔH_{min}), izračunali smo srednjo vrednost $\overline{\Delta H}$ ter standardni odklon $\sigma_{\Delta H}$. Prav tako smo izračunali tudi RMS (angleško: root mean square) oziroma koren srednjega kvadratnega pogreška, ki predstavlja pozitivno vrednost kvadratnega korena srednje vrednosti vsote kvadratov odstopanj. RMS je statistična količina, s katero lahko opredelimo grobe napake. Posamezno odstopanje opredelimo kot grobo napako v primeru, če odstopa od srednje vrednosti več kot je trikratnik vrednosti RMS. Izračunali smo tudi to vrednost za kontrolo grobih napak (KGN), s katero smo primerjali največje vrednosti višinskih razlik, da bi med njimi odkrili morebitne grobe napake, ki bi bile posledica slabo izvedenih meritev. Srednjo vrednost in RMS se v statistiki uporablja kot osnovi za določitev zanesljivosti rezultata.

RMS izračunamo po enačbi:

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

Oznake v tej enačbi pomenijo:

ΔH_{RMS} ; srednji kvadratni pogrešek višinskih razlik

n ; število odstopanj oziroma višinskih razlik

$\Delta H_1, \Delta H_2, \dots, \Delta H_n$; posamezne višinske razlike med višinami, določenimi z RTK metodo in interpoliranimi iz lidarskih meritev.

Vse omenjene statistične količine smo izračunali tudi posebej za vsak jarek, torej za vzhodni in zahodni. Predvidevali smo namreč, da bodo višinske razlike pri vzhodnem jarku večje kot višinske razlike pri zahodnem jarku. To pa zato, ker smo na terenu opazili, da je zahodni jarek zaradi bližine zaselka in različnih ostalih objektov dosti bolj vzdrževan in pokošen. Posledično je rastje v samem jarku dosti nižje rasti, kakor rastje v vzhodnem jarku, ki poteka ob poljski cesti med njivami in travniki.

V grafični predstavitvi prečnih profilov jarkov in višinskih razlik smo opazili, da so višinske razlike pri zgornjih točkah, torej točkah na vrhovih jarkov oziroma brežin, precej manjše kot višinske razlike točk na brežini in na dnu jarka. Zato smo dodatno izračunali vse omenjene statistične količine posebej samo za zgornje točke profilov (po ena točka na vsaki strani profila), ter posebej za vse ostale točke profilov.

6 PROFILI

Višinske razlike na posameznih točkah profilov in potek različnih profilov so najlepše vidni na grafičnih prikazih, oziroma stranskih pogledih na prečne profile jarkov. Zato smo vsak izmerjeni profil grafično prikazali, dodali pa smo tudi profile, katere smo dobili z interpolacijo višin iz lidarskega DMV-ja.

6.1 Izdelava profilov v programu

Izmerjene točke oziroma njihove koordinate smo uvozili v program AutoCAD. Tako smo dobili točke profilov, ki jih je bilo potrebno samo povezati med seboj, s tem pa se je že pokazal potek profilov jarkov. Nato smo dodali še točke z enakimi horizontalnimi koordinatami, vendar z nadmorskimi višinami interpoliranimi iz lidarskega DMV-ja. Ko smo povezali še te točke med seboj, smo dobili prečne profile jarkov, kakršne nam prikaže lidarski DMV.

7 REZULTATI

Da bi lahko analizirali in komentirali dobljene rezultate, moramo natančneje opredeliti vse vhodne podatke. To so podatki GNSS-višinomerstva, podatki, interpolirani iz podatkov lidarskih meritev, ter lastnosti ortofota, na katerem smo prikazali območje delovišča in lokacije posameznih izmerjenih profilov.

7.1 Opredelitev vhodnih podatkov

Vsi uporabljeni vhodni podatki se nanašajo na koordinatni sistem D96/TM.

7.1.1 Ortofoto

Ortofoto je bil izdelan na podlagi aerosnemanja bloka A8, ki je bilo izvedeno 11.3.2011. To je barvni ortofoto (RGB, 24 bitni – 8 bitov za vsak spektralni kanal), z ločljivostjo 10 cm, natančnost izdelka (RMSE) je 20 cm. (Možina, 2014)

