

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:

Roškar, Ž., 2014. Izdelava geodetskega
načrta iz bližnjelikovnih aeroposnetkov.
Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v
Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in
geodezijo. (mentorica Kosmatin Fras, M.,
somentor Grigillo, D.): 29 str.

Datum arhiviranja: 13-10-2014

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



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

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

This is original version of final thesis.

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

Roškar, Ž., 2014. Izdelava geodetskega
načrta iz bližnjelikovnih aeroposnetkov.
B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of
Ljubljana, Faculty of civil and geodetic
engineering. (supervisor Kosmatin Fras,
M., co-supervisor Grigillo, D.): 29 pp.

Archiving Date: 13-10-2014

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GEODEZIJA IN
GEOINFORMATIKA

Kandidat:

ŽIGA ROŠKAR

**IZDELAVA GEODETSKEGA NAČRTA IZ
BLIŽNJESLIKOVNIH AEROPOSNETKOV**

Diplomska naloga št.: 55/GIG

**GENERATION OF A GEODETIC PLAN FROM CLOSE-
RANGE AERIAL IMAGES**

Graduation thesis No.: 55/GIG

Mentorica:

doc. dr. Mojca Kosmatin Fras

Predsednik komisije:

prof. dr. Bojan Stopar

Somentorja:

asist. dr. Dejan Grigillo

asist. Tilen Urbančič

Ljubljana, 02. 09. 2014

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

»Ta stran je namenoma prazna«

IZJAVE

Podpisani Žiga Roškar izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Izdelava geodetskega načrta iz bližnjleslikovnih aeroposnetkov«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 20. 8. 2014.

Žiga Roškar

»Ta stran je namenoma prazna«

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK: 528.837:629.73(497.4)(043.2)
Avtor: Žiga Roškar
Mentor: doc. dr. Mojca Kosmatin Fras
Somentor: asist. dr. Dejan Grigillo
asist. Tilen Urbančič, univ. dipl. inž. geod.
Naslov: Izdelava geodetskega načrta iz bližnjleslikovnih aeroposnetkov
Tip dokumenta: Diplomaska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema: 29 str., 2 pregl., 13 sl., 4 pril.
Ključne besede: geodetski načrt, mali brezpilotni letalniki, fotogrametrični oblak točk, oblak točk terestričnega laserskega skeniranja, RiSCAN PRO

Izvleček

V zadnjem obdobju se je pojavil trend naraščanja uporabe malih brezpilotnih letalnikov na različnih področjih civilne uporabe. Fotogrametrično snemanje z malimi brezpilotnimi letalniki omogoča pridobitev aeroposnetkov visoke prostorske ločljivosti za manjša območja, ki se lahko uporabijo za izdelavo fotogrametričnega oblaka točk in ortofota.

V nalogi smo preizkusili uporabnost takšnega sistema za snemanje in izdelavo geodetskega načrta manjšega urbanega območja. Pri tem nas je predvsem zanimalo, katere detajle geodetskega načrta se iz tako pridobljenih podatkov lahko zajame, kje so prednosti in omejitve ter morebitne težave. Detajl smo zajemali iz fotogrametričnega oblaka točk s programom RiSCAN PRO v dveh korakih. V prvem koraku smo detajl zajeli zgolj iz fotogrametričnega oblaka točk, v drugem koraku pa smo si za interpretacijo vsebine pomagali z ortofotom. Naredili smo tudi primerjavo med zajetimi podatki iz fotogrametričnega oblaka in podatki terestričnega laserskega skeniranja. Po vseh korakih zajema smo izdelali geodetski načrt. Končne ugotovitve in oceno uporabnosti bližnjleslikovnih aeroposnetkov za izdelavo geodetskega načrta smo podali v zaključku.

»Ta stran je namenoma prazna«

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 528.837:629.73(497.4)(043.2)
Author: Žiga Roškar
Supervisor: Assist. Prof. Mojca Kosmatin Fras, Ph.D.
Co-advisor: Assist. Dejan Grigillo, Ph.D.
Assist. Tilen Urbančič, B.Sc. of geodesy
Title: Geodetic plan from close-range aerial images
Document type: Graduation Thesis – University studies
Scope and tools: 29 p., 2 tab., 13 fig., 4 ann.
Keywords: geodetic plan, small unmanned aerial vehicles, photogrammetric point cloud, terrestrial laser scanning point cloud, RiSCAN PRO

Abstract

Over the last couple of years the usage of small UAV (unmanned aerial vehicles) in various fields of civilian use has grown extensively. Photogrammetric image acquisition with small unmanned aerial vehicles allows us to acquire high spatial resolution images of small areas, which can be used for the production of photogrammetric point clouds and orthophotos.

In this graduation thesis we have examined the usefulness of a UAV system for data acquisition and the generation of a geodetic plan of a small urban area. We were focused to find out which details for the geodetic plan can be obtained from the data acquired by UAV, as well as to investigate the strengths, the limits and potential problems of the used method. The detail was acquired from the photogrammetric point cloud with the RiSCAN PRO software in two steps. In the first step, the detail was acquired only from the photogrammetric point cloud, in the second step, the orthophoto has been additionally used for interpretation of the contents. The comparison between the detail obtained from the photogrammetric point cloud and the data acquired by terrestrial laser scanning was done as well. After all these steps the geodetic plan was accomplished. Final observations and the evaluation of the usefulness of close-range aerial images for the generation of the geodetic plan are given in the conclusion.

»Ta stran je namenoma prazna«

ZAHVALA

Za pomoč in usmerjanje pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorici doc. dr. Mojci Kosmatin Fras. Zahvaljujem se tudi somentorjema asist. dr. Dejanu Grigillu in asist. Tilnu Urbančiču, ki sta s strokovnim vodenjem in številnimi koristnimi nasveti pripomogla h kvalitetni izvedbi praktičnega dela naloge.

Zahvalil bi se tudi podjetju Modri Planet d.o.o., za izvedbo snemanja in posredovanje potrebnih podatkov za izdelavo diplomske naloge.

»Ta stran je namenoma prazna«

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	MALI BREZPILOTNI LETALNIKI.....	3
3	GEODETSKI NAČRT	5
4	IZVEDBA TERENSKIH MERITEV IN UPORABLJENA OPREMA	7
4.1	Testno območje	7
4.2	Uporabljena oprema in terenske meritve	8
5	ZAJEM DETAJLA IN IZDELAVA GEODETSKEGA NAČRTA.....	10
5.1	Programska oprema	10
5.2	Potek dela	12
5.3	Zajem detajlov iz fotogrametričnega oblaka	15
5.3.1	Obodi streh.....	15
5.3.2	Obodi zunanjih sten stavb.....	16
5.3.3	Ceste in pločniki	17
5.3.4	Vegetacija.....	17
5.3.5	Meje vrste rabe.....	18
5.3.6	Žive meje in ograje	19
5.3.7	Pokrovi jaškov	19
5.3.8	Teren.....	19
5.4	Zajem detajlov z dodatno uporabo ortofota	20
5.5	Analiza.....	22
6	PRIMERJAVA IZDELKA S PODATKI TLS	24
7	ZAKLJUČEK.....	27
VIRI		29

»Ta stran je namenoma prazna«

KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz testnega območja; Radovljica, okolica osnovne šole Antona Tomaža Linharta. (Geopedia, 2014).....	7
Slika 2: Uporabljen brezpilotni letalnik Microdrones MD4-1000 z nameščenim fotoaparatom.	8
Slika 3: Odprt projekt v programu RiSCAN PRO.....	10
Slika 4: Orodna vrstica programa RiSCAN PRO.	11
Slika 5: Zajet obod strehe stavbe s prikazanimi ravninami in obrezano vsebino.....	15
Slika 6: Stanovanjska stavba z luknjo v oblaku točk med streho in terenom.	16
Slika 7: Praznina pod krošnjami dreves.	17
Slika 8: Primer zajema meje vrste rabe – vrta z višinskim odstopanjem.....	18
Slika 9: Zajeti spodnji in zgornji rob brežine.	19
Slika 10: Levo izrez iz fotogrametričnega oblaka, desno izrez iz ortofota z 2 centimetrsko prostorsko ločljivostjo.....	20
Slika 11: Na ortofotu razviden podaljšek obstoječe žive meje.	21
Slika 12: Izrez iz oblaka TLS levo in fotogrametričnega oblaka desno.	24
Slika 13: Izrez iz primerjalnega geodetskega načrta (priloga C.1).	25

»Ta stran je namenoma prazna«

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Nekatere tehnične lastnosti uporabljenega kvadrokopterja Microdrones MD4-1000. (Povzeto po: www.microdrones.com/products/md4-1000/md4-1000-technical-specification.php).....	9
Preglednica 2: Analiza uporabnosti fotogrametričnega oblaka točk in ortofota za zajem detajlov za izdelavo geodetskega načrta.....	22

»Ta stran je namenoma prazna«

1 UVOD

V zadnjem obdobju se je pojavil trend naraščanja uporabe malih brezpilotnih letalnikov (MBPL) ali angleško »small unmanned aerial vehicles« (SUAV) na različnih področjih civilne uporabe. Če je v preteklosti bila to domena vojske, se je z razvojem tehnologije in vse lažjih ter cenejših materialov drastično zmanjšala cena, ter posledično povečala dostopnost takšnih sistemov. Sodobni brezpilotni letalniki imajo vedno večje nosilnosti in tako predstavljajo primerno platformo za namestitev dodatnih zunanjih senzorjev, kot so fotoaparati in tudi laserski skenerji. S takšnim sistemom lahko zajemamo aeroposnetke, kar odpira številne možnosti uporabe brezpilotnih letalnikov tudi na področju geodezije, za fotogrametrični zajem prostorskih podatkov. Fotogrametrično snemanje z malimi brezpilotnimi letalniki omogoča pridobitev aeroposnetkov visoke prostorske ločljivosti za manjša območja, ki se lahko uporabijo za izdelavo fotogrametričnega oblaka točk in ortofota.

V nalogi nas zanima uporabnost takšnega sistema za snemanje in izdelavo geodetskega načrta manjšega urbanega območja. Pri tem nas predvsem zanima, katere detajle geodetskega načrta se iz tako pridobljenih podatkov lahko zajame, kje so prednosti ter kje so omejitve in težave.

Namen naloge je analizirati uporabnost fotogrametričnega oblaka točk in pripadajočega ortofota, pridobljenega iz bližnjih aeroposnetkov, zajetih z malimi brezpilotnimi letalniki, za zajem vsebine, ki se prikazuje na geodetskem načrtu. Geodetski načrt nima natančno določene vsebine, saj je le-ta odvisna od namena uporabe geodetskega načrta in je stvar dogovora med naročnikom storitve in izvajalcem – geodetskim podjetjem. Tako se v nalogi nismo osredotočali na popolnost vsebine, ampak smo poudarek dali na analizo zajemanja detajla iz fotogrametričnega oblaka točk. Za namene diplomske naloge smo v sodelovanju s podjetjem Modri planet izvedli snemanje testnega območja, ter tako pridobili podatke za obdelavo. Vhodni podatek za zajem detajla je bil fotogrametrični oblak točk, kateremu smo v nadaljevanju zgolj kot podlago za lažjo interpretacijo dodali še ortofoto. Naredili smo tudi primerjavo zajetega detajla z oblakom terestričnega laserskega skeniranja.

