

**VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA
MARIBOR**

**3D SKENIRANJE V PROSTORU IN UMEŠTITEV
SKENOGRAMA (OBLAK TOČK) V DRŽAVNI
PROSTORSKI KOORDINATNI SISTEM D96/TM**

Kandidat: Kristian Pesko

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Gradbeništvo

Mentor predavatelj: mag. Melita Ulbl, univ. dipl. inž. geod.

Mentor v podjetju: Matjaž Gostečnik, inž. gradb.

Lektor: mag. Anita Govc, prof. ped. in prof. slov. jez. in knjiž.

Maribor, 2023

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Kristian Pesko sem avtor diplomskega dela z naslovom 3D skeniranje v prostoru in umestitev skenograma (oblak točk) v državni prostorski koordinatni sistem D69/TM, ki sem ga napisal pod mentorstvom gospe Melite Ulbl, univ. dipl. inž. geod.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel/a, 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 moje 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, julij 2023

Podpis študenta:

ZAHVALA

Iskreno in z vsem spoštovanjem se zahvaljujem svoji mentorici, predavateljici, Meliti Ulbl, univ. dipl. inž. geod. Pri izdelavi diplomskega dela me je usmerjala in mi dajala strokovne nasvete, brez katerih zagotovo ne bi naredil tako kvalitetnega diplomskega dela. Bi se pa tudi rad zahvalil celotnemu kolektivu šolskega izobraževalnega centra Višje strokovne šole Academia Maribor za njihovo naklonjenost do študentov in strokovnost.

Zahvalil bi se mentorju v podjetju Matjažu Gostečniku, ing. gradb., ki mi je stal ob strani s strokovnimi nasveti iz gradbene stroke.

Zahvalil bi se geodetskemu podjetju Geoprojekt iz Žalca, ki so mi podali geodetske točke, sodelovali pri projektu in podali vse potrebne informacije na splošno o geodeziji.

Iz srca pa bi se še rad zahvalil svoji družini in staršem, ki so me vseskozi podpirali, spodbujali in motivirali, da sem opravil to diplomu, ki jo bom cenil vse življenje.

POVZETEK

V diplomskem delu je predstavljen zajem prostorskih podatkov s tehnologijo terestričnega 3D laserskega skeniranja, saj se ta tehnologija vedno pogosteje uporablja v različnih gospodarskih in negospodarskih panogah. Na začetku diplomskega dela so predstavljene tehnologije 3D laserskega skeniranja, ki jih ločimo na pet različnih tehnologij glede na način skeniranja in pridobivanja podatkov iz okolice in predmetov, ki jih želimo skenirati. Predstavljene so različne vrste laserskih skenerjev glede na način delovanja. Natančneje je predstavljen in opisan instrument 3D laserski skener Leica RTC360, ki je bil uporabljen v praktičnem delu diplomske naloge.

Obravnavan primer je usmerjen k preverjanju uporabnosti instrumenta Leica RTC360, in sicer predvsem, če je pridobljen georeferenciran oblak točk primeren za umestitev v državni koordinatni sistem in posledično v uradno narejen geodetski načrt. Izvedena je primerjava podatkov, pridobljenih iz strani geodetskega podjetja, in podatkov 3D skeniranja.

Ugotovil sem, da je v danem primeru posnetek 3D laserskega skeniranja bolj detajlen od geodetskega posnetka, narejenega z elektronskim tahimetrom, ki ga je izdelalo geodetsko podjetje. Pri tem se je potrebno zavedati, da je geodetsko podjetje uporabljalo instrument, ki zadošča natančnosti za takšne izmere, kot je na primer posnetek objekta in izdelava geodetskega načrta za pridobitev gradbenega dovoljenja ali evidentiranje stavbe v kataster nepremičnin in podobno. Med samim postopkom primerjanja posnetkov sem ugotovil, da je pri postavitvi virtualnih tarč, potrebnih za ročni način georeferenciranja oblaka točk, treba biti zelo natančen. Ugotovil sem, da je treba črno-bele tarče postaviti tako oziroma izbrati položaj skenerja tako, da je skener usmerjen čim bolj pravokotno na tarčo. Tudi za izmero s tahimetrom je pomembno, da se položaj tarč izmeri čim bolj pravokotno in določi koordinate v prostoru. Za kasnejšo natančnejšo analizo površine je zelo pomembna tudi oddaljenost od površine, ki jo skeniramo. Pri skenerju, ki sem ga uporabljal, znaša optimalna oddaljenost skeniranja od skenirane površine približno 8 m. Kot se je pokazalo, je instrument Leica RTC360 zelo vsestranski skener. Z njim lahko hitro, kvalitetno in natančno pridobimo opisane prostorske podatke o objektu, ki je predmet skeniranja.

Ključne besede: terestrično 3D lasersko skeniranje, skener, oblak točk, georeferenciran oblak točk, geodetske točke, registracija oblaka točk, geodetski posnetek, instrument, geodetski načrt

ABSTRACT

»3D-Raumscan und Einordnung des Scanogramms (Punktwolke) in das nationale Raumkoordinatensystem D96/TM«

In dieser Seminararbeit wird die Erfassung räumlicher Daten mit Hilfe der terrestrischen 3D-Laserscanning-Technologie vorgestellt, da sie in verschiedenen (nicht)wirtschaftlichen Bereichen zunehmend eingesetzt wird. Zu Beginn werden 3D-Laserscanning-Technologien vorgestellt, die sich nach Art des Scannens und der Datenextraktion aus der Umgebung und den zu scannenden Objekten, in fünf verschiedene Technologien unterteilen. Verschiedene Arten von Laserscannern werden nach ihrer Funktionsweise vorgestellt. Näher beschrieben wird auch der Leica RTC360 3D-Laserscanner, der im praktischen Teil der Seminararbeit eingesetzt wurde.

