

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:

Bakarčič, J., 2014. Analiza kakovosti ortofota iz bližnjleslikovnih aeroposnetkov. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Kosmatin Fras, M., somentor Urbančič, T.): 23 str.

Datum arhiviranja: 11-09-2014

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:

Bakarčič, J., 2014. Analiza kakovosti ortofota iz bližnjleslikovnih aeroposnetkov. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kosmatin Fras, M., co-supervisor Urbančič, T.): 23 pp.

Archiving Date: 11-09-2014

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 ŠTUDIJSKI  
PROGRAM PRVE STOPNJE  
GEODEZIJE  
IN GEOINFORMATIKE**

Kandidat:

**JAKŠA BAKARČIČ**

**ANALIZA KAKOVOSTI ORTOFOTA IZ  
BLIŽNJESLIKOVNIH AEROPOSNETKOV**

Diplomska naloga št.: 53/GIG

**ANALYSIS OF THE QUALITY OF ORTHOPHOTOS  
GENERATED FROM CLOSE RANGE AERIAL  
IMAGES**

Graduation thesis No.: 53/GIG

**Mentorica:**

doc. dr. Mojca Kosmatin Fras

**Somentor:**

asist. Tilen Urbančič

**Predsednik komisije:**

prof. dr. Bojan Stopar

Ljubljana, 02. 09 2014

*Ta stran je namenoma prazna.*

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

<b>Stran z napako</b>	<b>Vrstica z napako</b>	<b>Namesto</b>	<b>Naj bo</b>
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

**IZJAVE**

Podpisani **JAKŠA BAKARČIĆ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »**ANALIZA KAKOVOSTI ORTOFOTA IZ BLIŽNJESLIKOVNIH AEROPOSNETKOV**«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 11.8.2014

Jakša Bakarčić

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

<b>UDK:</b>	<b>528.715(497.4)(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Jakša Bakarčić</b>
<b>Mentorica:</b>	<b>doc. dr. Mojca Kosmatin Fras</b>
<b>Somentor:</b>	<b>asist. Tilen Urbančič, univ.dipl.inž.geod.</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Analiza kakovosti ortofota iz bližnjleslikovnih aeroposnetkov</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Diplomska naloga – univerzitetni študij</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>23 str., 3 pregl., 19 sl., 1 en.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>ortofoto, brezpilotni letalniki, analiza kakovosti, digitalni model površja, oblak točk, prostorska ločljivost</b>

### **Izveček**

S sodobnim tehnološkim razvojem se razvijajo tudi posamezne veje geodezije kot stroke. Uporaba brezpilotnih letalnikov se je v geodeziji že uveljavila kot eden izmed virov zajema prostorskih podatkov. V diplomski nalogi smo analizirali podatke snemanja istega območja, pridobljene z dvema različnima brezpilotnima letalnikoma v istem dnevu. Ocenili smo kakovost obeh izdelanih vrst ortofota iz teh posnetkov in kakovost digitalnih modelov površja, ki sta bila uporabljena za izdelavo ortofota. Ugotovili smo, da z večanjem števila oslonilnih točk izboljšujemo položajno točnost ortofota. Ocenili smo tudi nekatere vplive na kakovost ortofota in kakovost digitalnega modela površja. Ugotovili smo, da ima zelo velik vpliv na kakovost ortofota in kakovost digitalnega modela površja prostorska ločljivost posnetkov. Posledica slabše prostorske ločljivosti v oblaku točk je bolj posplošena oblika in slabša točnost digitalnega modela površja.

**BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 528.715(497.4)(043.2)

**Author:** Jakša Bakarčić

**Supervisor:** Assist. Prof. Mojca Kosmatin Fras, Ph. D.

**Co-advisor:** Assist. Tilen Urbančič, B.Sc.

**Title:** Analysis of the quality of orthophotos generated from close range aerial images

**Document type:** Graduation Thesis – University studies

**Notes:** 23 p., 3 tab., 19 fig., 1 eq.

**Key words:** orthophoto, unmaned aerial vehicle, quality analysis, digital surface model, point cloud, spatial resolution

**Abstract**

Along with the modern technological developments, also the individual branches of land surveying as a profession are developing. The use of unmanned aerial vehicles (UAV) is in land surveying already one of the established sources of acquiring spatial data. In this thesis, we analyzed the data obtained with two different unmanned aerial vehicles recording the same area on the same day. We evaluated the quality of the both types of the orthophotos that were made from these recordings, as well as the quality of the digital surface models (DSM) that were used for the production of the orthophotos. We found out that the increasing of the number of ground control points (GCP) improves the positional accuracy of the orthophotos. We also evaluated some of the effects on the quality of the orthophotos and the quality of the digital surface model. We found out that the image spatial resolution has a very great impact on the quality of the orthophotos and the quality of the digital surface model. The consequence of the poorer spatial resolution of point cloud is more generalized and less accurate digital surface model.

## **ZAHVALE**

Za pomoč in številne koristne nasvete pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorici doc. dr. Mojci Kosmatin Fras in somentorju asist. Tilnu Urbančiču.

Posebna zahvala gre mojim staršem, sestri in njeni družini na podpori in spodbudi skozi vsa moja študijska leta.

Zahvaljujem se tudi vsem sošolcem, ki so mi bili v času študijskih let v pomoč in družbo.



**KAZALO VSEBINE**

<b>STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA</b>	<b>III</b>
<b>IZJAVE</b>	<b>IV</b>
<b>BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK</b>	<b>V</b>
<b>BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT</b>	<b>VI</b>
<b>ZAHVALE</b>	<b>VII</b>
<b>1 UVOD</b>	<b>1</b>
<b>2 TEORETIČNI VIDIK VPLIVOV NA KAKOVOST ORTOFOTA</b>	<b>2</b>
2.1 Ortofoto	2
2.2 Digitalni model reliefa in digitalni model površja	3
2.3 Vplivi vhodnih virov na kakovost ortofota	4
2.4 Prostorska ločljivost	5
<b>3 OPIS VHODNIH VIROV ZA IZVEDBO PRAKTIČNEGA DELA NALOGE</b>	<b>7</b>
3.1 Podatki	7
3.2 Sistemi brezpilotnih letalnikov	7
3.2.1 Princip dela brezpilotnih letalnikov	8
3.2.2 Tipi brezpilotnih letalnikov	9
3.2.2.1 Microdrones md4-1000	9
3.2.2.2 Sensefly eBee	10
3.3 Opis terenskega dela	10
<b>4 OCENA KAKOVOSTI IZDELKOV</b>	<b>13</b>
4.1 Opis uporabljenih postopkov in orodij	13
4.1.1 Predpriprava v programu MeshLab	13
4.1.2 Izdelava DMP-jev v programu AutoCAD Civil 3D	14
4.1.3 Izdelava prečnih profilov v programu AutoCAD Civil 3D	14
4.2 Ocena kakovosti uporabljenih digitalnih modelov površja	16
4.3 Ocena kakovosti izdelanih ortofotov	19
4.3.1 Prostorska ločljivost ortofota	19
4.3.2 Kontrola obeh vrst ortofota	19
4.4 Analiza vplivov na končne izdelke	21

<b>5 ZAKLJUČEK</b>	<b>23</b>
<b>VIRI</b>	<b>24</b>
<b>VIRI SLIK</b>	<b>25</b>

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Princip izdelave ortofota (Kraus, 2007, str. 368)	2
Slika 2: Model reliefa in model površja (Kraus, 2007, str. 317)	3
Slika 3: Prikaz vpliva napake v višini na radialni pogrešek na slikovni ravnini (Kraus, 2007, str. 374)	5
Slika 4: Prostorska ločljivost (Earth Observation Portal, 2014)	5
Slika 5: Prikaz obravnavanega območja (Geopedia, 2014)	7
Slika 6: Prikaz načrta leta na študijskem območju	8
Slika 7: Microdrones md4-1000 v letu (foto: Bakarčić, 2014)	10
Slika 8: Sensefly eBee (Gizmag, 2014)	10
Slika 9: Signalizacija oslonilnih točk na študijskem območju	11
Slika 10: Razporeditev oslonilnih točk na študijskem območju	11
Slika 11: Shematski prikaz poteka dela	13
Slika 12: Oblak točk, uvožen v program MeshLab	14
Slika 13: Razporeditev prečnih profilov na študijskem območju	15
Slika 14: Primer izdelanega prečnega profila	16
Slika 15: RGB obarvan oblak točk	17
Slika 16: Izsek prečnega profila (P4)	17
Slika 17: Primer prostorske ločljivosti (velikost izseka slike, ki prikazuje jašek, je 50 x 50 pikslov)	19
Slika 18: Razporeditev kontrolnih točk na študijskem območju	20
Slika 19: Prikaz napak na ortofotu LETALO (izsek iz študijskega omočja)	22

**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Primerjava višin DMP-jev v profilu P4	18
Preglednica 2: Rezultati odstopanj DMP-jev na profilih	18
Preglednica 3: Odstopanja kontrolnih točk	21

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

3D	Trirazsežen, tridimenzionalen
DMV	Digitalni model višin
DMR	Digitalni model reliefa
DMP	Digitalni model površja
UAV	Brezpilotno plovilo ali letalnik (ang. Unmanned Aerial Vehicle)
UAS	Brezpilotni zračni sistem (ang. Unmanned Aerial System)
VTOL	Vertikalni vzlet in pristane (ang. Vertical Take Off and Landing)
GPS	Globalni sistem za pozicioniranje (ang. Global Position System)
GNSS	Globalni navigacijski satelitski sistem (ang. Global Navigation Satellite System)
TIN	Nepravilna trikotniška mreža (ang. Triangulated Irregular Network)
TAHIMETER	Izdelki, izdelani na podlagi klasične izmere za naš študijski primer
KOPTER	Izdelki, izdelani na podlagi podatkov, pridobljenih s kvadrokopterjem za naš študijski primer
LETALO	Izdelki, izdelani na podlagi podatkov, pridobljenih z letalom za naš študijski primer

*Ta stran je namenoma prazna.*

## 1 UVOD

Z razvojem sodobnih tehnologij, predvsem v vojaške namene, se razvijajo tudi druge panoge dejavnosti. Tako so se na trgu v začetku 21. stoletja začela pojavljati brezpilotna plovila ali letalniki (ang. Unmanned Aerial Vehicle, UAV), ki so se zaradi svoje preproste uporabe in cenovne dostopnosti začeli hitro uporabljati tudi v civilne namene. V geodeziji se v zadnjih letih brezpilotni letalniki uporabljajo za zajem prostorskih podatkov.

Glavna lastnost bližnjleslikovnega aerosnemanja z brezpilotnimi letalniki je, da v relativno kratkem času dobimo veliko količino podatkov o površju na obravnavanem območju. Pri klasični terenski izmeri pridobimo vektorske podatke, iz posnetkov aerosnemanja pa pogosto izdelamo ortofoto, ki je rastrski podatek. Ortofoto, ki je v nasprotju z izvornimi posnetki izveden (sekundarni) vir, zato uporabljamo kot vizualno dopolnilo pri izdelavi in uporabi vektorskih baz ali topografskih kart. Ortofoto se pogosto uporablja tudi kot dopolnilni sloj v GIS analizah.

Ortofoto je perspektivno transformirani digitalni posnetek, pri katerem so napake centralne projekcije odpravljene s pomočjo ustreznega matematičnega modela, digitalnega modela reliefa ali površja in v naprej definirane projekcijske ravnine.

Za analizo, izdelano v okviru te diplomske naloge, smo uporabili podatke snemanja istega območja, pridobljene z dvema različnima brezpilotnima letalnikoma v istem dnevu. Podatke za izdelavo naloge sta nam posredovali dve podjetji, ki se ukvarjata z bližnjleslikovno fotogrametrijo, in sicer *MODRI PLANET d.o.o.* ([www.modriplanet.si](http://www.modriplanet.si)) ter *LGB d.o.o.* oziroma hčerinsko podjetje *Geavis d.o.o.* ([www.geavis.si](http://www.geavis.si)). Ocenili smo kakovost obeh ortofotov, izdelanih iz teh posnetkov, in kakovost digitalnih modelov površja, ki sta bila uporabljena za izdelavo posameznega ortofota. Za oceno kakovosti posameznih izdelkov smo uporabili kontrolne točke in podatke klasične geodetske izmere, ki je bila narejena v okviru študentskih vaj. Na koncu smo izdelke med seboj primerjali in analizirali posamezne vplive na njihovo kakovost.