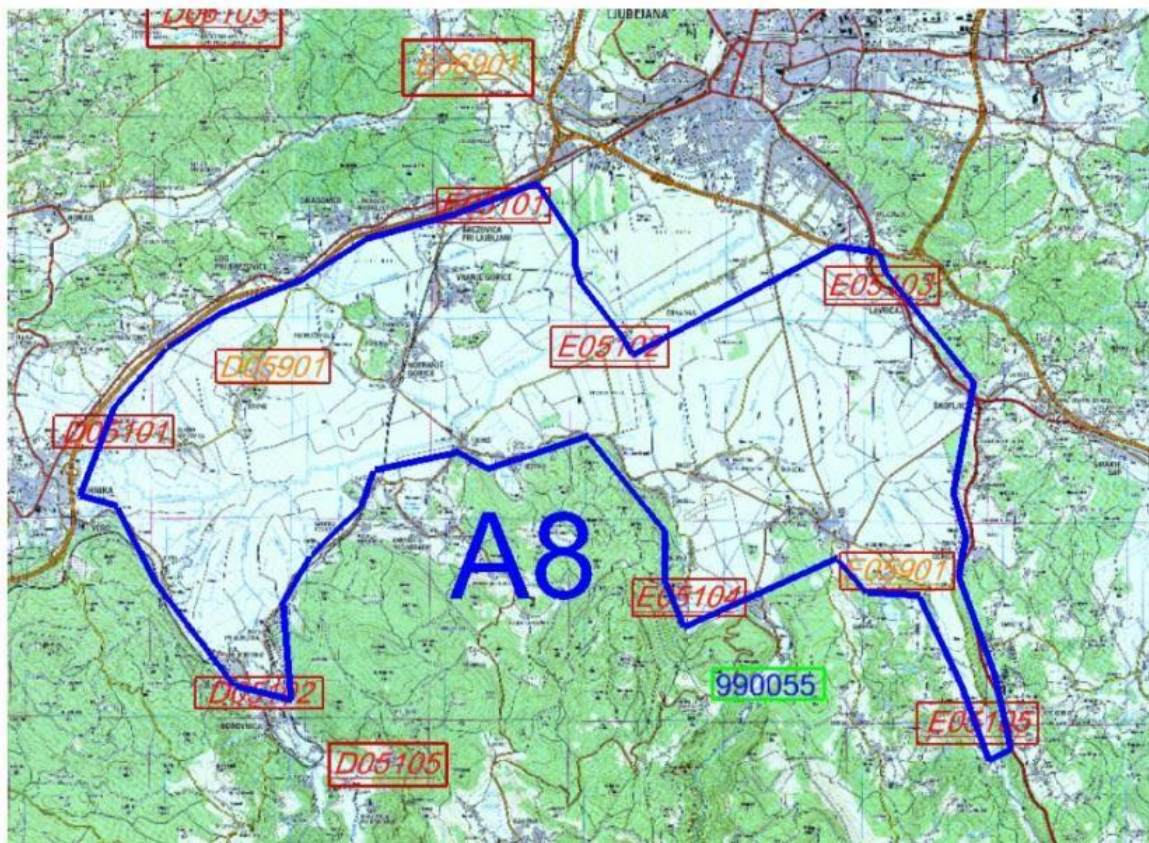
7.1.2 Podatki RTK metode izmere

To so koordinate izmerjenih točk oziroma položaji točk. Merilo kakovosti terenskih meritev z RTK metodo so DOP, natančneje PDOP faktorji, oziroma vrednost PDOP (angl. Position Dilution Of Precision). Vrednost PDOP faktorja najdemo v datoteki izvedenih meritev, zraven vsake izmerjene točke posebej. Vrednost tega faktorja mora biti manjša od 6 (GURS, 2007), če želimo da so meritve zanesljive in kakovostne. Pri vseh naših izmerjenih točkah je ta pogoj izpolnjen, saj smo vrednost PDOP faktorjev spremljali že med samimi meritvami na terenu.

7.1.3 Podatki lidarskih meritev

Višine so bile interpolirane iz DMV-ja, ki je bil izdelan iz podatkov lidarskega snemanja. Ti podatki so bili zajeti 9. in 10.3.2011 v okviru projekta Geodetske uprave Republike Slovenije z naslovom "Lasersko skeniranje in aerofotografiranje 2011", ki se je sicer začel takrat, nato pa se je nadaljeval v projekt Lasersko skeniranje Slovenije. Takrat so določili naslednje parametre zajema podatkov: gostota točk 10 točk na kvadratni meter, višino leta 850 metrov in frekvenco skenerja 125 kHz. Po zajemu podatkov je bila izvedena klasifikacija zajetih točk, na podlagi določenih talnih točk pa je bil na osnovi mreže nepravilnih trikotnikov (TIN; angleško: Triangulated irregular network), izdelan lidarski DMR, ki je prikazan v pravokotni mreži s celicami velikosti 1 meter krat 1 meter. (Možina, 2014)

Na sliki je prikazano območje snemalnega bloka A8 ter lokacije oslonilnih in kontrolnih točk. Blok A8 predstavlja območje lidarskega snemanja, katerega del je tudi območje, ki je predmet obdelave tega diplomskega dela (Gmajnice).



Slika 5: Območje bloka A8 ter lokacije posnetih oslonilnih in kontrolnih točk. (GURS, 2011, cit. po Možina, M., 2014)

7.2 Grafični rezultati

Grafični rezultati na slikah 6 in 7 prikazujejo stranski pogled na prečne profile jarkov. Slika 6 prikazuje vzhodni jarek, slika 7 zahodni jarek.