Diplomska naloga je sestavljena iz sedmih poglavij. Uvodni del naloge do četrtega poglavja predstavi male brezpilotne letalnike, opredeli geodetski načrt in predstavi testno območje ter uporabljeno opremo za zajem bližnjelikovnih aeroposnetkov in izvedbo terestričnega laserskega skeniranja. Praktični del naloge obdelave oblakov točk v programskem orodju pa je predstavljen od petega poglavja naprej. Peto, najboljšežnejše poglavje, smo razdelili na 5

podpoglavij, kjer smo predstavili potek dela od zajema do izrisa. Predstavili smo uporabljeno programsko opremo in podrobneje opisali postopek zajema posameznega tipa detajla, ki smo ga ločili na detajl, zajet iz fotogrametričnega oblaka, in detajl, zajet iz fotogrametričnega oblaka s pomočjo ortofota. Zadnje podpoglavje navaja ugotovitve opravljene analize zajema. Šesto poglavje predstavi primerjavo detajla, zajetega v prvem delu, z detajlom, zajetim iz oblaka terestričnega laserskega skeniranja. Diplomaska naloga se zaokroži z zaključkom, kjer smo povzeli končne ugotovitve o uporabnosti malih brezpilotnih letalnikov za zajem podatkov za izdelavo geodetskega načrta.

2 MALI BREZPILOTNI LETALNIKI

Uporaba malih brezpilotnih letalnikov v civilne namene skokovito narašča. Sistemi, ki so nekoč bili dragi in dostopni le vojski, ter namenjeni le vojaškim namenom, so danes postali vsesplošno razširjeni. Z razvojem tehnologije in pojavom odprtokodnih programov za načrtovanje in vodenje letov malih brezpilotnih letalnikov, se je odprla možnost izdelave in uporabe malih brezpilotnih letalnikov v civilne namene. (Brucas in sod., 2013)

Brepilotni letalniki so plovila, ki na krovu nimajo posadke oziroma pilota. Sama opredelitev se je skozi čas spreminjala, če je na začetku bil brezpilotni letalnik že prosto leteči model s pogonom na elastiko in kasneje daljinsko voden letalnik, je danes brezpilotni letalnik sistem, ki lahko avtonomno leti po vnaprej določeni trajektoriji leta oziroma bolj sofisticiran letalnik lahko z uporabo umetne inteligence sam izračuna pot in izvede zadani ukaz.

Sistem BPL za zajem prostorskih podatkov je sestavljen iz (Bitenc, 2014):

- letalnika z:
 - avtopilotom - »možgani letalnika«,
 - inercialno mersko enoto,
 - žiroskopom, pospeškometerom in barometrom,
 - GNSS sprejemnikom in kompasom,
 - visoko ločljivostnimi senzorji za zajem prostorskih podatkov.
- zemeljske postaje za nadzorovanje in načrtovanje leta ter za pridobivanje in obdelavo informacij,
- telemetričnega sistema za izmenjavo podatkov med letalnikom in zemeljsko postajo,
- naprav za lansiranje in pristajanje (odvisno od vrste letalnika).

Znotraj razreda majhnih brezpilotnih letalnikov, letalnike klasificiramo na letala ali angl. »fixed wing« plovila in kopterje ali angl. »rotary wing« plovila. Letala letijo s pomočjo dinamičnega vzgona zraka, kateri nastane zaradi premikanja aerodinamičnih kril skozi zrak. Tako letala dosegajo večje horizontalne hitrosti kot kopterji in posledično lahko preletijo večja območja. Se pa kopterji, zaradi svoje okretnosti, veliko bolje znajdejo na zaprtih območjih, kjer je omejen vzletno – pristajalni prostor, saj za vzlet ne potrebujejo horizontalne hitrosti, ker vzgonsko silo ustvarijo vertikalno usmerjeni rotorji. Kopterji se nadaljeo delijo na eno, dvo, štiri in multi rotorne kopterje.

Mali brezpilotni letalniki predstavljajo novo sfero zajemanja prostorski podatkov, saj, zaradi manjše višine leta, omogočajo pridobitev aeroposnetkov visoke prostorske ločljivosti.

Prednosti malih brezpilotnih letalnikov v primerjavi z letalom s posadko so v ceni sistema, ceni snemanja ter nižjimi stroški vzdrževanja. Prednost je tudi ta, da lahko na zemeljski kontrolni postaji v realnem času spremljamo podatke in tako je možna skoraj takojšna obdelava podatkov v primeru naravnih katastrof (poplav, zemeljskih plazov,...). Mali brezpilotni letalniki omogočajo letenje nad območji naravnih in drugih katastrof, kamor ne bi poslali plovila s človeško posadko.

Glavne slabosti malih brezpilotnih letalnikov pa so omejena nosilnost, dimenzije, čas letenja in doseg. Omejena nosilnost in dimenzija letalnika vplivata na izbiro senzorjev, tako se nameščajo komercialni fotoaparati ali kamere s senzorji manjšega ali srednjega formata in ne profesionalna fotogrametrična snemalna oprema. Nizkocenovni komercialni fotoaparati imajo manj stabilne parametre notranje orientacije in so manj odporni na zunanje vibracije, kar se kasneje odraža v slabši kakovosti zajetih aeroposnetkov. Omejena nosilnost vpliva na nujnost uporabe lažjih in preprostejših navigacijskih enot, kar vpliva na manj natančne podatke o orientaciji snemalnega sistema.

3 GEODETSKI NAČRT

V Pravilniku o geodetskem načrtu (objavljen v Uradnem listu RS, št. 40/2004) je geodetski načrt opredeljen kot prikaz fizičnih struktur in pojavov na zemeljskem površju, nad in pod njim v pomanjšanjem merilu po kartografskih pravilih.

Pravilnik določa vsebino, izdelavo in uporabo geodetskega načrta, ter podrobnejšo vsebino geodetskega načrta glede na namen uporabe. Glede na namen uporabe ločimo: geodetski načrt za pripravo projektne dokumentacije za graditev objekta, geodetski načrt novega stanja zemljišča in geodetski načrt za pripravo državnega in občinskega lokacijskega načrta.

Tako lahko geodetski načrt vsebuje podatke o:

- reliefu,
- vodah,
- rastlinstvu,
- stavbah,
- gradbenih inženirskih objektih,
- rabi zemljišč,
- zemljepisnih imenih,
- geodetskih točkah,
- zemljiških parcelah,
- administrativnih mejah in
- drugih fizičnih strukturah in pojavih.

Glede na namen uporabe geodetskega načrta se naročnik geodetskega načrta in geodetsko podjetje dogovorita, katere podatke vsebuje geodetski načrt, ter o podrobnosti in natančnosti le-teh.

Geodetski načrt je sestavljen iz grafičnega prikaza geodetskega načrta in certifikata geodetskega načrta. Grafični prikaz služi vizualni predstavitvi vsebine geodetskega načrta in se izdela v digitalni obliki. Običajno se grafični prikaz izriše tudi v analogni obliki na fizičnem nosilcu, pri čemer se za prikaz vsebine uporabljajo znaki, ki so določeni v Topografskem ključu (Hašaj in sod., 2006). Certifikat geodetskega načrta, ki ga podpiše odgovorni geodet, pa je potrdilo o skladnosti geodetskega načrta s predpisi, ki urejajo področje graditve objektov, urejanja prostora oziroma drugimi predpisi, ki urejajo izdelavo geodetskega načrta in z namenom uporabe geodetskega načrta. Certifikat geodetskega načrta med drugim

vsebuje podatke o namenu uporabe geodetskega načrta, podatke o vsebini in pogoje za uporabo geodetskega načrta.

Pravilnik določa, da se geodetski načrt izdela na podlagi podatkov uradnih evidenc. V primeru, da podatki uradnih evidenc ne ustrezajo (niso vzdrževani, dovolj natančni, ali so nepopolni), se potrebne podatke zajame z geodetsko izmero na terenu. Geodetski načrt se praviloma izdela v državnem koordinatnem sistemu D48/GK, vendar se kljub temu lahko izdela tudi v drugem koordinatnem sistemu. Takrat je to potrebno navesti v certifikatu, pri pogojih za uporabo geodetskega načrta in definirati navezavo na državni koordinatni sistem.

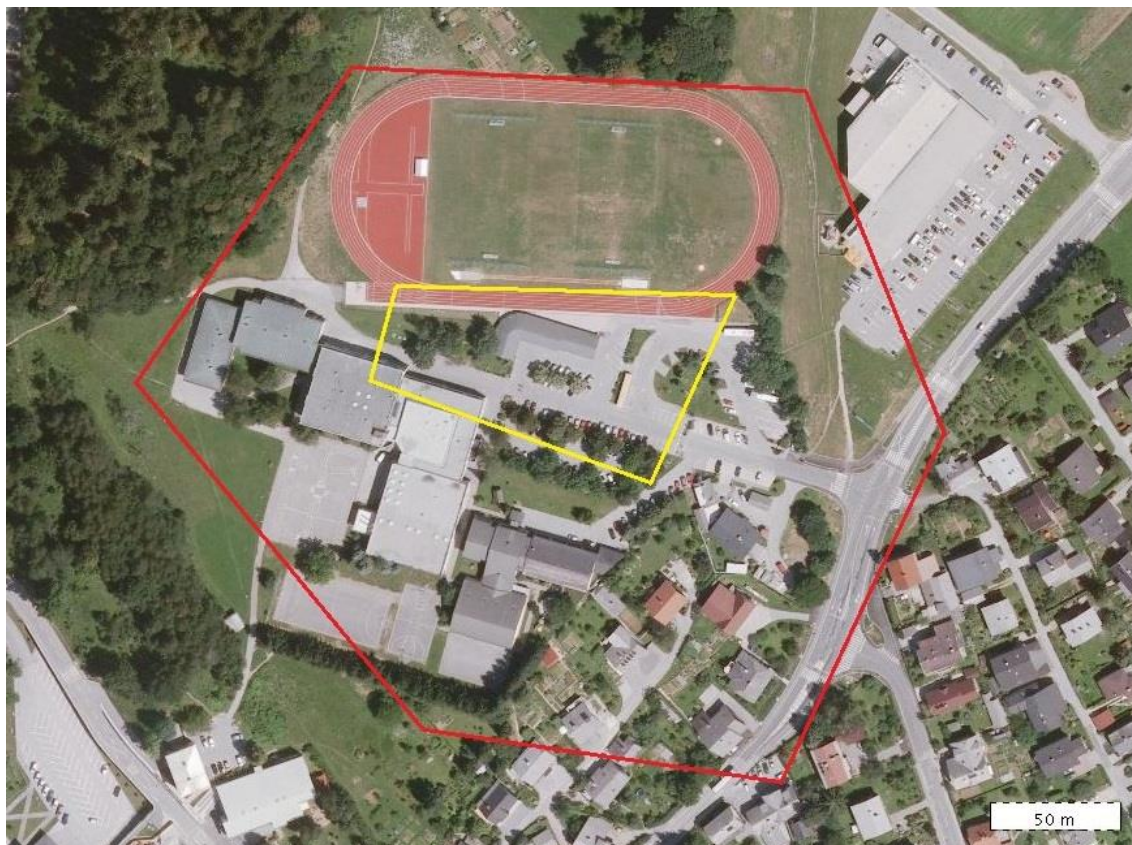
Cilj naloge je izdelati geodetski načrt, po posameznih fazah zajema, katerih vsebina je zajeta iz fotogrametričnega oblaka točk. Pri izdelavi geodetskega načrta se ne bomo omejevali s predpisano vsebino, ampak bomo prikazali ves detajl, ki smo ga lahko zajeli. Geodetski načrt pa bomo izdelali v skladu s Pravilnikom o geodetskem načrtu in predpisanem Topografskem ključu.