Die Fallstudie zielt darauf ab, die Anwendbarkeit des Instruments zu überprüfen, insbesondere, ob die resultierende georeferenzierte Punktwolke für die Bestimmung im nationalen Koordinatensystem und damit im amtlichen geodätischen Plan geeignet ist. Ein Vergleich zwischen den Daten des Vermessungsunternehmens und den 3D-Scandaten wird durchgeführt. Ich habe festgestellt, dass das 3D-Laserscannerbild detaillierter ist als das vom Vermessungsunternehmen erstellte Bild des elektronischen Tachymeters. Dabei ist zu betrachten, dass es ein Instrument mit ausreichender Genauigkeit für derartige Vermessungen verwendet hat. Während des Videovergleichs stellte ich fest, dass bei der Einrichtung der virtuellen Zielscheibe, die für die manuelle Georeferenzierung der Punktwolken benötigt wurden, sehr genau vorgegangen werden musste. Ich habe festgestellt, dass die schwarz-weißen Zielscheiben so positioniert werden sollten, dass der Scanner möglichst senkrecht zur Zielscheibe steht.

Auch bei Tachymeter Messungen ist es wichtig, die Position der Ziele möglichst orthogonal zu messen und die Koordinaten im Raum zu bestimmen. Für eine spätere genauere Analyse der Oberfläche ist der Abstand auch sehr wichtig. Bei dem von mir verwendeten Scanner beträgt der optimale Scanabstand zum gescannten Bereich etwa 8 m. Es kann schnell, genau und qualitativ die beschriebenen räumlichen Daten über das gescannte Objekt abrufen.

Stichwörter: *terrestrisches 3D-Laserscanning, der Scanner, die Punktwolke, georeferenzierte Punktwolke, geodätische Punkte, Punktwolkenregistrierung, geodätisches Bild, das Instrument, geodätischer Plan.*

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	6
1.1	OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA	7
1.2	NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE	7
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE	8
1.4	UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE	9
2	DELO V PROJEKTNi SKUPINI	10
3	KROVNA TEMA: POKLICNA ETIKA V GRADBENiŠTVU	11
4	METODA 3D TERESTIČNO LASERSKO SKENIRANJE	13
4.1	TEHNOLOGIJA 3D LASERSKEGA SKENIRANJA	14
4.1.1	<i>Tehnologija 3D skeniranja laserske triangulacije.....</i>	<i>14</i>
4.1.2	<i>Tehnologija 3D skeniranja s strukturirano svetlobo</i>	<i>15</i>
4.1.3	<i>Fotogrametrična 3D tehnologija skeniranja (fotografija).....</i>	<i>15</i>
4.1.4	<i>Kontaktna tehnologija 3D skeniranja.....</i>	<i>16</i>
4.1.5	<i>Tehnologija 3D skeniranja na osnovi laserskih impulzov</i>	<i>16</i>
4.2	OPIS 3D LASERSKIH SKENERJEV	18
4.3	VRSTE LASERSKIH SKENERJEV	19
4.3.1	<i>Skenerji za merjenje na daljši razdalji</i>	<i>19</i>
4.3.2	<i>Triangulacijski skenerji</i>	<i>21</i>
4.3.3	<i>Skener faznega premika.....</i>	<i>22</i>
4.3.4	<i>Ključna podobnost 3D laserskih skenerjev.....</i>	<i>23</i>
4.4	OSNOVNI ELEMENTI 3D LASERSKIH SKENERJEV.....	23
4.5	PREDSTAVITEV IN NAČIN DELOVANJA INSTRUMENTA LEICA RTC360	26
4.6	PREDNOSTI 3D LASERSKEGA TERESTIČNEGA SKENIRANJA (TLS) PRED OSTALIMI GEODETSKIMI METODAMI.....	32
4.7	SLABOSTI 3D TERESTRIČNEGA LASERSKEGA SKENIRANJA.....	32
5	3D LASERSKO SKENIRANJE JE LAHKO PODPORA INŽENIRSKI GEODEZIJI.....	33
5.1	DOLOČITEV POLOŽAJA TOČK V PROSTORU	34
5.1.1	<i>Koordinatni sistem v geodeziji.....</i>	<i>34</i>
5.1.2	<i>Geodetski datum</i>	<i>35</i>
5.1.3	<i>Terestrični koordinatni sistem</i>	<i>35</i>
5.1.4	<i>Globalna omrežja postaj GNSS.....</i>	<i>36</i>
5.2	GEODETSKI NAČRT	37
5.2.1	<i>Predmet pravilnika</i>	<i>37</i>