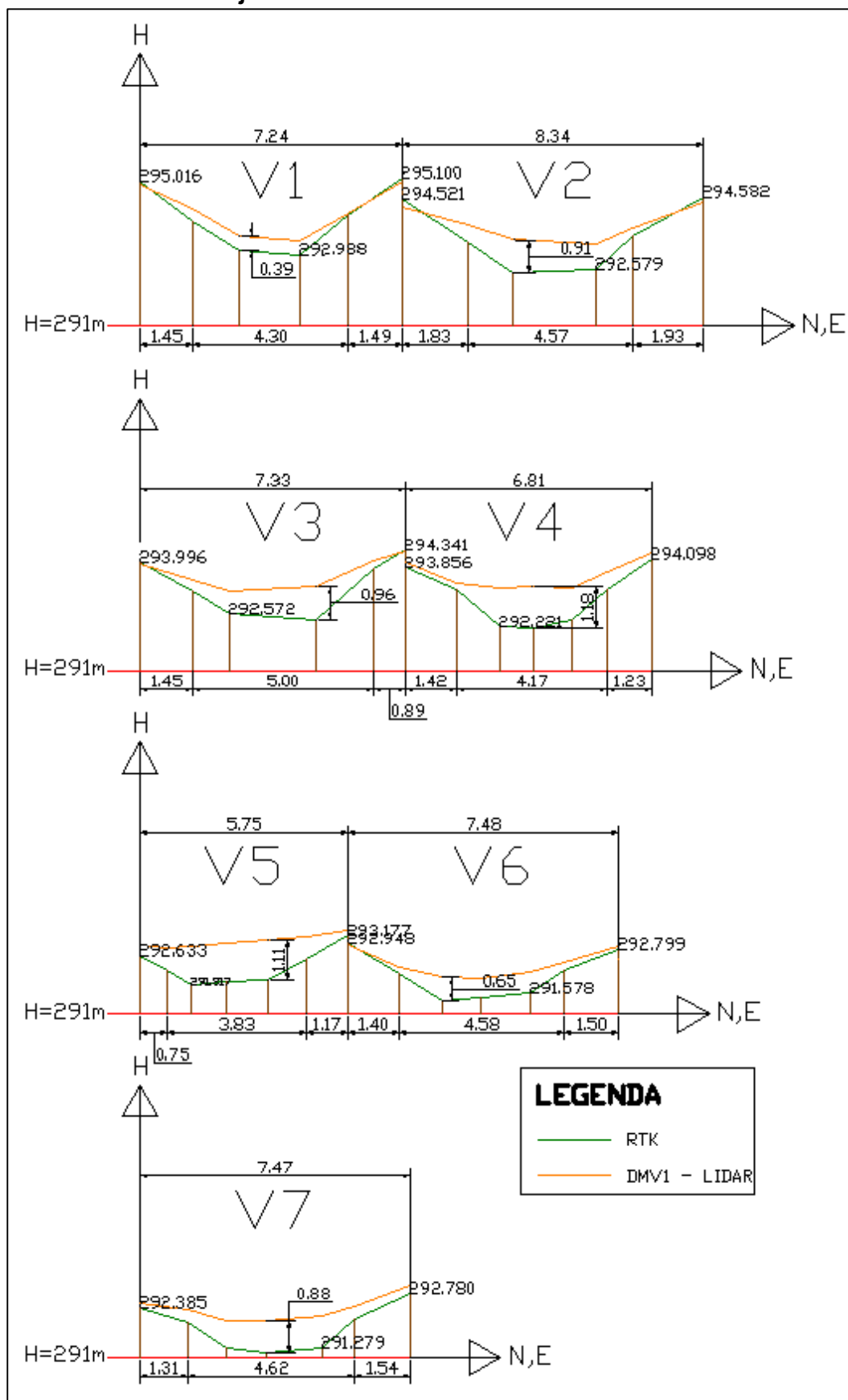
Prikazana sta dva profila; z zeleno barvo: potek terena kakršnega smo izmerili z GNSS-višinomerstvom, ter z oranžno barvo: potek terena, kakršnega prikazuje lidarski DMV. Profili so oštevilčeni in prikazani zaporedoma, od severa proti jugu. Pogled na vse profile je iz južne smeri. Vse merske enote, torej nadmorske višine in kote so v metrih. Pri posameznem profilu je podana samo največja višinska razlika. Za vizualno razumljivejši prikaz imajo vsi profili spodnjo nivojsko linijo na nadmorski višini 291 m, saj ima najnižja z RTK metodo izmerjena točka nadmorsko višino 291,122 m.

Položaji posameznih prečnih profilov so v preglednici 1. Kot položajno oziroma izhodiščno točko vsakega posameznega profila smo določili najbolj zahodno točko. Prečni profili so različnih širin, od 4,54 m do 8,53 m. To je posledica razgibanosti površja, različno vzdrževane okolice jarkov in različne poraščenosti jarkov z vegetacijo, saj smo iskali primerna območja za izvedbo izmere, v smislu fizične izvedbe in dostopnosti GNSS signala.

Preglednica 1: Položaji prečnih profilov.

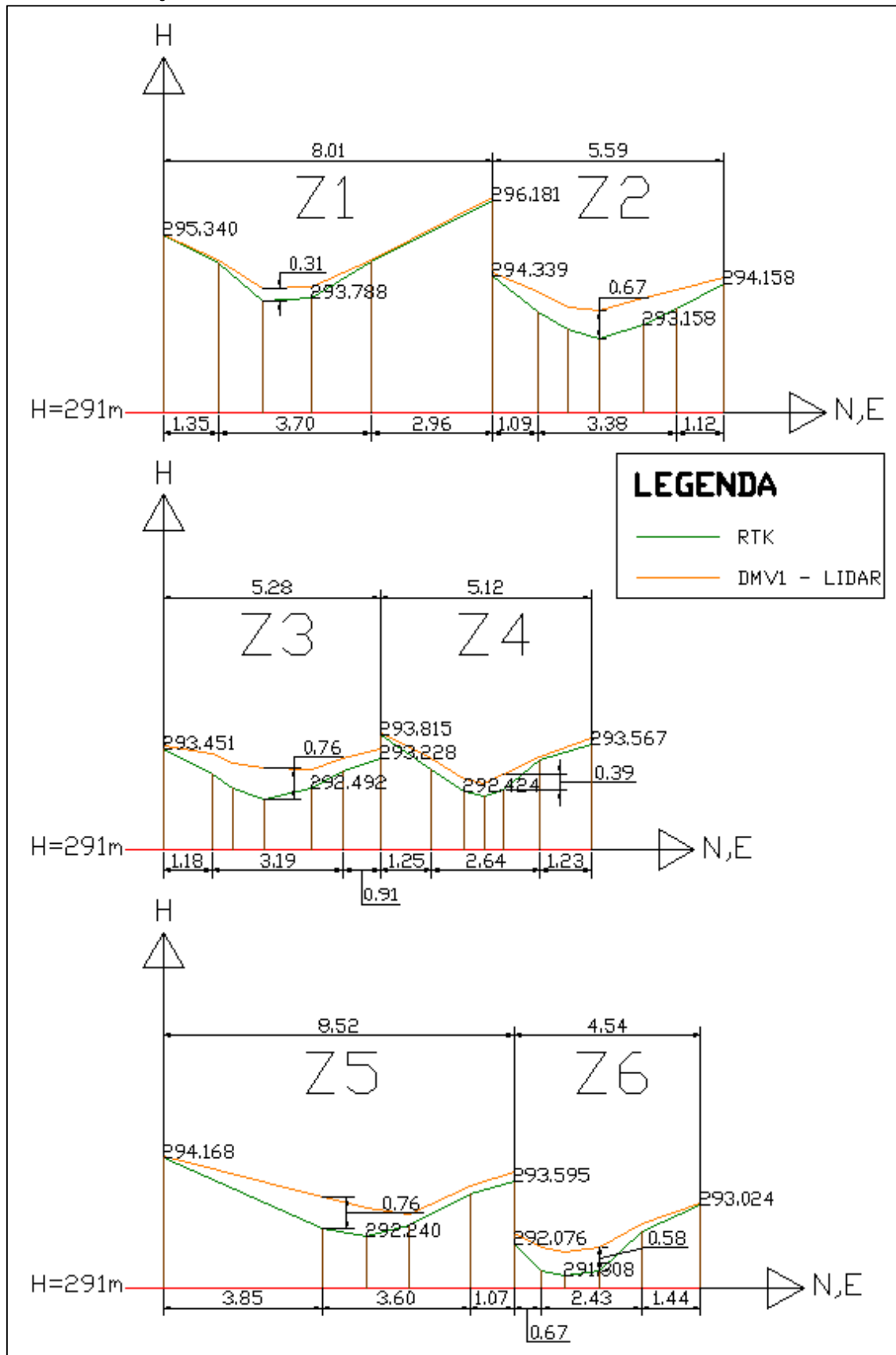
Profil	e [m]	n [m]	ϕ [° ' '']	λ [° ' '']
V1	456.763,435	98.776,817	46 01 38,75650 S	14 26 29,44439 V
V2	456.793,395	98.725,480	46 01 16,10411 S	14 26 33,96774 V
V3	456.817,513	98.684,455	46 01 16,11689 S	14 26 34,01414 V
V4	456.855,513	98.620,467	46 01 33,71325 S	14 26 33,77683 V
V5	456.970,390	98.426,378	46 01 27,45274 S	14 26 39,18135 V
V6	457.119,957	98.167,283	46 01 19,09446 S	14 26 46,21952 V
V7	457.167,021	98.086,350	46 01 16,48365 S	14 26 48,43387 V
Z1	456.572,888	98.626,089	46 01 19,11561 S	14 26 46,27712 V
Z2	456.653,873	98.466,002	46 01 28,66432 S	14 26 24,45151 V
Z3	456.737,363	98.300,606	46 01 23,32615 S	14 26 28,38750 V
Z4	456.790,835	98.193,346	46 01 19,86419 S	14 26 30,90864 V
Z5	456.849,290	98.073,200	46 01 15,98593 S	14 26 33,66561 V
Z6	456.933,130	97.912,415	46 01 10,79713 S	14 26 37,61585 V