4 IZVEDBA TERENSKIH MERITEV IN UPORABLJENA OPREMA

Za izdelavo diplomske naloge smo 10. maja 2014, v sodelovanju s podjetjem Modri planet d.o.o., izvedli terenske meritve oziroma snemanje testnega območja v Radovljici. Za zajem aeroposnetkov se je uporabil brezpilotni letalnik – kvadrokopter podjetja Modri planet. Sočasno pa smo na manjšem delu testnega območja izvedli skeniranje s terestričnim laserskim skenerjem.

4.1 Testno območje

Za testno območje smo izbrali območje v okolici Osnovne šole Antona Tomaža Linharta v Radovljici. Območje, ki je na spodnji sliki 1 označeno z rdečim obodom, pokriva približno 62 000 kvadratnih metrov površine, na njem pa se nahajajo osnovna šola, površine za rekreacijo (atletska steza, športna igrišča), območje stanovanjskih hiš, parkirišče, ceste in manjši vrtovi. Na območju najdemo tudi pokrove jaškov, obcestne svetilke, utrjena dvorišča, drevesa in grme.



Slika 1: Prikaz testnega območja; Radovljica, okolica osnovne šole Antona Tomaža Linharta.
(Geopedia, 2014).

Testno območje smo obrezali tako da ni bilo preveliko, a je vseeno nudilo veliko različnih tipov detajla za zajem. Tako smo območje na severu omejili s severnim robom atletske steze, na jugovzhodu mejo območja definira Kranjska cesta, na severozahodu pa rob gozda. Na jugu je meja testnega območja nekoliko južneje od kompleksa igrišč za osnovno šolo, tako da v območje pade stanovanjska soseska ob Kosovelovi cesti. Severozahodni vogal testnega območja je v državnem D96 koordinatnem sistemu določen z naslednjima koordinatama (436480, 134565) metrov. V smeri koordinatne osi N oziroma projekcijskega severa območje meri približno 280 metrov, v smeri koordinatne osi E (vzhod-zahod) pa približno 300 metrov.

Znotraj opisanega testnega območja smo na manjšem območju pred osnovno šolo, ki je na sliki 1 označeno z rumenim obodom, izvedli terestrično lasersko skeniranje.

4.2 Uporabljena oprema in terenske meritve

Aeroposnetki so bili zajeti s komercialnim fotoaparatom Olympus E-P2, ki ima nameščen senzor dimenzij 18 x 13,5 mm in geometrično ločljivostjo 12 milijonov slikovnih točk. Fotoaparat ima fiksni objektiv z goriščno razdaljo 17 mm. Nosilno platformo fotoaparata je predstavljal štiri rotorni kopter oziroma tako imenovani kvadrokopter nemškega proizvajalca Microdrones, model MD4-1000.



Slika 2: Uporabljen brezpilotni letalnik Microdrones MD4-1000 z nameščenim fotoaparatom.

Preglednica 1: Nekatere tehnične lastnosti uporabljenega kvadrokopterja Microdrones MD4-1000.
(Povzeto po: www.microdrones.com/products/md4-1000/md4-1000-technical-specification.php)

Masa letalnika	2650 gramov
Nosilnost	1200 gramov (priporočena obtežba 800 gramov)
Največja vertikalna hitrost	7,5 m/s
Največja horizontalna hitrost	15,0 m/s
Trajanje leta z eno baterijo	88 minut (odvisno od obtežbe, vetra, baterije)
Baterija	22,2 V; 12,2 Ah
Največji sunki vetra	do 6 m/s
Premer med osema rotorja	1030 mm

Kvadrokopter je letel 80 metrov nad terenom, prostorska ločljivost zajetih aeroposnetkov je približno 2 centimetra. Med poletom je kvadrokopter v horizontalni smeri letel s hitrostjo 4,5 m/s in se je v trenutkih fotografiranja ustavljal, saj je tako zajem fotografij zaradi mirovanja in posledično manjše frekvence vrtenja rotorjev kakovostnejši. Let je trajal približno 23 minut in v tem času je kvadrokopter posnel 98 aeroposnetkov. Za zunanjo orientacijo bloka aeroposnetkov se je izvedla GNSS RTK (angl. Real Time Kinematic) izmera oslonilnih točk, ki so bile s posebnimi tarčami začasno stabilizirane na terenu.

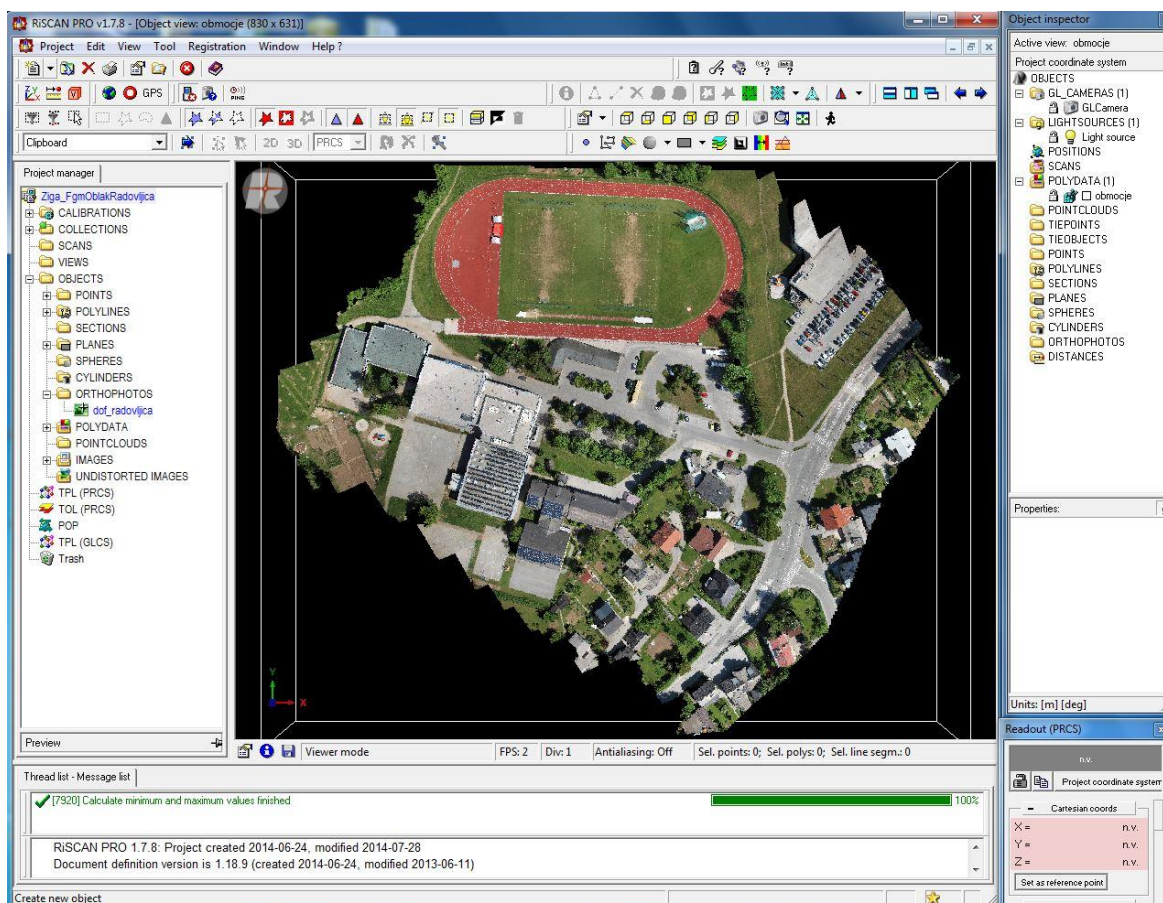
Za terestrično lasersko skeniranje smo uporabili Riegl-ov laserski skener VZ-400, s katerim razpolagamo na fakulteti. Skeniranje smo izvedli na parkirišču in delu atletske steze na severni strani osnovne šole. Območje je razvidno na sliki 2, kjer je označeno z rumeno barvo. S štirih stojišč smo zajeli štiri oblake točk, ki so se kasneje združili v en terestrični oblak točk, ki je bil transformiran v državni D96/TM koordinatni sistem.

5 ZAJEM DETAJLA IN IZDELAVA GEODETSKEGA NAČRTA

5.1 Programska oprema

Za prikazovanje in obdelavo oblakov točk je na trgu kar nekaj programov, nekateri od njih so tudi prosto dostopni. Pri izbiri programa smo se odločali med Autodesk-ovo različico AutoCAD-a Civil 3D 2015 in Riegl-ovim programom RiSCAN PRO v1.7.8. Po preizkusu obeh programov s testnim oblakom točk, smo se odločili za zajem detajla v programu RiSCAN PRO. Glaven razlog je tičal v enostavni manipulaciji oblaka točk, saj je RiSCAN PRO že v osnovi namenjen za delo z oblaki točk, Autodesk-ovem Civil-u pa je to dodatno področje, saj izhaja iz programa za tehnično risanje (CAD).

RiSCAN PRO je programska oprema avstrijskega proizvajalca laserskih skenerjev: Riegl Laser Measurement system. Program se uporablja pri izvajanju terenskih meritev za vodenje opravi skenerja in v pisarni za obdelavo podatkov. Tako smo omenjeni program uporabili na terenu za izvedbo terestričnega laserskega skeniranja, kakor kasneje za zajem detajla iz fotogrametričnega in terestričnega oblaka točk.



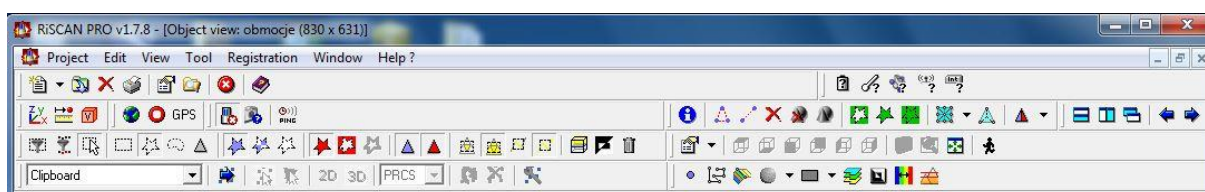
Slika 3: Odprt projekt v programu RiSCAN PRO.

Program je sestavljen iz več oken, ki jih lahko izbiramo v menijski vrstici pod zavihkom »View«. Na sliki 3 je na levem delu zaslona prikazano podolgovato okno »Project manager«. Kot samo ime pove se preko tega okna dostopa do vseh glavnih elementov projekta. V tem oknu smo dostopali do oblaka točk, posameznih izrezov iz oblaka, ter do zajetih točk – »Points« in poliliniij – »Polylines«. Prav tako smo preko tega okna izvozili zajete elemente.

Na sredini zaslona je glavno delovno okno ali okno pogleda. V tem oknu se prikazuje izbrana vsebina, naj bo to oblak točk, ustvarjena ravnina, zajeta poliliniija ali točka. S kombinacijami miškinih gumbov in premikov miške se lahko enostavno premikamo po oblaku točk in nastavljamo želeni pogled.

Na desni strani zaslona je okno za upravljanje z objekti – »Object inspector«. Preko tega okna se nastavljajo atributi prikazovanja objektov. To so barva zajete točke, poliliniije, način prikaza ravnin, ter tudi katere že zajete objekte želimo imeti prikazati v glavnem delovnem oknu.