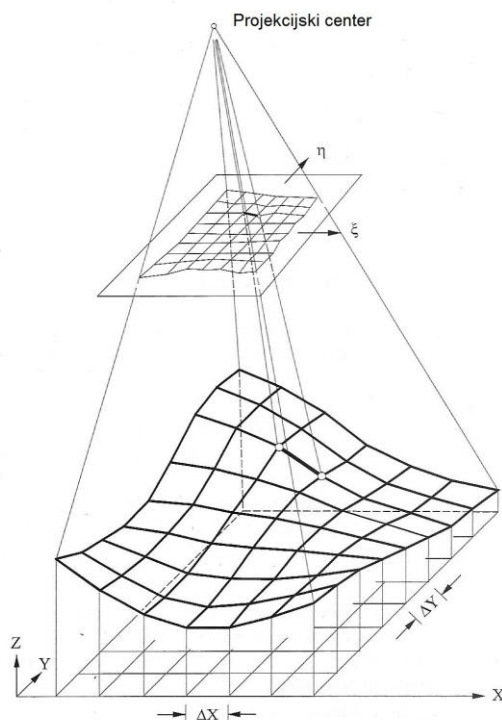
Diplomska naloga je sestavljena iz petih poglavjih. Poleg uvoda in zaključka, v drugem poglavju predstavimo osnovno teoretično podlago fotogrametrije, ki je potrebna za razumevanje diplomske naloge. V tretjem poglavju se osredotočimo na podatke, ki smo jih uporabili v nalogi. V četrtem poglavju so opisane uporabljene metode ocene kakovosti in analiza vplivov na kakovost izdelkov.

## 2 TEORETIČNI VIDIK VPLIVOV NA KAKOVOST ORTOFOTA

### 2.1 Ortofoto

Ortofoto je fotogrametrični izdelek, ki ga dobimo s transformacijo fotografije v ortogonalno projekcijo. Če poznamo elemente notranje in zunanje orientacije fotografije, lahko rekonstruiramo prostorski položaj objektov, ki so na njej upodobljeni (Kosmatin Fras, 2004).

Pred izdelavo ortofota je potrebno določiti orientacijo posnetka in obliko terena (Bric et al., 2007). Orientacija posnetkov je sestavljena iz notranje orientacije, ki se nanaša na fotoaparata (konstanta fotoaparata, položaj glavne točke, optična distorzija), in zunanje orientacije, ki pomeni položaj posnetka v prostoru v trenutku ekspozicije (Kosmatin Fras, 2004). Obliko terena opiše digitalni model reliefa, ki ga lahko pridobimo iz različnih virov (slika 1).



Slika 1: Princip izdelave ortofota (Kraus, 2007, str. 368)

V postopku izdelave ortofota so naslednje glavne faze (Kosmatin Fras, 2004):

- pridobitev posnetkov,
- orientacija posnetkov,
- priprava digitalnega modela reliefa ali površja,
- geometrična in semantična transformacija,
- izdelava mozaika,
- kontrola kakovosti,
- hranjenje, arhiviranje.

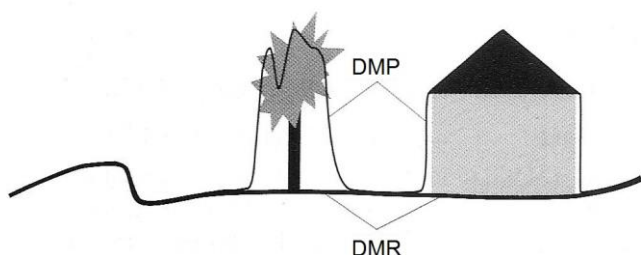
Eden izmed vhodnih podatkov za izdelavo klasičnega ortofota je digitalni model reliefa. Ta model predstavlja ploskev zemeljskega površja brez vseh antropogenih objektov. Posledica tega je, da pri klasičnem ortofotu objekti, ki so nad ali pod terenom, niso pravilno umeščeni v prostor.

Popolni (ang. true) ortofoto je izboljšava klasičnega ortofota v smislu, da so tudi objekti nad in pod terenom prikazani pravilno in v pravi velikosti. Popolni ortofoto temelji na digitalnem modelu površja (vsebuje teren ter vse antropogene objekte nad zemeljskim površjem).

## 2.2 Digitalni model reliefa in digitalni model površja

Digitalni model reliefa (DMR) je digitalni opis oblikovanosti zemeljskega površja. Vsebovati mora dovolj podatkov, da z njegovo uporabo lahko relief rekonstruiramo z določeno natančnostjo. Digitalni model površja (DMP) vsebuje podatke o zgornjem površju, kot bi ga videli iz zraka (vključene so zgradbe in vegetacija) – za grafično ponazoritev glej sliko 2.

Digitalni model višin (DMV) je poenostavljen zapis modela v obliki pravilne mrežne strukture (rastrska oblika). Omogoča enostavno shranjevanje in obdelave, vendar se lahko podrobnosti izgubijo.



Slika 2: Model reliefa in model površja (Kraus, 2007, str. 317)

Digitalni modeli reliefa oz. površja se lahko pripravijo na več načinov, vendar so pogosteje pridobljeni z daljinskim zaznavanjem kot z neposrednim opazovanjem na terenu. Metode zajema podatkov za modeliranje reliefa so lahko neposredne, posredne ali kombinacija neposredne in posredne metode zajema. Vhodne podatke izmerimo z različnimi metodami, kot so na primer (Ričić, 2012):

- terenska opazovanja z uporabo elektronskega tahimetra in RTK (angl. Real Time Kinematic);
- metoda GNSS za neposredno zajemanje podatkov na površini terena;
- fotogrametrija, kjer uporabljamo stereopare aero- (ali satelitske) posnetke in fotogrametrične inštrumente;
- kartografska digitalizacija že obstoječih topografskih kart za posreden zajem;
- aerolasersko skeniranje (lidar).

V neurejeni obliki (naključne točke reliefa oz. površja) tudi oblak točk predstavlja digitalen približek ploskve reliefa oz. površja. V diplomski nalogi smo digitalni model višin nadomestili



z fotogrametričnim oblakom točk, ki smo ga pridobili iz bližnjleslikovnih posnetkov z metodo slikovnega ujemanja visoke gostote.

### 2.3 Vplivi vhodnih virov na kakovost ortofota

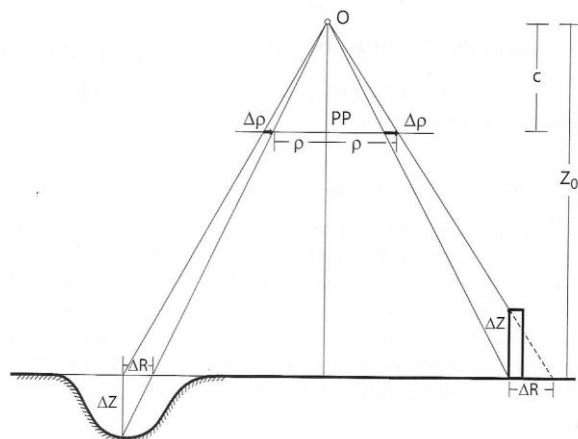
Na kakovost ortofota vplivajo predvsem (Kosmatin Fras, 2004):

- kakovost in ločljivost izvirnega posnetka,
- natančnost parametrov zunanje in notranje orientacije,
- kakovost digitalnega modela reliefa oziroma površja (DMR, DMP),
- uporabljene metode za geometrično in semantično transformacijo,
- časovna ažurnost vhodne slike.

Kakovostna fotografija je osnovni element pri izdelavi ortofota. Kakovost fotografije je odvisna od načina slikanja, karakteristike uporabljene opreme in operaterja (Riđić, 2012). Ločljivost nam daje podatek o podrobnosti posnetka, na katero neposredno vpliva zbiralna površina objektiva, kakovost optike in točnost izdelave. Predstavlja pomemben element fotografije. Z uporabo različnih postopkov vpliv pogreškov na kakovost izvirnega posnetka skušamo zmanjšati na najmanjšo možno mero.

Elementi notranje orientacije merskih fotoaparatorov so podani v kalibracijskem poročilu, ki ga izda proizvajalec. Za nemerske fotoaparate se uporabijo posebni postopki kalibracije pred ali med izvedbo projekta. Elemente zunanje orientacije običajno pridobimo iz projekta aerotriangulacije. Parametri za vsak posnetek (koordinate projekcijskega centra in koti zasukov slikovnega koordinatnega sistema glede na objektni koordinatni sistem) se pridobijo z izravnavo v projektu aerotriangulacije bloka posnetkov in se skupaj z oceno natančnosti nahajajo v poročilu o aerotriangulaciji (Riđić, 2012).

Kakovost digitalnega modela reliefa oziroma površja močno vpliva na kakovost ortofota. Če imamo digitalni model ustrezne kakovosti na razpolago, ga lahko uporabimo, v nasprotnem primeru ga je treba zajeti. V procesu izdelave ortofota lahko zajem digitalnega modela višin izvedemo s samodejnimi postopki slikovnega ujemanja (angl. image matching) (Kosmatin Fras, 2004).



Slika 3: Prikaz vpliva napake v višini na radialni pogrešek na slikovni ravnini (Kraus, 2007, str. 374)

Kot je že omenjeno, ima DMR velik vpliv na izdelavo ortofota, saj njegova točnost višin neposredno vpliva na položajno točnost ortofota. Horizontalni pogreški ortofota zaradi pogreškov DMR se večajo linearno z oddaljevanjem središčne točke posnetka, z manjšanjem konstante fotoaparata in z manjšanjem snemalne višine (Kraus, 2007). Predhodna trditev je poenostavljeno zapisana v naslednji enačbi (1):

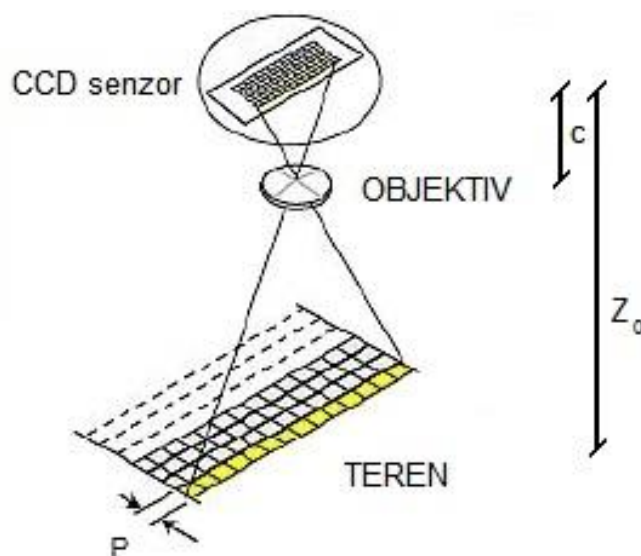
$$\Delta\rho = \Delta R \cdot \frac{c}{Z_0} = \Delta Z \cdot \frac{\rho}{c \cdot m_B}, \quad (1)$$

kjer je:

- $\Delta\rho$  ... radialni pogrešek na slikovni ravnini zaradi višinskega pogreška določene točke,
- $\rho$  ... slikovna radialna razdalja med poljubno in glavno točko posnetka,
- $\Delta R$  ... radialni pogrešek planimetričnih koordinat točke na terenu,
- $\Delta Z$  ... vertikalni pogrešek točke,
- $c$  ... goriščna razdalja (konstanta) fotoaparata,
- $Z_0$  ... snemalna višina,
- $m_B$  ... modul merila posnetka.

## 2.4 Prostorska ločljivost

Razdalja med opazovanimi predmeti in snemalnimi napravami določa natančnost opazovanj in površino, ki jo naenkrat zajamemo. Opazovano območje na površju imenujemo tudi resolucijska ali ločljivostna celica, njegova velikost pa opredeljuje prostorsko ločljivost senzorja (Oštir, 2006).



