VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

DRONI V INŽENIRSKI GEODEZIJI, PROJEKTIRANJU IN IZDELAVI BIM MODELA

Kandidat: Aleš Hraš

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Gradbeništvo

Mentor predavatelj: dr. Samo Peter Medved, univ. dipl. inž. grad.

Mentor v podjetju: Iztok Zabreznik, dipl. inž. grad., Lineal d. o. o.

Lektor: Katja Vajda, profesorica slovenščine

Maribor, 2019

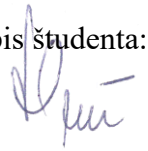
IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Aleš Hraš sem avtor diplomskega dela z naslovom Droni v inženirski geodeziji, projektiranju in izdelavi BIM modela, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Sama Petra Medveda, univ. dipl. inž. grad..

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela;
- sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor;
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli, kot lastne, kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Uradni list RS, št. 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/13, 56/15 in 63/16 – ZKUASP); prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili;,
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Maribor, december 2019 Podpis študenta:



ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju, dr. Samu Petru Medvedu, za prevzem mentorstva in pomoč pri diplomskem delu.

Zahvalil bi se tudi Iztoku Zabrezniku, Klari Mihelič in Ireni Antolin za pomoč, vodenje ter pripravo in zbiranje potrebnih geodetskih podatkov.

Zahvalil bi se tudi družini, ki mi je ves čas študija stala ob strani in nudila podporo.

POVZETEK

Ob vse večji uporabi brezpilotnih letalnikov tudi za namene izvajanja geodetskih posnetkov smo s tem diplomskim delom želeli preveriti uporabnost, primernost in zmanjšanje količine podatkov kot osnovo za načrtovanje. Na osnovi praktičnega primera smo analizirali dva posnetka istega območja, izdelana z različnima metodama. Da bi primerjava dveh tehnologij podala primerljive rezultate, smo s pomočjo geodetskega podjetja poiskali območje, na katerem sta bili uporabljeni obe metodi. Območje, ki je bilo posneto z obema metodama, se nahaja vzdolž železniške proge Maribor–Šentilj in ga je posnelo geodetsko podjetje »Geodetske storitve Kobale Dean s. p.« za potrebe projekta »Nadgradnja progovnega odseka Maribor–Šentilj–državna meja«. Geodetski načrt je voden pod številko 16242/3. Investitor omenjenega projekta je Republika Slovenija, Ministrstvo za infrastrukturo, Direkcija RS za infrastrukturo.

Območje je bilo posneto s konvencionalno in sodobno tehnologijo. Pri geodetskem posnetku, izdelanem s konvencionalno tehnologijo (trigonometrična metoda), se je zajem obstoječega terena vršil z elektro-optičnim razdaljemerom in trasirko s prizmo. Podatki so bili zajeti vsakih 20 m pravokotno na os ceste. Zajete so bile vse spremembe višine v prečni smeri in pomembnejše točke, kot so pokrovi jaškov, zasuni, ograje, drogovi cestne razsvetljave in ostale komunalne infrastrukture.

Pri sodobni tehnologiji (fotogrametrčna metoda) se je zajem podatkov vršil z uporabo optičnega senzorja na brezpilotnem letalniku. Pri tej metodi je bilo zajeto praktično vse. Rezultat geodetskega posnetka je množica točk v prostoru oz. oblak točk.

Oba geodetska posnetka smo obdelali s pomočjo programskega orodja Civil 3D in izdelali 3D površine, ki smo jih nato podrobneje primerjali in analizirali.

V diplomskem delu je poleg primerjave dveh tehnologij in uporabe v geodeziji predstavljena tudi uporaba brezpilotnih letalnikov na drugih področjih. Podrobneje je predstavljen postopek izdelave oblaka točk. Prav tako je predstavljena tudi Uredba o sistemih brezpilotnih zrakoplovov, ki zagotavlja varno uporabo oz. preprečitev morebitnih konfliktov v zračnem prostoru in neupravičenem posegu v zasebnost državljanov Republike Slovenije.

Ključne besede: brezpilotni letalniki, droni, oblak točk, 3D geodetski posnetek, fotogrametrija.

ABSTRACT

The use of drones in geodesy, designing and building BIM models

With the increasing use of drones, also for the purpose of surveying, with this diploma thesis we wanted to check the usability, suitability and improvement of the amount of data as a basis for planning. Based on a practical example, we analyzed two shots of the same area that had been made using different methods.

In order to give a comparison of the two technologies with comparable results, we found an area where both methods were used with the help of a land surveyor. The area surveyed by both methods is located along the Maribor - Šentilj railway line and the survey was performed by the company "Geodetske storitve Kobale Dean s.p." for the purposes of the project "Upgrading of the Maribor - Šentilj - State Border Track" section. The geodetic plan is kept under number 16242/3. The investor of the mentioned project is the Republic of Slovenia, the Ministry of Infrastructure, Directorate of the Republic of Slovenia for Infrastructure. The area was surveyed using conventional and modern technology. In the geodetic survey using conventional technology (trigonometric method), the capture of existing terrain was performed with an electro-optical distance meter and a Prism Pole with Reflective Prisms. Data were captured every 20 m perpendicular to the axis of the road. All elevation changes in the transverse direction and major points such as manhole covers, latches, fences, street lighting poles and other utility infrastructure were covered.

With modern technology (photogrammetric method), data capture was performed using an optical sensor on a drone. Practically everything was covered by this method. The result of the survey is a set of points in space or point cloud. Both surveys were processed with the help of the Civil 3D software tool and 3D surfaces were produced, which were then compared and analyzed in more detail.

In addition to comparing two technologies and using them in geodesy, the diploma thesis also presents the use in other fields. The Regulation on Unmanned Aerial Vehicles is also presented, which ensures the safe use and / or safety of aircraft, prevention of potential conflicts in the airspace and unjustified interference with the privacy of citizens of the Republic of Slovenia.

Keywords: unmanned aerial vehicle, drones, point cloud, 3D surveying, photogrammetry, surface.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD 9

1.1 Opis področja in opredelitev problema 9

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve 9

1.3 Predpostavke in omejitve 10

1.4 Uporabljene raziskovalne metode 10

2 SPLOŠNO O OBLAKIH TOČK 12

2.1 Načini zajema prostorskih podatkov 12

2.2 Uporaba 14

2.3 Oblike zajema podatkov 14

2.3.1 Trigonometrično višinomerstvo 14

2.3.2 Barometrično višinomerstvo 15

2.3.3 LiDAR 16

2.3.4 Fotogrametrija 21

2.3.5 Globalni navigacijski satelitski sistem (GNSS) 26

2.4 Programske rešitve za obdelavo oblakov točk 27

2.5 Programska oprema za obdelavo zajetih podatkov 27

2.6 SWOT analiza 29

3 SPLOŠNO O BREZPILOTNIH LETALNIKIH 30

3.1 Zgodovina 30

3.2 Sistemi BPL in njihova klasifikacija 30

3.3 Splošna uporaba brezpilotnih letalnikov 31

3.4 Uporaba majhnih brezpilotnih letalnikov v geodeziji 33

3.5 Primeri brezpilotnih letalnikov v geodeziji 36

3.5.1 Trimble UX5 36

3.5.2 Trimble ZX5 37

3.5.3 Leica Aibot X6 Hexacopter 37

3.5.4 Leica Dragon 50 38

3.5.5 C - Astral Bramor PPX 39

3.6 Zakonodaja 39

3.6.1 Splošno 39

4 PRIMER UPORABE PRIDOBLJENEGA OBLAKA TOČK S POMOČJO DRONA: PRIMERJAVA 3D POVRŠIN ZA PROJEKTIRANJE 41

4.1 Delo v projektni skupini 41

4.2 OPIS POSTOPKA PRIDOBIVANJA OBLAKA TOČK Z BREZPILOTNIMI LETALNIKI ZA POTREBE GEODETSKEGA NAČRTA 41
4.2.1 Priprava na polet *42*
4.2.2 Izvedba poleta *43*
4.2.3 Obdelava pridobljenih podatkov *43*
4.2.4 Izdelava 3D površine *45*
4.2.5 Izdelava grafičnega prikaza geodetskega načrta *45*
4.3 OSNOVNI PODATKI IZDELANIH GEODETSKIH POSNETKOV 45
4.4 OPIS GEODETSKIH POSNETKOV 46
4.4.1 Osnovni posnetek (konvencionala metoda) *46*
4.4.2 Dodatni posnetek z dronom (oblak točk) *48*
4.5 PRIMERJAVA POSNETKOV (PREREZI, VIZUALIZACIJA, KOLIČINE) 49
4.5.1 Primerjava posnetkov v prečnih prerezih *50*
4.5.2 Primerjava površin posnetkov (analiza višin in volumnov) *51*
4.5.3 Primerjava izvedbe posnetkov *53*
5 SKLEP 55
6 VIRI, LITERATURA 57

KAZALO SLIK

SLIKA 1: POSNETEK OBJEKTA S KONVENCIONALNO METODO 12
SLIKA 2: POSNETEK OBJEKTA Z OBLAKOM TOČK 13
SLIKA 3: PRIKAZ POSTOPKA TRIGONOMETRIČNEGA VIŠINOMERSTVA 15
SLIKA 4: PRINCIP DELOVANJA TERESTRIČNEGA LASERSKEGA SKENERJA 17
SLIKA 5: PRIMER LASERSKEGA SKENERJA (LEICA BLK360) 18
SLIKA 6: ZRAČNO LASERSKO SKENIRANJE 19
SLIKA 7: PRIMER NAČRTOVANJA LETA 19
SLIKA 8: PRIMER OBDELAVE ZAJETIH PODATKOV (OBLAKA TOČK) S PROGRAMSKIM ORODJEM AGISOFT 20
SLIKA 9: PRIMER MOBILNEGA LASERSKEGA SKENIRANJA 21
SLIKA 10: PRIKAZ ZAJEMA IN PREKRIVANJA POSNETKOV 22
SLIKA 11: DIGITALNI MODEL VIŠIN (DMV) 24
SLIKA 12: PRIMER DIGITALNEGA MODELA RELIEFA (DMR) 24
SLIKA 13: PRIMER DIGITALNEGA ORTOFOTA (DOF) 25
SLIKA 14: ZGRADBA GNSS 26
SLIKA 15: PRIMER IZKOPAVANJA NARAVNIH SUROVIN 35
SLIKA 16: TRIMBLE UX5 37
SLIKA 17: TRIMBLE ZX5 37

Slika 18: Leica Aibot X6 Hexacopter 38
Slika 19: Leica Dragon 50 38
Slika 20: C-Astral Bramor PPX 39
Slika 21: Načrt poleta 42
Slika 22: Primer oslnonilne točke 42
Slika 23: Geolociranje zajetih aeroposnetkov na osnovi oslonilnih točk 43
Slika 24: Očiščen oblak točk 44
Slika 25: Izdelava 3D površine 45
Slika 26: Prikaz obravnavanega območja na DOF 46
Slika 27: Geodetski posnetek, posnet s konvencionalno metodo 47
Slika 28: Prikaz posnetka s posnetimi točkami na 20 m 47
Slika 29: Primer morfološko zahtevnega terena 48
Slika 30: Posnetek območja z oblakom točk 49
Slika 31: Prikaz oblaka točk kot površino (angl. Surface) 49
Slika 32: Prečni prerez v območju posnetega profila 50
Slika 33: Prečni prerez v območju med dvema posnetima profiloma 51
Slika 34: Primerjava razlik višin med posnetkoma 52
Slika 35: Izračun količin s programskim orodjem Civil 3D 53

KAZALO TABEL

Tabela 1: SWOT analiza 29
Tabela 2: Kategorije izvajanja letalskih dejavnosti 40
Tabela 3: Odstopanja višin med posnetkoma 52
Tabela 4: Primerjalna tabela izvedbe posnetkov 54

1 UVOD

1.1 Opis področja in opredelitev problema

V današnjem času si računalniško podprtega projektiranja sploh ne znamo več predstavljati in je postalo sestavni del vsakega projektivnega biroja. Z uporabo programskih orodij je možno doseči najrazličnejše geometrijske oblike, kot so razne mostne konstrukcije, portali tunelov itd. Modeliranje z uporabo gradnikov nam omogoča izdelavo 3D elementov, za katerega lahko izdelamo poljubni prerez elementa in ne le v naprej določenih mestih. Posredno se dosegajo večje natančnosti glede izračunov površin in volumnov.

Konvencionalno projektiranje v dveh dimenzijah (2D) je sicer zadovoljivo, a ima veliko pomanjkljivosti. Ker je praktično nemogoče izdelati dovolj veliko število prerezov, ki bi odpravili vse kolizije, postaja takšno projektiranje nesmotrno.

Z uporabo programskih orodij za tridimenzionalno (3D) projektiranje in vključevanjem BIM tehnologije se lahko v veliki meri izognemo napakam in dosežemo veliko stopnjo usklajenosti med posameznimi fazami ali sklopi gradbenega objekta. Posredno zmanjšamo vložen čas in finančna sredstva v odpravo napak.

Predpogoj za kvalitetno izdelan projekt, modeliran z gradniki v treh dimenzijah (3D), je natančno in detajlno izdelan posnetek terena oz. obstoječega stanja. Tak posnetek je možno zagotoviti z oblakom točk, ki je lahko pridobljen na več načinov.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

V diplomskem delu je prikazana primerjava izdelave in uporabe različnih metod geodetskega posnetka kot izhodišče za izdelavo 3D modelov. Za odpravo pomanjkljivosti, ki jih prinaša konvencionalno projektiranje (2D), je nujna izdelava posnetkov obstoječega terena v treh dimenzijah. Samo takšni posnetki so lahko dovolj dobro izhodišče za projektiranje in izdelavo modelov, ki imajo odpravljene in preverjene vse kolizije posameznih sklopov gradbenega projekta ter služijo kot osnova za izdelavo BIM modela.

Glavni cilj diplomskega dela je prikazati nujnost uporabe sodobnih metod pri izdelavi geodetskega posnetka za načrtovanje v 3D načinu. Kot sodobno metodo izdelave geodetskega posnetka vidimo predvsem uporabo oblaka točk, ki je med drugim lahko izvedljiva tudi z uporabo brezpilotnih letalnikov.

V diplomskem delu bodo predstavljene in raziskane naslednje hipoteze:

- H1: Uporaba brezpilotnih letalnikov za izdelavo oblaka točk v primerjavi s klasično geodezijo zagotavlja kvalitetnejši geodetski posnetek.
- H2: Izdelan oblak točk z uporabo letalnikov je osnova za kvalitetno izdelan projekt in BIM model.
- H3: Geodetski posnetek, pridobljen z letalniki, je tudi cenovno ugodnejši in hitro izvedljiv.
- H4: Geodetski posnetek, pridobljen z letalniki, je zelo primeren za spremljanje gradnje oz. njen napredek.
- H5: Geodetski posnetek, pridobljen z letalniki, je lažje obvladljiv in zelo primeren predvsem pri iskanju optimalne rešitve poteka trase.

1.3 Predpostavke in omejitve

Navedene hipoteze bomo preverili s primerjavo dveh metod zajema prostorskih podatkov. Metodi bomo medsebojno primerjali na več načinov in jih analizirali. Za pripravo, obdelavo in primerjavo geodetskih posnetkov bomo uporabili programsko orodje Civil 3D, ki je produkt priznanega razvijalca programske opreme Autodesk. Programsko orodje je namenjeno predvsem projektiranju v nizkogradnjah. Na podlagi pridobljenih geodetskih podatkov nam omogoča izdelavo ravnin, njihovo medsebojno primerjanje in računanje volumnov ter izdelavo najrazličnejših analiz. Predpostavljamo, da bo primerjava posnetkov pokazala velika odstopanja tako z vidika površin posnetkov kot tudi s finančnega vidika izdelave posnetkov.

Omejitev pri izdelavi diplomskega dela bo razpoložljivost geodetskih posnetkov, ki so bili izdelani z obema metodama, saj se v praksi redko uporabljata dve metodi za isto območje.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

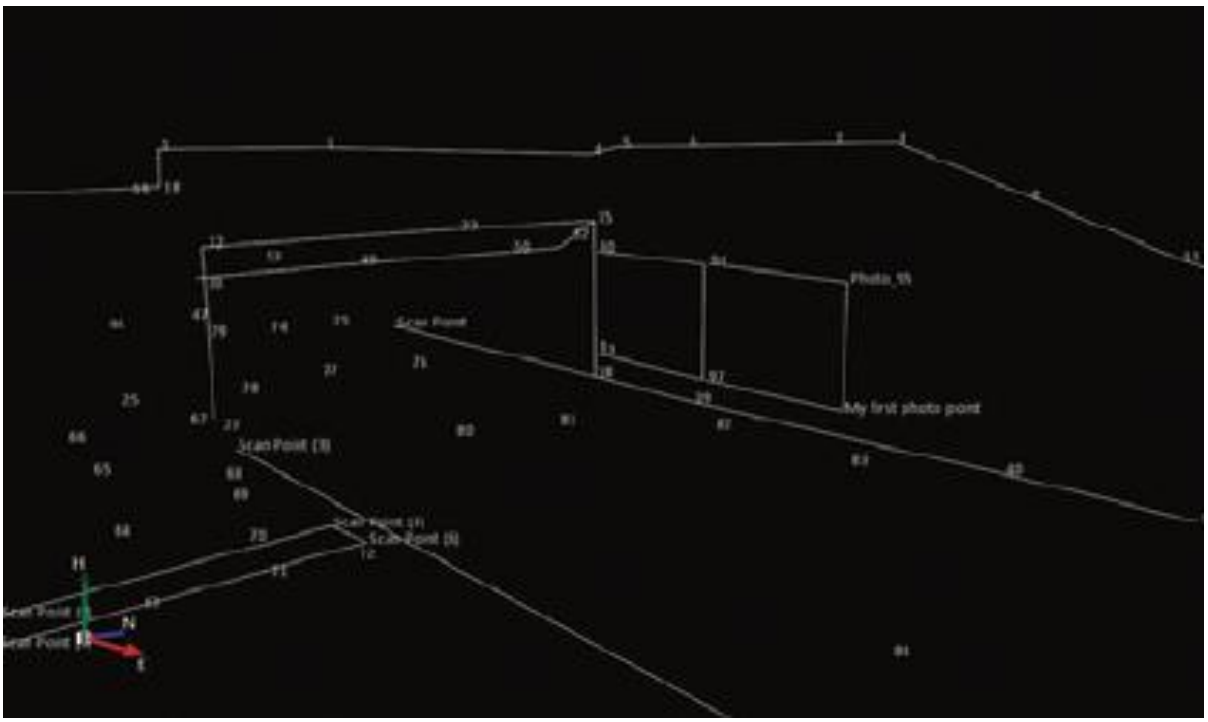
Diplomsko delo je sestavljeno iz teoretičnega in aplikativnega dela. Pri teoretičnem delu je uporabljena deskriptivna metoda, kjer smo preučili strokovno domačo in tujo literaturo. Povzete so smernice in pristopi implementacije 3D modelov v okolje projektiranja z BIM-metodologijo, osredotočeno na nizkogradnje, nato pa je opisana dosedanja praksa uporabe 3D modelov BIM-pristopa v podjetju Lineal, kjer sem zaposlen.