Do vseh orodij, ki smo jih potrebovali v fazi zajemanja detajla, smo dostopali preko orodne vrstice, ki leži pod menijsko vrstico na vrhu zaslona, in je razvidna na spodnji sliki 4.



Slika 4: Orodna vrstica programa RiSCAN PRO.

Pri zajemanju smo uporabljali naslednja orodja.



»Polyline selection« - orodje za definiranje območja izbora s poliliniijami,



»Deselect area« - preklic trenutnega izbora,



»Create new polydata object« - orodje, ki iz izbranega območja tvori nov oblak točk.

S pomočjo teh treh orodij smo iz celotnega oblaka točk izrezali manjše območje, saj je bilo z manjšim oblakom lažje manipulirati in iz njega zajemati detajl.



»Create plane« - na podlagi predhodno izbranih točk izdelava ravnino, ki se najbolje prilega izboru. Za lažji zajem nekaterih objektnih tipov smo dodatno uporabili to orodje.



»Create point from geometry data« - orodje smo uporabljali za zajem točkovnih detajlov.



»Create polyline from geometry data« - orodje smo uporabljali za zajem linijskih in ploskovnih objektov, ki so definirani s polilinjami.

Pri izbiri programa za izris geodetskega načrta smo se odločili za GeoPro, saj ima že vgrajeno knjižnico topografskih znakov v skladu z veljavnim Topografskim ključem.

5.2 Potek dela

Potek dela smo razdelili na dva dela. Prvi del se nanaša na zajem detajla iz podatkov, pridobljenih z malim brezpilotnim letalnikom. Drugi del pa predstavlja zajem detajla iz podatkov terestričnega laserskega skeniranja.

Vhodni podatek za zajem v prvem delu je bil fotogrametrični oblak točk in pripadajoč ortofoto v D96/TM koordinatnem sistemu. Glavna lastnost fotogrametričnega oblaka točk je, da ima vsaka točka zraven podatka o položaju (prostorske koordinate X, Y, Z) tudi podatek o barvi, ki podan s tremi barvnimi komponentami (RGB), kar daje oblaku večjo informativno vrednost. Tako smo se odločili, da bomo iz fotogrametričnega oblaka detajl zajemali v dveh fazah. V prvi fazi smo detajl zajemali le iz oblaka, pri čemer smo detajl prepoznavali in zajemali na podlagi oblike bližnje okolice ter barve točk. V drugi fazi zajema pa smo fotogrametrični oblak podložili z georeferenciranim ortofotom. S tem smo želeli ugotoviti, katere tipe detajlov lahko zajamemo zgolj iz fotogrametričnega oblaka točk in koliko k interpretaciji fotogrametričnega oblaka doprinese ortofoto.

Potrebne podatke smo pridobili od podjetja Modri planet, ki je izvedlo snemanje. Rezultat snemanja s kvadrokopterjem je bil blok 98 aeroposnetkov, iz katerega so na podjetju izdelali fotogrametrični oblak točk in ortofoto. Postopek so izvedli v programu 3Dsurvey. Najprej se je izvedla zunanja orientacija bloka posnetkov, nato pa se je z metodo večslikovnega ujemanja izdelal fotogrametrični oblak točk. Za izdelavo ortofota se je v vmesnem koraku še izdelal digitalni model reliefa, ki je v bistvu interpoliran fotogrametrični oblak slikovnega ujemanja, iz katerega so izrezani gradbeno inženirski in drugi objekti, ki so nad ali pod nivojem terena.

Preden smo se lotili zajema detajla, smo si ogledali fotogrametrični oblak točk in se odločili, katere objektne tipe bomo poskušali zajeti.

Objektni tipi, ki smo jih poskušali zajeti:

- obod strehe,
- obod zunanjih sten stavb,
- cesta in pločnik,
- vegetacija (drevesa, grmi),
- meja vrste rabe (vrt, dvorišče, igrišče),
- živa meja in ograja,
- pokrov jaška,
- teren.

Zajemanja detajla iz oblaka točk smo se lotili nekoliko drugače, kot bi to počeli pri klasični terestrični geodetski izmeri ali GNSS izmeri. Pri terenskih meritvah bi hkrati zajemali različne objektne tipe na manjšem območju v dosegu posameznega stojišča in poskušali zajeti ves detajl. Pri digitalnem zajemanju iz oblaka točk pa smo na celotnem testnem območju zajeli vse detajle istega objektnega tipa, in nato prešli na naslednji tip detajla. Tako smo se odločili zaradi lažje organizacije dela, saj nam način zajema na računalniku omogoča, da lahko kadarkoli dostopamo do kateregakoli dela območja. Detajle smo zajemali točkovno ali s polilinjami, odvisno od objektnega tipa. Kjer se je dalo, smo detajl zajemali s polilinjami, da smo si prihranili nekaj dela s povezovanjem pri izrisu načrta. Tako ob zajemanju ni bilo potrebno risati skice, ampak smo vodili zgolj evidenco vsebine iz RiSCAN-a izvoženih datotek, da smo jih kasneje v postopku izrisa geodetskega načrta lahko uvažali direktno na pravi sloj v GeoPro. V drugi fazi smo fotogrametrični oblak točk podložili z ortofotom visoke prostorske ločljivosti 2 centimetrov. Ortofoto nam je pomagal pri interpretaciji vsebine, ki je nismo mogli prepoznati zgolj iz fotogrametričnega oblaka točk. Detajl smo zajeli po enakem principu kot v prejšnji fazi.

V drugem delu smo fotogrametrični oblak točk zamenjali s terestričnim oblakom točk, pridobljenim s TLS, ki ne vsebuje informacij o vrednosti barvnih komponent, vsebuje pa informacije o intenziteti odboja. Iz terestričnega oblaka točk smo zajeli referenčne točke detajlov, ki smo jih lahko zajeli tudi iz fotogrametričnega oblaka. Zajete referenčne točke so nam služile za primerjavo detajla zajetega iz fotogrametričnega oblaka in detajla zajetega iz terestričnega oblaka na ožjem testnem območju. Z namenom dopolnitve vsebine geodetskega načrta smo znotraj tega območja dodatno zajeli detajl, ki se ga ni dalo zajeti iz

fotogrametričnega oblaka. Zadnji korak praktičnega dela je bil izris geodetskega načrta v GeoPro-ju. Tega smo so lotili, ko je bil ves detajl zajet in po vsebini izvožen iz RiSCAN-a. Geodetski načrt testnega območja smo izrisali v merilu 1:1000, kar ustreza izrisu na listu A3 formata.

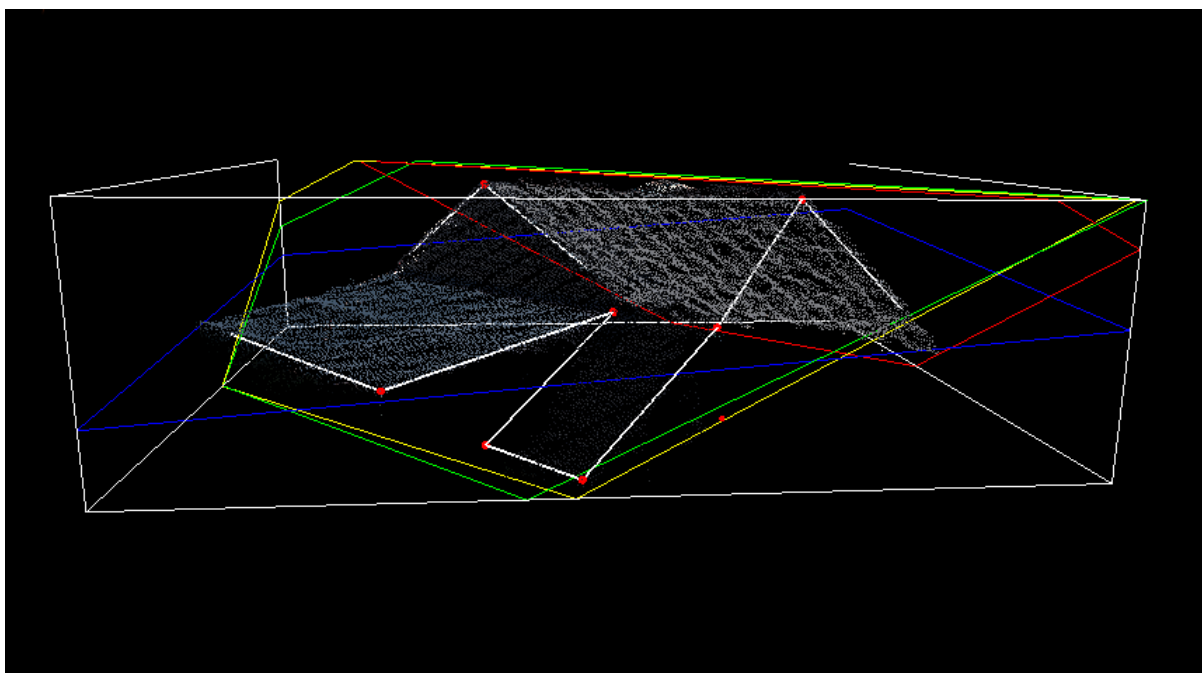
Geodetske načrte, izdelane iz različnih vhodnih virov, smo izrisali za vsako fazo posebej. Najprej smo izrisali geodetski načrt z vsebino, zajeto zgolj iz fotogrametričnega oblaka točk. V GeoPro smo iz RiSCAN-a na ustrezen sloj uvozili datoteke z zajetim detajlom. Ker smo večino ploskovnih in linijskih objektov zajemali s polilinijami, nismo imeli veliko dela s povezovanjem detajlnih točk. Uvoženim polilinijam in detajlnim točkam je bilo potrebno le izbrati ustrezen linijski oziroma točkovni simbol v skladu s Topografskim ključem. Nekatere identične detajlne točke (na primer pri objektih osnovne šole in pri kakšnem robniku) smo zajeli dvakrat, zato je bilo potrebno narediti nekaj prevezav polilinij. Za prikaz reliefa testnega območja na geodetskih načrtih smo interpolirali in izrisali plastnice iz detajlnih točk, ki so bile zajete na nivoju terena. Izrisan geodetski načrt z zajetim detajlom iz fotogrametričnega oblaka točk je priložen v prilogi A. V drugi fazi smo obstoječi geodetski načrt dopolnili z detajlom, zajetim s pomočjo ortofota. Dodan detajl smo prikazali z rdečo barvo. Geodetski načrt po drugi fazi zajema je priložen v prilogi B. Nato smo z namenom primerjave vsebinske popolnosti in položajne točnosti detajla, zajetega iz fotogrametričnega in terestričnega oblaka točk na ožjem testnem območju, izrisali še primerjalni geodetski načrt, na katerem smo poleg vsebine druge faze, prikazali še detajl, zajet iz terestričnega oblaka. Za razlikovanje vira zajetega detajla, smo vsebino prikazali z različnimi barvami in vzorci linijskih simbolov. Primerjalni geodetski načrt je priložen v prilogi C.1. Dopolnjen geodetski načrt z detajlom terestričnega laserskega skeniranja je končni izdelek diplomske naloge, in je priložen v prilogi C.2.

5.3 Zajem detajlov iz fotogrametričnega oblaka

V tem poglavju je na primerih predstavljen zajem nekaterih objektnih tipov iz fotogrametričnega oblaka točk. Geodetski načrt, izrisan po tej fazi zajema, je priložen v prilogi A.