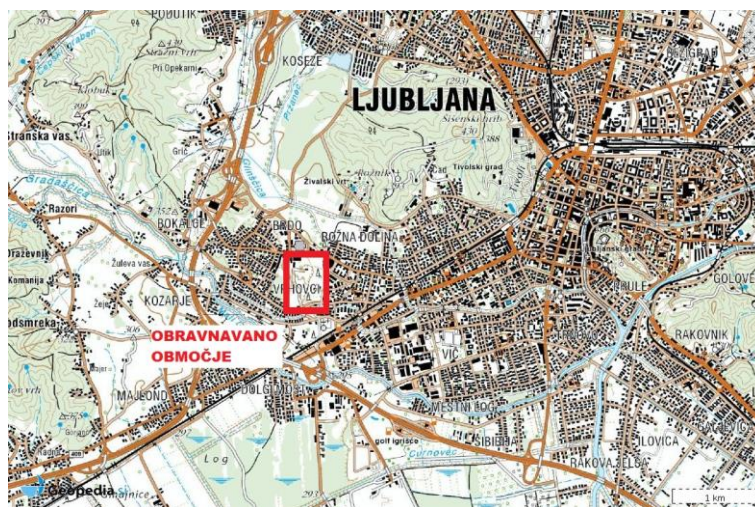
Slika 4: Prostorska ločljivost (Earth Observation Portal, 2014)

Digitalna slika je sestavljena iz slikovnih elementov (pikslov) v matrični obliki. Piksli ali slikovni elementi predstavljajo najmanjše dele slike. S posnetki večje ločljivosti opazujemo manjše dele površja z boljšo natančnostjo, s podobami nizke ločljivosti pa večje dele z manjšo natančnostjo (Oštir, 2006). Prostorska ločljivost (slika 4) oziroma približna velikost piksla v naravi je torej odvisna od velikosti in ločljivosti slikovnega senzorja, goriščne razdalje objektiva ( $c$ ) in višine leta ( $Z_0$ ).

### 3 OPIS VHODNIH VIROV ZA IZVEDBO PRAKTIČNEGA DELA NALOGE

#### 3.1 Podatki

Praktični del naloge zajema analizo ortofotov ter digitalnih modelov površja, ki so izdelani na podlagi podatkov bližnjelikovnega aerosnemanja ter klasične izmere istega območja. Območje je bilo posneto v istem dnevu v oktobru leta 2013 z dvema različnima brezpilotnima letalnikoma. Obravnavano območje se nahaja v Ljubljani, na gradbišču novih stanovanjskih stavb v soseski Zeleni gaj na Brdu (slika 4). Za analizo je zajeta deponija gradbenega materiala.



Slika 5: Prikaz obravnavanega območja (Geopedia, 2014)

Podatke bližnjelikovnega aerosnemanja obravnavanega območja sta nam posredovali dve podjetji, ki se ukvarjata s fotogrametrično izmero. Podatke aerosnemanja (oblak točk in ortofoto posnetek) zgoraj omenjenega območja s kvadrokopterjem smo pridobili od podjetja *MODRI PLANET, družba za tehnološki razvoj, zajemanje in obdelavo podatkov, d.o.o.*

Podatke aerosnemanja (oblak točk in ortofoto posnetek) obravnavanega območja z letalnikom eBee smo pridobili od podjetja *LGB, geodetski inženiring in informacijske tehnologije, d.o.o.* (LGB), ki pa je kasneje projekte aerosnemanja preneslo na hčerinsko podjetje *Geavis d.o.o.*, ki je bilo ustanovljeno s tem namenom.

Klasična geodetska izmera obravnavanega območja, ki je vključevala izmero detajlnih točk lomov terena, je bila izvedena v okviru vaj pri predmetu Geodezija v inženirstvu II druge stopnje programa Geodezija in geoinformatika.

#### 3.2 Sistemi brezpilotnih letalnikov

Prvotno so bili brezpilotni letalniki namenjeni predvsem za vojaške namene, vendar se je izkazalo, da so zaradi svoje prilagodljivosti uporabni tudi v civilne namene. Brezpilotni letalniki (ang. Unmanned Aircraft Vehicle, UAV) so del sistema (ang. Unmanned Aircraft System, UAS), ki je sestavljen iz aktivne komponente (letalnik), upravljaljske komponente

(zemeljske postaje) ter iz brezžičnega sistema za izmenjavo podatkov med letalnikom in zemeljsko postajo (Skrzypietz, 2012).

Obstajajo različne vrste brezpilotnih letalnikov, ki jih delimo v razrede glede na (Bitenc, 2014):

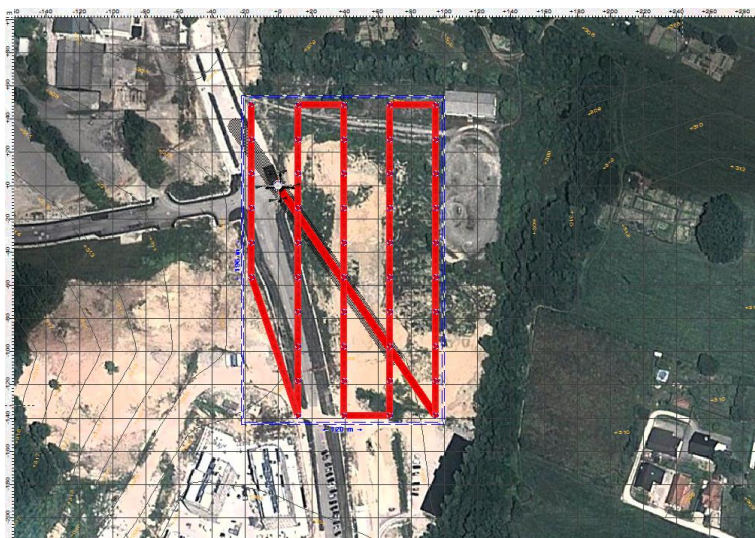
- velikost,
- trajanje in višino leta,
- opremo in sisteme, ki jih nosijo.

Ločljivost posnetkov, posnetih z brezpilotnimi letalniki, je odvisna predvsem od digitalnega fotoaparata, s katerim so posnetki narejeni, in višine snemanja nad terenom. Za fotogrametrične namene (terestrične kot tudi aerofotogrametrične) morajo biti fotoaparati kalibrirani.

Brepilotni letalniki se vse pogosteje uporabljajo na področju zajema prostorskih podatkov (Bitenc, 2014). Na trgu obstaja veliko število brezpilotnih letalnikov, ki so uporabni v fotogrametrične namene. Glede na tehnološki razvoj se jih s časom pojavlja vse več. V prihodnosti bo ta razvoj do neke mere vplival na znižanje cen, predvsem tistih najbolj preizkušenih in zanesljivih.

### 3.2.1 Princip dela brezpilotnih letalnikov

Za zagotavljanje ustrezne položajne točnosti izdelanega ortofota, kot izdelka fotogrametrične obdelave, je potrebno na obravnavanem območju določiti terenske oslonilne točke (s klasičnimi geodetskimi ali GNSS metodami). Operater pred izhodom na teren s posebnim programom pripravi načrt leta (slika 6), preveri omejitve letenja na obravnavanem območju in morebitne ovire v zraku. Če je mogoče, se opazovanje izvede v ustreznem vremenu, ko veter ni premočan, ne dežuje in svetlobne razmere omogočajo sprožanje posnetkov s kratkim časom ekspozicije (Bitenc, 2014).



Slika 6: Prikaz načrta leta na študijskem območju

S pomočjo posebnega programa določimo načrt leta zelo enostavno. Določimo površino, ki naj jo letalnik preleti, določimo tip digitalne kamere ter postavimo kriterij za čim boljše prekrivanje stereo posnetkov na določeni višini (Devriendt in Bonne, 2014). Prav tako določimo, na kateri višini naj se izvede fotografiranje ter kakšna naj bo prostorska ločljivost posnetkov. Potrebno je tudi določiti odstotek prekrivanja posnetkov v vzdolžni in prečni smeri.

Pred vzletom je treba načrt letenja prenesti v letalnik ter preveriti povezljivost in funkcionalnost celotnega sistema. Operater ročno spravi letalnik v zrak. Potem se vključi avtopilot, ki pošlje letalnik na prvo točko načrta leta ter letalnik samodejno zajame posnetke in leti po prej načrtovani poti. Letalnik pristane samodejno ali s pomočjo operaterja, odvisno od konfiguracije terena in tipa letalnika.

Tak način zajema podatkov v primerjavi s klasičnimi metodami je zelo varen, posebej pri zajemu nepristopnih območij (kamnolomi, deponije, zemeljski plazovi, melišča ipd.). Operater je na varnem položaju, stran od obravnavanega območja. Mala velikost letala omogoča manevriranje na majhnem prostoru ter v stavbah. Glede na to, da obstoječe baterije ne omogočajo velike vzdržljivosti leta brezpilotnih letalnikov, se za enkrat uporabljajo samo za snemanje manjših območij.

### **3.2.2 Tipi brezpilotnih letalnikov**

Osnovna tipa brezpilotnih letalnikov sta letalo in kopter. Letala dosežejo večjo hitrost in lahko preletijo večja območja, t.i. kopterji pa imajo prednost v vzletu in pristanku na omejenih (urbanih) območjih (Bitenc, 2014). Za namen diplomske naloge bomo opisali dva tipa letalnikov, ki sta bila uporabljena za aerosnemanje prej omenjenega območja, to sta Microdrones md4-1000 in Sensefly eBee.

#### **3.2.2.1 Microdrones md4-1000**

Microdrones md4-1000 (slika 7) je miniaturno VTOL-letalo (Vertical Take Off and Landing / vertikalni vzlet in pristonek). VTOL je temeljno načelo štirikopterjev. Lahko leti ob daljinskem vodenju ali samostojno s pomočjo GPS navigacijskega sistema.

Lastnosti kvadrokopterja md4-1000 (Devriendt in Bonne, 2014):

- Čas letenja z enim polnjenjem baterije: do 88 minut,
- Teža: 2,7 kg,
- Nosilnost: do 1,2 kg,
- Maksimalna teža za vzlet: 5,5 kg,
- Hitrost letenja: 12 m/s,
- Najvišja hitrost vetra: mirni posnetki do 7 m/s, maks. do 12 m/s.



Slika 7: Microdrones md4-1000 v letu (foto: Bakarčić, 2014)

### 3.2.2.2 Sensefly eBee

Sensefly eBee (slika 8) je popolnoma avtonomen brezpilotni letalnik v obliki letala. eBee vzleti, leti in pristane avtonomno. Vgrajen GPS sprejemnik poskrbi za vse vidike leta. Letalnik pristane s pomočjo vgrajenega senzorja, ki določi oddaljenost od terena z visoko natančnostjo. S tem poskrbi, da letalnik pristane na varnem območju, ne glede na razgibanost terena.

Lastnosti letala eBee (Sensefly eBee, 2014):

- Čas letenja z enim polnjenjem baterije: do 50 min,
- Teža: 0,7 kg (vključena teža kamere),
- Hitrost letenja: 37-57 km/h.



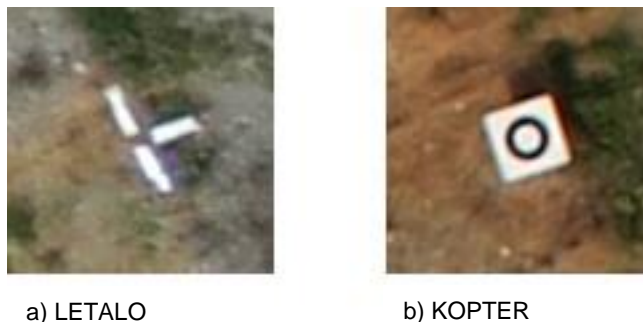
Slika 8: Sensefly eBee (Gizmag, 2014)

## 3.3 Opis terenskega dela

Na območju deponije na Brdu v Ljubljani je bila izvedena klasična detajlna izmera ter dve snemanji z dvema brezpilotnima letalnikoma, ki smo jih opisali zgoraj.