V aplikativnem delu smo iz oblaka točk s pomočjo programskega orodja Civil 3D izdelali 3D model terena in ga primerjali z modelom terena, pridobljenim s klasično metodo.

2 SPLOŠNO O OBLAKIH TOČK

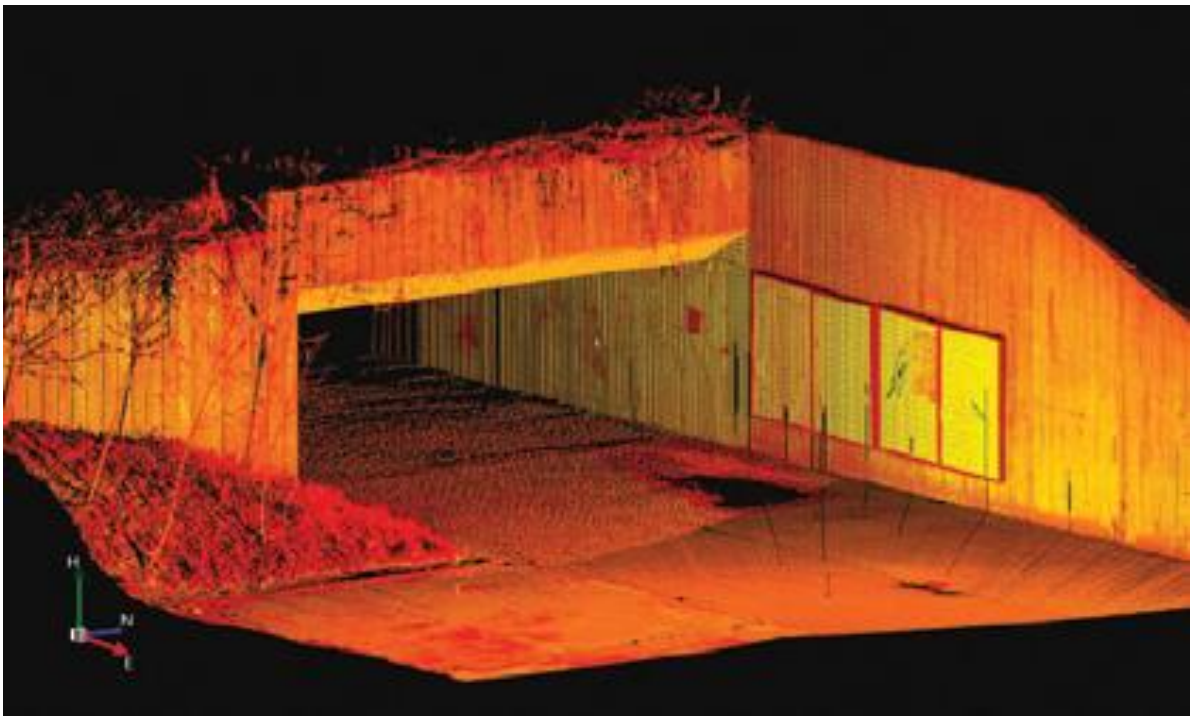
2.1 Načini zajema prostorskih podatkov

Uporabnikom so za terenski zajem podatkov, ki je odvisen od zahtevane natančnosti, velikosti objekta in časa izdelave, na voljo različne tehnologije, od konvencionalnih metod (klasično višinomerstvo, ki se dandanes vse manj uporablja) pa do naprednih metod (aerolasersko skeniranje, terestrično lasersko skeniranje in fotogrametrično skeniranje). Pri teh metodah oblaki točk predstavljajo nepredstavljivo bogastvo informacij. Le-te se z ustreznimi programskimi orodji obdela do končnega izdelka. Opis prostora ali objekta (na primer terena, zgradbe, tovarne, ladje) z oblakom točk že dolgo ni novost. Kljub temu je razvoj strojne opreme, predvsem laserskih skenerjev in programske opreme za obdelavo oblakov točk, prispeval k njihovi popularnosti. Nekdaj je geodet izmeril objekt tako, da je na vsakem vogalu in slemenu določil po eno točko, medtem ko lahko danes z laserskim skenerjem v nekaj minutah zajame vse detajle na strehi, fasadi in okolici. To je pomembno predvsem takrat, ko gre za rekonstrukcijo kompleksnih objektov z velikim številom detajlov. (Bilban, 2016)



Slika 1: Posnetek objekta s konvencionalno metodo

Vir: (http://www.geoservis.si/images/stories/Clanki/gradbenik_11_2016_3d_oblaki_tock.pdf)



Slika 2: Posnetek objekta z oblakom točk

Vir: (http://www.geoservis.si/images/stories/Clanki/gradbenik_11_2016_3d_oblaki_tock.pdf)

Zaradi velikega števila zajetih podatkov (točk) je prednost 3D oblaka točk pred konvencionalnimi metodami očitna.

S skeniranje željenega območja je na osnovi milijonov točk zajeto praktično vse, saj je razpoznana vsaka podrobnost. Sodobni laserski skenerji zmorejo zajemati podatke s hitrostjo več kot milijon točk na sekundo. Tako zajem oblaka iz enega stojišča v obsegu 360° x 290° in ločljivostjo 3,1 mm/10 m traja dobre tri minute. Zaradi brezkontaktnega zajema podatkov je laserski skener tudi neprimerno bolj varen. To se predvsem odraža pri zajemu podatkov prometnega križišča, cestninske ali železniške postaje.

Veliko število zajetih podatkov pa lahko predstavlja tudi oviro pri obdelavi posnetkov, saj so datoteke lahko tudi nekaj 1000-krat večje od datotek, izdelanih s konvencionalno metodo. Ker zajem podatkov deluje po principu odboja svetlobe, je pogoj, da skenirana površina odbija svetlobo. V nasprotnem primeru dobimo območja brez točk ali t. i. »črne luknje«. Prav tako se ob skeniranju svetloba lahko odbija od sosednjih površin – objektov, zato dobimo t. i. »odvečne točke«. Veliko težavo pri izdelavi posnetkov z oblakom točk predstavlja tudi vegetacija, saj se svetloba odbija od njene površine (listi, veje …). Takšni oblaki točk ne izkazujejo dejanskega stanja obstoječega terena – površine in v skenogramu predstavljajo šume, ki jih je kasneje potrebno odstraniti s programskim orodjem. (Bilban, 2016)

2.2 Uporaba

Oblak točk predstavlja bogastvo informacij in omogoča bolj učinkovito ter hitrejše opravljeno delo, ne glede na vrsto aplikacije:

- izmera vseh površin grajenih objektov (na primer za potrebe rekonstrukcije ali izdelave arhitekturnega načrta);
- izdelave 2D načrtov in 3D modelov zgradb, industrijskih objektov, tras linijskih objektov;
- izmere terena za potrebe določitve digitalnih modelov reliefa;
- izračuna volumnov gradbene jame ali napredovanja kopanja v rudnikih, kamnolomih ali gradbiščih;
- celovite izmere cest, tunelov, mostov in železnic z vso spremljevalno infrastrukturo;
- visokoločljivega zajema arheoloških najdišč, zgodovinskih objektov, kipov;
- kontrole kakovosti izvedbe;
- obratnega inženiringa (skeniranje že izdelanih predmetov, ko zaradi pomanjkanja ali izgube načrtov želimo izdelati projektno dokumentacijo);
- pa vse do merjenja volumnov in površin. (Bilban, 2016)

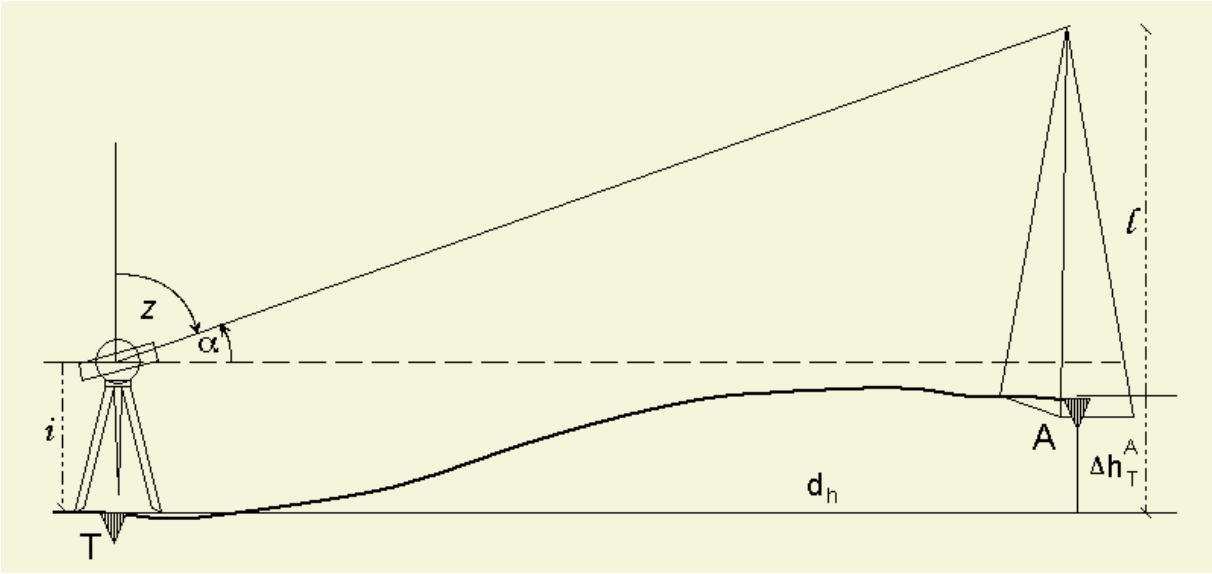
2.3 Oblike zajema podatkov

2.3.1 Trigonometrično višinomerstvo

Ena od geodetskih metod višinomerstva je trigonometrično višinomerstvo. Na osnovi poznane horizontalne ali poševne dolžine in merjene zenitne razdalje določimo višinsko razliko med točkama. Trigonometrično metodo uporabljamo pri določanju poligonskih točk, višin trigonometričnih točk, višinskih položajev objektov na zahtevnih terenih, višin točk v osmih inženirskih lokalnih mrežah, detajlni katastrski ali polarni topografski izmeri ali v kombinaciji z geometričnim nivelmanom pri prenosu višin na daljše oddaljenosti. Metodo lahko v kombinaciji z natančnimi meritvami poševnih dolžin z elektronskimi razdaljemeri primerjamo z natančnostjo geometričnega nivelmana. Zenitne razdalje merimo tudi pri nekaterih nalogah klasične geodetske astronomije.

Za merjenje vertikalnih kotov (zenitnih razdalj) uporabljamo le še elektronske teodolite. Elektronski tahimeter nam na osnovi poševne dolžine in merjene zenitne razdalje takoj izračuna višinsko razliko. (Tahimetri ali elektronske geodetske totalne postaje so natančni instrumenti za merjenje kotov in dolžin pri geodetskih izmerah ali gradbenih meritvah). Pri izračunu

zenitnih razdalj je pomembna izbira enačb za izračun in upoštevanje števila merskih vrednosti, za katere ni nujno, da so dovolj natančne, še posebej, če ne upoštevajo specifičnosti lokalnega območja, kjer potekajo meritve (projekcija, lokalno merilo …). Indeksni pogrešek ali dodatni instrumentalni pogrešek predstavlja pogrešek položaja mesta odčitavanja. Na osnovi razlike odčitkov zenitne razdalje v smeri izbrane točke v obeh krožnih legah določimo kotno vrednost pogreška. Ne glede na nagib vizure je pogrešek konstantna vrednost, ki je lahko zelo velika in se izvrednoti z merjenjem v obeh krožnih legah. Vgrajen kompenzator v sodobnih napravah služi za zagotavljanje konstantnosti tega pogreška in skrbi, da je indeks vertikalnega kroga vedno na istem mestu glede na položaj vertikalne osi, kljub temu da je stojiščna os nagnjena za določen manjši kot. (Kogoj & Stopar, 2009)



Slika 3: Prikaz postopka trigonometričnega višinomerstva

Vir: (Kogoj & Stopar, 2009)

Pri tem so:

i = višina instrumenta,

l = višina merjenje točke,

z = zenitna razdalja,

α = vertikalni kot,

d_h = razdalja med instrumentom in merjeno točko.

2.3.2 Barometrično višinomerstvo

Metoda določanja nadmorskih višin in višinskih razlik na osnovi merjenja zračnega tlaka se imenuje barometrično višinomerstvo. Zračni tlak je tlak v Zemljinem ozračju nad katerokoli površino, povzroči pa ga teža zraka. Z večanjem oddaljenosti od ničelne nivojske ploskve zračni

tlak pada. Merimo ga z barometri, in sicer z živosrebrnim in kovinskim barometrom. Višinsko razliko računamo na osnovi izmerjene spremembe zračnega tlaka. Barometričnega višinomerstva ne moremo glede na natančnost primerjati z geometričnim nivelmanom in trigonometričnim višinomerstvom, saj je natančnost barometričnega višinomerstva majhna. (Žibert, 2009)

2.3.3 LiDAR

LiDAR (angl. Light Detection And Ranging) bi lahko dobesedno prevedli kot Svetlobno zazanavanje in merjenje. LiDAR je geodetska metoda, pri kateri merimo razdaljo do tarče z uporabo svetlobe oz. laserskih žarkov. Pridobljeni podatki so široko uporabni za izdelavo visokokakovostnih zemljevidov. Leta 2015 je Ministrstvo za okolje in prostor zaključilo projekt Laserskega skeniranja območja Slovenije in podatke predalo v javno uporabo. Tako so bili s projektom pridobljeni in izdelani najnatančnejši podatki o reliefu za celotno območje Slovenije. Pri postopku laserskega skeniranja površja oziroma terena gre za zajem točk, ki je izveden z laserskim skenerjem, napravo, ki je nameščena na letalu. Laserski skener odda in nato ujame od terena odbiti žarek in na podlagi časa potovanja žarka določi višino točke, od katere se je žarek odbil. Pri tem je ključnega pomena integracija treh naprav: navigacijske naprave GNSS (Global Satelite Navigation System), inercialnega sistema (INS) in laserskega sistema, ki sta namenjena umestitvi podatkov v prostor ter samega laserskega sistema.

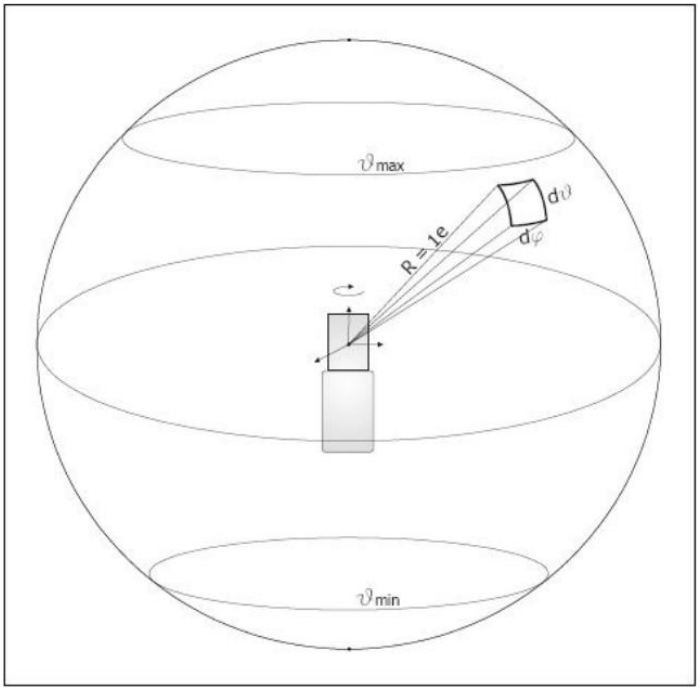
Tako je rezultat laserskega skeniranja oblak georeferenciranih točk. Z nadaljnjo obdelavo s programskim orodjem se klasificirajo točke glede na odboj laserskega žarka (voda, tla, objekti, vegetacija). Na osnovi klasifikacije se izdela digitalni model terena. Natančnost digitalnega modela je odvisna predvsem od gostote odbitih točk. Območje Slovenije je v večini skenirano z gostoto 5 točk/m^2, medtem ko so visokogorje in območja velikih gozdov skenirana z gostoto 2 točki/m^2. Območja zemeljskih plazov in večje poplavne ogroženosti pa so skenirana z gostoto 10 točk/m^2. (Monolit, 2019)

2.3.3.1 Terestrično lasersko skeniranje

Zelo učinkovita in vse bolj uveljavljena metoda zajema prostorskih podatkov je terestrično lasersko skeniranje (angl. Terrestrial Laser Scanning – TLS). Metoda predstavlja zajem prostorskih podatkov s fiksnih stojišč na poljubni lokaciji (terenu).