5.2.2	<i>Vsebina geodetskega načrta</i>	37
5.2.3	<i>Sestavni deli geodetskega načrta.....</i>	38
5.2.4	<i>Grafični prikaz geodetskega načrta.....</i>	38
5.2.5	<i>Certifikat.....</i>	38
5.3	IZDELAVA GEODETSKEGA NAČRTA	39
5.4	UPORABA GEODETSKEGA NAČRTA	40
6	SPLOŠNO O OBLAKU TOČK	41
7	PRIMER: 3D SKENIRANJE OBJEKTA V PROSTORU IN UMESTITEV	
	OBLAKA TOČK V DRŽAVNI KOORDINATNI SISTEM D69/TM	43
7.1	OPIS POSTOPKA PRIDOBIVANJA OBLAKA TOČK Z INSTRUMENTOM LEICA RTC360 ZA POTREBE UMESTITVE V DRŽAVNI KOORDINATNI SISTEM D69/TM	43
7.1.1	<i>Priprava in delo geodeta na terenu</i>	43
7.1.2	<i>Opis postopka pridobivanja geodetskih podatkov</i>	45
7.1.3	<i>Priprava in delo na terenu za pridobivanje podatkov oblaka točk.....</i>	47
7.1.4	<i>Obdelava oblaka točk pred registracijo</i>	49
7.1.5	<i>Opis georeferenciranja oblaka točk in registracija.....</i>	55
7.1.6	<i>Osnovni posnetek s polarno metodo izmere.....</i>	59
7.1.7	<i>Posnetek na osnovi oblaka točk, pridobljenega s 3D laserskim skeniranjem.....</i>	60
7.1.8	<i>Postavitev georeferenciranega oblaka točk na podlago geodetskega načrta.....</i>	62
7.1.9	<i>Primerjava izbranih oslonilnih točk za registracijo oblaka točk.....</i>	64
7.1.10	<i>Primerjava obdelanih podatkov, pridobljenih s 3D skeniranjem in s polarno metodo izmere.</i>	65
7.1.11	<i>Primer spremljanja med samo gradnjo</i>	68
7.1.12	<i>Primer modeliranja na oblaku točk</i>	70
8	SKLEP	73
9	VIRI IN LITERATURA	75

KAZALO SLIK

SLIKA 1	NAČIN DELOVANJA ROTACIJSKIH ZRCAL.....	18
SLIKA 2	NAČIN DELOVANJA RANGING SKENERJA (SKENER ZA MERJENJE NA DALJŠI RAZDALJI)	20
SLIKA 3	NAČIN DELOVANJA ENE CCD KAMERE	21
SLIKA 4	NAČIN DELOVANJA DVEH CCD KAMER	22
SLIKA 5	PRIKAZ, KAKO DELUJE PRINCIP MERJENJA FAZNIH PREMIKOV	23
SLIKA 6	3D LASERSKI SKENER LEICA RTC360	26

SLIKA 7 PRIKAZ VIDEO KAMER ZA SLEDENJE SPREMLJANJA POLOŽAJA V PROSTORU.....	27
SLIKA 8 PRIKAZ POGONSKEGA SKLOPA ZA VRTENJE LEČE IN ZAJEMANJE ODBITIH ŽARKOV OD SKENIRANEGA TELESA	28
SLIKA 9 PRIKAZ TREH KAMER ZA ZAJEM FOTOGRAFIJ, KI JIH NAREDI MED POSTOPKOM SKENIRANJA.....	28
SLIKA 10 PRIKAZ STABILIZACIJE INSTRUMENTA - TAHIMETER LEICA GS09.....	44
SLIKA 11 PRIKAZ GEODETSKE IZMERE S TAHIMETROM.....	46
SLIKA 12 ROČNO BELEŽENJE POZICIJ IZMERJENIH TOČK NA OBJEKTU	47
SLIKA 13 PRIPRAVA PRED PRIČETKOM DEL 3D LASERSKEGA SKENIRANJA.....	48
SLIKA 14 SPREMLJANJE SKENIRANJA NA TABLICI.....	49
SLIKA 15 PRIKAZ UVOZA SKENOGRAMOV V RAČUNALNIŠKI PROGRAM ZA REGISTRACIJO	50
SLIKA 16 PRIKAZ PRENESENEGA SKENOGRAMA V RAČUNALNIŠKI PROGRAM ZA REGISTRACIJO.....	51
SLIKA 17: PRIMER, KI ZAHTEVA ODSTRANITEV OSEBE NA POSNETKU.....	52
SLIKA 18 PRIMER NASTALEGA ŠUMA ZARADI ODBOJA V STEKLO	53
SLIKA 19 PRIMER NASTALEGA ŠUMA ODBOJA V VODO	54
SLIKA 20 PRIKAZ STOJIŠČ NA DELOVIŠČU	55
SLIKA 21 PRIKAZ STABILNE IN VIRTUALNE TARČE	56
SLIKA 22 PRIKAZ STABILNE ČRNO-BELE TARČE IN VIRTUALNA TARČA ZA POTREBE GEOREFERENCIRANJA OBLAKA TOČK.....	57
SLIKA 23 PRIKAZ POVEZANIH STABILNIH IN VIRTUALNIH TARČ NA POSAMIČNEM STOJIŠČU.....	58
SLIKA 24 PRIMER UMESTITVE HIŠE V DRŽAVNI KOORDINATNI SISTEM 2.5D PRIKAZ	59
SLIKA 25 PRIKAZ IZMERE IN POLJUBNE GEOREFERENCIRANE TOČKE NA OBJEKTU	60
SLIKA 26: OBLAK TOČK, PRIMEREN ZA NADALJNJO UPORABO	61
SLIKA 27 IZDELAN URADNI GEODETSKI NAČRT	62
SLIKA 28 PRIMERJAVA POSNETKOV PREREZ OBLAKA TOČK IN GEODETSKI NAČRT	63
SLIKA 29 PRIKAZ PRIMERJAVE GEOREFERENCIRANEGA OBLAKA TOČK NA PODLAGI GEODETSKEGA NAČRTA	63
SLIKA 30 GEOREFERENCIRAN OBLAK NA ŠTIRI OSLONILNE TOČKE, KI IMAJO MINIMALNO ODPSTOPANJE	64
SLIKA 31 GEOREFERENCIRAN OBLAK TOČK NA VSE OSLONILNE GEODETSKE TOČKE.....	65
SLIKA 32 PRIMER UMESTITEV HIŠE V DRŽAVNI KOORDINATNI SISTEM 3D PRIKAZ NA GEODETSKI PODLAGI.....	66
SLIKA 33 PRIMER UMESTITEV HIŠE V DRŽAVNI KOORDINATNI SISTEM 2.5D PRIKAZ	67
SLIKA 34 PRIMER SPREMLJANJA IN KONTROLA POSTAVLJENEGA OPAŽA	68
SLIKA 35 PRIMER KONTROLE POSTAVLJENEGA OPAŽA PRED BETONIRANJEM.....	69
SLIKA 36 PRIMER KONTROLE IN ARHIVIRANJE PREDPISANE NATANČNOSTI IZVEDENIH DEL	70
SLIKA 37 PRIKAZ PROJEKTIRANEGA MODELA NA OBLAKU TOČK IN VSTAVLJENEGA NA PODLAGO GEODETSKEGA NAČRTA	70
SLIKA 38 MODEL NADSTREŠKA NA PODLAGI GEOREFERENCIRANEGA OBLAKA TOČK V DRŽAVNEM KOORDINATNEM SISTEMU.....	71
SLIKA 39 POGLED POSTAVITEV MODELA NADSTREŠKA PROJEKTIRANEGA NA OBLAKU TOČK	72