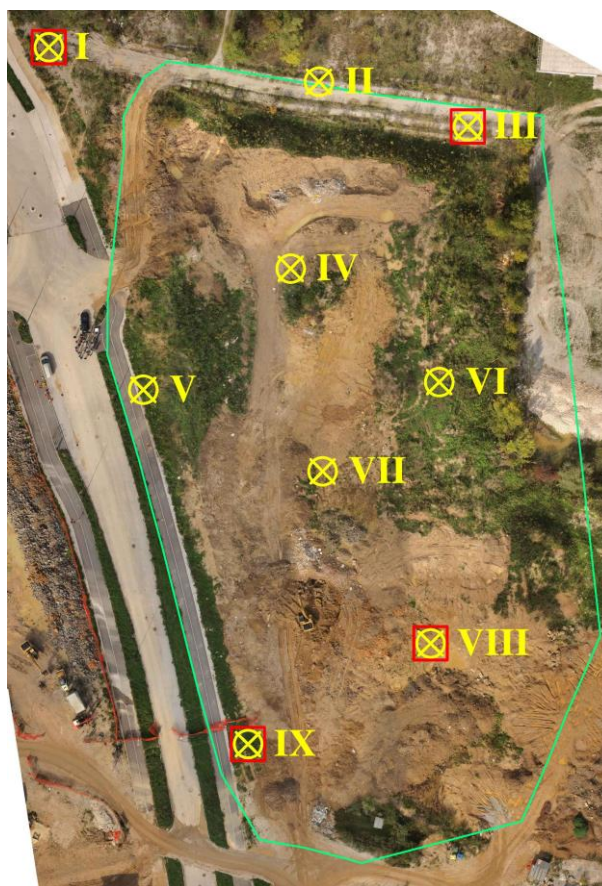
Za potrebe klasične detajlne izmere in za določitev koordinat oslonilnih točk je bila v okolici delovišča predhodno razvita geodetska mreža.

Oslonilne točke potrebujemo za določitev parametrov zunanje orientacije posnetkov, ki predstavljajo pomembne vhodne podatke pri izdelavi ortofota. Oslonilne točke je potrebno signalizirati, najbolje s simetrično obliko signala (slika 9). Poleg tega mora biti signal ravno dovolj velik, da se še zazna na posnetku in dovolj majhen, da lahko z zahtevano natančnostjo izmerimo koordinate.



Slika 9: Signalizacija oslonilnih točk na študijskem območju

Podjetje MODRI PLANET je za georeferenciranje ortofota in oblaka točk uporabilo 9 oslonilnih točk, medtem ko je podjetje LGB v skladu s svojim načinom terenskega snemanja uporabilo le 4 točke I, III, VIII in IX (glej sliko 10).



Slika 10: Razporeditev oslonilnih točk na študijskem območju



S klasično geodetsko izmero je bilo izmerjenih 888 detajlnih točk, ki v naravi predstavljajo lome terena. V oceni kakovosti izdelkov snemanj z letalnikoma smo te podatke uporabili kot referenčne.

Tehnični podatki snemanja KOPTER:

- Višina leta: 80 m
- Število oslonilnih točk: 9
- Število posnetih fotografij: 46
- Število točk v oblaku točk: 3.811.427
- Srednje odstopanje koordinat oslonilnih točk med terensko in slikovno izmerjenimi točkami po izravnavi:  $\pm 2-3$  cm
- Število identificiranih 3D veznih točk v postopku izravnave: 28.615
- Ločljivost posnetkov: 2 cm

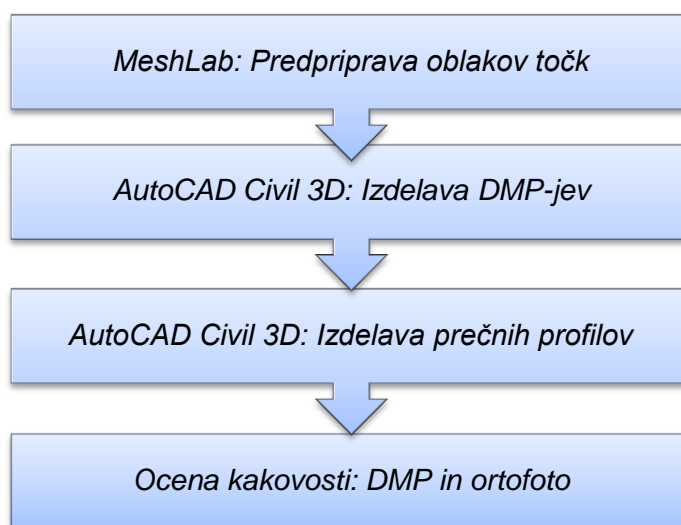
Tehnični podatki snemanja LETALO:

- Višina leta: 150 m
- Število oslonilnih točk: 4
- Število posnetih fotografij: 135
- Število točk v oblaku točk: 5.354.506
- Srednje odstopanje koordinat oslonilnih točk med terensko in slikovno izmerjenimi točkami po izravnavi:  $\pm 1-2$  cm (v izravnavo vključene le 4 oslonilne točke)
- Število identificiranih 3D veznih točk v postopku izravnave: 267.848
- Ločljivost posnetkov: 4,3 cm

## 4 OCENA KAKOVOSTI IZDELKOV

### 4.1 Opis uporabljenih postopkov in orodij

Analizo kakovosti ortofota smo izvedli na podlagi medsebojne primerjave med ortofotom LETALO (priloga A. 2) in ortofotom KOPTER (priloga A. 1) ter digitalnima modeloma (primerjava oblike ploskve na izbranih prečnih profilih). Sama analiza kakovosti ortofotov iz bližnjleslikovnih aeroposnetkov je potekala v več zaporednih korakih, ki so pregledno prikazani v spodnjem shematskem prikazu (slika 11):

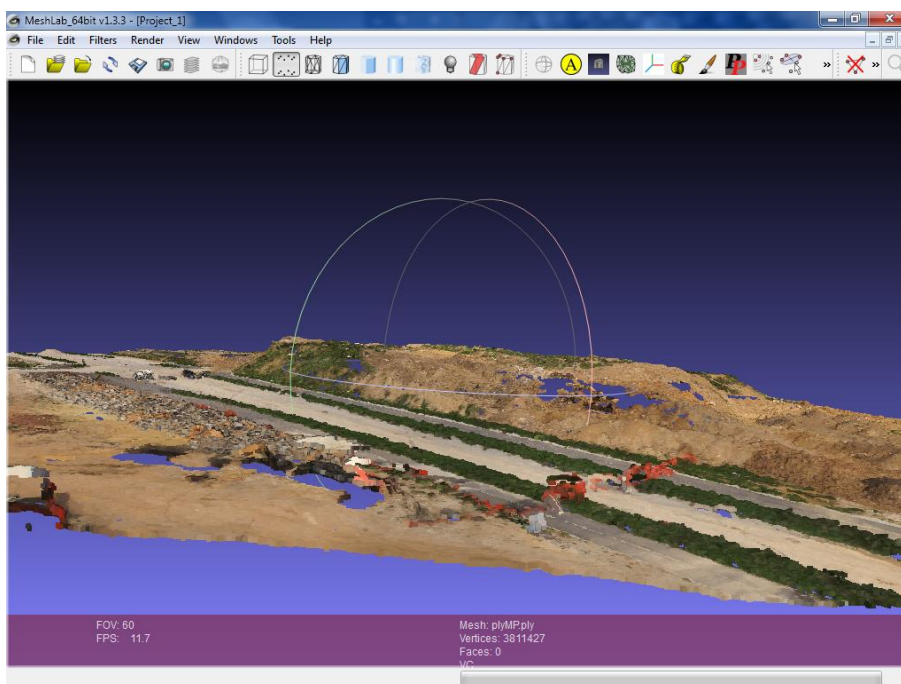


Slika 11: Shematski prikaz poteka dela

Pri oceni kakovosti DMP-jev smo uporabili Autodesk-ovo (AutoCAD Civil 3D 2014) programsko opremo. Pripravo podatkov za uvoz v AutoCAD Civil 3D smo izvedli s programom MeshLab. Potem smo na podlagi uvoženih oblakov točk izdelali DMP-je z uporabo vgrajenih funkcij, ki jih nudi AutoCAD Civil 3D. Oceno kritičnih območij (razlike v obliki modela ploskve in višinah) smo naredili na osnovi izrisanih prečnih profilov preko kreiranih DMP-jev.

#### 4.1.1 Predpriprava v programu MeshLab

MeshLab je odprtokodni program za obdelavo in urejanje nestrukturiranih 3D trikotniških mrež, ki je dobro znan v tehničnih področjih 3D razvoja (Wikipedia, 2014). MeshLab (slika 12) smo uporabili za pretvorbo datotek, ki definirajo oblak točk (\*.ply) v obliko, ki jo lahko uvozimo v AutoCAD Civil 3D (\*.xyz).



Slika 12: Oblak točk, uvožen v program MeshLab

#### 4.1.2 Izdelava DMP-jev v programu AutoCAD Civil 3D

V AutoCAD Civil 3D smo uvozili oblake točk, ki smo jih uporabili za izdelavo DMP-ja. Z ukazom *Surface* smo na podlagi uvoženega oblaka točk izdelali DMP. Kot način predstavitve površja smo izbrali TIN (ang. Triangulated Irregular Network), ki na podlagi uvoženih točk tvori nepravilno trikotniško mrežo.

Postopek smo ponovili tudi s točkami klasične izmere. Točke smo uvozili kot skupino (*Point Group*), glede na manjše število točk, kot sta jih vsebovala oblaka točk. Tako izdelan DMP predstavlja referenčno ploskev za izvedbo analize.

#### 4.1.3 Izdelava prečnih profilov v programu AutoCAD Civil 3D




Pri izdelavi profilov smo najprej definirali prostorske linije, ki potekajo po površju deponije. Linije smo položili po območjih, za katere smo predpostavili, da predstavljajo kritična območja nesovpadanja DMP-jev. Največ pozornosti smo posvetili območjem, ki so bili poraščeni s srednjo in visoko vegetacijo. Kot podlago smo uvozili georeferencirani ortofoto, s katerim smo si pomagali pri definiranju poteka profilov. Za razporeditev prečnih profilov glej sliko 13.

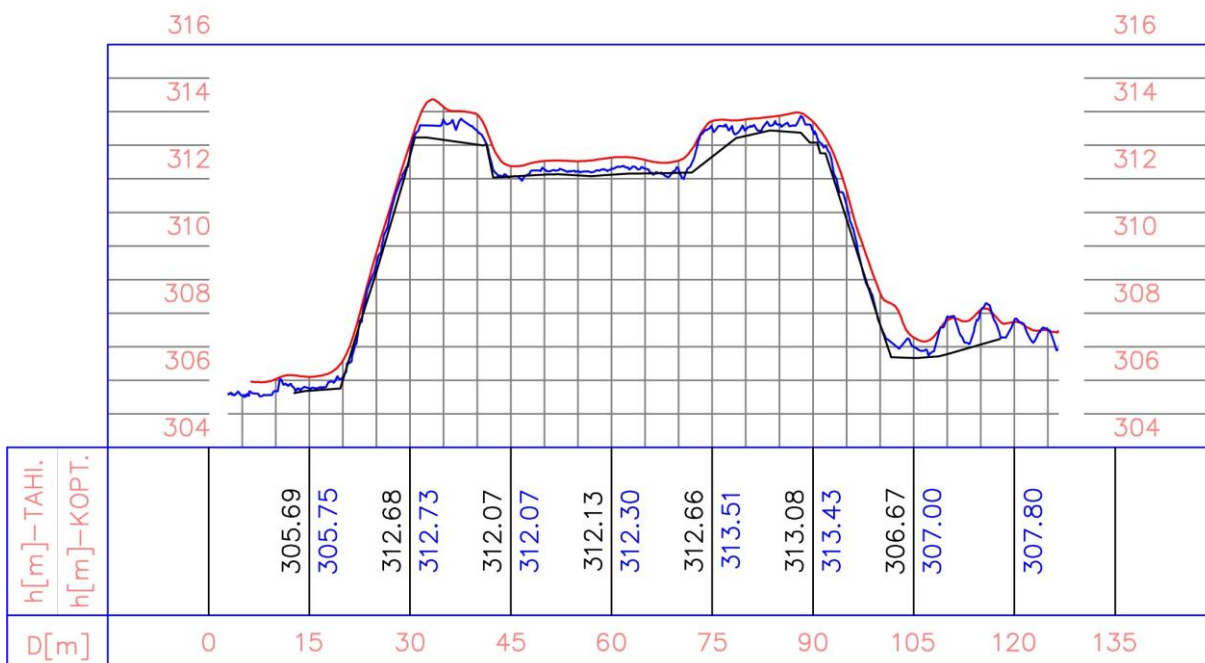


Slika 13: Razporeditev prečnih profilov na študijskem območju

Prečne profile smo izdelali s pomočjo vgrajene funkcije. Na osnovi prostorske linije (ukaz *Alignment*) smo izdelali prečne profile (slika 14), v katerih smo prikazali vse tri izdelane DMP-je s pomočjo ukaza *Surface Profile*. Vsi izdelani prečni profili s pripadajočimi višinami DMP-jev se nahajajo na koncu naloge v prilogah B.