Terestrični laserski skenerji omogočajo neposredno določitev tri razsežnostnega položaja točk v polarnem koordinatem sistemu. Poleg dveh prostorskih kotov ϕ in υ se beleži še dolžina do

posamezne točke ρ. Tako skenerji delujejo po principu kotnih inštrumentov, kjer je na posameznem stojišču rezultat skeniranja pravilna mreža točk.



Slika 4: Princip delovanja terestričnega laserskega skenerja

Vir: (Vezočnik, Gvozdanović, & Smole, 2018)

Terestrični laserski skener je torej naprava, ki v eni napravi združuje merilni sistem, vrtljivo lasersko glavo, kompenzator za boljšo kakovost skeniranih podatkov, SSD disk za shranjevanje podatkov in druge komunikacijske vmesnike, kot so Ethernet, Wi-Fi in Bluetooth ter na dotik občutljivi zaslon. Naprava ima vgrajeno tudi kamero, ki omogoča preprosto izbiro območja skeniranja ter zajem panoramske fotografije okolice (slika 5).

Visoko zmogljivi optično-mehanski senzorji skupaj z učinkovito programsko opremo so omogočili pospešen razvoj tehnologije laserskega skeniranja. Tako se lahko nekatere modele laserskih skenerjev celo obrne na glavo in se jih nameščene na posebnem stativu spusti v jašek ali podzemni zbiralnik. So zelo odporni na zahtevne terenske in vremenske pogoje, kot so prah in dež. Delujejo pri temperaturah od –20 °C do +50 °C. Dovršen grafični vmesnik s preglednim zaslonom pa zagotavlja učinkovito delo. (Vezočnik, Gvozdanovič, & Smole, 2018)

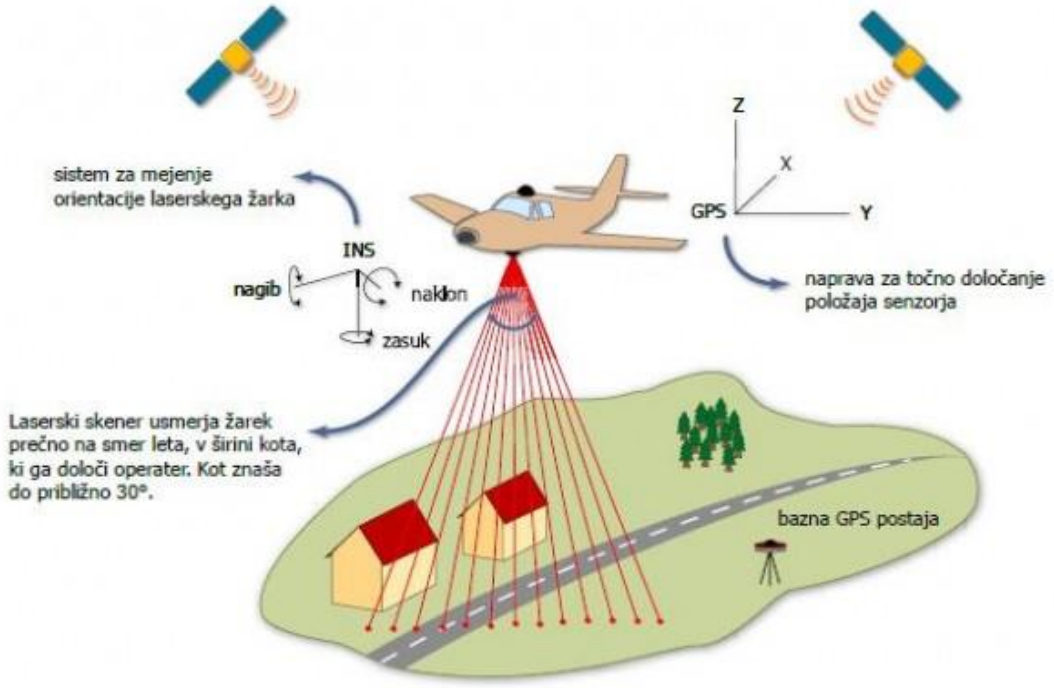


Slika 5: Primer laserskega skenerja (Leica BLK360)

Vir: (http://www.gradbenik.net/novice/51/lasersko-skeniranje-za-vsakogar#)

2.3.3.2 Aerolasersko skeniranje

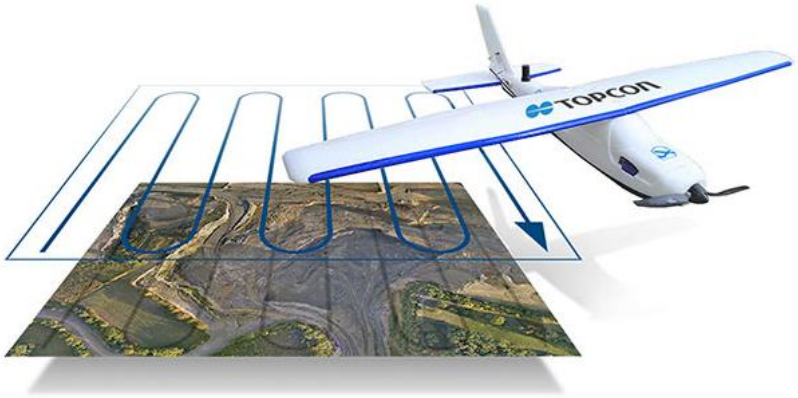
Logičen korak od terestričnih laserskih skenerjev je le-te postaviti na premično osnovo: avto, vlak, plovilo, avtonomno vozilo ali v nahrbtnik. Takšni sistemi združujejo več različnih senzorjev – od sistema za določanje lastnega položaja, na primer GNSS, IMU ter odometra, enega ali več laserskih skenerjev in več kamer za sprotni zajem panoramskih fotografij. Glede na aplikacijo pa imajo vgrajene še številne druge senzorje, na primer georadar, sonar, senzorje nagiba in razmika tirov in drugo. Tudi v teh primerih je rezultat foto-realistično obarvan oblak točk, ki omogoča hitro, napredno in celovito kartiranje ter načrtovanje. Eden takšnih primerov je aerolasersko skeniranje (angl. Airborne Laser Scanning – ALS) predstavlja v osnovi nadgradnjo terestričnega laserskega sistema skeniranja, pri čemer je laserski skener pritrjen na zračno plovilo. To zračno plovilo lahko upravlja pilot ali pa je vodeno na daljavo kot brezpilotno plovilo. Sistem aerolaserskega skeniranja omogoča hiter zajem prostorskih podatkov širšega območja.



Slika 6: Zračno lasersko skeniranje

Vir: (http://www.space.si/wp-content/uploads/2012/05/lidar-665x386.jpg)

Sistem za aerolasersko skeniranje sestavljajo laserski skener, ki oddaja ter sprejema impulze, inercialne merske enote (IMU), ki meri kotne pospeške, in GNSS (Globalni navigacijski satelitski sistem) antene ter sprejemnika (slika 6).



Slika 7: Primer načrtovanja leta

Vir: (https://www.unmannedsystemstechnology.com/wp-content/uploads/2014/09/Sirius-Topcon-300x208.jpg)

Sistemi za aerolasersko skeniranje zaradi vse večje natančnosti pridobljenih podatkov in možnostih uporabe pridobivajo na svojem pomenu. Skupaj s hitrostjo zrakoplova se skeniranje izvaja po v naprej načrtovanih linijah leta (slika 7). Gostoto točk se nadzira s frekvenco. Zaradi zadostnega prekrivanja podatkov je potrebno posebno pozornost posvetiti načrtovanju oz.

planiranju leta. V primeru nekalibriranega sistema se lahko zgodi, da se točke, ki predstavljajo iste objekte, med posameznimi linijami leta ne ujemajo. Tako lahko pride do znatnih odstopanj, zaradi katerih so taki podatki neuporabni. (Kocijančič, 2013)



Slika 8: Primer obdelave zajetih podatkov (oblaka točk) s programskim orodjem AgiSoft

Vir: (http://www.gradbenik.net/media/photo/big//2017/10/59d4a176_50_6.jpg)

2.3.3.3 Mobilno lasersko skeniranje

Ko govorimo o zajemu podatkov z oblakom točk, velja vsekakor omeniti mobilno lasersko skeniranje. Pri tej metodi gre za robotiziran tahimeter, ki je zaradi svoje visoke natančnosti in hkrati mobilnosti nepogrešljiv pri vseh inženirskih merjenjih v geodeziji, gradbeništvu in opazovanju premikov. Uporaben je pri vseh klasičnih geodetskih merskih nalogah, merjenju in zakoličevanju (npr. antenski ali daljnovodni stolp, fasada) kakor tudi pri bolj zahtevnih, kjer so pomembni detajli težko dostopni oz. povsod, kamor »letalski« laser ne doseže (npr. portal predora, predor, mostovi, visoka vegetacija, gradbena jama) ali pa se zahteva najvišja možna kakovost oblaka, kot na primer tiri in tirna infrastruktura (slika 9). Dovršena in aplikativno usmerjena terenska programska oprema omogoča operaterju, da že na terenu sprejme pomembne odločitve in tako prihrani dragocen čas – čas, ki bi ga potreboval za vračanje v pisarno, kjer bi analiziral meritve, ter čas, ki ga prihrani, ker ni potrebno ponovno vračanje na teren zaradi morebitnih manjkajočih podatkov. Tako lahko že na terenu izračuna volumen nakopanega materiala, ugotovi razliko volumnov med dvema zaporednima skeniranjema brežine ali kamnoloma, ugotovi ravnost in odstopanja površine, na primer parkirišča.



Slika 9: Primer mobilnega laserskega skeniranja

Vir: (http://www.mensuras.si/sites/default/files/images/QT1.jpg)

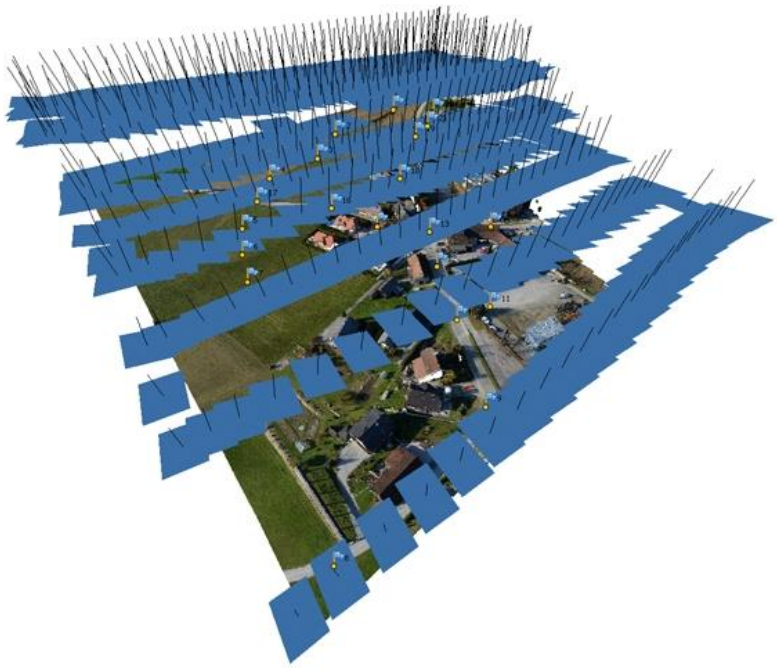
2.3.4 Fotogrametrija

Osnovne nosilce podatkov v fotogrametriji predstavljajo fotografije, zajete s senzorji. Le-te so lahko zajete z zelo različnimi tehnikami zajema fotografije, ki je lahko rentgen, ultrazvok, elektronski mikroskop, fotoaparat, videokamera, satelitski optični senzorji … Pomembno je, da so slike čim bolj metrično določene, da je metrika stabilna in ponovljiva. Najbolj uporabljen senzor v fotogrametriji je fotoaparat. Načeloma je mogoče vsak fotoaparat uporabiti v fotogrametriji, vendar so za doseganje večjih natančnosti potrebni posebni fotoaparati, ki jih imenujemo metrični fotoaparati. (Kogoj & Stopar, 2009)

Tako je oblake točk mogoče določiti iz množice prekrivajočih se fotografij s fotogrametričnimi postopki. Če fotogrametrijo združimo z letalniki (to so lahko klasična letala, helikopterji ali pa brezpilotna letala), dobimo aerofotogrametrijo. Takšni letalniki lahko tudi samodejno letijo nad terenom in zajemajo sliko z nameščenimi fotoaparati oz. kamerami. Z obdelavo fotografij v pisarni programska oprema izračuna oblak točk, na tej osnovi pa tudi digitalni model višin (DMV) in digitalni model reliefa (DMR) ter ortofoto. Brezpilotni letalnik ima vgrajene številne senzorje, ki zagotavljajo stabilno in varno letenje po vnaprej planirani poti. Z enim 15-minutnim poletom na višini okoli 75 metrov omogoča zajem področja velikosti 8–10 ha. Pri tem je ločljivost fotografij 2 cm. Sodobni brezpilotni letalniki imajo vgrajene še druge senzorje

(žiroskop, magnetometer, barometer, ultrazvočni senzor), ki omogočajo samodejno vzletanje in pristajanje, stabilno letenje v vetru ter številne varnostne mehanizme v primeru težav (samodejno vračanje domov, pristanek v sili), zato je delo z njim varno in nestresno.

Če želimo posnetke uporabiti za izdelavo modelov oz. za meritve in iz njih narediti želene izdelke (načrte, karte, ortofoto, DMR …), jih je potrebno najprej orientirati in jim v prostoru določiti orientacijo in lego. Definirati je potrebno koordinatni sistem, v katerem želimo določiti elemente posnetka, ki ga želimo meriti in ga imenujemo objektni koordinatni sistem (OKS). OKS je lahko svetovni, državni ali lokalni.



Slika 10: Prikaz zajema in prekrivanja posnetkov

Vir: (https://www.gdl.si/vsebina/Aerotriangulacija.jpg)

Glede na klasične geodetske metode ima tehnologija aerolaserskega skeniranja kar nekaj prednosti, žal pa tudi nekaj pomanjkljivosti. Bistvene prednosti so:

- brezkontaktni zajem (ne prihaja do poškodb na objektih oz. neposreden dostop do objekta ni potreben);
- ogromna množica meritev (visoka detajlnost metričnih 3R modelov);
- enostavna izvedba na težko dostopnih krajih (npr. kamnolom, plazovita območja, strme brežine…);
- hitrost zajema;

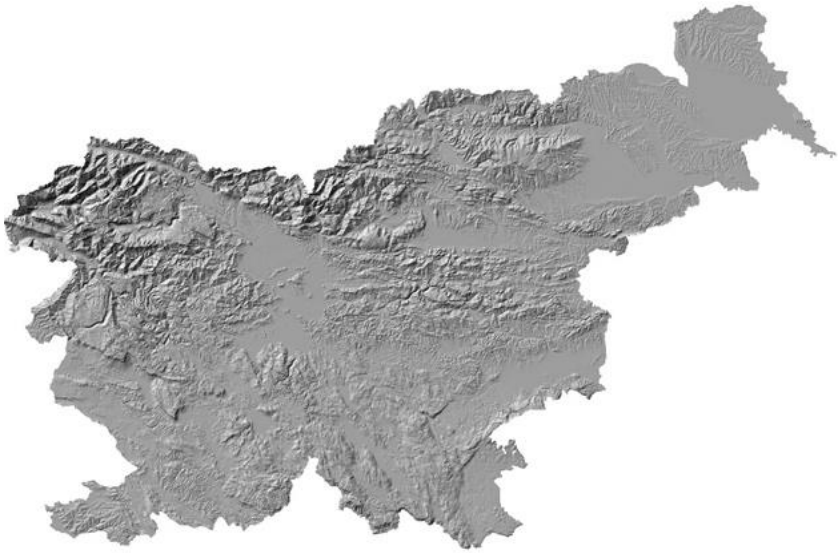
- opis trenutnega stanja objektov – zamrznitev stanja;
- možnost intergracije z drugimi tehnologijami (npr. video, fotografija);
- realističnost prikazov (lažja interpretacija vsebine zajema) in
- možnost izdelave virtualnega arhiva.

Pomanjkljivosti se kažejo:

- v dražji strojni opremi glede na klasično geodetsko opremo;
- zaradi same perspektive zajemanja aeroposnetkov ne moremo zajeti detajla, ki je v geometrijski senci drugih objektov, kot na primer bujna vegetacija (gozdovi, žitna polja, nasadi …), zapletene za letalnik nedostopne konstrukcije;
- kadar je zahtevana visoka natančnost (gradnja oz. spremljanje gradnje inženirskih objektov, kot so mostovi, predori, jezovi);
- kadar izdelujemo posnetek za zakotna območja, kjer je lahko zaradi slabega sprejema signala GPS pride do večjih odstopanj oz. do večje nenatančnosti izdelanih posnetkov. V takšnih primerih je potrebno preučiti teren in uporabiti najbolj primerno metodo, ki je lahko klasična (trigonometrična), terestično lasersko skeniranj ali pa kombinacija vseh;
- zaradi same perspektive zajemanja aeroposnetkov ne moremo zajeti detajla, ki je v geometrijski senci drugih objektov.