5.3.1 Obodi streh

Pri zajemanju obodov streh na terenu bi s tahimetrom posneli slemena, kapi in frčade. Ker pa je oblak točk dobro definiral obliko strehe, smo zajeli tudi različne lome. Pred zajemom smo z orodji, ki so opisani v poglavju 5.1., izrezali posamezno stavbo, da je bilo manipuliranje z oblakom lažje. Prav tako smo obrezali vsebino, ki nas ni zanimala. Zajemanja smo se lotili s pomočjo ravnin, kar nam omogoča eno od orodij RiSCAN-a. Pred zajemom detajlnih točk, smo streho geometrijsko opisali z interpolacijo ravnine skozi nekaj izbranih točk na strehi.

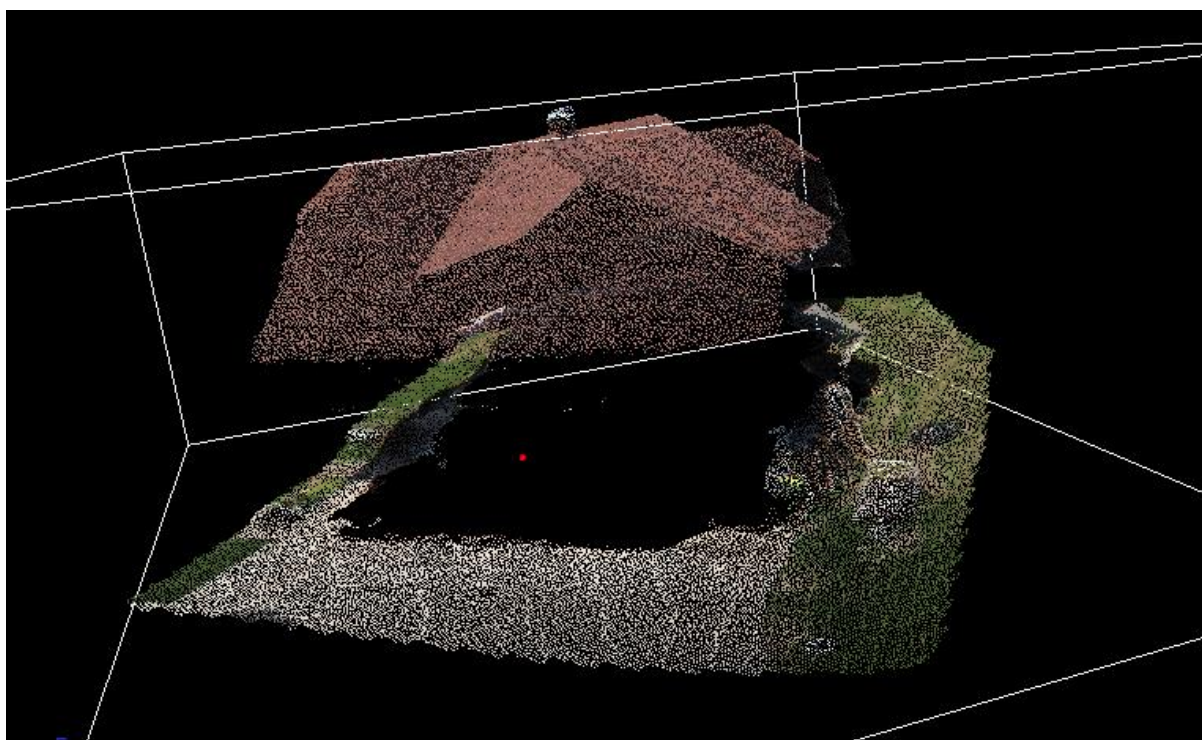


Slika 5: Zajet obod strehe stavbe s prikazanimi ravninami in obrezano vsebino.

Z vključeno funkcijo »Create point on the surface« smo definirali točke, ki so bile na novo izračunane tako, da je izbrana točka ležala na prej definirani ravnini.

5.3.2 Obodi zunanjih sten stavb

Zajemanje obodov zunanjih sten stavb je bilo bolj težavno. Na večini sten stavb ni točk, saj v postopku slikovnega ujemanja na stenah ni bilo homolognih točk, kar je posledica širokih kapi ali zaprtosti okolice stavb.



Slika 6: Stanovanjska stavba z luknjo v oblaku točk med streho in terenom.

Tako smo obod zunanjih sten stavb lahko zajeli le na nekaterih stenah Osnovne šole A. T. Linhart, ki je višja od ostalih objektov in ima ravno streho brez kapi, ter Osnovne šole Antona Janše. Presenetilo nas je, da smo na eni od hiš sredi stanovanjske soseske zasledili dokaj obsežne množice točk na stenah, čeprav na drugih hišah teh ni bilo. V primerjavi z drugimi stanovanjskimi hišami, je ta imela nekoliko višjo streho. Kapi sta dobrih 6 metrov nad nivojem terena, sleme pa kar 10 metrov. Kar je v primerjavi z drugimi strehami za 2 metra višje. Tako je bil na aeroposnetkih manjši del zunanjih sten v geometrijski senci kapi. Obod zunanjih sten te hiše smo zajeli in ga prikazali na geodetskem načrtu.

Zajemati smo poskušali vogalne točke, kjer pa se to ni dalo, smo linijo zaključili z zadnjo točko za katero smo predvidevali, da leži na steni stavbe. Če bi se zadeve lotili nekoliko drugače, bi lahko zajeli oziroma bolje rečeno skonstruirali več obodov. Pri tem mislimo, da bi na vsaki steni zajeli po dve točki, za kateri smatramo, da ležita na steni, in kasneje v fazi

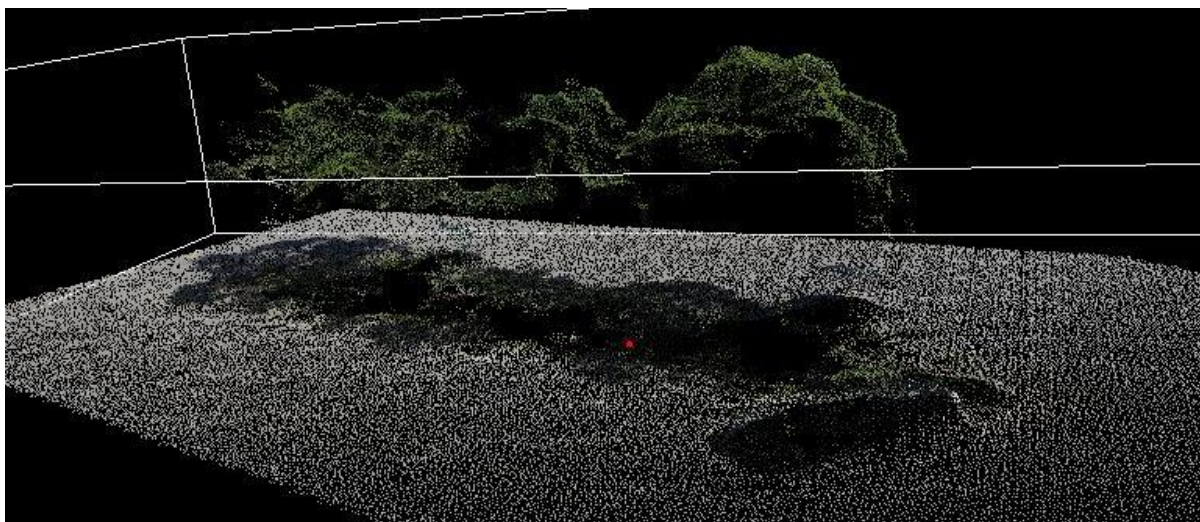
izrisa geodetskega načrta vogalne točke skonstruirali in izrisali obod zunanjih sten stavbe, vendar pri tem višine ne bi bile prave.

5.3.3 Ceste in pločniki

Ceste in pločnike smo zajemali v tlorisnem pogledu, saj v prečnem profilu ceste ni bilo zaznati višinske razlike med cesto in pločnikom oziroma robnikom ali terenom. Mejo med pločnikom in travo smo razbrali na podlagi barvne razlike točk med asfaltom in travo. Robnik, ki ločuje pločnik od ceste, se je ponekod lahko interpretiral iz različnega barvnega odtenka asfalta in svetlejšega robnika ali pa morebitne sence robnika. Na parkirišču pred osnovno šolo se robnika ni dalo zajeti zgolj iz barvne razlike točk, se pa je lahko zajel v drugi fazi zajema s pomočjo ortofota. Problem pri zajemu robnikov je prisoten tudi na območju visoke vegetacije, kjer zaradi krošenj robniki in robovi cest niso vidni.

5.3.4 Vegetacija

Prepoznavanje višje vegetacije ni bilo težavno, saj je na krošnjah večine dreves in grmov bila množica točk, ki je s svojo razgibanostjo, lebdenjem nad nivojem terena in zeleni barvi nedvomljivo definirala drevesa oziroma grme. Nekoliko težje pa je bilo zajeti detajlno točko drevesa, katero predstavlja center debla, saj na nobenem deblu ni bilo točk. Pod krošnjami dreves je bila luknja v oblaku točk (slika 7), kakor pod strehami stavb (slika 6).

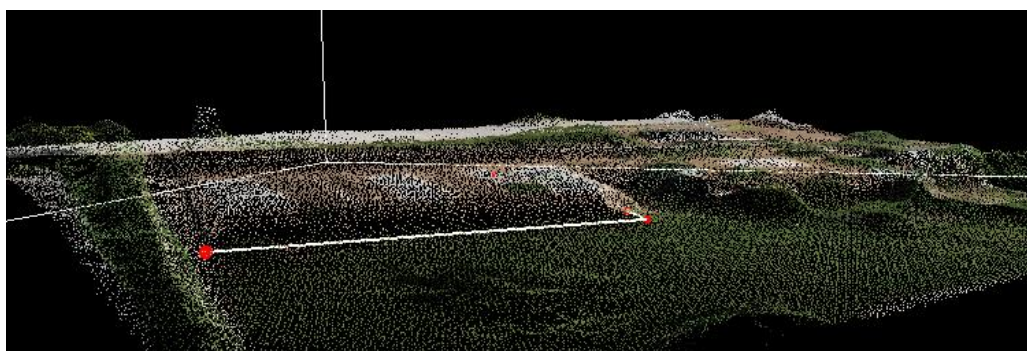


Slika 7: Praznina pod krošnjami dreves.

Tako smo o horizontalnem položaju debla sklepali na podlagi centra krošnje v tlorisnem pogledu. Da pa smo lahko zajeli detajlno točko na nivoju terena, smo si pomagali z ustvarjeno ravnino, ki smo jo aproksimirali skozi izbrane točke terena v okolici drevesa, in funkcijo »Create point on the surface«. Drevesa in grme smo med seboj ločevali na podlagi premera in višine krošnje. Tukaj je potrebno omeniti, da se je ločevanje med višjim grmovjem in nižjim drevjem izkazalo za težavno in nezanesljivo. Vrsto dreves smo lahko ločili le na iglavce in listavce, pa še to je ponekod bilo težavno, saj pri iglavcih, ki imajo koničasto krošnjo, točk ni bilo po celotni krošnji do vrha. Na območjih z gostim drevjem, kjer so se krošnje dotikale in se zlivale ena v drugo, je bil zajem dreves zelo dvomljiv, kar smo ugotovili na podlagi primerjave s terestričnim oblakom točk (poglavje 6).