Profil digitalnih modelov površja  
 P4

Legenda	
	Digitalni model površja - TAHIMETER
	Digitalni model površja - KOPTER
	Digitalni model površja - LETALO



Slika 14: Primer izdelanega prečnega profila

4.2 Ocena kakovosti uporabljenih digitalnih modelov površja

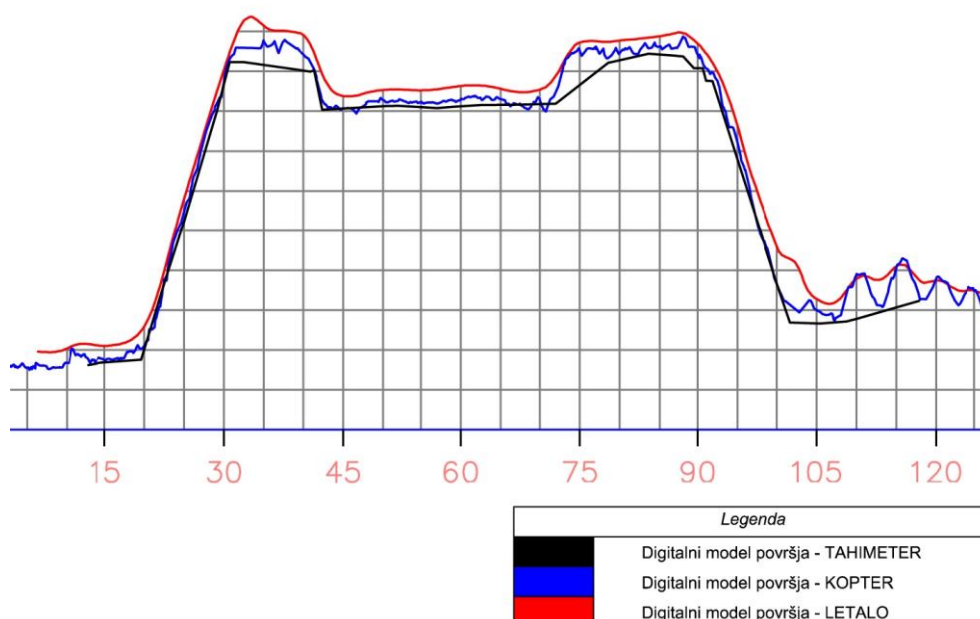
Kakovost izdelave DMP-ja je odvisna od točnosti koordinat v oblaku točk, gostote točk in drugih vplivov (npr. odprava šumov). Točnost določitve koordinat v oblaku točk je odvisna predvsem od ločljivosti posnetka in kakovosti določitve parametrov notranje in zunanje orientacije v postopku aerotriangulacije. Pri slikovnem ujemanju z ustreznim algoritmom točki na enem posnetku samodejno poiščemo najbolj verjetno točko na sosednjem posnetku. Ortofoto KOPTER je izdelan z večjo prostorsko ločljivostjo (2 cm) kot ortofoto LETALO (4,3 cm), zato pri oblaku točk KOPTER (slika 15a) obstaja kar nekaj lukenj oziroma območij brez točk. Luknje se nahajajo predvsem na območjih, kje je bila srednja oziroma visoka vegetacija (slika 15b). Iz tega lahko zaključimo, da se z večanjem ločljivosti povečuje tudi število lukenj (območja brez točk) v oblaku točk.



Slika 15: RGB obarvan oblak točk

Posledica slabše ločljivosti v oblaku točk je tudi bolj gladka oblika DMP-ja. To je vidno iz prečnih profilov (slika 16), kjer DMP LETALO, oziroma krivulja, ki ga predstavlja v profilu, nima ostrih prelomnih točk, ampak poteka po gladki in posplošeni ploskvi.

Kot referenčno ploskev smo izbrali DMP TAHIMETER, ki poteka po trdem terenu in praktično definira DMR. Če na podanem primeru (slika 16) primerjamo DMP-je med sabo, vidimo razliko v poteku DMP-jev na kritičnih območjih oziroma območjih deponije, ki so bili poraščeni s srednjo in visoko vegetacijo (območje med stacionažo 30 m in 45 m, območje okrog stacionaže 75 m ter območje okrog stacionaže 105 m). Modela DMP KOPTER in DMP LETALO na omenjenih območjih potekata višje od referenčne ploske.



Slika 16: Izsek prečnega profila (P4)

Na brežinah deponije ter na približno ravnih in neporaščenih predelih vidimo, da ploskev DMP KOPTER lepo sovpada s ploskvijo DMP TAHIMETER. Pri DMP LETALO pa imamo nekaj težav. Vidimo, da ploskev na brežinah sovpada z DMP TAHIMETER in DMP KOPTER, ampak na ravnih predelih poteka nad referenčno ploskvijo – za profil P4 glej sliko 16 in preglednico 1.

Preglednica 1: Primerjava višin DMP-jev v profilu P4

Profil P4 stacionaža [m]	višina [m]			razlika [m]	
	TAHIMETER	KOPTER	LETALO	$\Delta$ KOPTER	$\Delta$ LETALO
15	305,69	305,75	306,10	0,06	0,41
30	312,68	312,73	313,05	0,05	0,37
45	312,07	312,07	312,39	0,00	0,32
60	312,13	312,30	312,63	0,17	0,50
75	312,66	313,51	313,72	0,85	1,06
90	313,08	313,43	313,70	0,35	0,62
105	306,67	307,00	307,28	0,33	0,61
120		307,80	307,74		

Odstopanja DMP-jev v prečnih profilih od referenčne ploskve (DMP TAHIMETER) so podana v preglednici 2. Glede na pridobljene rezultate vidimo, da obe ploskvi potekata nad referenčno ploskvijo. Srednja vrednost odstopanj za DMP KOPTER je približno 25 cm, za DMP LETALO pa približno 80 cm. Če upoštevamo prej omenjeno točnost določitve koordinat oblaka točk, ki je odvisna od ločljivosti posnetkov, lahko sklepamo, da je precej večja višina DMP-ja LETALO posledica slabše ločljivosti posnetkov LETALO.

Preglednica 2: Rezultati odstopanj DMP-jev na profilih

Profil	d KOPTER [m]			d LETALO [m]		
	min	max	pov	min	max	pov
P1	0,06	0,39	0,16	0,34	4,37	1,03
P2	0,04	0,44	0,17	0,28	3,02	0,96
P3	-0,02	0,36	0,09	0,30	2,63	0,82
P4	0,00	0,85	0,26	0,32	1,06	0,56
P5	0,09	1,00	0,40	0,32	2,52	0,89
P6	0,07	1,41	0,36	0,26	2,52	0,88
P7	-0,01	0,63	0,31	0,08	0,72	0,51
sr. vred.	0,03	0,73	0,25	0,27	2,41	0,81

## 4.3 Ocena kakovosti izdelanih ortofotov

### 4.3.1 Prostorska ločljivost ortofota

Kot smo definirali že v poglavju 2.4 je prostorska ločljivost posnetka (približna velikost piksla v naravi) oziroma ortofota (natančna velikost piksla v naravi) odvisna od velikosti in ločljivosti slikovnega sensorja, goriščne razdalje objektiva in višine leta. Ortofoto KOPTER (2 cm) je določen z večjo prostorsko ločljivostjo kot pa ortofoto LETALO (4,3 cm). To pomeni, da površina v celici velikosti  $50 \times 50 = 2500$  pikslov pri ločljivosti 2 cm odgovarja enemu kvadratnemu metru (slika 17a), oziroma pri ločljivosti 4,3 cm je ta površina bistveno večja in znaša približno 5 kvadratnih metrov (slika 17b).



a) KOPTER



b) LETALO

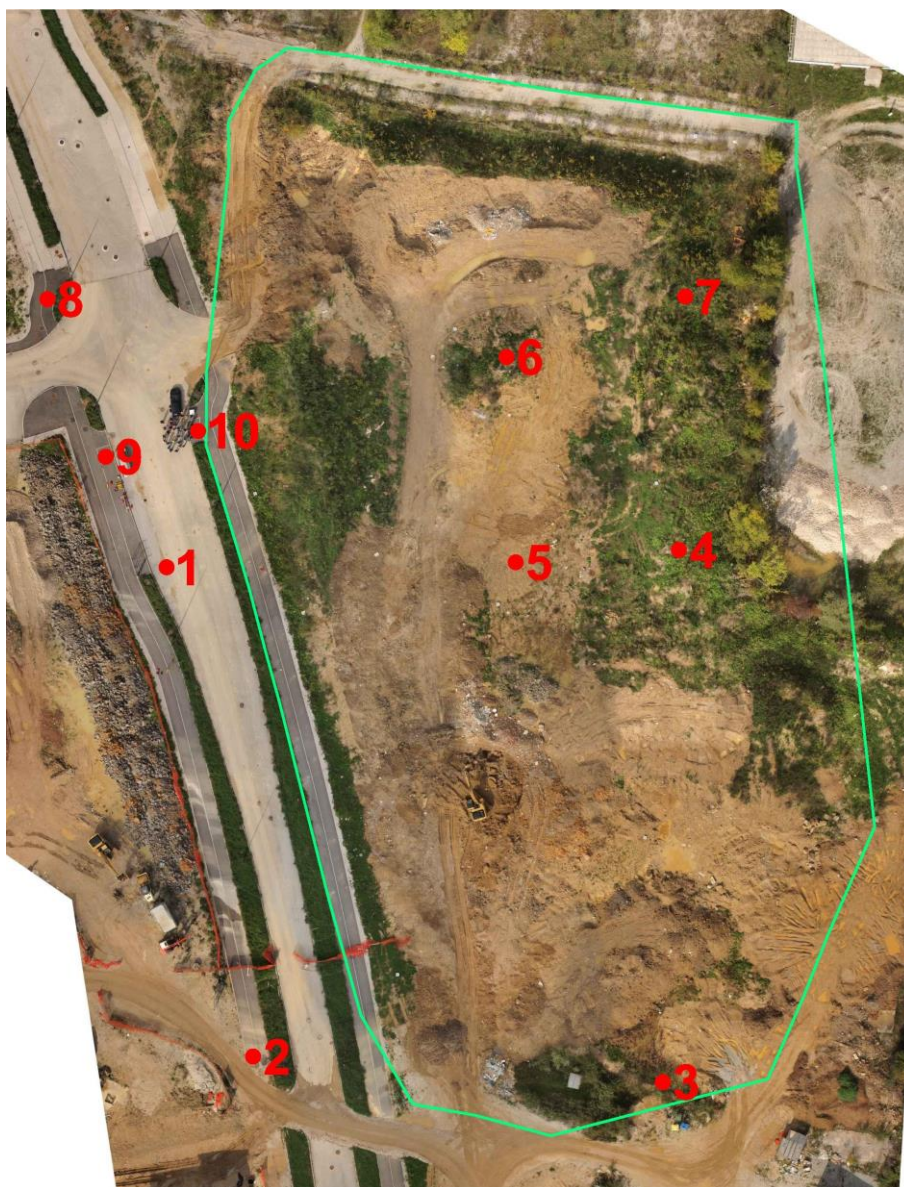
Slika 17: Primer prostorske ločljivosti (velikost izseka slike, ki prikazuje jašek, je 50 x 50 pikslov)

Oštir (2006, str. 48) v zvezi s tem pojasni: »Če želimo zaznati neko homogeno telo, mora biti njegova velikost v splošnem enaka ali večja od ločljivostne celice«. V našem primeru je zato na posnetku večje ločljivosti (ortofoto KOPTER) jašek jasno definiran ter so vidni tudi obrisi rešetke, ki ga prekriva.

### 4.3.2 Kontrola obeh vrst ortofota

Za kontrolo obeh vrst ortofota je bilo na obravnavanem območju posnetih nekaj značilnih točk, ki naj bi jih na ortofotu lahko zaznali (vogali jaškov, robovi kamnov). Te točke so bile izmerjene s klasično geodetsko izmero – razporeditev točk po območju je prikazana na sliki 18. Na georeferenciranem ortofotu smo na istih točkah odčitali koordinate in jih med sabo primerjali.





Slika 18: Razporeditev kontrolnih točk na študijskem območju

Kot kažejo rezultati v preglednici 3, vidimo, da so odstopanja pri ortofotu KOPTER dokaj pričakovana, saj glede na ločljivost posnetka (2 cm) ni možno natančneje odčitati koordinato točke. Odstopanja odčitanih koordinat so pri vseh točkah približno enaka, iz česar lahko zaključimo, da je ortofoto KOPTER dobro georeferenciran (umeščen v prostor).