2.3.4.1 DMV

Produkt fotogrametrije je v splošnem digitalni model višin (DMV). Obliko predmeta ali objekta predstavljajo točke, linije in ploskve, ali njihova kombinacija. Točke so lahko po površju objekta, ki ga želimo modelirati, različno razporejene, t.j. pravilna (mrežna) ali nepravilna (raztresena) razporeditev. Razdalja med točkami je pri mrežni razporeditvi lahko konstantna ali pa se spreminja po vnaprej določenem pravilu. Vsekakor pa je pomembno, da se na bolj razgibani površini objekta število točk zgosti in obratno. Kjer objekt nezvezno spreminja obliko, linije dopolnjujejo točkovni DMV. Takim linijam pravimo tudi karakteristične linije. Nepravilna trikotniška mreža (NTM) se uporabi, kadar je objekt predstavljen s ploskvami. Nepravilno trikotniško mrežo izračunamo iz zajetih točk ali linij ali pa kombinacije le-teh. Za natančnejši prikaz modela reliefa manjših območij je NTM najbolj primerna. (Urbančič & Grigillo, 2015)

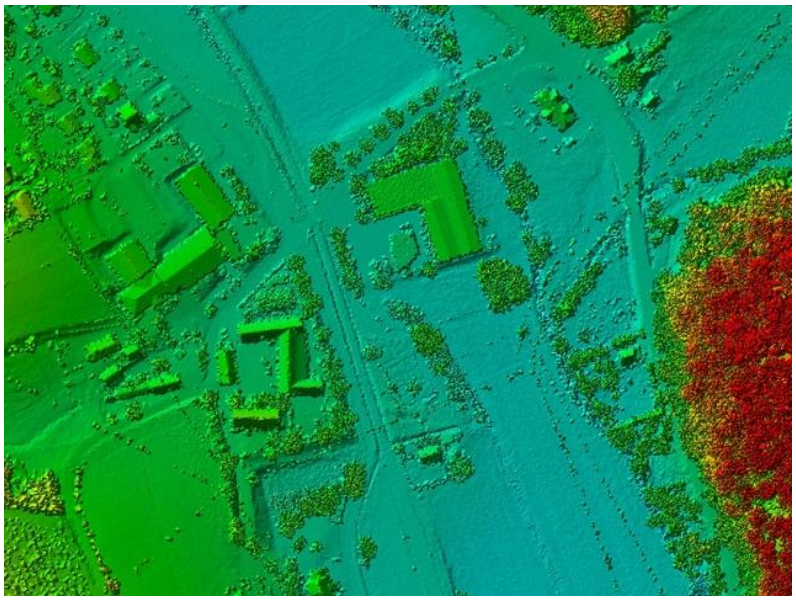


Slika 11: Digitalni model višin (DMV)

Vir: (https://www.gdl.si/vsebina/dmr_1.jpg)

2.3.4.2 DMR

DMR ali digitalni model reliefa predstavlja naravno stanje terena oz. reliefa brez vegetacije in pozidave z objekti (stavbe, objekti …) ter infrastrukture (mostovi, nadvozi, podvozi …). Za uporabo DMR na velikih območjih (na državnem nivoju) je primernejše hranjenje v obliki mreže točk in karakterističnih linij zaradi relativno majhnega števila podatkov. Za prikazovanje modela reliefa ali modela višin je primerna katerakoli oblika podatkov ali pa jo transformiramo v drugo obliko. (Urbančič & Grigillo, 2015)



Slika 12: Primer digitalnega modela reliefa (DMR)

Vir: (https://www.gdl.si/vsebina/dmr_2.jpg)

2.3.4.3 Ortofoto

Ortofoto je posnetek, ki je narejen v centralni projekciji in transformiran v ortogonalno projekcijo. Po metričnosti je podoben karti, po vsebini pa je ortofoto še vedno fotografija. Taka oblika karte je zelo uporabna za arheologe, gozdarje, kmetijske delavce, geografe, geologe, planerje in ekologe. Ortofoto si lahko razložimo tudi z naslednjim primerom: če bi bil posnetek v trenutku, ko je posnet, popolnoma vodoraven, objekt pa bi bil ravnina in tudi ležala v vodoravni legi, potem bi z ustrezno povečavo oz. pomanjšavo posnetka že dobili karto. Ker teren ni raven in posnetek ni vodoraven, je potrebno pred izdelavo ortofota najprej izvesti orientacijo posnetka in določiti obliko terena. Ker se ortofoto običajno izdeluje za večje območje, izračunamo orientacije posnetkov s pomočjo aerotriangulacije in nato določimo še model objekta (DMV). Nato s posebno transformacijo izračunamo ortofoto. Postopek lahko imenujemo diferencialna rektifikacija posnetka.



Slika 13: Primer digitalnega ortofota (DOF)

Vir: (https://www.gdl.si/vsebina/dof_1.jpg)

Če je objekt nagnjena ravnina, lahko ortofoto izdelamo enostavneje, postopek pa imenujemo redresiranje posnetka. Do ortofota lahko pridemo z različnimi inštrumenti, vendar se je pri obdelavi povsem uveljavil računalnik in različna programska orodja. Tako se izdelek imenuje digitalni ortofoto, njegova izdelava pa je vse bolj avtomatizirana. (Stopar, Koler, & Kuhar, 2018)

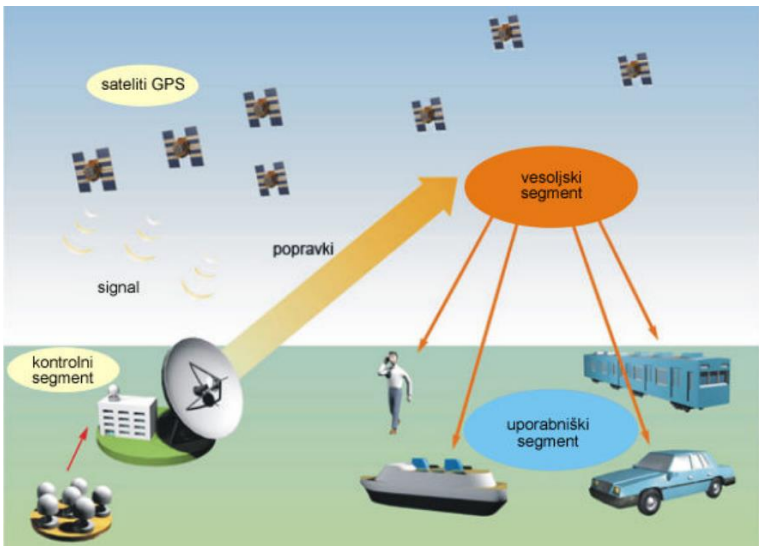
2.3.5 Globalni navigacijski satelitski sistem (GNSS)

Za določanje položaja poljubne točke na Zemlji bi uporabili Globalni Navigacijski Satelitski Sistem (GNSS angl. Global Navigation Satellite System). Določitev položaja točk s pomočjo sistema GNSS temelji na izmeri razdalj med danimi in novo točko. Pomemben podatek pri tem je, da v primeru metode izmere GNSS dane točke spreminjajo položaj v prostoru. Dane točke predstavljajo sateliti, ki krožijo okrog Zemlje. Njihov položaj je znan v vsakem časovnem trenutku. Dolžine v primeru metode izmere GNSS dobimo prek časovnega intervala potovanja signala od oddajnika v satelitu do sprejemnika. Sistem GNSS sestavljajo vesoljski segment, zemeljski oz. kontrolni segment ter uporabniški segment.

Vesoljski segment sestavljajo navigacijski sateliti, ki jih je v začetnem delovanju sistema GPS bilo 24. Njihovo števili se je s časoma povečevalo vse do danes, ko jih je čez 32. Sateliti GNSS oddajajo signal, na osnovi katerega je mogoče na Zemlji in v njeni bližini pridobiti podatek o položaju in času.

Kontrolni segment sestavljajo glavna kontrolna postaja in kontrolne postaje, ki so enakomerno razporejene vzdolž ekvatorja. Glavna naloga kontrolnega segmenta je ugotavljanje stanja sistema in posameznih satelitov GNSS, določanje tirnic satelitov GNSS, ugotavljanje urinega teka satelitovih ur in periodično obnavljanje navigacijskega sporočila.

Uporabniški segment sestavljajo uporabniki sistema GNSS, ki opazujejo in sproti shranjujejo sprejeti signal, na osnovi katerega določajo svoj položaj, hitrost in pridobivajo podatek o času. (Berdajs & Ulbl, 2010)



Slika 14: Zgradba GNSS

Vir: Prirejeno po: (http://www.enri.go.jp/eng/research/image/nav_0302.jpg)

2.4 Programske rešitve za obdelavo oblakov točk

3D oblak točk, ki je rezultat zajema podatkov na terenu, praviloma še ni končni izdelek. Ker so zajete točke pridobljene po principu odboja svetlobnega žarka, dobimo množico točk, ki predstavlja obstoječ teren, vključno z vsemi motnjami (npr. vozila na vozišču) in vegetacijo. Takšen oblak točk je potrebno še obdelati s strani geodeta, pri čemer mu je v veliko pomoč sodobna programska oprema, ki v veliki meri sama prepozna morebitna odstopanja, sence ali motnje. Tako programska oprema pripomore k hitrejši in učinkovitejši poti do končnega izdelka, pa naj gre za 2D načrt, 3D model ali analizo deformacij objekta. (Bilban, 2016)

V splošnem delovni postopek sestavlja 6 korakov:

- terenski zajem podatkov (oblakov točk),
- uvoz in čiščenje oblakov točk,
- združevanje oblakov točk, zajetih iz različnih stojišč,
- posredovanje,
- modeliranje in
- analize.

2.5 Programska oprema za obdelavo zajetih podatkov

Skupek programskih paketov lahko izvaja več korakov hkrati, vendar splošno velja, da so posamezna programska orodja bolje specializirana za posamezne operacije ter posledično bolj učinkovita. Eden bolj znanih programskih paketov, ki pokriva najširši vidik obdelave oblakov točk, je Leica Cyclone. Še posebej pa ga odlikujejo zmogljive funkcije za samodejno, pol-samodejno in ročno modeliranje cevovodnih sistemov (cevi, kolena, ventili, prirobnice …) ter kovinskih konstrukcij, pri čemer lahko podatke črpa iz obsežnih katalogov standardnih elementov. Pri modeliranju pa operaterju postreže tudi s podatki o kakovosti določitve objekta – dimenzije objekta, standardno deviacijo ter največjim odstopanjem oblaka točk od modela in število točk, iz katerih je bil model ustvarjen. (Bilban, 2016)

Učinkovito uporabo obsežnih oblakov točk omogoča programski paket Leica CloudWorx, ki je namenjen za uporabo v različnih CAD orodjih.

CloudWorx za AutoCAD je odlično orodje za ustvarjanje 2D načrtov, kot so tlorisi in fasade. CloudWorx za Revit omogoča učinkovito modeliranje za potrebe BIM. V Autodesk okolju so

uporabniku tako na voljo vsa znana orodja, oblak točk pa je odlična pomoč pri neposrednem postavljanju Revit objektov (stene, tla), določanju nadstropij ter inštalacij (cevi, kanali, jaški).

Za učinkovito obvladovanje obsežnih projektov je namenjen Autodesk Navisworks, ki združuje podatke iz najrazličnejših virov, tudi oblak točk izvedenega stanja (as-built). CloudWorx za Navisworks omogoča napredne analize skladnosti načrtovanega z izvedenim, preverjanje kolizij (clash detection) ter simulacij, kar je še posebej pomembno pri različnih vzdrževalnih delih. (Bilban, 2016)

Skupna lastnost vseh vtičnikov Leica CloudWorx je, da omogočajo neposredno uporabo oblakov točk v različnih namenskih programih. Uporabnik se tako izogne nepotrebnemu izvažanju in uvažanju podatkov ter posledično izgubi informacij. Za kakovostno vizualizacijo več sto milijonskih oblakov točk skrbi CloudWorx pogon, pri tem pa količina podatkov ne vpliva bistveno na odzivnost in hitrost aplikacije. (Bilban, 2016)

Podjetje Technodigit je izdelalo odlično orodje 3DReshaper, ki je ne glede na gostoto točk in njihov izvor optimalno orodje za izdelavo lahkih in verodostojnih 3D modelov. Ti modeli imajo manjše število trikotnikov za izdelavo 3D površin. Napredne fukncije in filtri omogočajo samodejno ali pol-samodejno čiščenje nepotrebnih točk, ki so lahko rezultat odboja ali vegetacije. Prav tako omogočajo polnjenje lukenj zaradi senc, glajenje in poudarjanje robov.

3DReshaper je prav tako odlično orodje za analizo deformacij, kontrolo izvedbe oz. skladnosti saj omogoča hitro primerjavo modelov zajetih oblakov točk ter izdelavo poročil.

V prvi vrsti so torej za kakovosten izdelek pomembni vhodni podatki, to je natančen in celovit oblak točk. Zato je že pri zajemu pomembna izbira najprimernejše merske opreme – glede na velikost objekta, obseg dela, zahtevano ločljivost in natančnost točk ter namena.

Kakovostni prostorski podatki predstavljajo bistveni vhodni element pri nadaljnji obdelavi in izdelavi natančnih modelov, tako od prostorskega planiranja, načrtovanja cest, železnic, najrazličnejše infrastrukture, projektiranje zgradb, ustvarjanja in vzdrževanja BIM modelov.

(Bilban, 2016)

2.6 SWOT analiza

Za boljši pregled smo izdelali SWOT analizo, kjer smo pod drobnogled vzeli štiri aspekte, in sicer prednosti, slabosti, priložnosti ter nevarnosti.

Tabela 1: SWOT analiza

PREDNOSTI	SLABOSTI
• Hitra izvedba • Izvedba detajlnih posnetkov • Potrebno manjše število ljudi za izvedbo • Cenovno ugodnejši v primerjavi s klasično metodo	• Relativno visoka začetna investicija strojne opreme • Potrebna osvojitev znanj za delo z letalniki in programsko opremo za obdelavo oblaka točk • Opravljanje izpita za upravljanje z letalniki • Nepopolni posnetek v primeru goste vegetacije in površin s homogeno strukturo (gladke betonske površine, površina vodne gladine) • Velika količina podatkov
PRILOŽNOSTI	**NEVARNOSTI**
• Znižanje vrednosti investicije strojne opreme • Izboljšanje programske opreme za obdelavo posnetkov (čiščenje šumov v skenogramih) • Zmanjšanje količine podatkov za enako kvaliteto/natančnost • Ponovna digitalizacija celotnega območja Slovenije	• Večji gradbeni projekti so že zaključeni • Zmanjševanje finančnih sredstev za investicije • Uvedba nove tehnologije s še večjo natančnostjo in manjšo količino podatkov

Vir: (Lastni vir)

3 SPLOŠNO O BREZPILOTNIH LETALNIKIH

3.1 Zgodovina

Ne daleč nazaj so bili troti (angl. drone) ali brezpilotni letalniki – BPL (angl. unmanned aerial vehicle, UAV) predvsem v domeni vojaške industrije. Z zniževanjem cen so postali vse bolj popularni pri modelarskih navdušencih in razširjeni v zasebnem oz. komercialnem okolju. Skupina DIY Drones, ki je v Združenih državah najbolj dejavna, ima že več kot 49 tisoč članov. Njihovo poslanstvo je združevanje razvijalcev brezpilotnih letalnikov. Razcvet BPL je bil najbolj opazen na sejmu elektronike CES (angl. Consumer Electronics Show), ki se je odvijal januarja 2018 v Las Vegasu. Predstavljeni so bili sistemi brezpilotnih letalnikov, ki letijo s satelitsko oziroma radijsko navigacijo, ter BPL, ki se uporabljajo v geodetske namene. (Bitenc, 2014)

3.2 Sistemi BPL in njihova klasifikacija

Opredelitev BPL se je začelo s prostoletečimi modeli, ki so delovali z motorjem s pogonom na elastiko. Med in po drugi svetovni vojni se je začel razvoj sistemov brezpilotnih letalnikov na daljinsko upravljanje. V današnjem času je tako letalnik robot, ki lahko leti od točke A do točke B po predhodno načrtovanem poletu in sočasno zajema različne vrste podatkov. Sistemi sodobnih brezpilotnih letalnikov sestojijo iz zračnega plovila, ki je opremljeno z različnimi senzorji, kot so žiroskop, kompas, merilnik pospeška, GNSS, in drugimi senzorji, kot so razne kamere oz. fotoaparati, ter zemeljske postaje za načrtovanje in nadzor letenja. Prav tako sestoji iz brezžičnega (radijskega) sistema za izmenjavo podatkov med letalnikom in zemeljsko postajo ter za pridobivanje in obdelavo zajetih podatkov, kot so prenos slike in telemetrijskih podatkov. V osnovi se brezpilotni letalniki delijo na letala, ki dosegajo večje hitrosti in lahko preletijo večja območja, ter na kopterje, ki imajo prednost na območjih z omejenim prostorom. Kopterji so lahko s štirimi ali več navzgor obrnjenimi rotorji oz. propelerji. Poleg osnovnih kamer za dnevno oz. nočno opazovanje (infra kamera) je na letalnikih lahko nameščena še vrsta drugih kamer, kot so multi- ali hiperspektralna kamera, termokamera, laserski skener itd., odvisno od namena uporabe. Posebni so vojaški brezpilotni letalniki, saj vsebujejo dodatno opremo, s katero pokrivajo opazovanje večjega območja. Pod to spada vse od umetno odprtinskega radarja (angl. synthetic aperture radar), radarskega sistema za izogibanje trčenju v zraku (angl. ground mapping radar), pa vse do laserskega označevaleca, ki poda natančne koordinate, kam je usmerjen izstrelek. Vse pogosteje pa je v uporabi sistem FPV (angl. First

Picture View), ki omogoča neposredni prenos slike iz letalnika do zaslona zemeljske postaje. Ta sistem je posebej uporaben na težje dostopnih krajih ali za nadzor nezakonitih prestopov meje. (Bitenc, 2014)

Brezpilotne letalnike delimo v razrede glede na:

- velikost (od velikosti žuželke in ptiča do velikosti pravega plovnega letala),
- trajanje in višino leta,
- opremo in sisteme, ki jih nosijo.

Vse našteto opredeljuje namen uporabe brezpilotnega letalnika, ki jih nadaljnjo delimo na (Bilban, 2016):

- **strateške**: letijo na velikih višinah (do 21 kilometrov) in lahko ostanejo v zraku več kot 24 ur; namenjeni so predvsem nadzoru in izvidništvu (na primer Global Hawk, Eagle, Predator);
- **taktične**: delujejo na majhnih višinah in ostanejo v zraku do 12 ur; namenjeni so izvidništvu in obveščanju (na primer Fire Scout);
- **bojne** (angl. unmanned combat air vehicle): nosijo oborožitev (na primer Pegasus);
- **mini oz. mikro**: omejen čas letenja; namenjeni so opazovanju površja Zemlje oziroma prostora.