KAZALO TABEL

TABELA 1 TEHNIČNI PODATKI ZA SKENER LEICA RTC360.....	29
---	----

1 UVOD

Smo v času razvoja digitalizacije na vseh področjih, torej tudi v gradbeništvu. Današnja tehnologija omogoča hiter in natančen zajem prostorskih podatkov, ki je postal hitrejši z uporabo tehnologije daljinskega zaznavanja površin. Prav tako pa se je z novo tehnologijo omogočilo zajemanje večje količine podatkov naenkrat. Tehnologija daljinskega zaznavanja se je pričela razvijati nekje v šestdesetih letih dvajsetega stoletja in do danes je že zelo izpopolnjena in dostopna širšim uporabnikom. Kadar je potrebno realnost zajeti na najbolj realen način, lahko to storimo z različnimi 3D skenerji. Med te spada tudi 3D laserski skener Leica RTC360, ki sem ga uporabil pri svojem diplomskem delu. Tehnologija zajemanja prostorskih in površinskih podatkov v obliki milijonov točk, združenih v tako imenovani oblak točk, hitro napreduje, zato je na tržišču vedno več geodetskih instrumentov, med katere prištevamo tudi 3D laserski skener Leica RTC360. Posnetki oziroma skenogrami nam omogočajo hitrejši in kakovostnejši zajem prostorskih podatkov. Tehnologija terestričnega 3D laserskega skeniranja je že uveljavljena na področjih, na katerih je pomembna visoka gostota točk za čim bolj podroben končni izdelek (3D modeliranje posameznih elementov, rekonstrukcije, razne analize, računanje volumnov, merjenje deformacij idr.). Terestrični laserski skenerji se vedno pogosteje uporabljajo za različne namene v različnih gospodarskih in negospodarskih panogah.

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Uporaba 3D terestričnega laserskega skeniranja (TLS) je primerna povsod, kjer potrebujemo potek geometrijskih lastnosti površja (prelomi, nakloni, ukrivljenost, večje ravnine). Z interpretacijo dodatnih podatkov (intenzivnost odboja ali naravne barve) lahko prepoznavamo tudi različne materiale. Še vedno pa ni povsem znana opredelitev, v katero sodijo instrumenti za 3D lasersko skeniranje. Nekateri so poskušali razmejiti 3D laserske skenerje na osnovi njihovega principa delovanja, kar pa je vodilo v neplodno diskusijo, ali 3D laserski skenerji sodijo v področje geodezije ali fotogrametrije. Za uporabnika pa je pomembno samo to, da pride do rezultata hitro, preprosto, poceni in da dosežena natančnost ter zanesljivost ustrezata njegovim zahtevam. Rezultat skeniranja objekta je oblak točk, vsaka točka pa je opisana s tremi prostorskimi koordinatami (x, y in z) in intenziteto odboja. Preden lahko te podatke uporabimo, jih moramo obdelati. Postopek obdelave oblaka točk se začne z registracijo posnetih točk.