7.2.1 Vzhodni jarek



Slika 6: Primerjava različnih prečnih profilov, iz podatkov RTK in LIDAR; vzhodni jarek.

7.2.2 Zahodni jarek



Slika 7: Primerjava različnih prečnih profilov, iz podatkov RTK in LIDAR; zahodni jarek.

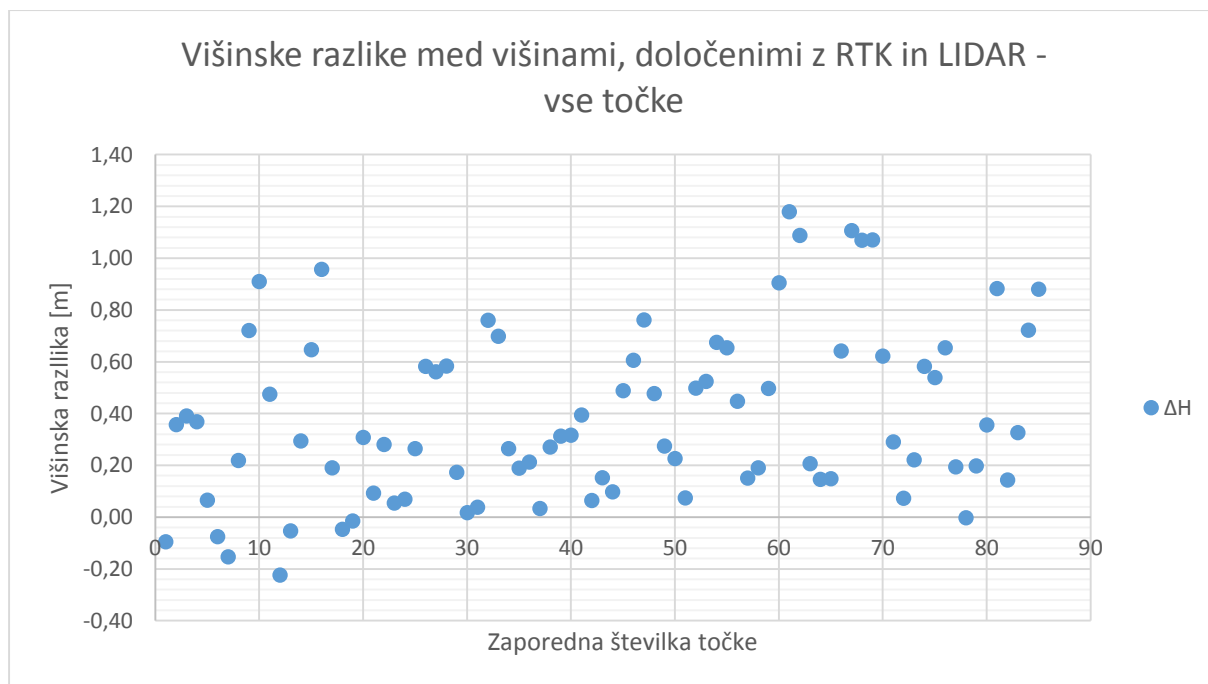
Na slikah 6 in 7 je vidno, da ima večina točk iz lidarskega DMV-ja višje nadmorske višine kakor z GNSS izmerjene točke. To je bolj podrobno opisano v poglavju 7.3. Številski rezultati. Ravno na izrisih prečnih profilov smo opazili, da so največje višinske razlike na dnu jarkov, najmanjše pa so na vrhovih brežin. Zato smo dodali poglavje 7.3.3 Zgornje točke in ostale točke, ter rezultate statistično ovrednotili. Na slikah je vidno tudi, da lidarski DMV sicer sledi poteku profilov terenske GNSS izmere in s tem nakazuje spremembe razgibanosti površja, vendar ne dovolj dobro za projekte velikih meril.