3.3 Splošna uporaba brezpilotnih letalnikov

Droni so nepogrešljivi v raznih situacijah. Uporabljajo se kot pomoč reševalnim ekipam, saj so zmožni poleteti na območje potresa, eksplozije, jedrske nesreče, kjer posnamejo visokoločljive fotografije ali posnetke, ki reševalnim ekipam pomagajo pri organiziranju reševalne akcije. Eden izmed najbolj uporabnih dronov je Trimble UX5, ki lahko z 2,4-gigaherčnimi modemi v plovilu in v tablici komunicira pri daljavi, večji od petih kilometrov, in je tako rešitev na ekspedicijah, kjer je lahko takšen polet za pilota nevaren.

Žerjave in helikopterje, ki so jih v preteklosti uporabljali za raznorazna snemanja, so v modernejšem obdobju nadomestili droni. Ti omogočajo tako profesionalnim kot amaterskim fotografom visokokakovostne posnetke, najpogosteje s ptičje perspektive.

Mnogi verjamejo, da drone uporabljajo izključno vlade držav, vojske in izbrani entuziasti, ampak to prepričanje se vedno bolj oddaljuje od resnice. Vse pogosteje se droni uporabljajo za

vsakdanje in praktične stvari, nekatere firme, kot sta Amazon in DHL, pa uporabljajo drone za dostavljanje izbranih pošiljk. (Droni – brezpilotne naprave, ki spreminjajo življenja, 2015)

Ob že omenjeni uporabi v geodeziji se droni uporabljajo tudi za (prav tam):

- Iskanje preživelih po naravnih katastrofah;

  z namestitvijo različnih senzorjev, kot so infrardeče kamere, lahko z droni pregledujemo področja, ki so jih prizadele naravne nesreče, kot so potresi, neurja, poplave.

- Reševanje iz vode;

  reševanje utapljajočih ljudi iz vode je lahko še posebej zahtevno v slabih vremenskih razmerah. Dron, ki je krmiljen preko GPS ali sistemom FPV, lahko leti nad vodo, spremlja dogajanje in odvrže reševalno opremo. Na ta način zagotovi prvo pomoč do prihoda reševalne ekipe.

- Nadzor nezakonitih prehodov državne meje;

  ker se nezakoniti prehodi državne meje dogajajo izven urejenih mejnih prehodov, so droni izvrstno orodje za nadzor in spremljanje dogajanja. V vsakem trenutku so znane koordinate dogajanja, kar nadzornemu organu bistveno olajša delo.

- Dostava nujne zdravstvene pomoči;

  v državah v razvoju s slabo razvito infrastrukturo ali pa na območjih, kjer vremenske razmere otežujejo dostop do krajev, potrebnih pomoči, lahko uporaba dronov, ki prevažajo do nekaj kilogramov zdravstvene pomoči, bistveno olajša življenje ljudi.

- Komercialna raba;

  v filmski industriji predstavljajo droni filmskim ustvarjalcem številne nove izzive. Z njimi je možno ustvariti novo dimenzijo snemanja. Zaradi vse večje ponudbe pametnih letalnikov postajajo čedalje bolj finančno dostopni tudi amaterjem, ki želijo posneti filme v stilu Hollywooda.

- Droni za dostavo;

  brezpilotni letalniki postajajo prav tako vse bolj zanimivi za storitvena podjetja, ki se med drugim ukvarjajo tudi z dostavo. Z njimi bi lahko dostavljali nakupe celo do vhodnih vrat. Eno takih podjetij je Amazon ali DHL.

3.4 Uporaba majhnih brezpilotnih letalnikov v geodeziji

Vse pogosteje se brezpilotni letalniki uporabljajo na področju opazovanja in zajemanja geodetskih podatkov. Pred izhodom na teren operater s posebnim programom, kot so Leica Cyclone ali Agisoft, pripravi načrt leta, preveri omejitve letenja na obravnavanem območju, med katere spada tudi ugotavljanje možnih ovir med letom. Opazovanje je možno najlažje izvesti v optimalnih vremenskih razmerah, ko veter ni premočan, ne dežuje in svetlobne razmere omogočajo slikanje s kratkim zaslonskim časom. Avtopilot in program za kontrolo letenja omogočata podrobno načrtovanje leta, na primer pri preletu linijskih objektov, kot so ceste, železnice, vodotoki ter sprožanje kamere glede na preleteno razdaljo in v neenakomernih časovnih intervalih. S tem postopkom je možno izničiti vpliv vetra na prekrivanje posnetkov. Ker je trajanje leta omejeno, je lahko prelet izbranega območja razdeljen na več krajših letov. Med letom ima operater zmožnost preverjanja podatkov, kot so kakovost slik, prekrivanje posnetkov in kvaliteta pokrivanja izbranega območja. (Bitenc, 2014)

Brezpilotni letalniki na področju geodezije naznanjajo novo uporabno področje fotogrametrije. Največja prednost teh letalnikov so pridobljeni končni rezultati skoraj takoj po opazovanju, hkrati pa so hitreje pripravljeni na vzlet in zajem. Njihovi največji slabosti pa sta omejen čas letenja in omejena teža tovora, saj lahko povprečen letalnik leti le do 30 minut. Sistemi BPL lahko združujejo visoko kakovost podatkov, ki se je doslej zagotavljala s tradicionalnimi geodetskimi tehnikami (tahimetrijo, GNSS), in udoben fotogrametričen zajem iz zraka. Potrebno pa je vedeti, da BPL ni primeren za pridobivanje najnatančnejših geodetskih podatkov v primerih gradnje inženirskih objektov, kot so jezovi, mostovi itd. Največji izziv pri uporabi teh letalnikov v geodeziji je obdelava nastalih posnetkov, saj so načela fotogrametrije in računalniškega vida temelj profesionalne rabe algoritmov. Seveda obstajajo tudi preprostejše programske rešitve, če zanemarimo prostorsko natančnost in celovitost ter kot prioriteto postavimo hitrost in samodejno izdelavo ortofoto mozaikov. (Bitenc, 2014)

Višina leta, stabilnost letalnika, hitrost, uporaba terenskih oslonilnih točk in konfiguracija kamere so ključnega pomena za precizen zajem podatkov z visoko prostorsko ločljivostjo.

Terenske oslonilne točke potrebujemo za določitev parametrov zunanje orientacije posnetkov (medsebojna orientacija posnetkov se vrši s pomočjo senzorjev v zrakoplovu ter algoritmov pri obdelavi podatkov) in predstavljajo pomemben vhodni podatek pri izdelavi visoko natančnih bližnjeslikovnih aeroposnetkov in digitalnega modela. Oslonilne točke se na terenu postavijo v obliki signalizacije ali tarče, katerih lokacija se posname s tahimeterom ali globalnim

navigacijskim satelitskim sistemom pozicioniranja (GNSS). Število oslonilnih točk je pogojeno z velikostjo in razgibanostjo obravnavanega območja.

Zaradi nestabilnosti letalnika imajo podobe lahko različno merilo in usmerjenost hkrati nestabilnost vpliva tudi na položaj letalnika v času ekspozicije. Na platformo vgrajeni stabilizatorji premikajo lečo in tako skrbijo za stabilizacijo, vendar določitev parametrov notranje orientacije oziroma uporabo predhodno kalibriranih parametrov, ki so ključni za doseganje visoke položajne točnosti podatkov oteži in redko tudi popolnoma onemogoči njihovo optimalno delovanje. Zato je v izdelavi kakovostnih ortofotov in 3D-modelov bolje izključiti stabilizatorje ter uporabiti zanesljive in zmogljive algoritme, ki upoštevajo kalibracijske parametre kamere in terenske kontrolne točke. To izboljša kakovost končnih izdelkov do te mere, da je primerljiva z tradicionalno aerofotogrametrijo in jo po ločljivosti detajlov prekaša. Sistemi BPL se na področju geodezije že uspešno uporabljajo za zajem območij premikov zemljine, plazov, topografsko kartiranje in izdelavo 3D-modelov, merjenje in nadzorovanje gradnje, vključno s cestami in železnicami. (Bitenc, 2014)

Ko govorimo o spremljanju in nadzorovanju gradnje objektov, kot so zidovi, stanovanjski objekti ipd., je spremljanje gradnje lahko dokaj enostaven proces. Ti objekti imajo razmeroma enostavne oz. pravilne oblike, merljivi so praktično vsi gabariti. Potrebno je le dobro poznavanje projekta ter redno spremljanje vgrajenih materialov. Precej težje pa je lahko spremljanje in nadzorovanje večjih objektov, ki nimajo pravilnih oblik, njihovi gabariti oz. vgrajen material pa je težko merljiv. To so predvsem razni izkopi, gramozne jame, kamnolomi in deponije viškov materiala. Ti objekti načeloma nimajo pravilnih oblik, so veliki in včasih tudi težko dostopni, da bi jih enostavno in natančno izmerili, kaj še le nadzorovali potek gradnje. Za takšne objekte je s klasično metodo praktično nemogoče izdelati posnetek trenutnega stanja, kaj še le primerjati izkopane količine (slika 15).



Slika 15: Primer izkopavanja naravnih surovin

Vir: (https://www.motorradreporter.com/sites/default/files/2019-05/PW%20-%2023%20-%20Erzbergrodeo%20-%20Red%20Bull%20Hare%20Scramble%20-%2001_0.jpg)

V takšnih primerih je spremljanje gradnje z uporabo dronov ali terestičnih skenerjev idealna rešitev. Posnetek je hitro in natančno izvedljiv in hkrati ponuja natančno spremljanje izkopanega materiala.

Zaradi bliskovitega tehnološkega napredka je uporaba letalnikov postala vse bolj razširjena. Ker zakonodaja na tem področju ni bila urejena, so se vse pogosteje dogajale nesreče v zraku. Prav tako je bila izpostavljena problematika kršitve pravice do zasebnosti. Zato je Republika Slovenija sprejela Uredbo o sistemih brezpilotnih zrakoplovov, ki je zapisana v Uradnem listu RS št. 52/2016. Uredba določa splošne tehnične in operativne pogoje za varno uporabo brezpilotnih zrakoplovov, sistema brezpilotnih zrakoplovov in letalskih modelov ter pogoje, ki veljajo za osebe, ki sodelujejo pri upravljanju teh zrakoplovov in sistemov (več v poglavju 3.6 Zakonodaja).

S tem, ko so brezpilotni letalniki bolj dostopni kot v preteklosti, se je povečala njihova uporaba tudi za preprostejše namene, ki so prijaznejši naravi in človeku. Poleg prej opisane uporabe na geodetskem področju se letalniki uporabljajo tudi v policiji za nadzor meja in prometa, za iskanje in reševanje pogrešanih oseb, možno pa jih je tudi modificirati v tako rekoč »drone gasilce«, ki so sposobni gasiti požare.

Uporabljajo se tudi za opazovanje in snemanje okolja, infrastrukture, vremena, njihova mobilnost pa je nepogrešljiva tudi pri dostavljanju humanitarne pomoči na ogrožena ali težko dostopna mesta. Letalniki so se začeli uporabljati kot sledilci živali, sicer ni možno direktno

preprečiti divjega lova, vendar le-tega zelo omeji, svoj prostor pa so našli tudi v kmetijstvu in gozdarstvu.

Vprašanje časa je, kdaj bodo brezpilotni letalniki zasedli nebo in v kakšne namene bo ta mogočna tehnologija uporabljena. (Bitenc, 2014)

3.5 Primeri brezpilotnih letalnikov v geodeziji

Tudi v geodeziji je danes velik izziv, kako sproti in natančno zajeti vse spremembe, ki se vedno hitreje dogajajo v prostoru. Eden izmed načinov pridobitve znatne količine prostorskih podatkov je uporaba brezpilotnih letalnikov. Le-ti jih lahko zajamejo v razmeroma zelo kratkem času. Droni kot takšni v geodetski stroki niso uporabni, v kolikor niso opremljeni z različnimi senzorji za zajem podatkov o terenu. Ti senzorji so lahko različni fotoaparati od kompaktnih do zrcalno refleksnih ali pa digitalnih. Na brezpilotne letalnike je možno pritrditi tudi laserski skener (lidar). Zaradi omejitve nosilnosti tovora brezpilotnih letalnikov je zaželjena uporaba čim lažjih senzorjev za zajem podatkov o terenu.

Najbolj priznana in razširjena proizvajalca geodetskih instrumentov na trgu brezpilotnih letalnikov sta trenutno Leica in Trimble. Kljub temu obstaja na trgu še veliko drugih, manj priznanih podjetij, ki se s kvalitetno izdelavo, sodobnimi rešitvami in nizkimi cenami počasi prebijajo na sam vrh ponudbe brezpilotnih letalnikov (DJI, SenseFly, Cyberhawk, Doheny Drones). (Dougan, Šašo, Tržan, & Vidmar, 2014)

V nadaljevanju je predstavljenih nekaj najbolj priljubljenih letalnikov v geodeziji.

3.5.1 Trimble UX5

Trimble UX5 in UX5 HP predstavljata zanimivi različici brezpilotnih letalnikov, ki se od večine razlikujeta pa svoji obliki, saj spominjata na nekakšna vohunska vojaška letala. Oba modela imata 2 krili s skupnim razponom 100 cm, pogonski sklop pa predstavlja 700 W elektromotorček, ki poganja propeler na repu letalnika. Kamera je (odvisno od izvedbe) ločljivosti 24 MP ali 36 MP z 15,25 ali 35 mm lečo – vse skupaj naj bi bilo dovolj za ločljivost slike 2 cm. Vzdržljivost oz. čas leta takšnega drona znaša po navedbah proizvajalca 50 minut, doseg pa je kar 60 km. (Dougan, Šašo, Tržan, & Vidmar, 2014)



Slika 16: Trimble UX5

Vir: (http://geosysco.com.cy/images/stories/products/trimble/UAV/UX5_top_500.jpg)

3.5.2 Trimble ZX5

Ta model predstavlja multikopter s šestimi horizontalno nameščenimi propelerji, čigar okvir je sestavljen iz ogljikovih vlaken. Na njem je 16MP kamera z 14 mm lečo, dron pa je sposoben doseganja višine kar 3 km. Maksimalna oddaljenost od operaterja do drona znaša v ugodnih atmosferskih pogojih 2 km, prednosti pred večjim bratom (UX5) pa predstavljata še vertikalno vzletanje in pristajanje. Nekaj slabši v primerjavi z UX5 je le čas leta, ki je omejen na 20 minut. (Dougan, Šašo, Tržan, & Vidmar, 2014)



Slika 17: Trimble ZX5

Vir: (https://www.trimble.com/-/media/Images/Survey/UAS/ZX5/ZX5_a_500.ashx?h=500&la=en&w=500)

3.5.3 Leica Aibot X6 Hexacopter

Predstavlja novo generacijo brezpilotnih letalnikov razvitih posebej z namenom zagotavljanja kvalitetnih geodetskih opazovanj. Heksakopter ima premer 1.05 m, dviguje ga (kot že ime pove) 6 propelerjev. Ob idealnih pogojih, tako kot Trimblov konkurent, tudi X6 doseže višino

3000 m, čas leta pa je omejen na 20 minut. Kot posebnost velja omeniti možnost uporabe različnih vrst senzorjev na tem dronu, in sicer omogoča uporabo hiper in multispektralnih senzorjev, digitalne kamere ali toplotne kamere (ang. thermal imagery). (Dougan, Šašo, Tržan, & Vidmar, 2014)



Slika 18: Leica Aibot X6 Hexacopter

Vir: (https://surveyingnews.files.wordpress.com/2016/05/leica-x6-aibot.png?w=1200)

3.5.4 Leica Dragon 50

Predstavlja občutno večji brezpilotni letalnik od prej omenjenih in potrebuje veččlansko ekipo za njegovo upravljanje. 35 kilogramov težek dron poganjata 2 propelerja dolžine 2,8 m in pa turbinski motor, ki Dragon-a pospeši tudi do hitrosti 100 km/h. Glavni senzor na tem letalniku predstavlja Leica RCD30 kamera srednjega formata. Sama velikost in pogon omogočata dolgo vzdržljivost, stabilne vzorce letenja in zanesljivost, kar je pomembno pri kompleksnih nalogah kartiranja v nedostopnih pogojih. Kot zanimivost še velja omeniti, da je povsem možna personalizacija senzorjev (torej na to platformo vgradijo karkoli, ki tehta manj od 50 kg), podjetje SwissDrones, ki z Leica ta model izdeluje, pa po potrebi priskrbi tudi inštruktorja oz. pilota za upravljanje tega drona. (Dougan, Šašo, Tržan, & Vidmar, 2014)



Slika 19: Leica Dragon 50

Vir: (https://surveyingnews.files.wordpress.com/2016/05/leica-dragon-501.png?w=1200)

3.5.5 C - Astral Bramor PPX

Letalnik je plod domačega podjetja iz Ajdovščine. Sestavljen je iz karoserije kombiniranega modularnega ogrodja s poudarkom na najmanjši možni teži, napredni aerodinamiki, električnem pogonu, popolnoma avtonomnem upravljanju, vzdržljivosti, stabilnosti, ergonomskemu in uporabniku prijaznemu zemeljskemu nadzornemu centru, vzdržljivosti in mobilnost. Okvir je izdelan iz naprednih kompozitnih materialov (Kevlar / Carbon / Vectran), ki zagotavljajo visoko stopnjo vzdržljivosti in brez radarskega podpisa.

BRAMOR ppX je vrhunsko orodje z visoko produktivnostjo za globalno geodetsko in daljinsko zaznavanje v zelo oddaljenih in manj oddaljenih območjih, z vzdržljivostjo do 3,5 ure in sposoben delovati v vetrovih do 60 km/h. Opremljen je z visoko hitrostnim sprejemnikom GNSS C-Astral in elektronsko natančno elektroniko za beleženje podatkov.