V diplomskem delu bi se rad prepričal, ali je metoda TLS na primeru skeniranja hiše z okolico uporabna za umeščanje v državni koordinatni sistem. S postopkom skeniranja na terenu bom oblak točk, ki bo georeferenciran, umestil v geodetski načrt.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Pri diplomskem delu bi rad potrdil:

- da metoda TLS z instrumentom Leica RTC360 zadostuje, da lahko pridobimo merske in površinske podatke o objektu v realnem času,
- da je metoda TLS uporabna za umeščanje objektov v državni ali lokalni koordinatni sistem,
- da z metodo TLS lahko spremljamo in analiziramo samo gradnjo od pričetka gradnje do konca in s tem arhiviramo metrično in vizualno podobo same gradnje, kar nam omogoča, da lahko kadarkoli preverimo opravljeno delo.

V diplomskem delu bodo predstavljene naslednje trditve – hipoteze, ki jih bom preveril:

- H1: Metoda 3D laserskega skeniranja z instrumentom Leica RTC360 zadostuje za izmero za potrebe projektiranja na obstoječem objektu.
- H2: Metoda 3D laserskega skeniranja je uporabna za umeščanje objektov v državni ali lokalni koordinatni sistem.
- H3: Metoda 3D laserskega skeniranja poda več detajla o objektu kot polarna metoda izmere.
- H4: Metoda 3D laserskega skeniranja pomaga pri spremljanju gradbišča v fazi gradnje.
- H5: Metoda 3D laserskega skeniranja in analiziranje skenogramov med samo gradnjo lahko privarčujeta ogromno stroškov.

1.3 Predpostavke in omejitve

V želji po učinkovitih in hitrih meritvah v prostoru postaja za inženirje in ostale, vpete v proces projektiranja, vse bolj uporabna tehnologija terestričnega laserskega skeniranja (TLS). Zajem podatkov je hitrejši in cenejši v primerjavi z ostalimi metodami zajema. Dodatne meritve skorajda niso potrebne, saj so skenirani vsi objekti v vidnem polju, oblaki točk pa so uporabni večkrat in za različne namene in nadaljnje aplikacije. V zadnjih letih je TLS postala zelo pomembna metoda za zajem podatkov o objektih in njihovih geometrijskih lastnostih.

Navedene hipoteze bom preveril s samim postopkom na terenu in kasneje v pisarni z nadaljnjo računalniško obdelavo tudi preveril. Glavni cilj diplomskega dela je prikazati priporočljivo uporabo TLS za kasnejšo uporabo oblaka točk za različne projektantske in vizualne namene.

Omejitve pri izdelavi diplomskega dela bo predstavljala razpoložljivost klasičnih geodetskih posnetkov za primerjave med samimi postopki, saj za potrebe umeščanja objekta v državni koordinatni sistem in izdelavo geodetskega načrta zadoščajo po sedaj veljavni zakonodaji predhodno določene geodetske točke v ravnini in pripisana nadmorska višina posnete točke s terena.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

Diplomsko delo je sestavljeno iz dveh delov, in sicer iz teoretičnega in praktičnega dela. Namen teoretičnega dela diplomske naloge je predstaviti tehnologijo 3D terestričnega laserskega skeniranja, osnovne elemente kakovosti laserskega skenerja, zgradbo sistema in principe merjenja, mehanizme skeniranja ter sodobne merilne instrumente. Predstavil bom tudi nekatere osnovne geodetske sisteme in delo inženirske geodezije. Razdelil bom postopke uporabe TLS, ki vključuje izmero, sliko in obdelavo oblaka točk z namensko programsko opremo.

V drugem delu pa je moj namen opisati praktični primer umestitve objekta z okolico v državni koordinatni sistem D69/TM oziroma oblak točk postaviti na geodetsko mrežo in preveriti natančnost pozicioniranja glede na pridobljene geodetske točke, podane od pooblaščenega geodeta.

V tej diplomski nalogi bom registracijo oblaka točk izvedel s programsko opremo Leica CycloneRegister 360, s katero bom počistil nastale šume, ki nastanejo pri skeniranju, in združil posamične skenogramе iz različnih stojišč v en sam skenogram oziroma t. i. oblak točk. Registraciji sledi tudi georeferenciranje, za kar so potrebne geodetske točke, ki jih vzpostavi pooblaščen geodet. Geodetske točke morajo imeti podane vse tri koordinate v prostoru (x, y in z). Definirane morajo biti v lokalni geodetski mreži ali v državnem koordinatnem sistemu.

Praktični primer bom izvedel na primeru 3D laserskega posnetka stanovanjske hiše z okolico v soseski in jo umestil na geodetsko podlago, izdelano iz strani pooblaščenega geodetskega podjetja. V sklopu krovne teme diplomskega dela poklicna etika v gradbeništvu je predstavljeno in opisano v diplomskem delu trajnostno naravnani delovni postopek, dobro sodelovanje med sodelavci in različnimi izvajalci na gradbišču. Upravljalca 3D laserskega skenerja mora ravnati vestno in izvesti zahteve naročnika, do katerega mora biti korekten in strokoven. Pri izvajanju strokovnih storitev si mora prizadevati za varnost objektov, zagotavljanje zdravja in zaščito okolja, zagotavljanje uporabnosti in kakovosti opravljenih storitev.