7.3 Številski rezultati

Številski rezultati so predstavljeni posebej; za vse točke, za vzhodni jarek in zahodni jarek, ter za zgornje točke in ostale točke. Višinske razlike so predstavljene na grafikonih, rezultati statističnih analiz so predstavljeni v tabelah, kjer je navedena tudi vrednost KGN. To je kratica za 'Kontrola grobih napak'. Če katera od višinskih razlik presega vrednost KGN, lahko sklepamo, da gre za grobo napako.

7.3.1 Vse točke

Grafikon 1: Višinske razlike med različno določenimi višinami; vse točke.



Preglednica 2: Rezultati statistične analize; vse točke.

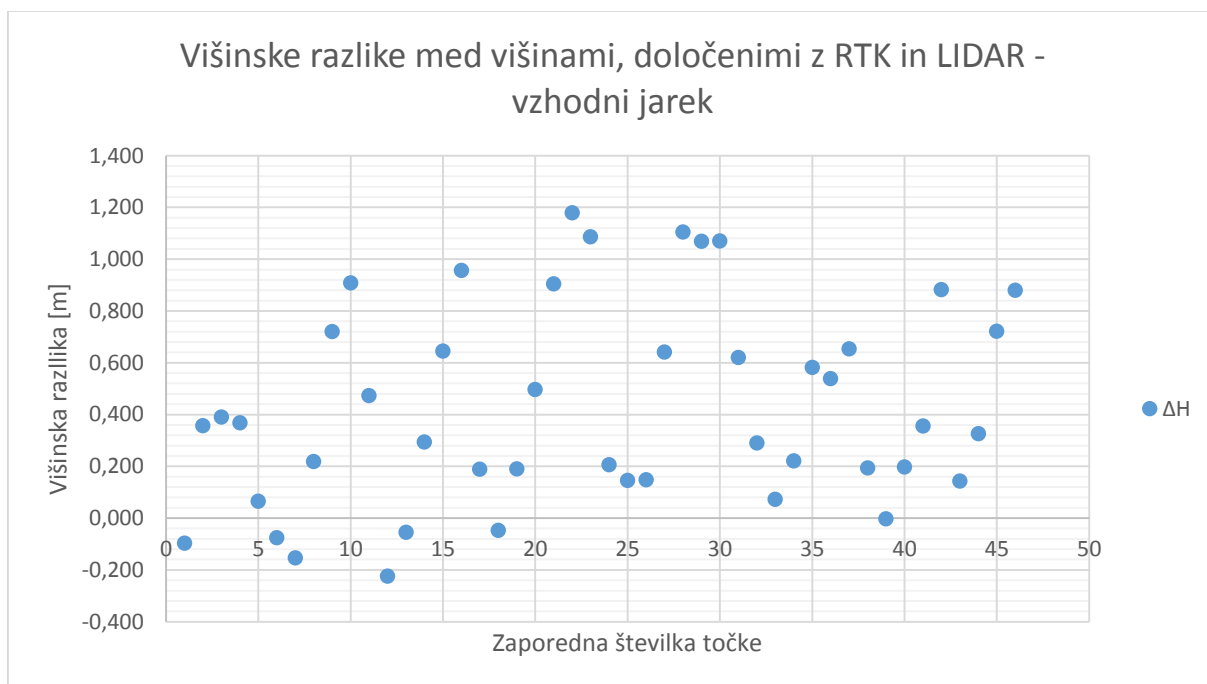
Točke:	vse
Število točk	85
Najmanjša višinska razlika [m]	-0,002
Največja višinska razlika [m]	1,179
Srednja vrednost [m]	0,382
Standardni odklon [m]	0,325
RMS	0,502
KGN	1,888

Iz rezultatov statistične analize je razvidno, da so višinske razlike kar precejšnje, saj je srednja vrednost 38 cm. Vrednosti višinskih razlik so tudi precej razpršene, saj standardni odklon znaša 32 cm. To potrjujeta tudi najmanjša in največja višinska razlika, med katerima je kar 118 cm razlike. Če primerjamo višinske razlike z vrednostjo KGN, vidimo, da grobih napak ni.