Geodetom omogoča hitro, enostavno in natančno izvedbo geodetskega posnetka. (C-astral, 2019)



Slika 20: C-Astral Bramor PPX

Vir: (https://www.c-astral.com/media/cache/br/bramor-ppx-d6661ad65c3366630e259edc5a9025e7.png)

3.6 Zakonodaja

3.6.1 Splošno

Uporaba brezpilotnih letalnikov v gradbeništvu predstavlja velik tehnološki napredek. Za zagotovitev varne uporabe oz. preprečitev morebitnih konfliktov v zračnem prostoru in neupravičenem posegu v zasebnost državljanov je Republika Slovenija pripravila uredbo, ki ureja to področje. Uredba o sistemih brezpilotnih zrakoplovov je zapisana v Uradnem listu RS št. 52/2016 in določa splošne tehnične in operativne pogoje za varno uporabo brezpilotnih zrakoplovov, sistema brezpilotnih zrakoplovov in letalskih modelov ter pogoje, ki veljajo za osebe, ki sodelujejo pri upravljanju teh zrakoplovov in sistemov. Določbe te uredbe se uporabljajo za sisteme brezpilotnih zrakoplovov z vzletno operativno maso do 150 kilogramov,

ki se uporabljajo v Republiki Sloveniji. Omenjena določba ne velja za uporabo brezpilotnih zrakoplovov z vzletno operativno maso 500 gramov ali manj, če se z njimi ne izvajajo letalske dejavnosti. (Uredba o sistemih brezpilotnih zrakoplovov, 2016)

V nadaljevanju je izpostavljenih le nekaj pomembnih dejavnikov, ki jih mora geodet upoštevati pred izvedbo geodetskega posneta z brezpilotni letalniki.

- Klasifikacija glede na težo

Brezpilotni zrakoplovi, s katerimi se izvajajo letalske dejavnosti, se glede na operativno maso delijo na tri razrede od 5 do 150 kilogramov.

- Klasifikacija glede na področje letenja

Glede na izgradnjo, naseljenost in prisotnost ljudi so področja letenja razdeljena v štiri razrede; od območij, kjer ni objektov in ljudi, do ožjih urbanih con z gosto poseljenostjo.

- Izpolnjevati naloge upravljavca v zvezi s pravili letenja

Upravljavec mora zagotoviti, da se let brezpilotnega zrakoplova izvaja na način, ki ne pomeni nevarnosti za življenje, zdravje ali premoženje ljudi zaradi udarca ali izgube nadzora nad sistemom brezpilotnega zrakoplova ter da ne ogroža ali moti varnosti v zračnem prometu, javnega reda in miru.

- Izvajanje letalskih dejavnosti

Kategorija izvajanja letalske dejavnosti pomeni stopnjo tveganja, ki jo letalska dejavnost z brezpilotnim zrakoplovom predstavlja okolici ter je določena s kombinacijo med vzletno operativno maso in razredom glede na področje letenja. Kategorije izvajanja letalskih dejavnosti so prikazane v spodnji tabeli. (Uredba o sistemih brezpilotnih zrakoplovov, 2016)

Tabela 2: Kategorije izvajanja letalskih dejavnosti

	I področje brez objektov in ljudi	**II** področje s pomožnimi objekti, ni ljudi	**III** področje s pretežno stanovanjskimi in poslovnimi objekti	**IV** področje ožjih urbanih con (središča mest, naselja in kraji)
RAZRED 5 do vključno 5 kg	**A**	**A**	**B**	**C**
RAZRED 25 nad 5 kg do vključno 25 kg	**A**	**B**	**C**	**D**
RAZRED 150 nad 25 kg do vključno 150 kg	**B**	**C**	**D**	**D**

Vir: (Lastni vir)

4 PRIMER UPORABE PRIDOBLJENEGA OBLAKA TOČK S POMOČJO DRONA: PRIMERJAVA 3D POVRŠIN ZA PROJEKTIRANJE

4.1 Delo v projektni skupini

Pred pričetkom izdelave diplomskega dela smo imeli v prostorih Academie vodeno srečanje, kjer smo vsi bodoči diplomanti rešili Belbinov popis tima in Myerss Brigssov test osebnosti. Na podlagi rezultatov obeh testov smo se razporedili v projektne skupine, v katerih smo na srečanjih skupinsko delali v okviru svojih diplomskih del. Skupina je bila sestavljena iz vodje projekta, projektanta, komercialista, kalkulanta in osebe, zadolžene za pripravo dela. V skupini sem opravljal vlogo vodje projekta, zaradi rezultata osebnostnih testov in dobrega poznavanja samega projekta. Kot vodja sem sodeloval pri vseh opravilih na projektu.

Na prvem srečanju sem skupini predstavil, kakšne vrste zajema geodetskih poznamo, uporabo dronov v geodeziji ter kaj pomeni dobro izdelan geodetski posnetek.

Skupinsko smo preučili izdelane geodetske posnetke in primerjali medsebojna odstopanja. Izdelali smo razne primerjalne analize.

V skupini je sodelovalo več udeležencev – od geodeta, projektanta do nadzora.

4.2 Opis postopka pridobivanja oblaka točk z brezpilotnimi letalniki za potrebe geodetskega načrta

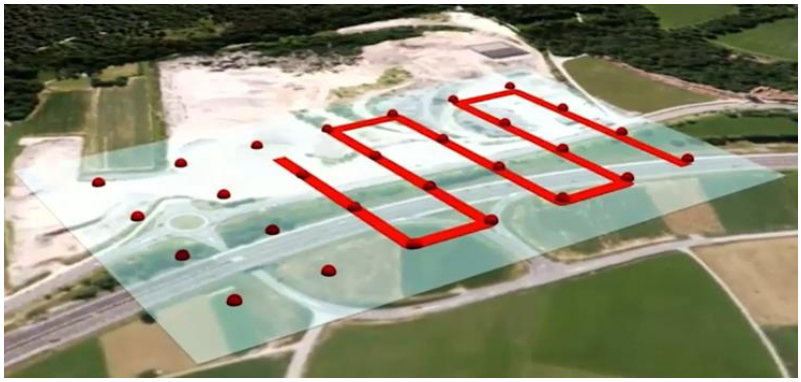
Za potrebe izdelave projektne dokumentacije potrebujemo geodetski načrt, ki mora biti izdelan v skladu s Pravilnikom o geodetskem načrtu (objavljenem v Uradnem listu RS št. 40/2004). Geodetski načrt nam podaja podatke o reliefu, vodah, rastlinstvu, stavbah, gradbeno inženirskih objektih, rabi zemljišč, zemljepisnih imenih, geodetskih točkah, zemljiških parcelah, administrativnih mejah in drugih fizičnih strukturah oz. pojavih. Sestavljen je iz grafičnega prikaza in certifikata načrta. Grafični prikaz služi vizualni predstavitvi vsebine geodetskega načrta in se izdela v digitalni obliki. Certifikat geodetskega načrta, ki ga podpiše odgovorni geodet, pa je potrdilo o skladnosti geodetskega načrta s predpisi. Certifikat med drugim vsebuje podatke o namenu uporabe geodetskega načrta, podatke o vsebini, natančnosti in pogoje za uporabo.

Naročnik geodetskega načrta in geodet se še pred izdelavo dogovorita glede obsega, namena uporabe in glede natančnosti pridobljenih podatkov. Ko so znani vsi pogoji, geodet izbere

metodo zajema podatkov ter prične z izdelavo geodetskega načrta. Ko gre za fotogrametrično metodo, ki je najpogosteje uporabljena v kombinaciji z brezpilotnimi letalniki, je izdelava načrta sestavljena iz naslednjih korakov: priprava na polet, izvedba poleta, obdelava pridobljenih podatkov in izdelava grafičnega prikaza.

4.2.1 Priprava na polet

Pred pričetkom izvedbe je potrebno na Agencijo za civilno letalstvo najaviti polet in pridobiti dovoljenje. S programskim orodjem je potrebno izdelati načrt poleta, ki vsebuje podatke o lokaciji in velikosti obravnavanega območja, višini in hitrosti leta ter deležu prekrivanja aeroposnetkov.



Slika 21: Načrt poleta

Vir: (https://www.youtube.com/watch?v=WoxYVfWJ7aQ)

Za večjo natančnost in obdelavo pridobljenih podatkov je priporočljiva uporaba oz. stabilizacija začasnih oslonilnih točk. Točke pripomorejo k natančnejši geolokaciji aeroposnetkov. Priporočljivo je, da so oslnonilne točke posnete čim bolj natačno. Podatki o oslonilnih točkah so zabeleženi v ASCCI datoteki s končnico KOO ali TXT. Datoteka vsebuje podatke o zaporedni številki točke in njenem položaju v prostoru (koordinate X,Y,Z).



Slika 22: Primer oslnonilne točke

Vir: (Lastni vir)

4.2.2 Izvedba poleta

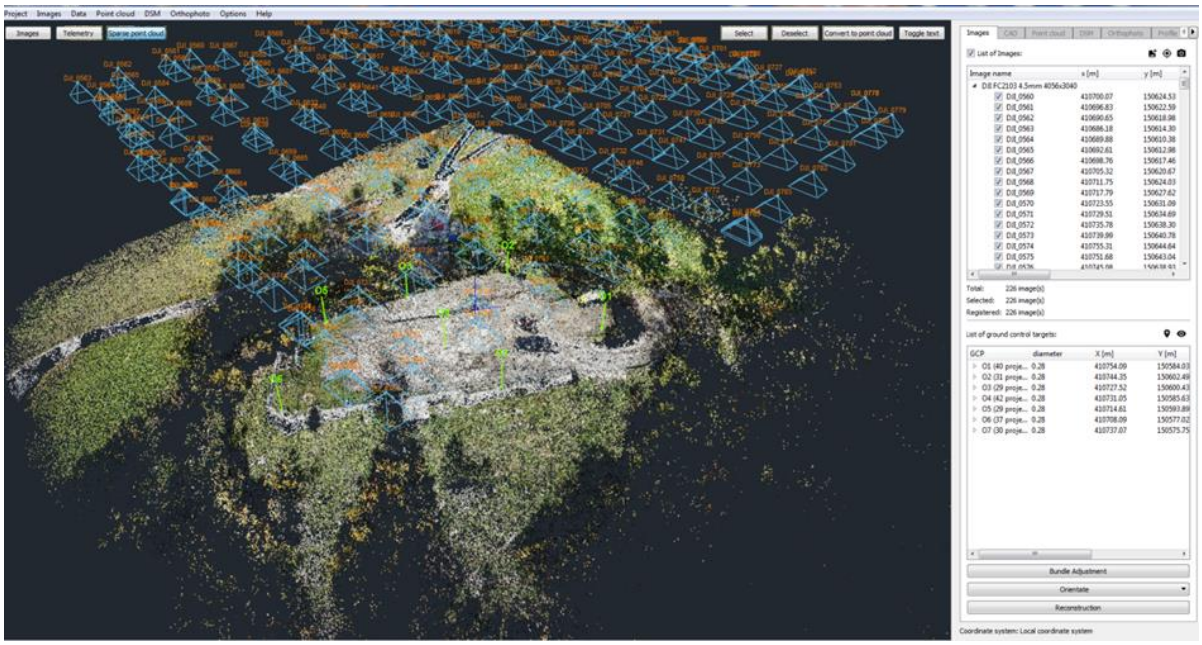
Po zaključeni pripravi poleta lahko geodet pristopi k sami izvedbi. Le-ta je lahko, glede na uporabljene parametre, popolnoma avtonomna in traja relativno malo časa, saj lahko na primer območje velikosti 6.2 ha izvede v 15 minutah. Med samim letom se vrši zajem podatkov (aeroposnetkov), ki se shranjuje na spominsko kartico letalnika. Vgrajen sprejemnik GPS omogoča beleženje podatkov o geolokaciji izdelanih aeroposnetkov. Njegova natančnost sicer ni velika, saj znaša do 1 m, odvisno od modela in cenovnega razreda letalnika, je pa zelo pomembna pri nadaljnji obdelavi (sestavljanju) posnetkov.

Prepreke, ki lahko nastopijo v času poleta, so predvsem omejena kapaciteta baterije brezpilotnega letalnika in nenadna sprememba vremenskih razmer (veter, sneg).

4.2.3 Obdelava pridobljenih podatkov

Po zaključenem letu sledi obdelava zajetih podatkov (aeropoenetkov) s programskim orodjem (več o programskih orodjih v poglavju 2.5 Programska oprema za obdelavo zajetih podatkov).

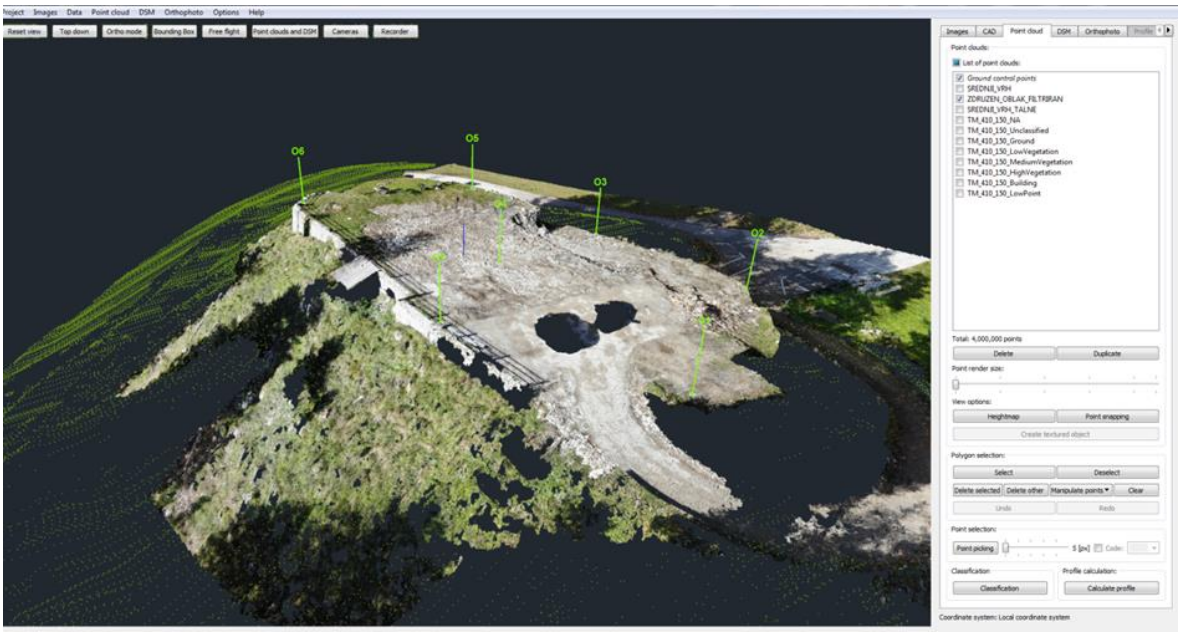
Programsko orodje združi posnetke in jih na osnovi zabeleženih podatkov, pridobljenih iz GPS, orientira v prostoru. Za natančnejšo orientacijo oz. geolokacijo je potrebno uporabiti podatke oslonilnih točk.



Slika 23: Geolociranje zajetih aeroposnetkov na osnovi oslonilnih točk

Vir: (arhiv podjetja Geomatik)

Na osnovi združenih in gelociranih aeroposnetkov sledi izdelava oblaka točk (angl. Reconstruction), ki s pomočjo zapletenih matematičnih algoritmov in dobre strojne opreme lahko traja tudi nekaj deset ur. Rezultat rekonstrukcije je neočiščen oblak točk, kar pomeni, da so v oblaku zajeti vsi elementi, od katerih je bil pridobljen odboj svetlobe. Tak oblak zajema tudi vegetacijo, sence in šume. Oblak je sestavljen iz goste mreže geolociranih točk na medsebojni oddaljenosti do 1 cm. Gostota točk je odvisna od zahtevane natančnosti in od podloge terena, od katere se je vršil odboj. Ker je bil hkrati izdelan tudi ortofoto, lahko vsaki točki dodamo atribut RGB, kar pomeni, da je vsaka točka tudi realistično obarvana. Na osnovi realistično obarvanega oblaka točk sledi izdelava klasifikacije, ki nam kasneje pomaga pri filtraciji oz. izločevanju odvečnih toč.



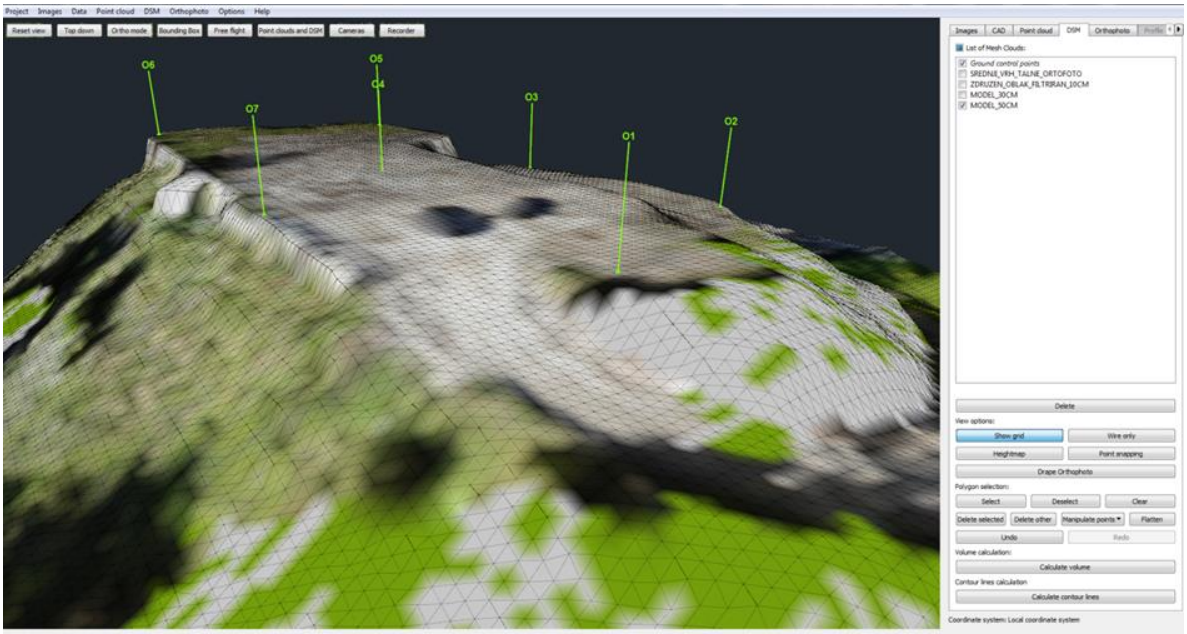
Slika 24: Očiščen oblak točk

Vir: (arhiv podjetja Geomatik)

Pri filtraciji oz. čiščenju odvečnih točk gre predvsem za izločevanje točk, ki jih glede na zahteve naročnika ne potrebujemo. Te točke so največkrat vegetacija, vozila v prometu ali pa točke, ki so nastale zaradi odboja od sosednjih površin. Rezultat, ki ga dobimo, je očiščen oblak točk in je lahko shranjen v datoteki s končnico PLY, LAS, LAZ, KOO, XYZ, CSV idr. Takšna datoteka vsebuje podatke o zaporedni številki točke, njenem položaju v prostoru, klasifikaciji in barvi (RGB).