2 DELO V PROJEKTNI SKUPINI

Po opravljenih vseh izpitih smo se študentje zbrali v prostorih Academie, kjer smo imeli vodeno srečanje za izdelavo diplomskega dela. Vsi bodoči diplomanti smo rešili Belbinov test za vlogo v skupini in Myersss Briggssov 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. Skupino smo sestavljali vodja projekta, projektant, komercialist, obračunski tehnik in oseba za pripravo dela. Po pregledu opravljenih testov sem bil v skupini postavljen za vodjo projekta. Predstavil sem projekt 3D skeniranje objekta in umestitev oblaka točk v državni koordinatni sistem za potrebe nadaljnjega modeliranja objekta in projektiranje nadstreška.

Kot vodja del, ki mora biti odprt in dinamičen sodelavec, sem sodeloval pri vseh opravilih na projektu. V vlogi vodje sem se dobro počutil, saj sem ustvarjalen in obvladujem soočanja z morebitnimi problemi in sem vedno za akcijo.

Skupini sem predstavil, kakšen je naš projekt. Opisal sem jim, s kakšno strojno in računalniško opremo bomo projekt izvedli in kakšen bo potek dela. Skupinsko smo preučili faze dela, razčlenili predvidene finančne stroške, izdelali ponudbo za omenjeno storitev in analizirali, če smo bili pri izvedenem projektu uspešni. Kot vodja projekta sem moral sprejemati tudi določene spremembe, ki se pokažejo med samo izvedbo projekta, ampak sem bil v skupini člen za zagotavljanje pozitivnih idej in reševanje sprememb.

3 KROVNA TEMA: POKLICNA ETIKA V GRADBENIŠTVU

Poklicno etiko v gradbeništvu določa etični kodeks, sprejet v Uradnem listu Republike Slovenije. Določa načela obnašanja oziroma ravnanja v gradbenem procesu od načrtovanja projekta do pregleda objekta in prevzema. Načeloma velja kodeks za vse vpletene v procesu gradnje objektov. Z njegovo uveljavitvijo se zagotavlja spoštovanje načel pri vsakodnevem ravnanju, odločanju in poslovanju. Temeljna načela in pravila predstavljajo standard delovanja, upravljanja, vodenja, ki oblikuje poslovno kulturo in gradi poslovno odličnost družbe. Osnovne etične vrednote v gradbeništvu so: vestnost in poštenost, strokovnost in podjetnost, partnerstvo, spoštovanje in odgovornost, pozitivna komunikacija, enakopravnost, zdrav način življenja ter varno delo in varstvo podatkov. Splošno etika obravnava vprašanja dobrega in zla, pomanjkanja in vrline, pravičnosti in kriminala. Je tudi ključni vidik družbene odgovornosti podjetja, ki pri svoji organizaciji vodenja poudarja trajnost in okoljski vidik gradnje. Eno izmed etičnih načel je torej tudi skrb, da je gradnja trajnostna, saj s pravilno izbiro materialov dosegamo za okolje glede obremenitev dobre rezultate, predvsem ko govorimo o izvedbi nizkoenergijske ali ničelne gradnje objekta. Prav takšna gradnja se v stroki vse bolj uveljavlja in ima velik pomen. Kodeks vsebuje pravila, katerih kršitve obravnavajo pristojni organi zbornic, ki so določeni s statutom posamezne zbornice. Določa se torej o disciplinskih kršitvah, sankcijah in postopkih.

Kot sem prej omenil, poklicna etika vsebuje tudi elemente zagotavljanja varstva in zdravja pri delu na gradbišču. Ta uredba je opredeljena v Zakonu o varstvu in zdravju pri delu, ki je opredeljen v Uradnem listu Republike Slovenije v številki 56/99 in 64/01. Uredba o zagotavljanju varnosti in zdravja pri delu na začasnih in premičnih gradbiščih določa imenovanje koordinatorjev gradbenih procesov, varnostni načrt varnostnega inženirja in prijavo gradbišča na upravno enoto občine. V fazi priprave projekta mora naročnik oziroma nadzornik projekta upoštevati vsa temeljna načela varstva in zdravja pri delu. Naloge koordinatorjev za varnost in zdravje v fazi priprave projekta so usklajevanje določb iz tega zakona. Zagotoviti morajo, da se izdelava varnostni načrt in pripravi dokumentacija, ki vsebuje ustrezne varnostne in zdravstvene podatke, ki jih je treba upoštevati pri vsaki nadaljnji fazi dela oziroma gradbenega procesa. Koordinator za varnost in zdravje pa ima svoj vpliv tudi v sami fazi izvajanja projekta. Takrat je odgovoren za sprejemanje odločitev o tehničnih ali organizacijskih vidikih pri planiranju posameznih faz dela in pri določanju rokov, ki so potrebni za varno dokončanje posameznih faz dela, ki se izvajajo hkrati ali zaporedno. Med izvajanjem del na gradbišču je potrebno upoštevati in izvajati temeljna načela iz zakona, ki ureja varnost in zdravje pri delu,