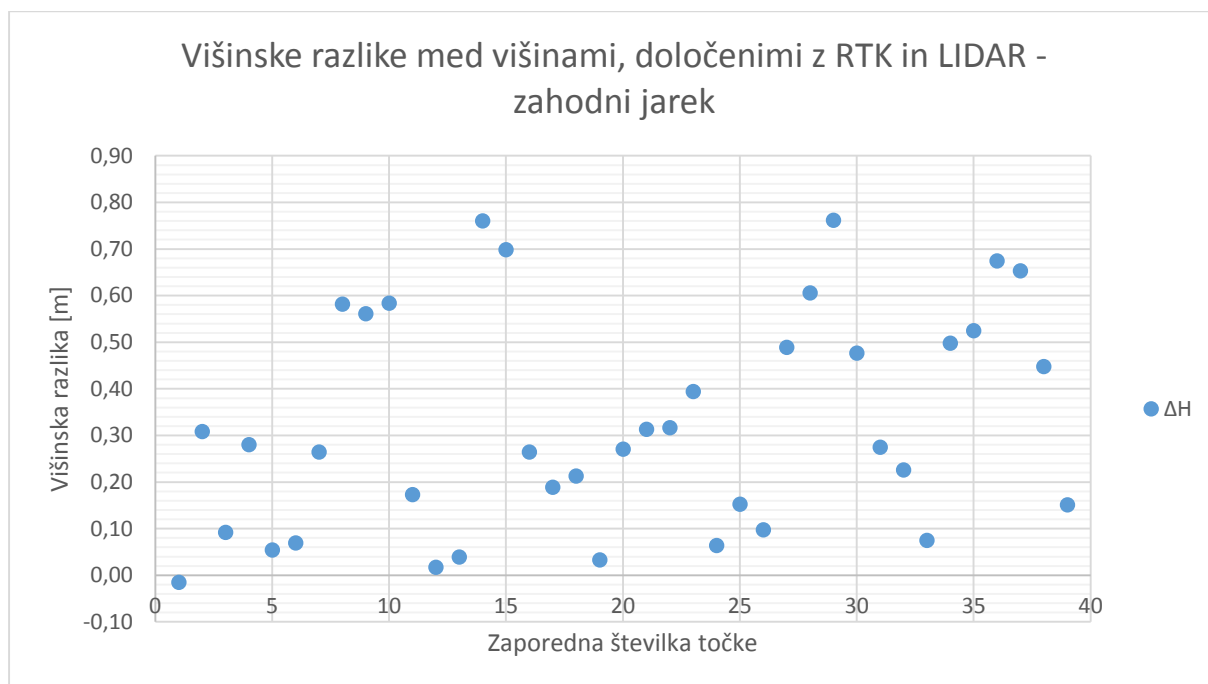
Potrjena je torej naša domneva, da imajo točke iz lidarskega DMV-ja višje nadmorske višine kakor točke, določene z GNSS-višinomerstvom. To pomeni, da je v DMV teren predstavljen previsoko. Glavni vzrok za ta pojav je najverjetneje rastje v jarkih in njihovi okolici. Zaradi rastja lidarski žarki ne morejo prodreti do terena, ampak se zabeleži višina na višji nadmorski višini. Na primer v krošnjah dreves ali na listju kakšnega močvirskega rastja v jarkih. 8 višinskih razlik ima negativno vrednost, kar pomeni, da DMV tam teren predstavlja prenizko. Vsi ti primeri so pri zgornjih točkah profilov. Vzrok za negativne višinske razlike je najverjetneje diskretna oblika DMV-ja, ki je podan s točkami v mreži kvadratnih celic velikosti 1 m, iz katerih so nato interpolirane višine točk znotraj celic. Ta diskretna oblika torej ne predstavlja višin vseh točk znotraj celic, kakršne so v resnici na terenu. Možno je, da je na tem kvadratnem metru celice ravno kakšen hribček z določeno višino, ki ga diskretna oblika DMR-ja ne more prikazati.

7.3.2. Vzhodni jarek in zahodni jarek

Grafikon 2: Višinske razlike med različno določenimi višinami; vzhodni jarek.



Grafikon 3: Višinske razlike med različno določenimi višinami; zahodni jarek.



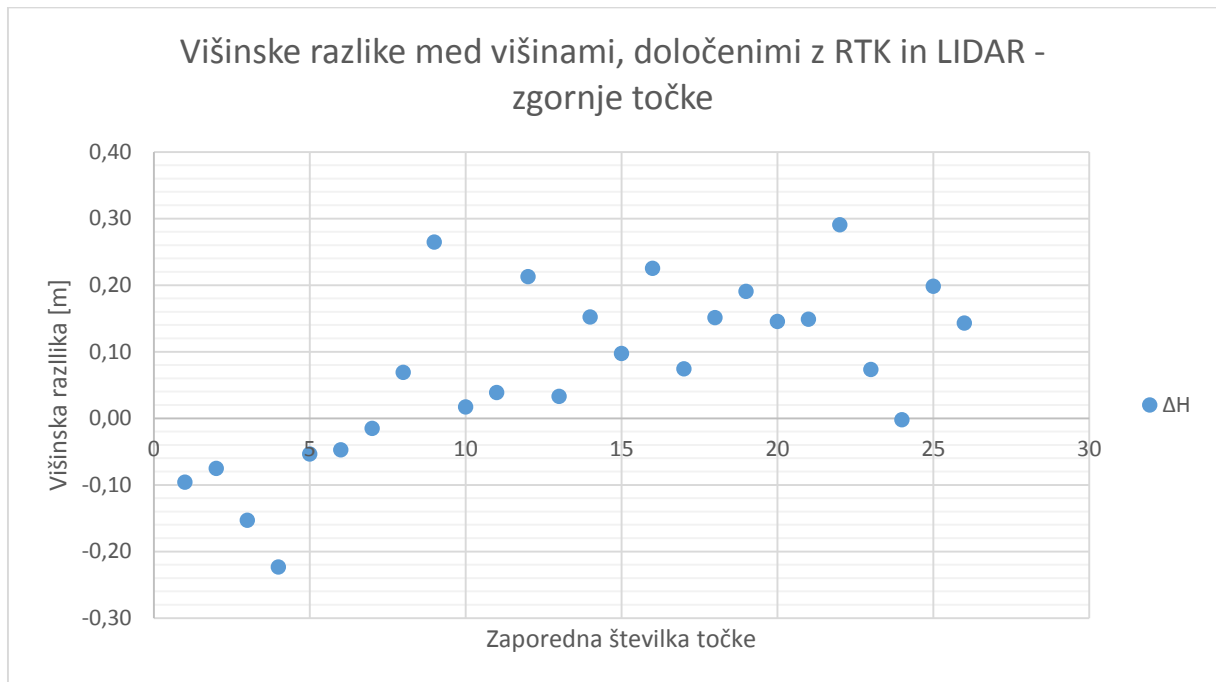
Preglednica 3: Primerjava rezultatov statistične analize; vzhodni jarek in zahodni jarek.