5.3.5 Meje vrste rabe

Na testnem območju smo zasledili štiri vrste rabe tal: dvorišča, igrišča, zelenice in vrtove. Vse štiri rabe smo lahko interpretirali na podlagi barvne razlike z okoliško rabo. Pri igriščih na južni strani šole se je meja razločila iz barvnega kontrasta med asfaltom in zelenico. Na severni strani šole pa je atletska steza bila prav tako dobro prepoznavna iz barvnega kontrasta med tartanom in zelenico. Po istem principu smo zajeli tudi utrjena dvorišča. Okrog stanovanjskih hiš je kar nekaj vrtov, ki smo jih zajeli na podlagi obarvanosti točk, ter ponekod, kje je bila greda visoko okopana, na podlagi višinske razlike med zelenico in vrtom. V tem primeru smo mejo rabe zajeli na spodnjem robu na nivoju zelenice, kar je vidno na sliki 8.



Slika 8: Primer zajema meje vrste rabe – vrta z višinskim odstopanjem.

Ob skrajno južnem igrišču smo zasledili širok pas grmovja, ki smo ga na geodetskem načrtu prikazali kot ploskovni objekt (manjše grmovje). Tako smo za prikaz tega detajla tudi tam zajeli mejo rabe okrog grmovja.

5.3.6 Žive meje in ograje

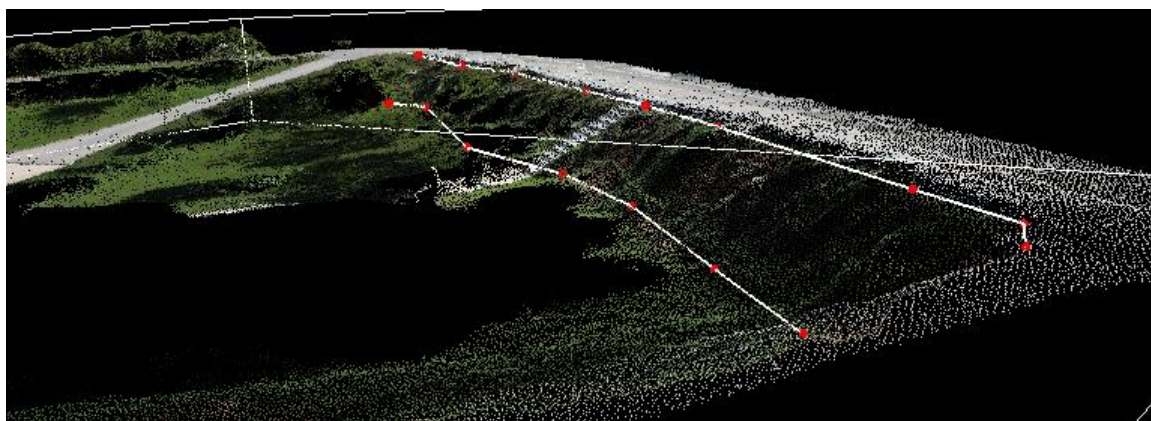
Živa meja predstavlja v strjeni vrsti sajene grmovnice, zato smo jo lahko interpretirali na enak način kakor ostalo grmovje. Zajemali smo jo na nivoju terena, na začetku in koncu ter na lomnih točkah linije. Okrog atletske steze in na zahodni strani osnovne šole je panelna ograja na kateri nismo zasledili točk fotogrametričnega oblaka. Ograjo smo prepoznali na podlagi obarvanosti točk in padajočih senc. Kljub temu, da na ograji ni bilo točk, smo se odločili, da bomo del ograje pri atletski stezi zajeli, z namenom primerjave s terestričnim oblakom točk.

5.3.7 Pokrovi jaškov

Pokrove jaškov smo prepoznali na podlagi barvne razlike med litoželeznim pokrovom in asfaltom, betonom ali travo. Po obliki smo lahko pokrove jaškov razlikovali na okrogle in kvadratne, nismo pa morali definirati za katero vrsto omrežja gospodarske javne infrastrukture gre. Pokrove jaškov smo zajemali z detajlnimi točkami na sredini pokrova.

5.3.8 Teren

Za popolno vsebino geodetskega načrta smo zajeli tudi obliko terena, ki smo ga na geodetskem načrtu predstavili s plastnicami, posameznimi izpisanimi višinami talnih točk ter z brežinami. Za interpolacijo plastnic smo zajeli talne točke, ki smo jih enakomerno razporedili po testnem območju. Točke smo zajemali v tlorisnem pogledu, pri tem smo pazili, da je bila zajeta točka dejansko na nivoju terena. Na vzhodu testnega območja ob Kranjčevi cesti smo naleteli na brežino, ki smo jo zajeli s polilinijama na spodnjem in zgornjem robu brežine (slika 9).



Slika 9: Zajeti spodnji in zgornji rob brežine.

5.4 Zajem detajlov z dodatno uporabo ortofota

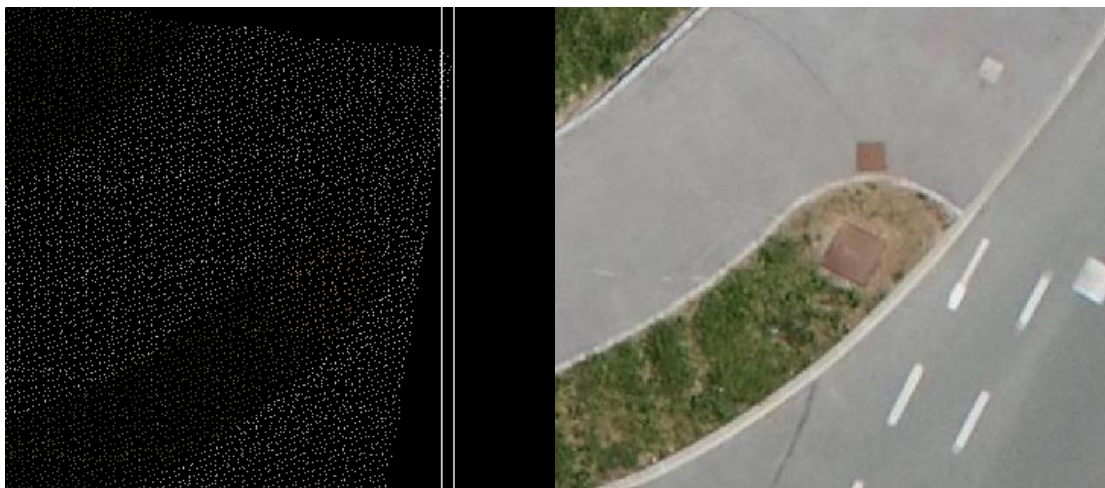
V drugi fazi smo fotogrametrični oblak točk podložili z ortofotom in zajeli detajl, ki ga iz fotogrametričnega oblaka točk nismo mogli interpretirati. Detajl, zajet v drugi fazi, predstavljamo v tem poglavju. Grafično pa je z rdečo barvo prikazan na geodetskem načrtu v prilogi B. Barve točkovnih simbolov nismo mogli spremeniti, zato smo za razlikovanje vsebine pri točkovnem detajlu zajetem v tej fazi (pokrovi jaškov, grmi, drevesa) izpisali višine z rdečo barvo.

Zajet detajl z dodatno uporabo ortofota:

- pokrovi jaškov,
- robnik pločnika,
- vegetacija in živa meja.

Pokrovi jaškov

V prejšnji fazi smo pokrove jaškov lahko prepoznali zgolj po barvnem odstopanju točk na pokrovih in okolici. Interpretacija pokrovov jaškov s pomočjo ortofota je prav tako temeljila na barvni razliki, vendar je zaradi visoke prostorske ločljivosti ortofota bila veliko lažja. Ravno večja prostorska ločljivost ortofota, ki je znatno povečala informacijsko vrednost tlorisnega pogleda, je omogočila zajem pokrovov jaškov, ki so prej zaradi podobnih barv terena in pokrovov ostali neopaženi. Tipičen primer je prikazan na sliki 10, kjer zaradi podobne barve golih tal in pokrova, le-tega ni bilo mogoče prepoznati. S pomočjo ortofota smo zajeli dodatnih 35 pokrovov jaškov, kar je veliko glede na 40 zajetih iz fotogrametričnega oblaka točk.



Slika 10: Levo izrez iz fotogrametričnega oblaka, desno izrez iz ortofota z 2 centimetrsko prostorsko ločljivostjo.

Robnik pločnika

S pomočjo ortofota smo na parkirišču pred osnovno šolo lahko zajeli del robnika zelenega otoka in robnik pločnika. Detajla sta prikazana v prilogi B z rdečo neprekinjeno linijo.

Vegetacija

S podloženim ortofotom smo ugotovili, da v fotogrametričnem oblaku nismo opazili nekaj grmov za osnovno šolo. Enega, ki smo ga zajeli, smo napačno klasificirali kot grm. Ugotovili smo, da je šlo za manjšo drevesno sadiko. V bližina tega območja pa smo dodatno zajeli iglasto drevo, ki je v fotogrametričnem oblaku nismo zaznali. Razlog je verjetno v zelo redki krošnji smreke in tako v postopku slikovnega ujemanja na drevesu ni bilo homolognih točk, posledično ni točk v oblaku. Čeprav gre za živo mejo, bomo ta primer predstavili pod tem odstavkom. Na ortofotu smo razbrali na novo posajeno živo mejo v podaljšku že obstoječe. V samem fotogrametričnem oblaku tudi tukaj ni bilo točk, saj je šlo za majhne linijsko posajene sadike.



Slika 11: Na ortofotu razviden podaljšek obstoječe žive meje.

Res da ne gre za razraščeno živo mejo, vendar bi jo v primeru terenskega snemanja s klasično ali GNSS izmero vsekakor evidentirali in jo prikazali na geodetskem načrtu. Podaljšek žive meje je z rdečo prekinjeno linijo prikazan v prilogi B.

5.5 Analiza

Po opravljenem zajemu v dveh korakih predstavljamo ugotovitve zajemanja detajla iz fotogrametričnega oblaka in zajemanja iz fotogrametričnega oblaka s pomočjo ortofota.

Preglednica 2: Analiza uporabnosti fotogrametričnega oblaka točk in ortofota za zajem detajlov za izdelavo geodetskega načrta.