še zlasti v zvezi z vzdrževanjem primerne reda in zadovoljitvijo čistoče na gradbišču, ravnanjem z različnimi materiali, s tehničnim vzdrževanjem, pregledi pred dajanjem v obratovanje in z rednimi pregledi instalacij in opreme, da bi popravili oziroma odpravili kakršnekoli napake, ki bi lahko vplivale na varnost in zdravje delavcev. Varnost na gradbišču je potrebno zagotavljati tudi z razmejitvijo in načrtovanjem površin za skladiščenje različnih materialov, zlasti kadar gre za nevarne materiale ali snovi kakor tudi s pogoji za odstranitev nevarnih materialov, ki so bili uporabljeni s skladiščenjem oziroma odlaganjem ali odstranjevanjem odpadkov in ruševin. (Uradni list RS, 2005)

Za dolgoročno uspešnost organizacije so ključni tako zadovoljni lastniki in odjemalci, zaposleni ter vsi ostali, ki so povezani z organizacijo. Zavedati se moramo, da je uspešnost posameznika pogoj za uspešnost organizacije, ta pa spet spodbuja uspešnost posameznika, ki jo merimo z doseganjem ciljev zaposlenih. V preteklosti se niso dovolj zavedali, kako pomemben vir v organizaciji so zaposleni, saj ni organizacije, ki bi lahko poslovala brez njih. Zato je nujno potrebno upoštevati poklicno etiko v vseh gospodarskih in ostalih panogah dela.

4 METODA 3D TERESTIČNO LASERSKO SKENIRANJE

3D skener je naprava, ki zajame podatke o resničnem predmetu. Zbrane podatke lahko nato uporabimo za izdelavo digitalnih tridimenzionalnih modelov. 3D lasersko skeniranje se je razvilo v zadnji polovici 20. stoletja, da bi natančno poustvarili površine različnih predmetov in krajev. Tehnologija je še posebej koristna na področjih raziskav in oblikovanja. Prva tehnologija 3D skeniranja je bila ustvarjena v šestdesetih letih prejšnjega stoletja. Za izvajanje te naloge so zgodnji skenerji uporabljali luči, kamere in projektorje. Zaradi omejitev opreme je pogosto trajalo veliko časa in truda za natančno skeniranje predmetov. Po letu 1985 so jih nadomestili s skenerji, ki so lahko uporabljali belo svetlobo, laserje in senčenje za zajem določene površine. Za izdelavo teh naprav za 3D skeniranje je mogoče uporabiti veliko različnih tehnologij. Vsaka tehnologija ima svoje omejitve, prednosti in stroške. Številne omejitve vrste predmetov, ki jih je mogoče digitalizirati, so še vedno prisotne: optične tehnologije na primer naletijo na številne težave s sijočimi, zrcalnimi ali prozornimi predmeti. Obstaja več različnih vrst tridimenzionalnih laserskih optičnih bralnikov, katerih cene se gibljejo od nekaj tisoč do sto tisoč evrov. Zbrani tridimenzionalni podatki so uporabni za najrazličnejše aplikacije. Te naprave industrija zabave pogosto uporablja pri produkciji filmov in video iger. Druge pogoste aplikacije te tehnologije vključujejo industrijsko oblikovanje, ortotiko in protetiko, reverzno inženirstvo in izdelavo prototipov, nadzor/pregled kakovosti in dokumentiranje kulturnih predmetov. Trg 3D laserskega skeniranja, vključno s strojno opremo, programsko opremo in storitvami, je precej dinamičen, saj se v glavnih segmentih pojavljajo hitre inovacije izdelkov. Trg ponuja izjemne priložnosti s hitro napovedano rastjo, ki jo vodijo tako zamenjave starejših mehanskih metod kot tudi izboljšani potek dela z nižjimi skupnimi stroški projektov, kar omogoča več projektov. V tej nalogi bodo zajeta pomembna področja 3D laserskih skenerjev. Trg ponuja izjemne priložnosti s hitro napovedano rastjo, ki jo vodijo tako zamenjave starejših mehanskih metod kot tudi izboljšani potek dela z nižjimi skupnimi stroški projektov.

4.1 Tehnologija 3D laserskega skeniranja

Tehnologija 3D laserskega skeniranja se je razvila v šestdesetih letih 20. stoletja. Osnovna ideja je bila ustvariti čim detajlnejši model površine različnih predmetov in objektov. Zgodnji skenerji so delovali s pomočjo kombinacije sijal, kamer in projektorjev. Zavrlo omejenosti opreme je bil postopek skeniranja časovno potraten in zaradi tega izjemno drag ter je od izvajalca oziroma operaterja zahteval ogromno truda in znanja. Po letu 1985 so omejene skenerje nadomestili optični laserski skenerji, ki so za zajem površine uporabljali različni spekter svetlobe in laserje. Razmah je tehnologija in uporaba 3D laserskega skeniranja doživela v devetdesetih letih 20. stoletja, ko so skenerji postali enostavnejši za uporabo in cenovno dostopnejši uporabnikom, hkrati pa vse natančnejši, hitrejši in sposobni zajema realističnega okolja.