Točke:	vzhodni jarek	zahodni jarek
Število točk	46	39
Najmanjša višinska razlika [m]	-0,002	-0,015
Največja višinska razlika [m]	1,179	0,762
Srednja vrednost [m]	0,432	0,324
Standardni odklon [m]	0,381	0,229
RMS	0,576	0,397
KGn	2,160	1,514

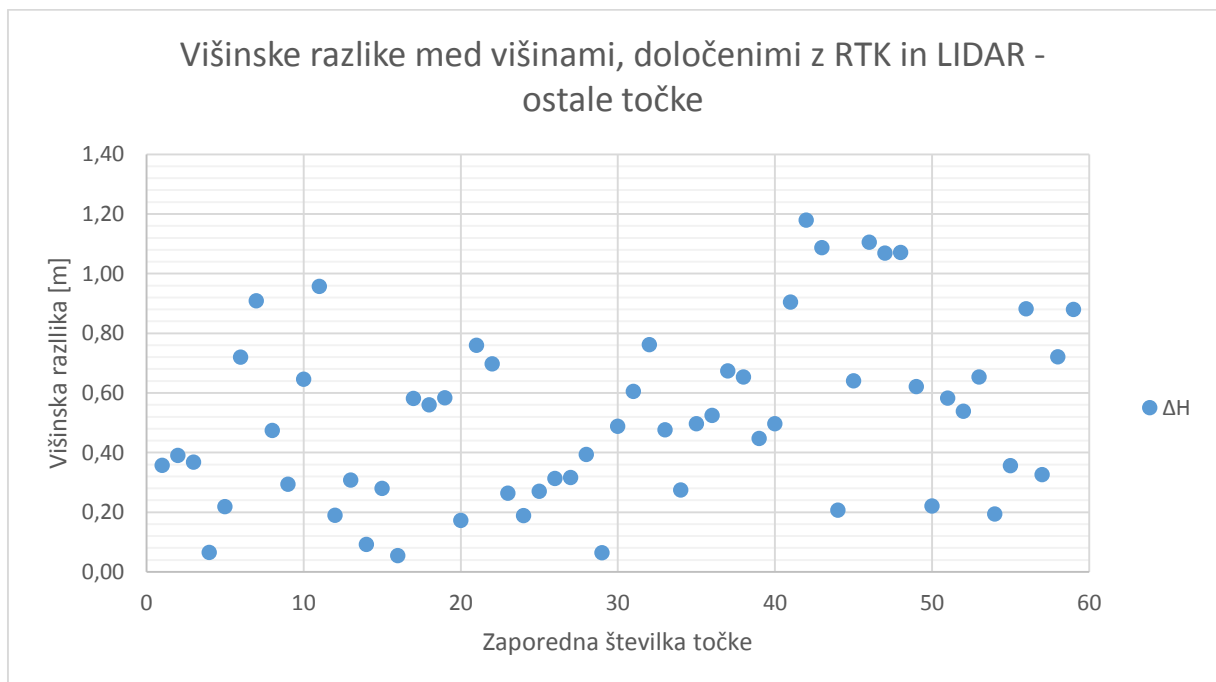
Primerjava rezultatov statistične analize za vzhodni in zahodni jarek potrjuje našo domnevo, da so višinske razlike pri vzhodnem jarku večje kakor pri zahodnem. Srednji vrednosti višinskih razlik se razlikujeta za 11 cm. Tudi standardni odklon višinskih razlik je pri vzhodnem jarku precej večji, 15 cm. Vzrok za takšne rezultate je ta, da je zahodni jarek dosti bolj vzdrževan, očiščen in pokošen, zaradi bližine zaselka in ostalih objektov. Torej je manj rastja v samem jarku, kar privede do manjših višinskih razlik, saj lahko lidarski žarki prodrejo bliže dejanskemu terenu.

7.3.3 Zgornje točke in ostale točke

Grafikon 4: Višinske razlike med različno določenimi višinami; zgornje točke.



Grafikon 5: Višinske razlike med različno določenimi višinami; ostale točke.



Preglednica 4: Primerjava rezultatov statistične analize; zgornje točke in ostale točke.

Točke:	zgornje	ostale
Število točk	26	59
Najmanjša višinska razlika [m]	-0,002	0,054
Največja višinska razlika [m]	0,291	1,179
Srednja vrednost [m]	0,072	0,519
Standardni odklon [m]	0,128	0,289
RMS	0,146	0,594
KGN	0,511	2,302

Primerjava rezultatov statistične analize višinskih razlik zgornjih in ostalih točk prav tako potrjuje, kar smo opazili na grafičnem prikazu prečnih profilov jarkov. Višinske razlike zgornjih točk profilov so namreč manjše kakor višinske razlike ostalih točk. To potrjujejo vse statistične količine. Največja višinska razlika zgornjih točk sicer ni manjša kakor najmanjša višinska razlika ostalih točk, je pa vseeno 23 cm manjša kakor njihova srednja vrednost. Sama srednja vrednost pa je pri zgornjih točkah več kot sedemkrat manjša od srednje vrednosti pri ostalih točkah. Tudi med standardnima odklonoma je 16 cm razlike, kar je pri njunih vrednostih več kot dvakrat. Vzrok za manjše višinske razlike zgornjih točk profilov pa ni samo v rastju, ki je na dnu in brežinah jarkov večje in bujnejše kakor na vrhovih. Vzrok je tudi prej omenjena diskretna oblika DMR-ja. Ker so vogalne točke celic DMR-ja oddaljene 1m, diagonalni pari točk pa kar 1,41 m, interpolirane posamezne točke ali ploskev DMR-ja ne zajame oziroma ne prikaže vseh primerov večje razgibanosti terena, kakor so jarki, v tolikšni meri kot je to dejansko.

8 ZAKLJUČEK

Ob vsakem projektu ali nalogi, v kateri bomo prikazovali teren z njegovo razgibanostjo, moramo pred začetkom izvedbe opredeliti in se odločiti, kakšne in koliko podatkov potrebujemo. Opredeliti je potrebno položajno kakovost podatkov (točnost in natančnost) ter količino podatkov, v smislu količine točk, ki prikazujejo teren. Količino točk moramo opredeliti kot skupno količino vseh točk in na primer količino točk na kvadratni meter ali na meter dolžine, ali glede na objekt, ki ga želimo prikazati. Opredeliti moramo tudi medsebojno lego točk ali razdaljo med njimi ter razporeditev po terenu, objektu ali pojavu. Pri opredelitvi položajne kakovosti in količine podatkov je dejavnikov več, velikokrat pa najpomembnejšo vlogo pri izbiri odigra finančni vidik, oziroma cena podatkov. Takšni projekti so namreč vedno časovno in finančno omejeni, zato se izberejo podatki z optimalnimi lastnostmi, ki ustrezajo predvsem časovnim in finančnim pogojem, ne pa vedno tudi pogojem strokovne pravilnosti v smislu položajne kakovosti in količine podatkov.