4.2.4 Izdelava 3D površine

Realistično obarvan oblak točk nam sicer daje podrobne informacije o terenu. Lahko ga analiziramo, merimo in opazujemo. Kljub vsemu pa je za delo projektanta precej bolj uporabna 3D površina (ang. Surface), ki je pridobljena na osnovi očiščenega oblaka točk. Tvori jo trikotniška mreža, pri čemer lahko glede na zahtevano natančnost nastavimo velikost trikotnikov. Takšna datoteka je precej manjša in veliko bolj obvladljiva, predvsem kadar gre za večja območja, kot so trase cestne ali železniške infrastrukture.



Slika 25: Izdelava 3D površine

Vir: (arhiv podjetja Geomatik)

4.2.5 Izdelava grafičnega prikaza geodetskega načrta

Grafični prikaz služi predvsem vizualni 2D predstavitvi vsebine geodetskega načrta. Sestavljen je iz vektorjev, višinskih točk, izohips, opisov, katastrskih parcel, simbolov idr. Izdelan mora biti skladno s topografskim ključem, ki je predpisan s Pravilnikom o geodetskem načrtu.

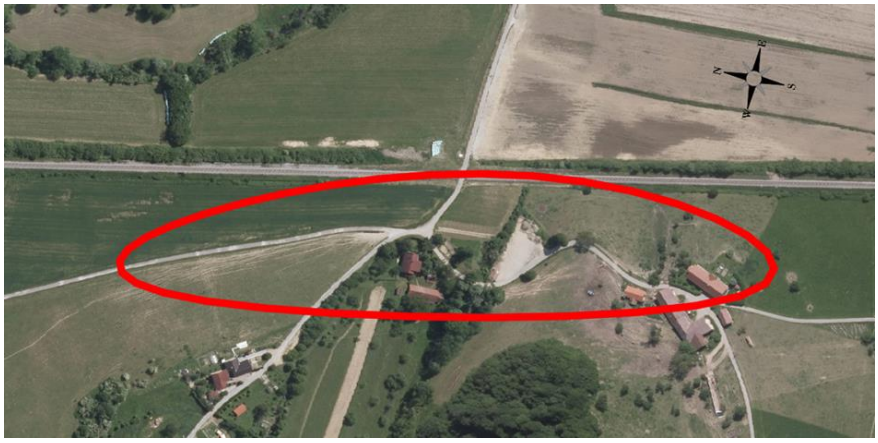
4.3 Osnovni podatki izdelanih geodetskih posnetkov

Uporaba dronov postaja vse bolj popularna tudi pri geodetskih podjetjih. Izdelava geodetskih posnetkov z uporabo najsodobnejših tehnologij zajema podatkov (fotogrametrično, terestično) pridobiva na pomenu predvsem zaradi velikega števila posnetih detajlov, ki pri klasični geodeziji velikokrat »izvisijo« iz posnetkov. Tako geodeti kot proizvajalci geodetske opreme vztrajno promovirajo prednosti uporabe dronov za izdelavo geodetskih posnetkov. Da bi

preverili hipoteze, na katerih temelji to diplomsko delo, smo se obrnili na geodetsko podjetje, ki razpolaga z najsodobnejšo opremo in nastopa na trgu že vrsto let. Podjetje izdeluje geodetske posnetke tako s konvencionalno kot tudi z najsodobnejšo tehnologijo z uporabo dronov. Da bi analiza primerjave dveh tehnologij podala primerljive rezultate, je bilo potrebno poiskati posnetek na istem območju, izdelan z obema tehnologijama. Takšen posnetek je izdelalo geodetsko podjetje GS Kobale za potrebe projekta »Nadgradnje progovnega odseka Maribor–Šentilj–državna meja«. Investitor omenjenega projekta je Republika Slovenija, Ministrstvo za infrastrukturo, Direkcija RS za infrastrukturo. Geodetski načrt je voden pod številko 16242/3.

4.4 Opis geodetskih posnetkov

Obravnavano območje primerjave posnetkov leži v severnem delu Slovenskih goric ob železniški progi Maribor–Šentilj–državna meja, v neposredni bližini kraja Šentilj. Celotno posneto območje se razteza na 3.4 km^2. Zaradi velikosti obdelave podatkov, kakor tudi zaradi časovnega okvirja izdelave diplomskega dela, smo se osredotočili le na del posnetka ob železniški progi, kjer poteka lokalna cesta (slika 25). Omenjeno območje je velikosti cca. 12.000 m^2 in ga bomo v nadaljevanju omenjali kot posnetek.



Slika 26: Prikaz obravnavanega območja na DOF

Vir: (Arhiv podjetja Lineal)

4.4.1 Osnovni posnetek (konvencionala metoda)

Osnovni posnetek je bil izdelan po klasičnem postopku z elektronskim teodolitom (razdaljemerom). Za izdelavo posnetka sta bile potrebni dve osebi, pri čemer je bila prva oseba zadolžena za delo z elektronskim teodolitom in odčitavala razdalje med teodolitom in trasirko s prizmo. Druga oseba se je s trasirko postavljala na mesta, za katera so želeli zajeti točke. Za izvedbo geodetskega posnetka je bilo potrebnih 30 min priprave v pisarni in 16 ur za zajem

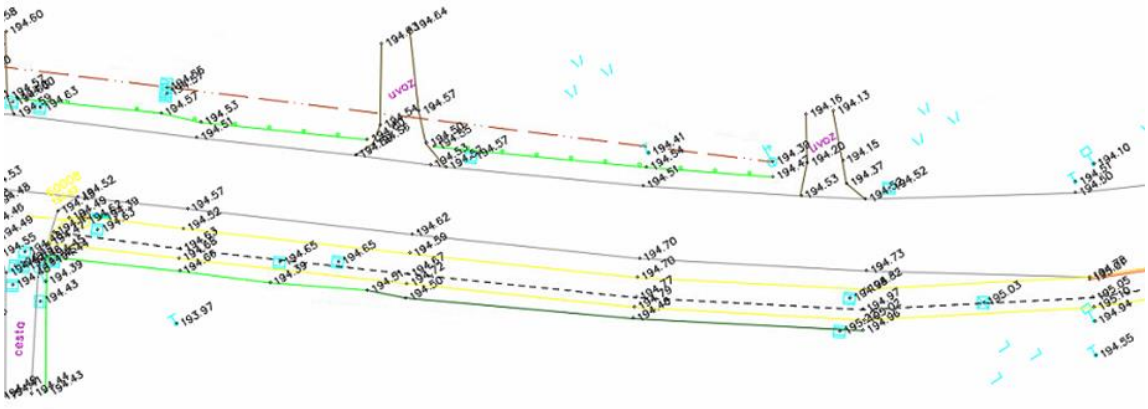
podatkov obravnavanega območja (2 x 8 za vsako osebo). Po končani izvedbi zajema podatkov je bilo potrebno te podatke še urediti in obdelati, za kar je bilo potrebnih še 6 ur obdelave v pisarni s programskim orodjem GEOS in ACAD.



Slika 27: Geodetski posnetek, posnet s konvencionalno metodo

Vir: (Arhiv podjetja Lineal)

Zahteve izdelave posnetka so bile izdelava po principu prečnih profilov, kar pomeni, da so prečni profili detajlno posneti na vsakih 20 m (slika 28) pravokotno na os cestne, medtem ko je območje med profili ostalo slabše neposneto. Za takšen posnetek ne moremo reči, da je nenatančen, saj so podatki v profilu zelo točni oz. natančni. Območje med profili pa ostaja slabše posneto in projektantu nudi premalo informacij, kaj se v tem območju dogaja s terenom. To pomanjkljivost bi posebej poudaril pri objektih, kot so npr. zidovi in ograje, pri hišnih in drugih priključkih ali na strmih brežinah, ki se na kratki razdalji hitro spreminjajo.



Slika 28: Prikaz posnetka s posnetimi točkami na 20 m

Vir: (Arhiv podjetja Lineal)

Izdelava posnetka po principu prečnih profilov že dolgo ni več primerna za projektiranje infrastrukturnih objektov, še posebej se to odraža pri morfološko zahtevnem terenu, ki ga je praktično nemogoče dovolj detajlno posneti (slika 29).



Slika 29: Primer morfološko zahtevnega terena

Vir: (Arhiv podjetja Lineal)

Končni izdelek geodeta je tako datoteka s pripono DWG velikosti do 20 MB. Datoteka vsebuje okoli 700 točk s podatki o položaju ter višini (X,Y,Z), vektorjih (polylinijah), plastnicah oz. izohipsah ter drugimi opisi o posebnostih terena. Takšna datoteka predstavlja projektantu osnovo za pričetek z delom v 2D načinu projektiranja.

4.4.2 Dodatni posnetek z dronom (oblak točk)

Dodatni posnetek je bil izdelan z dronom po principu fotogrametrije kot reambulacija osnovnega terena. Za izvedbo geodetskega posnetka je bilo potrebnih 30 min priprave v pisarni in 5 min za zajem podatkov obravnavanega območja. Zajem podatkov se je vršil z dronom C-Astral Bramor PPX, ki je plod slovenskega proizvajalca (več v poglavju 3.5.5 Primeri brezpilotnih letalnikov v geodeziji). Po končani izvedbi zajema podatkov je bilo potrebno te podatke še urediti in obdelati, za kar je bilo potrebnih še dodatnih 8 ur obdelave s programskim orodjem AGISOFT, GEOS in ACAD. Rezultat je gosta mreža obarvanih točk (slika 30). Vsaka točka je orientirana v prostoru in je definirana z vsemi tremi koordinatami. Za nadaljnjo obdelavo v projektivnem biroju je bilo potrebno podatke izvoziti v datoteko s pripono DWG, ki pa je precej večje velikosti kot predhodno izdelan posnetek. Pri gostoti zapisa, kjer je na vsakih 12 cm posneta ena točka, je za obravnavano območje velikost datoteke cca. 20 GB. V kolikor bi želeli gostoto točk povečati tako, da bi bila točka posneta na vsakih 5cm, bi velikost

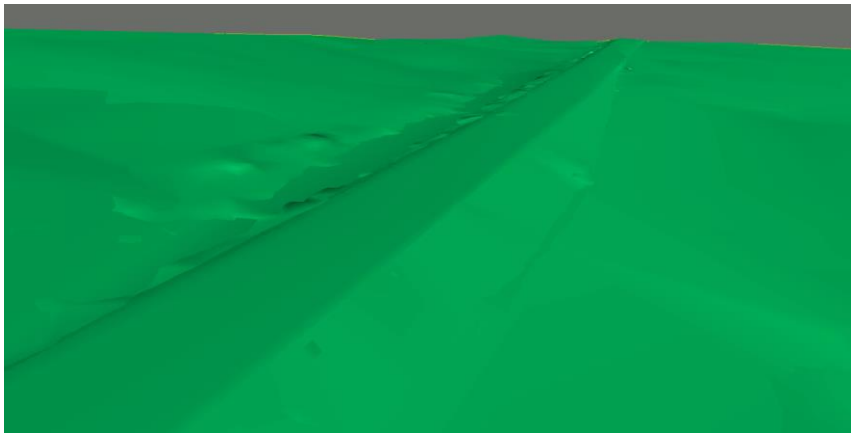
datoteke narastla tudi do 60 GB podatkov. Obdelava datoteke s tako velikim številom podatkov pa zahteva tudi dobro strojno opremo.



Slika 30: Posnetek območja z oblakom točk

Vir: (Arhiv podjetja Lineal)

Velika gostota obarvanih točk poda projektantu veliko informacij, vendar je za nadaljnjo obdelavo v 3D načinu potrebno posnetek še nekoliko obdelati. Za hitrejšo obdelavo v programskem orodju Civil 3D je bilo potrebno izdelati površino ali ang. Surface (slika 31). Takšna površina se v prečnih in vzdolžnih profilih prikazuje kot teren. Od te površine se v fazi projektiranja računajo izkopi oz. nasipi.



Slika 31: Prikaz oblaka točk kot površino (angl. Surface)

Vir: (Arhiv podjetja Lineal)

4.5 Primerjava posnetkov (prerezi, vizualizacija, količine)

Da bi primerjava posnetkov podala najboljše rezultate, smo oba posnetka analizirali na tri načine. Vse tri analize smo izvedli s programskim orodjem Civil 3D, ki je produkt Autodeska.

V prvem primeru smo izdelali prečne prereze v območju posnetega prečnega profila in v območju med dvema posnetima prečnima profiloma, kjer teren s klasično metodo ni tako detajlno posnet. Primerjali smo razliko višin v samem prerezu in posneto morfologijo.

V drugem primeru smo primerjali izdelane površine oz. surface iz obeh metod, kjer smo analizirali višinska odstopanja ter razliko volumnov.

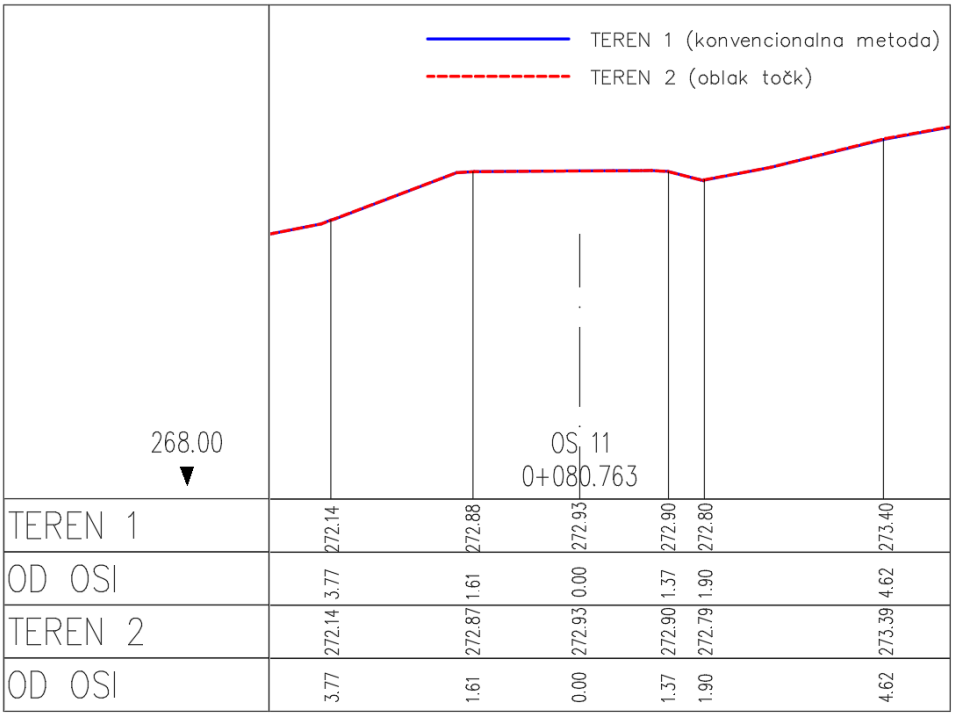
V tretjem primeru pa smo s pomočjo tabele primerjali še ostale ključne parametre, kot so potreben čas za pripravo in izdelavo posnetkov, potrebna programska in strojna oprema ter stroškovni vidik izdelave.

4.5.1 Primerjava posnetkov v prečnih prerezih

Za obravnavano območje smo pripravili vzdolžno os s prečnimi prerezi. Vzdolžna os je nastavljena za obstoječo lokalno cesto širine 3 m. Ob cesti se nahaja obcestni jarek širine do 50 cm ter na določenih območjih parapetni zid širine 30 cm.

V prvem primeru smo izrisali prečni prerez v območju, kjer so bili s klasično metodo posneti prečni profili oz. točke. Iz slike 32 lahko vidimo, da sta posnetka v območju posnetega profila praktično identična, kar potrjuje natančnost obeh metod,

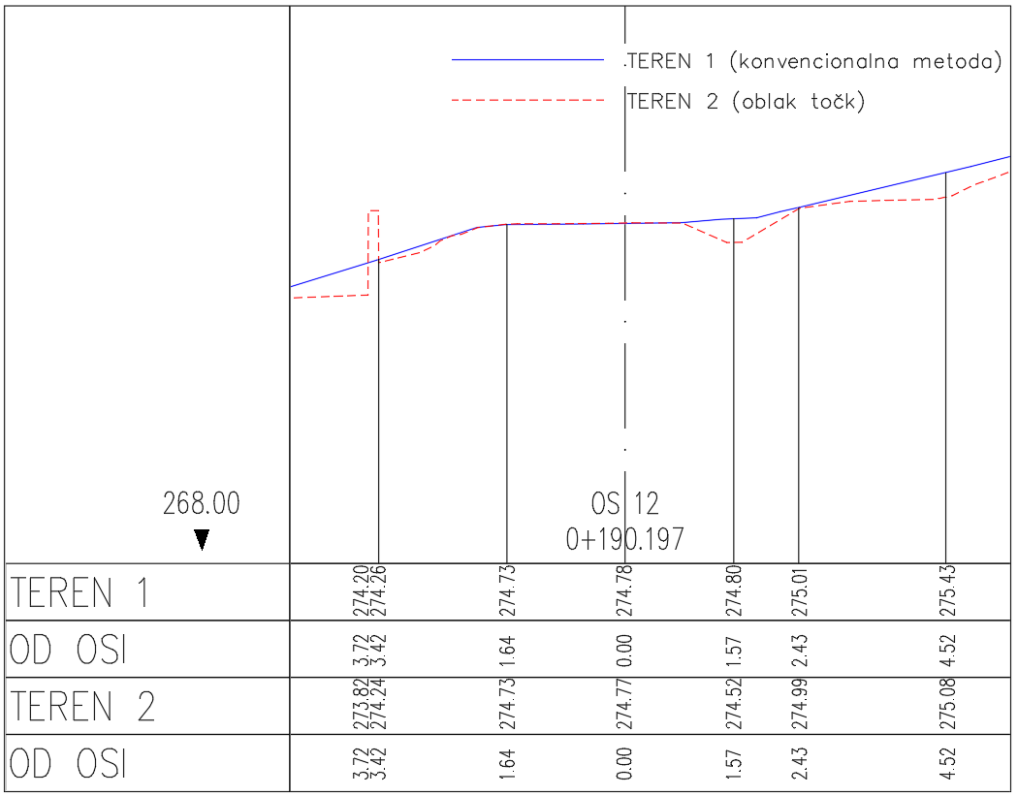
saj se tako modra kot rdeča linija, ki prikazujeta prerez površine posnetkov, prekrivata.