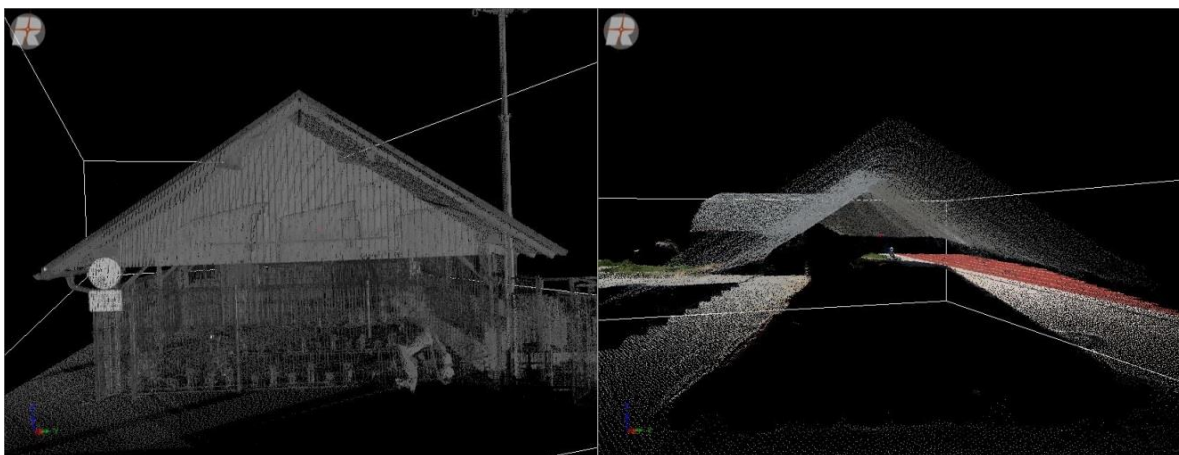
Tip detajla	Vir podatkov	
	Fotogrametrični oblak	Fotogrametrični oblak in ortofoto
Obodi streh	- fotogrametrični oblak je ploskve streh zelo dobro opisal, - ni večjih težav pri zajemu še tako zapletenih streh, - dvomljivo je le ali je točka, ki jo zajamemo iz oblaka res skrajna točka strehe v naravi.	ortofoto ni spremenil generalne interpretacije streh objektov, je pa s svojo visoko prostorsko ločljivosti izboljšal interpretacijo manjših detajlov na strehi.
	Fotogrametrični oblak iz bližnjelikovnih aeroposnetkov bi bil uporaben za zajem obodov streh s slabšo natančnostjo.	
Obodi zunanjih sten stavb	- na večini sten stavb ni točk, saj so bile stene v geometrijski senci kapi ali bližnjih objektov, - na višjih stavbah brez kapi so točke prisotne, - ker rob med terenom in steno ni ostro določen, gre za približno zajemanje (opazna so odstopanja), - ker vseh točk nismo zajeli pri terenu, ni zagotovo, da je podatek o višini pravilen, - celoten obod zunanjih sten stavbe je težko zajeti.	ortofoto ne pripomore pri zajemu obodov zunanjih sten stavb.
	Fotogrametrični oblak iz bližnjelikovnih aeroposnetkov se je izkazal kot neuporaben za zajem obodov večine stavb.	
Ceste in pločniki	- v splošnem pri zajemanju cest ni težav, - problem se pojavi, ko je rob ceste pod drevesom ali drugi objektom, - ponekod so težave z določitvijo robnika med cesto in pločnikom, - ker v prečnem profilu ni zaznati višinskih razlik med cestiščem in robnikom, ne vemo ali zajemamo po spodnjem ali zgornjem robu robnika.	s pomočjo ortofota smo lahko zajeli manjkajoče robnike.
	V osnovi se robovi cest in pločniki lahko zajamejo iz fotogrametričnega oblaka točk. Omejitev predstavljajo drevesa katerih krošnje segajo na cestišče. Z uporabo ortofota lahko zajamemo robnike, ki jih iz oblaka ne moremo interpretirati.	

Vegetacija	- na deblih ni bilo točk, tako smo o horizontalnem položaju debela sklepali na podlagi krošnje, - kjer je na majhnem območju več dreves, prihaja do zlivanja krošenj, kar oteži razločevanje posameznih dreves, - v glavnem lahko ločimo ali gre za iglasto ali listnato vrsto, ne pa ali gre za okrasno ali sadno drevje, - težave pri razločevanju nižjih dreves in višjega grmovja.	- z uporabo ortofota smo opazili nekaj dodatnih manjših grmov in eno zelo oslabele smreko, - ugotovili smo, da smo eno drevo iz prve faze zajema klasificirali napačno - kot grm.
	Zajemanje gosto sajenih dreves iz fotogrametričnega oblaka se je po primerjavi z oblakom TLS izkazalo za nezanesljivo (poglavje 6). Zajemanj posamičnih dreves ni težavno, le točnega položaja debela ne moremo opredeliti. Nekaj težav je tudi z manjšimi grmovnicami. Na splošno pa se iz fotogrametričnega oblaka vegetacija lahko zajame.	
Meja vrste rabe	- meja vrste rabe je jasno določljiva, - težava je le tam, kjer je lomna točka pod drevesom ali drugim objektom.	ortofoto ni spremenil interpretacije meje vrste rabe, je pa s svojo visoko prostorsko ločljivostjo izboljšal predstavo.
	Fotogrametrični oblak iz bližnjelikovnih aeroposnetkov se je izkazal kot primeren za zajem mej vrst rabe.	
Žive meje in ograje	- žive meje so se v fotogrametričnem oblaku lahko zajele, - na ograjah ni bilo točk, se je pa razločila senca ograje na terenu.	ortofoto izboljša interpretacijo ograj in živih mej.
	Fotogrametrični oblak iz bližnjelikovnih aeroposnetkov bi bil primeren za zajem živih mej, ne pa tudi za zajem ograj. Z uporabo ortofota bi lahko zajeli tudi ograje.	
Pokrovi jaškov	se lahko zajamejo, če je barvni kontrast med pokrovom jaška in okoliškim terenom dovolj velik.	z uporabo ortofota smo zajeli dodanih 35 od prej 40 pokrovov jaškov.
	Za zajem pokrovov jaškov je potrebna uporaba ortofota.	
Teren	fotogrametrični oblak daje dobro predstavo o reliefu in tako omogoča zajem značilnih reliefnih oblik.	ortofoto ni vplival na zajem terena.
	Fotogrametrični oblak točk je zelo dobra oblika podatkov za zajem terena in reliefnih oblik, saj se tudi v praksi uporablja tudi za izdelavo digitalnega modela reliefa.	

Na podlagi opravljene analize pridemo do zaključka, da je fotogrametrični oblak točk iz bližnjelikovnih aeroposnetkov najbolj primeren za zajem obodov streh in terena. Z upoštevanjem omejitve zajema pod drevesi se lahko fotogrametrični oblak v kombinaciji z ortofotom uporabi tudi za zajem vegetacije, meje vrste rabe, živih mej ter cest in pločnikov. Uporaba ortofota pa se je izkazala kot obvezna pri zajemanju pokrovov jaškov. Nikakor pa se fotogrametrični oblak ne more uporabiti za kakovosten zajem obodov zunanjih sten stavb.

6 PRIMERJAVA IZDELKA S PODATKI TLS

Oblak terestričnega laserskega skeniranja (TLS) je v primerjavi s fotogrametričnim oblakom iz bližnjelikovnih aeroposnetkov veliko višje ločljivosti. Gostoto terestričnega laserskega skeniranja smo nastavili na 1 centimeter na razdalji 20 metrov. Gostota oblaka terestričnega laserskega skeniranja je sicer odvisna od oddaljenosti od skenerja (manjša se s povečevanjem razdalje med skenerjem in točko odboja). Gostota združenega oblaka terestričnega laserskega skeniranja je odvisna tudi od prekrivanja posameznih oblakov različnih stojišč. Oblak terestričnega laserskega skeniranja ožjega testnega območja je na približno 6570 m² površine vseboval 84 019 594 točk, fotogrametrični oblak istega območja pa le 1 101 043 točk. Na podlagi navedenih vrednosti lahko sklepamo, da oblak terestričnega laserskega skeniranja veliko bolje opiše geometrijo objektov v prostoru in je tako primeren kot referenčni oblak za primerjavo s fotogrametričnim oblakom, ki je veliko slabše ločljivosti. Na spodnji sliki je razvidno, kako podrobno je definirana streha z oblakom terestričnega laserskega skeniranja, kjer so vsi robovi ostri in premi. Ob pogledu na fotogrametrični oblak pa opazimo, da je gostota točk veliko manjša, linije niso ostro definirane, sleme je ukrivljeno.



Slika 12: Izrez iz oblaka TLS levo in fotogrametričnega oblaka desno.

Z namenom primerjave vsebinske popolnosti in položajnega odstopanja detajla, zajetega iz fotogrametričnega oblaka točk na ožjem testnem območju, smo izbrani detajl zajeli še iz oblaka terestričnega laserskega skeniranja, in ga prikazali skupaj z detajlom, zajetem iz fotogrametričnega oblaka v prvem delu naloge, ki je prikazan v prilogi B. Za razlikovanje vira zajetega detajla, smo vsebino prikazali z različnimi barvami in vzorci linijskih simbolov. Primerjalni geodetski načrt je priložen v prilogi C.1.

Ne le zaradi večje gostote točk, ampak tudi zaradi različne perspektive snemanja oziroma skeniranja, vsebuje, v primerjavi s fotogrametričnim oblakom, oblak terestričnega laserskega skeniranja več detajlov na nivoju terena. To velja predvsem na območju višje vegetacije, pod krošnjami dreves in pod kapmi objektov. Zato smo se odločili, da bomo zajeli tudi detajl, ki ga nismo mogli zajeti iz fotogrametričnega oblaka in tako dopolnili vsebino geodetskega načrta. Za lažje razumevanje primerjave tukaj vključujemo izrez geodetskega načrta (priloga C.1).



Slika 13: Izrez iz primerjalnega geodetskega načrta (priloga C.1).

Kot smo omenili, je v oblaku terestričnega laserskega skeniranja veliko detajla pod krošnjami dreves, kar ne velja za fotogrametrični oblak. Zato smo iz terestričnega oblaka točk zajeli vsa drevesa med osnovno šolo in atletsko stezo na zahodnem delu ožjega testnega območja z razliko, da smo sedaj dejansko zajemali glede na položaj debla. V TLS oblaku zajeta drevesa imajo pripisane višine z modro barvo. Iz tega je razvidno, da je zajemanje dreves, kjer so le-ta blizu skupaj, iz fotogrametričnega oblaka nezanesljivo oziroma zajeto z visoko stopnjo predvidevanja. Ugotovili smo, da smo iz fotogrametričnega oblaka zajeli manj dreves, kot jih dejansko je, pa tudi položajno odstopanje je prisotno, saj smo v fotogrametričnem oblaku predvidevali o položaju debla.

Iz terestričnega oblaka smo robnike lahko zajeli zelo natančno po spodnjem robu, saj je le ta zelo ostro definiran. V fotogrametričnem oblaku pa nismo prepoznali višinske razlike, ampak smo robnik zajemali na podlagi barvne razlike med robnikom in travnato površino. Ravno nasproten rob robnika, kot smo ga zajemali iz terestričnega oblaka. Tako smo z izmenjanimi odstopanji položaja identičnih točk robnikov prišli do srednje vrednosti odstopanja 15,5 centimetrov, z maksimalnim odstopanjem 20 centimetrov.

Zajeli smo tudi obod strehe s slemenom objekta pred atletsko stezo in del oboda strehe osnovne šole, ki sta prikazana s prekinjeno oranžno linijo. Srednja vrednost odstopanja identičnih točk iz obeh oblakov je za ta tip detajla 11,8 centimetrov, največje odstopanje pa kar 23 centimetrov. Srednje odstopanje južnega roba atletske steze je 10,3 centimetrov, z največjim odstopanjem 17 centimetrov. Primerjali pa smo tudi položaj panelne ograje ob atletski stezi. Ograjo smo iz fotogrametričnega oblaka zajeli zgolj na podlagi sence, saj na sami ograji ni bilo točk. Če primerjamo usmeritev teh dveh linij, sta med seboj vzporedni, vendar med seboj v položaju odstopata kar za 37 centimetrov. Tako lahko trdimo, da iz fotogrametričnega oblaka na podlagi senc ne smemo zajemati detajla.

Zaradi perspektive terestričnega laserskega skeniranja smo pod drevesi lahko dodatno zajeli nadzemni hidrant. V celoti smo lahko zajeli ograjo na južni strani atletskega stadiona ter nekaj dodatnih robnikov na parkirišču in tako dopolnili obstoječi geodetski načrt po zajemu iz fotogrametričnega oblaka točk. Dopolnjen geodetski načrt z detajlom terestričnega laserskega skeniranja, izrisan v skladu s Topografskim ključem, je končni izdelek diplomske naloge, in je priložen v prilogi C.2.