Pri ortofotu LETALO so točke nekoliko bolj zamaknjene, predvsem v smeri sever - jug. Namreč, vse na ortofotu odčitane točke se od terensko izmerjenih nahajajo nekoliko južneje, zato lahko sklepamo, da gre za nek sistematični vpliv. Razlika v položaju točk je najbolj vidna na točkah, ki so bile izmerjene na deponiji (točke 3, 4, 5, 6 in 7). Za georeferenciranje ortofota LETALO so bile uporabljene le 4 oslonilne točke, ki so bile razporejene po obrobju obravnavanega območja (slika 10). Iz tega sledi, da poleg prostorske ločljivosti posnetkov (4,3 cm) na položajno točnost ortofota najverjetneje vpliva tudi število in razporeditev oslonilnih točk na terenu. Za boljšo položajno točnost bi bilo smiselno uporabiti še kakšno

odstopanj pri kontroli ortofota v prilogi C.

Preglednica 3: Odstopanja kontrolnih točk

št. točke	KOPTER			LETALO			vrsta
	$\Delta e$ [cm]	$\Delta n$ [cm]	vektor [cm]	$\Delta e$ [cm]	$\Delta n$ [cm]	vektor [cm]	
1	-1	0	1.2	5	-4	6.4	vogal jaška
2	1	-1	1.4	12	-7	13.9	vogal jaška
3	0	-5	4.6	-2	-14	14.3	rob kamna
4	3	3	4.0	5	-11	11.7	rob kamna
5	1	-3	3.2	-5	-12	13.3	rob kamna
6	-1	1	1.4	1	-7	7.4	rob kamna
7	-2	-1	2.5	-2	-17	16.8	rob kamna
8	1	-2	2.4	6	-5	7.9	vogal jaška
9	-1	-2	2.1	-3	-9	9.7	vogal jaška
10	2	-1	2.4	1	-7	7.6	vogal jaška

#### 4.4 Analiza vplivov na končne izdelke

V našem primeru smo imeli nekoliko različne vhodne podatke in na koncu tudi različne izdelke (DMP in ortofoto), sicer so bili posnetki zajeti v istem dnevu in v istih pogojih. Izdelki se razlikujejo predvsem v prostorski ločljivosti (vpliv različnih snemalnih višin). Radiometrično ločljivost posnetkov ni bilo smiselno analizirati predvsem zaradi približno enake oblike histogramov obeh vrst ortofota. Iz tega lahko sumimo, da sta bila ortofota v predhodni obdelavi popravljena na območjih senc, temnih ter svetlih območij, vendar točnega podatka o tem nimamo.

Posledica različne prostorske ločljivosti je razlika v položajni točnosti ortofotov (pri ortofotu LETALO je položajna točnost precej slabša kot pri ortofotu KOPTER) in razlika v poteku ploskve DMP-ja (zaradi slabše ločljivosti je v oblaku točk LETALO določeno večje število točk, ki vplivajo na potek ploskve). Iz dobljenih rezultatov našega študijskega območja sklepamo, da na končno kakovost izdelka močno vpliva prostorska ločljivost posnetkov. Bolj objektivno primerjavo obeh letalnikov pa bi lahko izdelali, če bi imeli izdelke izdelane s popolnoma enakimi vhodnimi podatki.



Slika 19: Prikaz napak na ortofotu LETALO (izsek iz študijskega omočja)

Na sliki 19 smo povečano prikazali izsek iz ortofota, ki prikazuje nekaj napak na ortofotu LETALO. Zamegljeno območje A prikazuje brežino jame. Posledica tega, da so strma območja na ortofotu zamegljena, je v značilnosti centralne projekcije. Med snemanjem je gradbeni stroj sicer miroval, ampak sta kabina in roka gradbenega stroja dvakrat prikazani (območje B) zaradi pojava t.i. dvojnega kartiranja, kar je pogosta napaka zaradi neustrezno definiranega površja.

Zgoraj navedene napake ne vplivajo na splošno položajno točnost ortofota kot izdelka, temveč kažejo na možna večja lokalna odstopanja.

## 5 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo na študijskem primeru analizirali kakovost digitalnega modela površja in ortofota, narejenih z dvema različnima letalnikoma. Glede na različne vhodne podatke pri izdelavi obeh vrst ortofota (predvsem različna prostorska ločljivost posnetkov) nismo mogli neposredno primerjati zmožnosti obeh letalnikov za izvedbo konkretne naloge, temveč smo lahko le analizirali končne izdelke.

Na podlagi izvedenih analiz smo prišli do naslednjih ugotovitev. Položajna točnost ortofota je precej odvisna od prostorske ločljivosti posnetkov ter od razporeditve in števila oslonilnih točk. Prav tako je prostorska ločljivost zelo pomemben element, ki vpliva na kakovost višin v digitalnem modelu površja. Slabša ločljivost posnetkov pomeni posplošen in manj točen potek DMP-ja. V našem primeru je srednja vrednost odstopanj od referenčne ploskve za primer DMP LETALO znašala približno 80 cm, za DMP KOPTER pa približno 25 cm.

Če upoštevamo samo delovanje letalnikov, se pri letalnikih vrste kopter le-ta pri fotografiranju rahlo ustavi v zraku, tako da je vpliv premikanja minimalen. Pri letalnikih vrste letalo to ni možno, saj zaradi svoje male teže letalniki samodejno letijo v zraku in sproti sprožajo posnetke. Analizo vplivov premikanja platforme na kakovost posnetkov bi lahko v prihodnosti tudi bolj raziskali, v našem primeru pa za takšno analizo nismo imeli ustreznih vhodnih podatkov.

Brezpilotni letalniki v geodeziji predstavljajo nov vir za masovni zajem prostorskih podatkov. Glede na določene omejitve so letalniki za zdaj uporabni samo za snemanja manjših območij, vendar podatke lahko pridobimo v relativno kratkem času. Namreč od terenskega snemanja do uporabnih izdelkov, ki jih lahko uporabimo za nadaljnje analize, poteče precej manj časa, kot če bi uporabili podatke iz konvencionalnega zračnega snemanja. Z nadaljnjim tehnološkim razvojem se bo uporaba brezpilotnih letalnikov v civilne namene veliko bolj razširila, kar bo treba regulirati z določenimi pravnimi akti.

## VIRI

Bitenc, M. 2014. Brezpilotni letalniki – od igrače do večnamenskih robotov. Geodetski vestnik 58, 1: 155-158.

Bric, V., Grigillo, D., Kosmatin Fras, M. 2007. Fotogrametrija. Programska zasnova in priprava gradiv za izvedbo strokovnega dela izpita iz geodetske stroke. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije, Matična sekcija geodetov: 21 f.

Devriendt, L., Bonne, J. 2014. UAS Mapping as an alternative for land surveying techniques?. Lokeren, Orbit GeoSpatial Technologies, Photogrammetry Department: 39-45.

<http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-3-W1/39/2014/isprsarchives-XL-3-W1-39-2014.pdf> (Pridobljeno: 1.6.2014.)

Kosmatin Fras, M. 2004. Vpliv kakovosti vhodnih podatkov na kakovost ortofota. Geodetski vestnik 48, 2: 167-178.

Kraus, K. 2007. Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans, Volume 2. Berlin, Walter de Gruyter: 459 str.

MeshLab. 2014 <http://en.wikipedia.org/wiki/MeshLab> (Pridobljeno: 23.6.2014.)

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

Riđić, M. 2012. Izdelava in ocena kakovosti popolnega ortofota. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Riđić): 71 f.

Sensefly eBee. 2014.

[https://www.sensefly.com/fileadmin/user\\_upload/images/eBee-BROCHURE.pdf](https://www.sensefly.com/fileadmin/user_upload/images/eBee-BROCHURE.pdf) (Pridobljeno: 1.6.2014.)

Skrzypietz, T. 2012. Unmanned Aircraft Systems for Civilian Missions. Potsdam, Brandenburg Institute for Society and Security, BIGS Policy Paper No.1: 28 str.

## VIRI SLIK

Earth Observation Portal, 2014.

[https://directory.eoportal.org/image/image\\_gallery?uuid=e78507d3-f171-4611-a5df-0d3529fe9c49&groupId=163813&t=1358949962570](https://directory.eoportal.org/image/image_gallery?uuid=e78507d3-f171-4611-a5df-0d3529fe9c49&groupId=163813&t=1358949962570) (Pridobljeno: 31.7.2014.)

Geopedia, 2014.

[http://geopedia.si/#T105\\_x460204\\_y101092\\_s14\\_b4](http://geopedia.si/#T105_x460204_y101092_s14_b4) (Pridobljeno: 22.6.2014)

Gizmag, 2014.

<http://www.gizmag.com/sensefly-ebec-uav/25851/> (Pridobljeno: 1.6.2014.)

Kraus, K., Harley, I., Kyle, S. (prev) 2007. Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans, Volume 2. Berlin, Walter de Gruyter: str. 317, 374, 368.