V primeru prikaza prečnih profilov jarkov, različne metode izpolnijo vsaka druge pogoje časovnih ter finančnih omejitev in pogoje strokovne pravilnosti. Lahko bi rekli, da RTK metoda izmere točk na terenu izpolni predvsem in zelo dosledno pogoj strokovne pravilnosti. Največja in najbolj pomembna razlika omenjenih tehnologij pri položajni kakovosti podatkov je določitev višine (elipsoidne ali nadmorske), ki je v bistvu bolj pomembna izmed koordinat (horizontalnih in višinskih) ravno pri taki vrsti projektov. Na primer pri prikazu prečnih profilov jarkov za namen urejanja ali izgradnje melioracijskih jarkov je položajno kakovostno določena višina najbolj pomembna za pravilno odtekanje meteorne vode. Pri izpolnitvi časovnih in finančnih pogojev pa RTK metodo prekaša metoda LIDAR, če gre za vsaj nekajkrat večje območje, kot smo ga raziskali in prikazali v tem diplomskem delu. V primeru tako majhnega ali nekajkrat večjega območja RTK metoda prej izpolni tudi časovni in finančni pogoj, zaradi različnih lastnosti in načinov praktične uporabe omenjenih tehnologij.

Namen tega diplomskega dela ni bil prikazati boljšo uporabnost RTK metode od lidarja za takšen projekt, ampak prikazati različno uporabnost omenjenih tehnologij za različne projekte. Lahko bi rekli, da nam je to uspelo, saj smo prikazali kakšna je kakovost prikaza reliefa omenjenih različnih tehnologij. Vsaka od teh dveh tehnologij ima prednosti in slabosti za projekte za katere je bolj primerna. Obe tehnologiji pa se bosta zagotovo uporabljali še naprej, vsaka za projekte, za katere je primerna. Postavljeno hipotezo bi lahko skoraj v celoti potrdili, oziroma je potrjena pri 90,6 % izmerjenih točk. Teh slabih 10% primerov točk, pri katerih ne moremo potrditi postavljene hipoteze, bi se zagotovo zmanjšalo, če bi izmerili več točk in analizirali ter prikazali večje območje.

VIRI

Uporabljeni viri:

Triglav Čekada, M., Bric, V., Mongus, D. 2015. Napredne analize površja s podatki laserskega skeniranja Slovenije. V: Lisec, A. (ur.), Stopar, B. (ur.), Berk, S. (ur.), Kosmatin Fras, M. (ur.). Geodetska (r)evolucija: Zbornik posveta 43. geodetskega dne. Ljubljana: Zveza geodetov Slovenije in Primorsko geodetsko društvo: str. 59 – 66.

Pribičević, B. 1999. Nov preračun geoida Republike Slovenije. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba B. Pribičević).

Satellite navigation. 2015.

http://en.wikipedia.org/wiki/Satellite_navigation (Pridobljeno 9. 3. 2015.)

Stopar, B. 2013. Satelitsko podprta geodetska izmera; del študijskega gradiva za predmet: Satelitsko podprta izmera; za visokošolski strokovni študij I. stopnje Tehnično upravljanje nepremičnin. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 6-8.

Kuhar, M. 2013. Referenčni sistemi v geodeziji; prosojnice, študijsko gradivo za predmet: Referenčni sistemi v geodeziji; za visokošolski strokovni študij I. stopnje Tehnično upravljanje nepremičnin: str. 4.

Oštir, K. 2006. Daljinsko zaznavanje. Ljubljana, Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU: 250 str.

Triglav Čekada, M. 2009. Optimizacija metodologije obdelave in analiza natančnosti letalskega laserskega skeniranja pri zajemu geodetskih podatkov za lokalno prostorsko planiranje. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Triglav Čekada): 202 str.

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 (samozaložba M. Možina): 25 str.

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

http://www.gu.gov.si/fileadmin/gu.gov.si/pageuploads/ogs/razlicica1_0.doc
(Pridobljeno 10. 2. 2015.)

Ostali viri:

Šoič, G. 2012. Izdelava geodetskega načrta na podlagi podatkov aerolaserskega skeniranja. Diplomatska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba G. Šoič): 27 str.

Bric, V., Berk, S., Oven, K., Triglav Čekada, M. 2014. Aerofotografiranje in aerolasersko skeniranje Slovenije, zbornik: Raziskave s področja geodezije in geofizike 2014: str. 57 - 71.

http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2015/6%20SZGG_2015_Bric_Berk_Oven_Triglav.pdf
(Pridobljeno 23. 6. 2015.)

Triglav Čekada, M., Crosilla, F., Kosmatin Fras, M. 2010. Teoretična gostota lidarskih točk za topografsko kartiranje v največjih merilih. Geodetski vestnik 54, 3: str. 389-402.

GURS. 2010. Lasersko skeniranje in aerofotografiranje 2011.

http://www.gu.gov.si/fileadmin/gu.gov.si/pageuploads/novice/Teksti_novic/LIDAR_opis.pdf
(Pridobljeno 3. 2. 2015.)

Komadina, Ž., Mesner, N. 2007. Metode izmere za potrebe zemljiškega katastra. Gradivo za obvezno izobraževanje geodetov.

http://www.gu.gov.si/fileadmin/gu.gov.si/pageuploads/GRADIVA/poljceoktober07/Metode_iz_mere.pdf (Pridobljeno 10. 2. 2015).

Koler, B., Urbančič, T., Vidmar, A., Globevnik, L. 2012. Analiza višin poplavne vode v Ljubljani in na Ljubljanskem barju. Geodetski vestnik 56, 4: str. 846-860.

Goleš, M. 2007. GPS-višinomerstvo s pomočjo RTK-metode izmere. Diplomatska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Goleš): 65 str.