7 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo želeli ugotoviti uporabnost bližnjelikovnih aeroposnetkov zajetih z malim brezpilotnim letalnikom, za zajem detajlov za izdelavo geodetskega načrta urbanega območja. Zanimalo nas je predvsem, katere tipe detajla se lahko zajame iz tako pridobljenih podatkov in kje se pojavljajo težave, kje so prednosti in kje so omejitve takšne metode zajema. V nadaljevanju smo na podlagi primerjave detajla zajetega iz fotogrametričnega oblaka z detajlom zajetim iz oblaka terestričnega laserskega skeniranja ocenili vsebinsko popolnost in položajno odstopanje detajla.

Na podlagi opravljene analize smo prišli do naslednjih ugotovitev o uporabnosti podatkov pridobljenih z malimi brezpilotnimi letalniki za izdelavo geodetskega načrta:

- Fotogrametrični oblak iz bližnjelikovnih aeroposnetkov se lahko uporabi za zajem obodov streh, vendar s slabšo natančnostjo, saj so bila odsopanja od podatkov terestričnega laserskega skeniranja v rangi 12 centimetrov.
- Fotogrametrični oblak se je izkazal kot neuporaben za zajem obodov zunanjih sten večine stavb.
- Fotogrametrični oblak v kombinaciji s pripadajočim ortofotom omogoča zajem večine cest in pločnikov z omejitvijo območij pod krošnjami dreves. Ob primerjavi s podatki terestričnega laserskega položaji identičnih detajlnih točk odstopajo v rangi 15,5 centimetrov.
- Zajemanje dreves iz fotogrametričnega oblaka ob sklepanju o horizontalnem položaju debla je mogoče, vendar se je ob primerjavi s podatki terestričnega laserskega skeniranja na območjih z gosto sajenim drevjem izkazalo za nezanesljivo oziroma zajeto z visoko stopnjo predvidevanja.
- Fotogrametrični oblak iz bližnjelikovnih aeroposnetkov se je izkazal kot primeren za zajem mej vrst rabe, kakor tudi živih mej.
- Iz fotogrametričnega oblaka lahko zajamemo tudi pokrove jaškov, vendar je potrebna uporaba ortofota.
- Fotogrametrični oblak točk je zelo dobra oblika podatkov za zajem terena in reliefnih oblik.

Prednosti pred klasično terensko izmero so:

- za zajem iz oblaka točk ne potrebujemo dragih geodetskih instrumentov, ampak le računalnik z ustrezno programsko opremo (ob predpostavki, da oblak točk naročimo),

- iz pridobljenega oblaka točk lahko zajemamo detajl ne glede na vremenske razmere na terenu,
- z zajemom detajla iz oblaka točk se ne izpostavljamo potencialno nevarnim situacijam na terenu, na primer ob prometnih cestah, na strmih pobočjih, kamnolomih,
- pri klasični terenski izmeri smo omejeni na vsebino, ki smo jo posneli na terenu, pri oblaku točk pa lahko naknadno zajemamo dodatno vsebino, saj lahko kadarkoli dostopamo do kateregakoli dela območja,
- oblak točk dobro predstavi relief in druge reliefne oblike, zajem točk terena pa je enostaven in hiter, sploh v primeru večjih območij je hitrejši od klasične terenske izmere.

Ugotovljene slabosti in omejitve:

- zaradi same perspektive zajemanja aeroposnetkov ne moremo zajeti detajla, ki je v geometrijski senci drugih objektov,
- zaradi manjše gostote oblaka točk je onemogočena interpretacija vseh objektov in ne moremo zajeti vsega detajla, ki bi ga bilo potrebno, in bi ga s klasično terensko izmero brez težav zajeli,
- zaradi manjše gostote oblaka točk je v določenih primerih potrebno sklepati o dejanskem položaju detajlne točke, saj robovi objektov niso ostro določeni, to pa slabša natančnost zajema.

Zaključimo lahko, da je testirana metoda zajema detajlov iz bližnjelikovnih aeroposnetkov, pridobljenih z malim brezpilotnim letalnikom, za izdelavo geodetskega načrta uporabna za določene vrste detajla. V določenih primerih pa je tehnika vsekakor na strani klasične terestrične ali GNSS geodetske izmere. V praksi zato priporočamo komplementarno uporabo obeh tehnologij.

VIRI

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

Eisenbeiß, H. 2009. UAV Photogrammetry. Doctoral dissertation. Zurich, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Institute of Geodesy and Photogrammetry: 203 str.
www.igp-data.ethz.ch/berichte/blaue_berichte_pdf/105.pdf (Pridobljeno 21. 7. 2014.)

Eyndt, T. Volkmann, W. 2013. Virtual Surveying. Using drones and mouse clicks instead of trucks and tripods: 9 str.
www.positionpartners.com.au/brochures/VirtualSurveyingWhitePaper.pdf
(Pridobljeno 21. 7. 2014.)

Hašaj, M. Petrovič, D., Brumec, M., Mlinar, J. 2006. Topografski ključ za izdelavo in prikaz vsebine geodetskih načrtov. Ljubljana, Geodetska uprava Republike Slovenije: 53 str.

Hostnik, A. 2013. Analiza postopkov obdelave podatkov terestričnega laserskega skeniranja v programu RiSCAN PRO. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba A. Hostnik): 66 str.

Pravilnik o geodetskem načrtu. Uradni list RS št. 40/2004.

RIEGL. 2013. RiSCAN PRO ver. 1.7.8. – User's guide. Riegl Laser Measurement System GmbH: 405 str.

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

Brucas, D. Suziedelyte-Visockiene, J., Ragauskas, U., Berteska, E. and Rudinskas, D. 2013. Implementation and Testing of Low Cost Uav Platform for Orthophoto Imaging. ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XL-1/W2: 55-59.
www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-1-W2/55/2013/isprsarchives-XL-1-W2-55-2013.pdf (Pridobljeno 21. 7. 2014.)

SEZNAM PRILOG

- PRILOGA A: GEODETSKI NAČRT Z DETAJLOM ZAJETIM IZ
 FOTOGRAMETRIČNEGA OBLAKA TOČK
- PRILOGA B: GEODETSKI NAČRT Z DETAJLOM ZAJETIM IZ
 FOTOGRAMETRIČNEGA OBLAKA TOČK S POMOČJO ORTOFOTA
- PRILOGA C.1: PRIMERJALNI GEODETSKI NAČRT S PODATKI TLS
- PRILOGA C.2: KONČNI GEODETSKI NAČRT DOPOLNJEN S PODATKI TLS

PRILOGA A: GEODETSKI NAČRT Z DETAJLOM ZAJETIM IZ FOTOGRAMETRIČNEGA OBLAKA TOČK



LEGENDA

- obod strehe, slemena
- - - obod zunanjih sten stavbe
- cesta, pločnik, pot
- meja vrste rabe
- živa meja
- ograja
- ▤ pobočje
- oporni zid
- plastnica
- listnato drevo
- ↑ iglasto drevo
- q grm
- . manjše grmovje
- . grmovje v vrsti
- okrogel jašek komunalnih vodov
- pravokoten jašek komunalnih vodov
- └ vrt
- ▤ otroško igrišče
- stanovanjska stavba
- V manjša zelenica
- V zelenica
- └ večji vrt

GEODETSKI NAČRT

OPIS	detalji zajet iz fotogrametričnega oblaka točk		
PODATKI	fotogrametrični oblak točk		
MERILO	1 : 1000	K. S.	D96/TM
KRAJ	Radovljica	K. O.	2157 Predtrg
D. ZAJEMA	10.5.2014	D. IZRISA	30.7.2014
		IZRISAL	Žiga Roškar

PRILOGA B: GEODETSKI NAČRT Z DETAJLOM ZAJETIM IZ FOTOGRAMETRIČNEGA
OBLAKA TOČK S POMOČJO ORTOFOTA



LEGENDA

- obod strehe, slemena
- obod zunanjih sten stavbe
- cesta, pločnik, pot
- meja vrste rabe
- živa meja
- ograja
- pobočje
- oporni zid
- plastnica
- listnato drevo
- iglasto drevo
- gram
- manjše grmovje
- grmovje v vrsti
- okrogel jašek komunalnih vodov
- pravokoten jašek komunalnih vodov
- vrt
- otroško igrišče
- stanovanjska stavba
- manjša zelenica
- zelenica
- večji vrt
- robnik (ortofoto)
- živa meja (ortofoto)
- detajl (ortofoto)

GEODETSKI NAČRT

OPIS	detajl zajet iz fotogr. oblaka točk in ortofota		
PODATKI	fotogrametrični oblak točk in ortofoto		
MERILO	1 : 1000	K. S.	D96/TM
KRAJ	Radovljica	K. O.	2157 Predtrg
D. ZAJEMA	10.5.2014	D. IZRISA	7.8.2014
		IZRISAL	Žiga Roškar

PRILOGA C.1: PRIMERJALNI GEODETSKI NAČRT S PODATKI TLS



- | | |
|---|-----------------------------------|
|  | obod strehe, slemena |
|  | obod zunanjih sten stavbe |
|  | cesta, pločnik, pot |
|  | meja vrste rabe |
|  | živa meja |
|  | ograja |
|  | pobočje |
|  | oporni zid |
|  | plastnica |
|  | listnato drevo |
|  | iglasto drevo |
|  | grm |
|  | manjše grmovje |
|  | grmovje v vrsti |
|  | okrogel jašek komunalnih vodov |
|  | pravokoten jašek komunalnih vodov |
|  | vrt |
|  | otroško igrišče |
|  | stanovanjska stavba |
|  | manjša zelenica |
|  | zelenica |
|  | večji vrt |
|  | |
|  | obod strehe, slemena (TLS) |
|  | obod zunanjih sten stavbe (TLS) |
|  | rob atletske steze (TLS) |
|  | ograja (TLS) |
|  | robnik (TLS) |
|  | detaljl (TLS) |

GEODETSKI NAČRT

OPIS	detalj zajet iz fotogr. in TLS oblaka točk		
PODATKI	fotogr. oblak točk, ortofoto in TLS oblak točk		
MERILO	1 : 1000	K. S.	D96/TM
KRAJ	Radovljica	K. O.	2157 Predtrg
D. ZAJEMA	10.5.2014	D. IZRISA	7.8.2014
		IZRISAL	Žiga Roškar

PRILOGA C.2: KONČNI GEODETSKI NAČRT DOPOLNJEN S PODATKI TLS



LEGENDA

- obod strehe, slemena
- - - obod zunanjih sten stavbe
- cesta, pločnik, pot
- meja vrste rabe
- živa meja
- ograja
- pobočje
- oporni zid
- plastnica
- listnato drevo
- ↑ iglasto drevo
- q grm
- manjše grmovje
- grmovje v vrsti
- okrogel jašek komunalnih vodov
- pravokoten jašek komunalnih vodov
- └ vrt
- ▢ otroško igrišče
- stanovanjska stavba
- V manjša zelenica
- VV zelenica
- └ večji vrt
- nadzemni hidrant

GEODETSKI NAČRT

OPIS	izris v skladu s Topografskim ključem		
PODATKI	fotogr. oblak točk, ortofoto in TLS oblak točk		
MERILO	1 : 1000	K. S.	D96/TM
KRAJ	Radovljica	K. O.	2157 Predtrg
D. ZAJEMA	10.5.2014	D. IZRISA	7.8.2014
		IZRISAL	Žiga Roškar