*Ta stran je namenoma prazna.*

## **SEZNAM PRILOG**

### **PRILOGA A: Ortofoto**

Priloga A.1: Ortofoto KOPTER

Priloga A.2: Ortofoto LETALO

### **PRILOGA B: Pre ni profili**

Priloga B.1: Profil P1 s pripadajo imi višinami DMP-jev

Priloga B.2: Profil P2 s pripadajo imi višinami DMP-jev

Priloga B.3: Profil P3 s pripadajo imi višinami DMP-jev

Priloga B.4: Profil P4 s pripadajo imi višinami DMP-jev

Priloga B.5: Profil P5 s pripadajo imi višinami DMP-jev

Priloga B.6: Profil P6 s pripadajo imi višinami DMP-jev

Priloga B.7: Profil P7 s pripadajo imi višinami DMP-jev

### **PRILOGA C: Vektorji odstopanj pri kontoli ortofota**



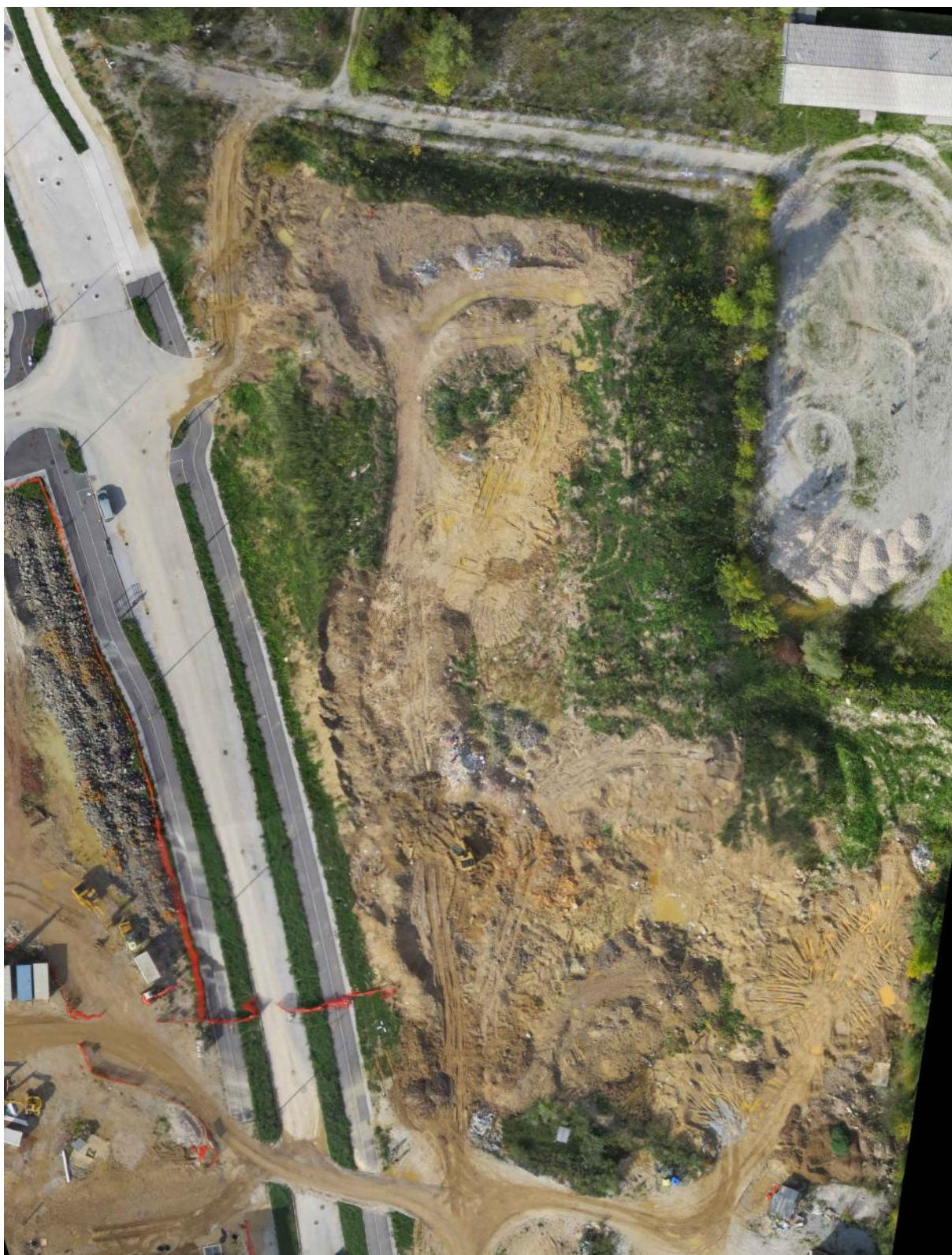
## Priloga A.1: Ortofoto KOPTER

Merilo = 1:1000






## Priloga A.2: Ortofoto LETALO

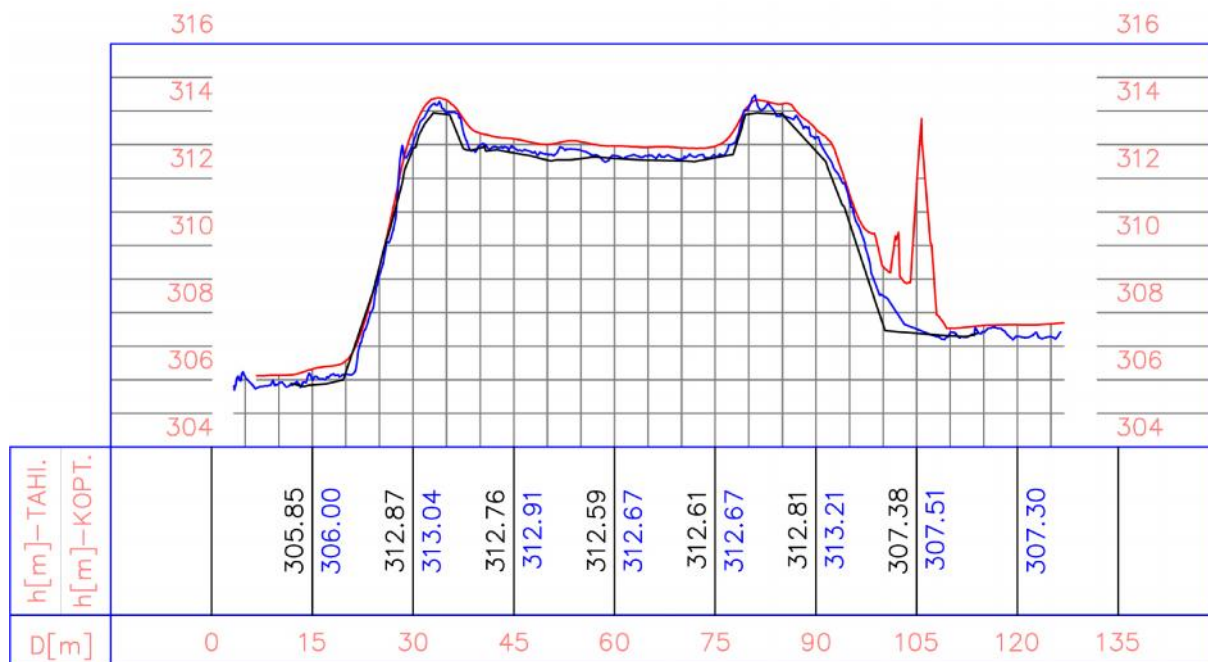
Merilo = 1:1000



Priloga B.1: Profil P1 s pripadajo imi višinami DMP-jev

Profil digitalnih modelov površja  
 P1




Legenda	
	Digitalni model površja - TAHIMETER
	Digitalni model površja - KOPTER
	Digitalni model površja - LETALO

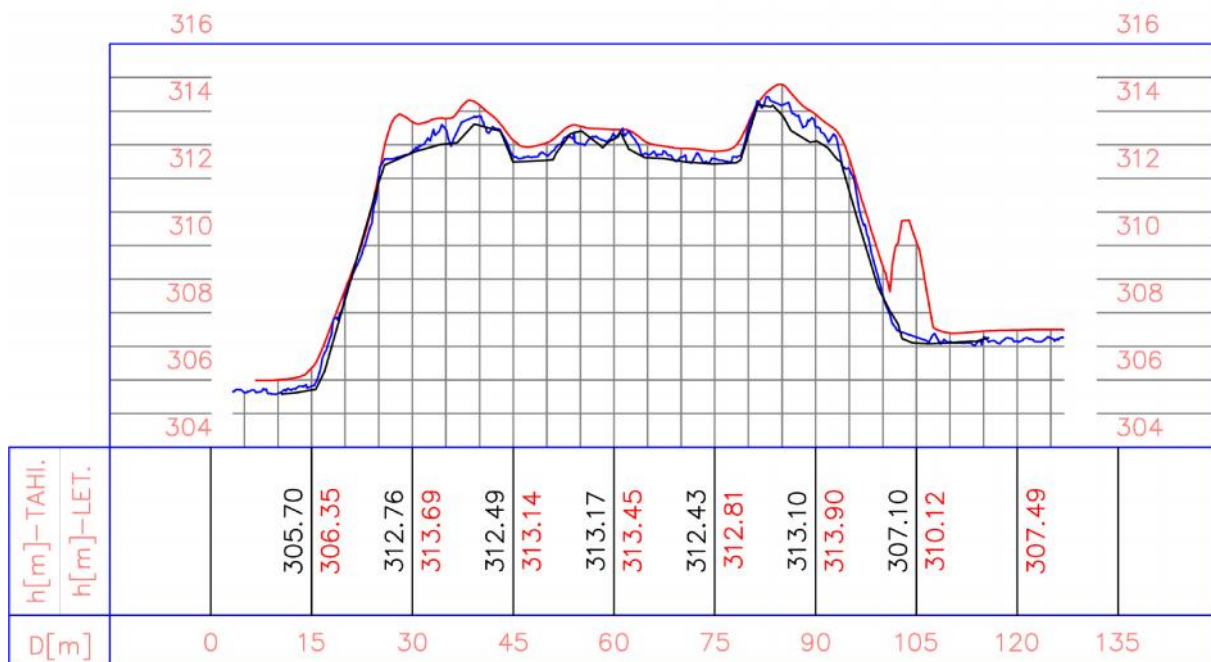


Profil P1 stacionaža [m]	višina [m]			razlika [m]	
	TAHIMETER	KOPTER	LETALO	KOPTER	LETALO
15	305,85	306,00	306,32	0,15	0,47
30	312,87	313,04	313,45	0,17	0,58
45	312,76	312,91	313,17	0,15	0,41
60	312,59	312,67	312,96	0,08	0,37
75	312,61	312,67	312,95	0,06	0,34
90	312,81	313,21	313,46	0,39	0,65
105	307,38	307,51	311,75	0,13	4,37
120		307,30	307,64		

Priloga B.2: Profil P2 s pripadajo imi višinami DMP-jev

Profil digitalnih modelov površja  
 P2




Legenda	
	Digitalni model površja - TAHIMETER
	Digitalni model površja - KOPTER
	Digitalni model površja - LETALO

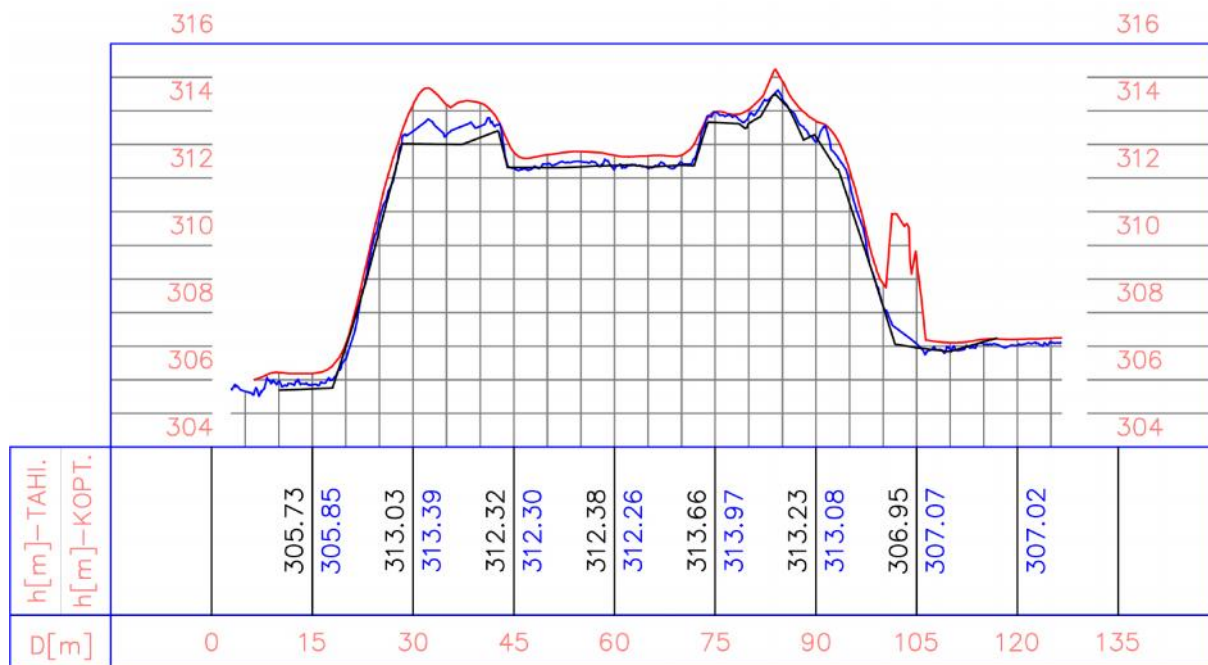


Profil P2 stacionaža [m]	višina [m]			razlika [m]	
	TAHIMETER	KOPTER	LETALO	KOPTER	LETALO
15	305,70	305,82	306,35	0,12	0,65
30	312,76	312,80	313,69	0,04	0,93
45	312,49	312,66	313,14	0,17	0,65
60	313,17	313,30	313,45	0,13	0,28
75	312,43	312,58	312,81	0,15	0,38
90	313,10	313,54	313,90	0,44	0,80
105	307,10	307,27	310,12	0,17	3,02
120		307,16	307,49		

Priloga B.3: Profil P3 s pripadajo imi višinami DMP-jev

Profil digitalnih modelov površja  
 P3




Legenda	
	Digitalni model površja - TAHIMETER
	Digitalni model površja - KOPTER
	Digitalni model površja - LETALO