Slika 32: Prečni prerez v območju posnetega profila

Vir: (Lastni vir)

V drugem primeru smo izbrali in izrisali prečni prerez v območju, kjer prečni profil ni bil posnet oz. območje med dvema prečnima profiloma. Kot smo v diplomskem delu že omenili, gre za območje, ko s konvencionalno metodo ni posneto tako detajlno. Iz slike 33 lahko vidimo, da v tem primeru prihaja do odstopanj med posnetkoma. Tako s konvencionalno metodo na levi strani cestišča ni prikazan parapetni zid in na desni strani obcestni jarek.



TEREN 1	274.20 274.26	274.73	274.78	274.80	275.01	275.43	
OD OSI	3.72 3.42	1.64	0.00	1.57	2.43	4.52	
TEREN 2	273.82 274.24	274.73	274.77	274.52	274.99	275.08	
OD OSI	3.72 3.42	1.64	0.00	1.57	2.43	4.52	

Slika 33: Prečni prerez v območju med dvema posnetima profiloma

Vir: (Lastni vir)

Primerjava prečnih prerezov nam je pokazala, da posnetek med dvema profiloma, izdelan s konvencionalno metodo, ne izraža dejanskega stanja.

4.5.2 Primerjava površin posnetkov (analiza višin in volumnov)

Pri naslednji, drugi primerjavi, smo se osredotočili na širše območje, da preverimo, kako pogosto se na obravnavani trasi pojavljajo odstopanja, kot smo jih lahko zasledili v prečnem prerezu v območju med dvema posnetima profiloma (slika 33). To smo izvedli s primerjavo dveh površin, izdelanih na osnovi oblaka točk in točk, posnetih s konvencionalno metodo. Primerjava površin je izvedena vzdolž lokalne ceste na dolžini 230 m in širini 50 m. V tabeli 2 so prikazana maksimalna odstopanja (v metrih), tako v pozitivno kot negativno smer. Kot izhodišče je bila uporabljena površina. posneta s konvencionalno metodo, ki smo jo primerjali

s površino, posneto z oblakom točk. Predznak (-) v tabeli pomeni, da je ima površina posneta z oblakom točk z manjšo nadmorsko višino in obratno.

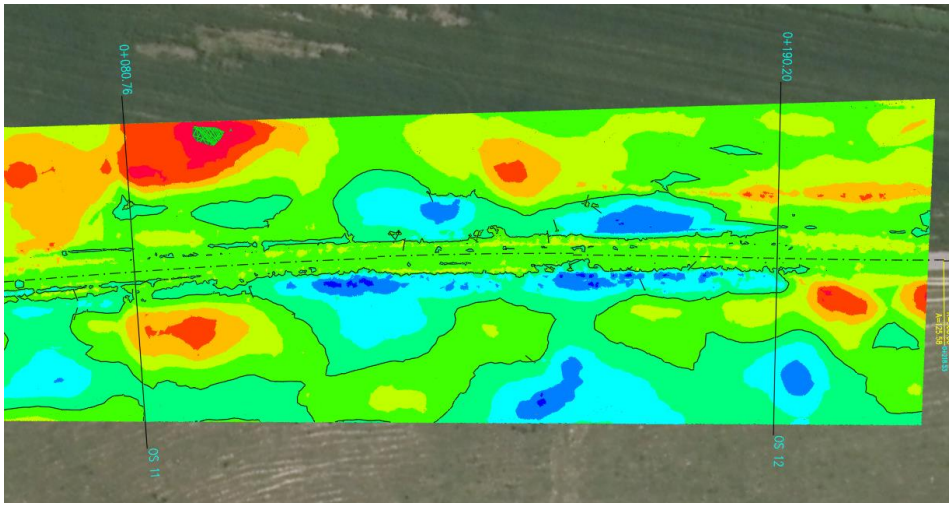
Tabela 3: Odstopanja višin med posnetkoma

Elevations Table			
Number	Minimum Elevation	Maximum Elevation	Color
1	−0.500	−0.400	
2	−0.400	−0.300	
3	−0.300	−0.200	
4	−0.200	−0.100	
5	−0.100	0.000	
6	0.000	0.100	
7	0.100	0.200	
8	0.200	0.300	
9	0.300	0.400	
10	0.400	0.500	

Vir: (Lastni vir)

Primerjava površin obeh posnetkov nam je podala podatek o mestih odstopanj in njihovi intenziteti. Območja odstopanj so prikazana na sliki 34. Največja intenziteta odstopanj se pojavlja izven trase ceste, medtem ko bi za samo traso lahko rekli, da so odstopanja zanemarljiva. Odstopanja izven trase so nastala predvsem zaradi premalo detajlnega posnetka, izvedenega s konvencionalno metodo.

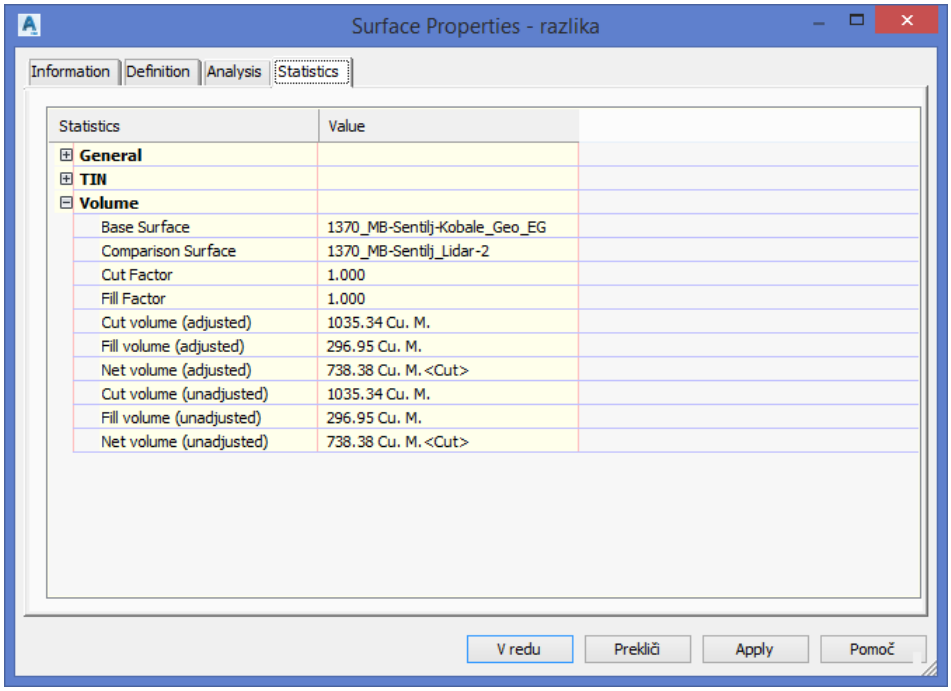
Tako tudi ta primerjava potrjuje dejstvo, da izdelava posnetka s konvencionalno metodo po principu prečnih profilov ni primerna za projektiranje infrastrukturnih objektov, saj v primeru denivelacije od obstoječe trase ne podaja več pravega stanja terena.



Slika 34: Primerjava razlik višin med posnetkoma

Vir: (Lastni vir)

Programsko orodje Civil 3D nam omogoča tudi izdelavo analize količin, ki smo jih dobili s primerjavo 3D površin. Na obravnavanem območju velikosti cca. 11.900 m^2 so razlike količin pokazale osupljive rezultate. Razlika z negativnim predznakom ali izkopom je pokazala manjko količin za 1.035 m^3. Če pogledamo tabelo 2, gre za območja obarvana od rdeče do zelene oz. za vrstice od 1 do 5. Razlika s pozitivnim predznakom pa je pokazala viška količin za 297 m^3 oz. za vrstice od 6 do 10.



Slika 35: Izračun količin s programskim orodjem Civil 3D

Vir: (Lastni vir)

4.5.3 Primerjava izvedbe posnetkov

Pri zadnji, tretji primerjavi smo želeli tabelarično prikazati oz. primerjati še ostale parametre, ki so prav tako kot natančnost izvedbe ključnega pomena za izdelavo oz. naročilo in izvedbo posnetka. Primerjali smo potrebno geodetsko opremo, število ljudi, čas priprave in čas izvedbe posnetka. Ključnega pomena je bila tudi velikost podatkov in stroškovna ocena.

Tabela 4: Primerjalna tabela izvedbe posnetkov

	UPORABLJENA METODA	
	konvencionalna	**sodobna**
potrebna geodetska oprema	elektro - optični teodolit in trasirka	dron z optičnim senzorjem
št. ljudi potrebnih za izvedbo	2	1
priprave na izvedbo posnetka	30 [min]	30 [min]
izvedba posnetka	16 [ur]	5 [min]
obdelava posnetka	6 [ur]	8 [ur]
uporabljena programska oprema	GEOS, ACAD	AGISOFT, GEOS, ACAD
velikost podatkov izvedenega posnetka	20 [MB]	20 - 60 [GB]
strošek izvedne posnetka	700 [€]	600 [€]

Vir: (Lastni vir)

Iz primerjalne tabele lahko razberemo, da je za izvedbo posnetka s sodobno metodo potrebnega polovico manj časa in ljudi. Potrebna pa je boljša strojna in programska oprema, saj je velikost podatkov neprimerljivo večja. Strošek izvede posnetka je kljub manjšemu številu potrebnih ur zanemarljivo manjši. Razlog je predvsem v dražji geodetski opremi.

5 SKLEP

V diplomskem delu je obravnavan pristop k izvedbi geodetskega posnetka za potrebe projektiranja infrastrukturnih objektov. Ker lahko z uporabo različnih metod dobimo različne rezultate, smo skozi primerjavo dveh posnetkov istega območja analizirali metodi, ki vplivata na kvaliteto izdelave projekta. Analiza je bila izvedena s pomočjo programskega orodja Civil 3D, ki ni namenjen samo izdelavi in analizi geodetskih posnetkov, ampak predvsem projektiranju v 3D načinu z uporabo gradnikov (angl. Assambly-ev).

V nadaljevanju so povzeti zaključki hipotez, ki smo si jih postavili na začetku diplomskega dela.

H1: Uporaba brezpilotnih letalnikov za izdelavo oblaka točk v primerjavi s klasično geodezijo zagotavlja kvalitetnejši geodetski posnetek.

Z izvedeno primerjavo dveh posnetkov smo ugotovili, da geodetski posnetek, izdelan s klasično metodo (elektro-optični razdaljemer in trasirka), ni nekvaliteten ali nenatančen. Vendar je za sodobni način projektiranja cestne ali železniške infrastrukture v 3D načinu neprimeren, saj nudi premalo informacij in detajlov za celotno območje obdelave. Uporaba brezpilotnih letalnikov skupaj z raznimi optičnimi senzorji (terastičnimi ali fotogrametričnimi) postavlja nove temelje v zgodovini geodezije.

H2: Izdelan oblak točk z uporabo letalnikov je osnova za kvalitetno izdelan projekt in BIM model.

Ko govorimo o BIM-u, govorimo o natančno izdelanih informacijskih modelih. Da ti modeli dosežejo svojo funkcionalnost in namen, jih je potrebno opremiti s »pravilnimi« informacijami. Le-te se pričnejo z izdelavo detajlnega in natančnega geodetskega posnetka ter zaključijo z izvedbo oz. predajo objekta v upravljanje.

H3: Geodetski posnetek, pridobljen z letalniki, je tudi cenovno ugodnejši in hitro izvedljiv.

Analiza primerjave geodetskih posnetkov, ki smo jo izvedli skupaj z geodetskim podjetjem GS Kobale, je pokazala, da je za izvedbo geodetskega posnetka z uporabo brezpilotnih letalnikov potrebnega polovico manj čas in ljudi. Tako je ob določenih pogojih izvedba lahko hitra in enostavna.

H4: Geodetski posnetek pridobljen z letalniki je zelo primeren za spremljanje gradnje oz. njen napredek.

Izvedba hitro izvedljivega in natančnega posnetka z uporabo drona in oblaka točk postaja nepogrešljiva metoda pri spremljanju in nadzorovanju gradnje. To se predvsem odraža pri objektih, ki nimajo pravilnih oblik, in jih je s klasičnimi metodami težko izmeriti. Na objektih, kot so razne gradbene jame, kamnolomi, protipoplavne bariere (nasipi), je z uporabo programskega orodja ugotavljanje vgrajenih ali izkopanih količin postalo precej enostavno.

H5: Geodetski posnetek, pridobljen z letalniki, je zelo primeren predvsem pri iskanju optimalne rešitve poteka trase.

Zaradi velikega števila posnetih detajlov in širokega območja, ki ga je dokaj enostavno izvesti z brezpilotnimi letalniki, prestavitev planirane trase skupaj s programskim orodjem Civil 3D ne predstavlja posebnih težav. Zelo enostavno je traso prestaviti ob dejstvu, da imamo v vsaki točki podatek o njeni dejanski višini.

Z izvedbo hitrih in natančnih geodetskih posnetkov odpirajo droni v geodeziji in projektiranju nova poglavja. Posnetki so kasneje izhodišče za izdelavo natančnih 3D informacijskih modelov. Ker pa ima uporaba dronov, tako kot vsa druga geodetska oprema, določene pomanjkljivosti, je potrebno poznati njihove omejitve. Pred izdelavo geodetskega posnetka je potrebno analizirati potrebe, pričakovanja, natančnost, hitrost izvedbe ter omejitve in na osnovi izkušenj izbrati tisto tehnologijo, ki bo prinesla optimalne rezultate. To je lahko tudi kombinacija različnih tehnologij, kot na primer oblak točk, pridobljen z letalniki in terstičnim skenerjem ali pa oblak točk v kombinaciji s tahimetrom.

6 VIRI, LITERATURA

Berdajs, A., & Ulbl, M. (2010). *Inženirska geodezija: gradivo za 2. letnik.* Pridobljeno iz Digitalna knjižnica Slovenije: https://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-Z6TXZN2P

Bilban, G. (2016). *3D oblaki točk.* Pridobljeno iz Revija Gradbenik 11/2016: http://www.geoservis.si/images/stories/Clanki/gradbenik_11_2016_3d_oblaki_tock.pdf

Bitenc, M. (2014). *Brezpilotni letalniki – od igrače do večnamenskih robotov.* Pridobljeno iz Digitalna knjižnica: http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:DOC-SGL7S9PW

C-astral. (2019). *Bramor ppx*. Pridobljeno iz C-astral: https://www.c-astral.com/en/unmanned-systems/bramor-ppx

Dougan, J., Šašo, A., Tržan, U., & Vidmar, B. (2014). *Izdelava brezpilotnega letalnika za zajem prostorskih podatkov - projekt Društva študentov geodezije Slovenije FlyEye.* Pridobljeno iz Digitalna knjižnica Slovenije: http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:doc-9FWBT8BW

Droni – brezpilotne naprave, ki spreminjajo življenja. (2015). Pridobljeno iz Govori.se: https://govori.se/zanimivosti/droni-brezpilotne-naprave-ki-spreminjajo-zivljenja/

Kocijančič, L. (2013). *Kalibracija sistema za aerolasersko skeniranje: diplomska naloga.* Pridobljeno iz Repozitorij Univerze v Ljubljani: https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=28234

Kogoj, D., & Stopar, B. (2009). *Geodetska izmera.* Pridobljeno iz IZS: http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni_izpiti/msgeo/Geodetska_izmera_2009.pdf

Monolit. (2019). *LiDAR – Tehnologija za Lasersko Skeniranje Terena*. Pridobljeno iz Monolit.si: https://www.monolit.si/2018/09/03/lidar-tehnologija-za-lasersko-skeniranje-terena/

Stopar, B., Koler, B., & Kuhar, M. (2018). *Osnovni geodetski sistem.* Pridobljeno iz IZS: http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni_izpiti/msgeo/2013-Geo-_OSNOVNI_GEODETSKI_SISTEMpdf.pdf

Urbančič, T., & Grigillo, D. (2015). *Izobraževanja za geodete.* Pridobljeno iz IZS: http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/geodeti_izobrazevanja/geod.izobraz-2015/14.12._Lidar_in_uporaba_3_na_stran.pdf

Uredba o sistemih brezpilotnih zrakoplovov. (2016). *Uradni list RS, št. 52/16.* Pridobljeno iz PIS - Pravno informacijski sistem: http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED7317&0.5806895639579236#

Vezočnik, R., Gvozdanovič, T., & Smole, D. (2018). *Terestrično lasersko skeniranje in njegova uporaba pri spreminjanju plazov.* Pridobljeno iz Slovensko geotehniško društvo: http://sloged.si/wp-content/uploads/Razprave%205.%20posvetovanja/4-6.pdf

Žibert, K. (2009). *Ničelna izmera geodetske mreže jalovišča Jazbec rudnika Žirovski vrh: diplomska naloga.* Pridobljeno iz Repozitorij Univerze v Ljubljani: https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=26200