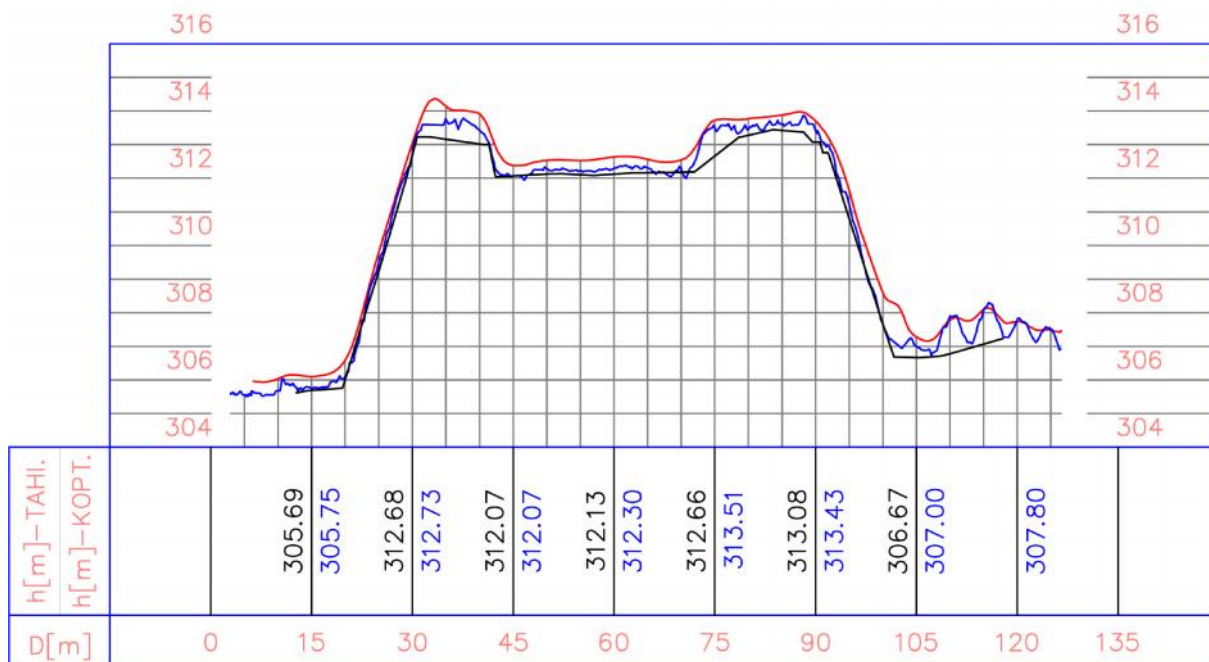


Profil P3 stacionaža [m]	višina [m]			razlika [m]	
	TAHIMETER	KOPTER	LETALO	KOPTER	LETALO
15	305,73	305,85	306,19	0,12	0,46
30	313,03	313,39	314,18	0,36	1,15
45	312,32	312,30	312,78	-0,02	0,46
60	312,38	312,26	312,68	-0,12	0,30
75	313,66	313,97	313,97	0,31	0,31
90	313,23	313,08	313,69	-0,15	0,46
105	306,95	307,07	309,58	0,12	2,63
120		307,02	307,20		

Priloga B.4. Profil P4 s pripadajo imi višinami DMP-jev

Profil digitalnih modelov površja  
 P4




Legenda	
	Digitalni model površja - TAHIMETER
	Digitalni model površja - KOPTER
	Digitalni model površja - LETALO

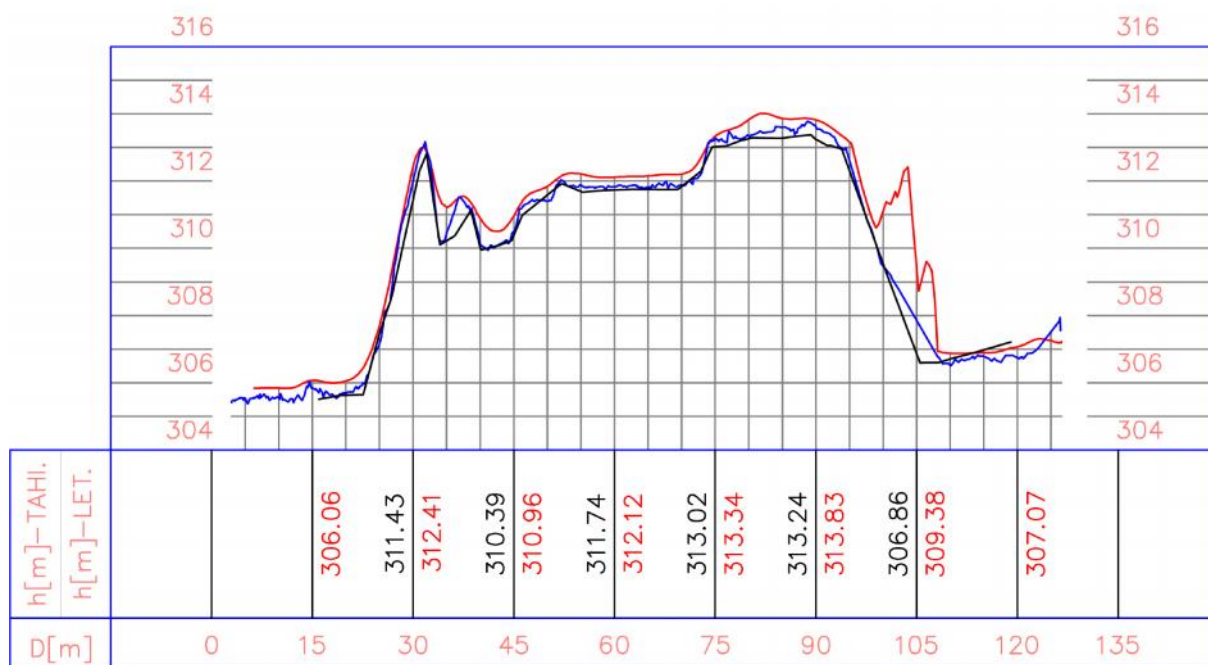


Profil P4 stacionaža [m]	višina [m]			razlika [m]	
	TAHIMETER	KOPTER	LETALO	KOPTER	LETALO
15	305,69	305,75	306,10	0,06	0,41
30	312,68	312,73	313,05	0,05	0,37
45	312,07	312,07	312,39	0,00	0,32
60	312,13	312,30	312,63	0,17	0,50
75	312,66	313,51	313,72	0,85	1,06
90	313,08	313,43	313,70	0,35	0,62
105	306,67	307,00	307,28	0,33	0,61
120		307,80	307,74		

Priloga B.5: Profil P5 s pripadajo imi višinami DMP-jev

Profil digitalnih modelov površja  
 P5




Legenda	
	Digitalni model površja - TAHIMETER
	Digitalni model površja - KOPTER
	Digitalni model površja - LETALO

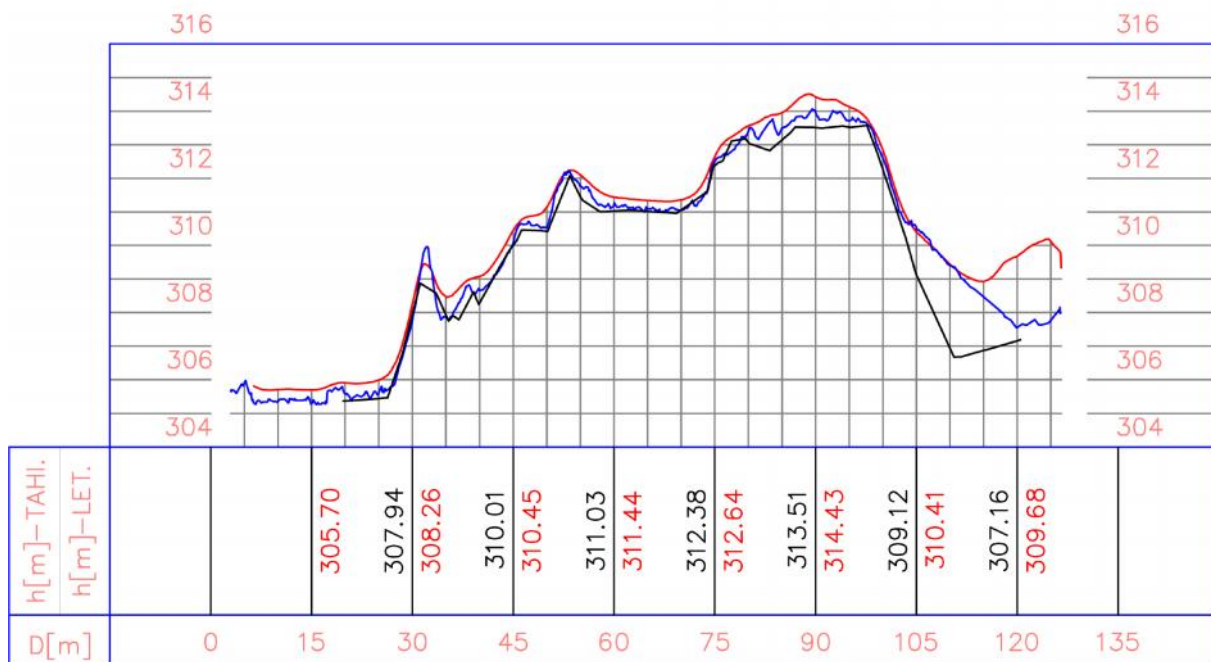


Profil P5 stacionaža [m]	višina [m]			razlika [m]	
	TAHIMETER	KOPTER	LETALO	KOPTER	LETALO
15		305,85	306,06		
30	311,43	311,99	312,41	0,56	0,98
45	310,39	310,51	310,96	0,12	0,57
60	311,74	311,83	312,12	0,09	0,38
75	313,02	313,26	313,34	0,24	0,32
90	313,24	313,62	313,83	0,38	0,59
105	306,86	307,86	309,38	1,00	2,52
120		306,74	307,07		

Priloga B.6: Profil P6 s pripadajo imi višinami DMP-jev

Profil digitalnih modelov površja  
 P6

Legenda	
	Digitalni model površja - TAHIMETER
	Digitalni model površja - KOPTER
	Digitalni model površja - LETALO






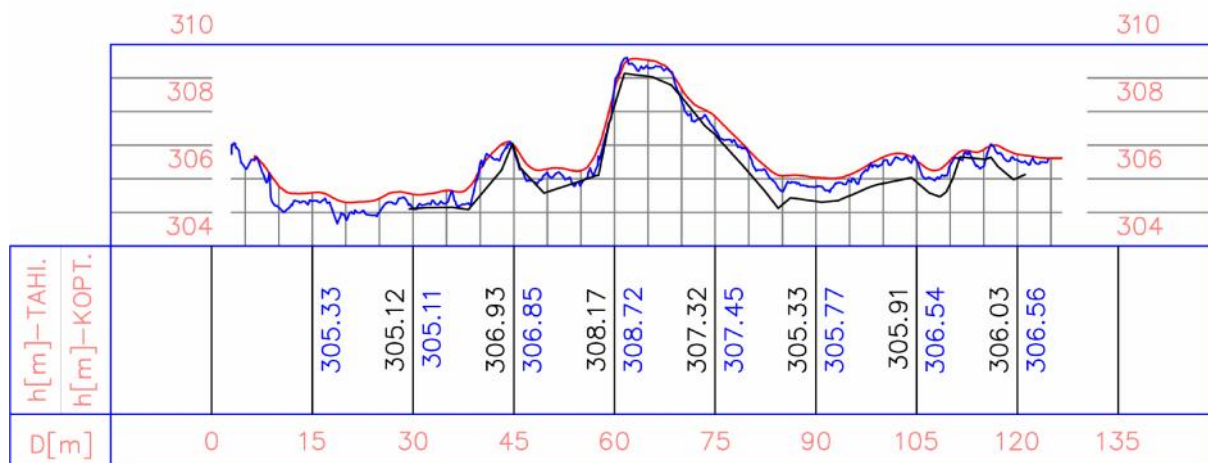
Profil P6 stacionaža [m]	višina [m]			razlika [m]	
	TAHIMETER	KOPTER	LETALO	KOPTER	LETALO
15		305,29	305,70		
30	307,94	307,77	308,26	-0,17	0,32
45	310,01	310,08	310,45	0,07	0,44
60	311,03	311,23	311,44	0,20	0,41
75	312,38	312,50	312,64	0,12	0,26
90	313,51	313,98	314,43	0,47	0,92
105	309,12	310,53	310,41	1,41	1,29
120	307,16	307,56	309,68	0,40	2,52



Priloga B.7: Profil P7 s pripadajo imi višinami DMP-jev

Profil digitalnih modelov površja  
 P7

Legenda	
	Digitalni model površja - TAHIMETER
	Digitalni model površja - KOPTER
	Digitalni model površja - LETALO



Profil P7 stacionaža [m]	višina [m]			razlika [m]	
	TAHIMETER	KOPTER	LETALO	KOPTER	LETALO
15		305,33	305,59		
30	305,12	305,11	305,54	-0,01	0,42
45	306,93	306,85	307,01	-0,08	0,08
60	308,17	308,72	308,64	0,55	0,47
75	307,32	307,45	307,85	0,13	0,53
90	305,33	305,77	306,05	0,44	0,72
105	305,91	306,54	306,54	0,63	0,63
120	306,03	306,56	306,74	0,53	0,71

Priloga C. Vektorji odstopanj pri kontroli ortofota (podlaga ortofoto KOPTER)

Merilo = 1:1000