Ljudje smo vizualna bitja in že od nekdaj vemo, da si stvari mnogo lažje predstavljamo, če jih vidimo, kot če o njih samo poslušamo ali beremo. Še tako preprosta slika bolje opiše pojav kot besedilo ali, kot radi rečemo, »slika pove več kot tisoč besed«. Pri interpretaciji podob smo ljudje zelo uspešni, saj se z njo ukvarjamo ves čas (ne nazadnje je tudi branje neke vrste analiza podob). Slike podajajo prostorske »razsežnosti« predmetov – informacije o njihovem položaju, velikosti in medsebojnih razmerjih. Definicij daljinskega zaznavanja je veliko, kar je odraz najrazličnejših področij njegove uporabe. Nekatere med njimi so precej obsežne, druge dokaj skope, vse pa imajo nekaj skupnih točk. Daljinsko zaznavanje je definirano kot znanost pridobivanja informacij o površju Zemlje, ne da bi z njo prišli v neposredni stik. Pri tem zaznavamo in zapisujemo odbito ali sevano elektromagnetno valovanje, ga obdelujemo, analiziramo in uporabimo v različnih aplikacijah. (Oštir, 2006)

4.1.1 Tehnologija 3D skeniranja laserske triangulacije

3D skenerji, ki temeljijo na laserski triangulaciji, uporabljajo bodisi lasersko črto ali eno lasersko točko za skeniranje na predmet. Najprej 3D skener odda svoj laserski žarek na predmet. Ko se laserska svetloba odbije od 3D skeniranega predmeta, se njena začetna pot spremeni in jo zajame senzor.

Nato lahko sistem na podlagi te spremenjene trajektorije in zahvaljujoč trigonometrični triangulaciji zazna odklonski kot laserskega žarka. Izračunani kot je neposredno povezan z

razdaljo od predmeta do skenerja. Ko 3D skener zbere dovolj razdalj, je sposoben preslikati površino predmeta in ga ponovno ustvariti v 3D.

Glavni prednosti tehnologije laserske triangulacije za 3D skeniranje sta njena visoka ločljivost in natančnost.

Slaba stran tehnologije laserske triangulacije je, da je občutljiva na lastnosti in barvo površine predmeta; zelo svetleče ali prozorne in temne površine so posebej problematične.

(Aniwaa, 2021)

4.1.2 Tehnologija 3D skeniranja s strukturirano svetlobo

3D skenerji s strukturirano svetlobo uporabljajo trigonometrično triangulacijo za določitev položaja točk. Na predmet projicirajo vrsto linearnih vzorcev. Sistem nato pregleda robove vsake črte v vzorcu in deformacijo črt ter izračuna razdaljo od skenerja do površine predmeta. Projicirana strukturirana svetloba, ki se uporablja za 3D skeniranje, je lahko bela ali modra in jo ustvarjajo številne vrste projektorjev, kot je tehnologija digitalne obdelave svetlobe (DLP). Projicirani vzorec je običajno serija svetlobnih žarkov, lahko pa je tudi naključna matrika pik.

Glavne prednosti tehnologije strukturirane svetlobe za 3D skeniranje so njena hitrost in ločljivost, njena neškodljiva svetloba pa se lahko uporablja za 3D skeniranje telesa.

Vendar so 3D skenerji s strukturirano svetlobo občutljivi na svetlobne pogoje in imajo težave pri delu na prostem sredi belega dne. (Aniwaa, 2021)

4.1.3 Fotogrametrična 3D tehnologija skeniranja (fotografija)

Fotogrametrija je veda o izvajanju meritev iz fotografij, zlasti za pridobivanje natančnih položajev površinskih točk. Temelji na mešanici računalniškega vida in zmogljivih algoritmov računalniške geometrije. Načelo fotogrametrije je analizirati več fotografij statičnega predmeta, posnetih z različnih zornih kotov in samodejno zaznati slikovne pike, ki ustrezajo edinstveni

fizični točki. V primeru fotogrametrične 3D tehnologije skeniranja se podatki fotogrametrije kombinirajo s podatki laserskega skeniranja. Glavni izziv te tehnologije 3D skeniranja je preučiti desetine ali stotine fotografij in tisoče točk z visoko natančnostjo. Za izvajanje takšnih fotogrametričnih algoritmov je potreben zelo zmogljiv računalnik.

Glavne prednosti tehnologije fotogrametričnega 3D skeniranja so njena hitrost zajemanja in sposobnost zaznavanja barv in tekstur. Fotogrametrična tehnologija je prav tako sposobna rekonstruirati subjekte v velikih merilih, kot so pokrajine ali spomeniki, fotografirani s tal ali iz zraka, na primer s fotografskim dronom.

Kakovost rezultatov, ki jih ustvari fotogrametrična tehnologija, je odvisna od ločljivosti vhodnih fotografij. Ta tehnologija je lahko tudi precej počasna, odvisno od programske opreme in zmogljivosti računalnika. (Aniwaa, 2021)

4.1.4 Kontaktna tehnologija 3D skeniranja

Kontaktno 3D skeniranje je znano tudi kot digitalizacija. Ta tehnologija 3D skeniranja pomeni kontaktno obliko zbiranja 3D podatkov. Kontaktni 3D skenerji preiskujejo predmet s fizičnim dotikom, medtem ko je predmet trdno na svojem mestu. Sonda, ki se dotika, se premika vzdolž površine za snemanje 3D informacij. Sonda je včasih pritrjena na zgibno roko, ki lahko zbere vse svoje konfiguracije in kote za večjo natančnost. Nekatere posebne konfiguracije kontaktnih 3D skenerjev se imenujejo koordinatni merilni stroji (CMM) .

Kontaktno 3D skeniranje se pogosto uporablja za izvajanje nadzora kakovosti po izdelavi ali med vzdrževalnimi operacijami. Glavne prednosti kontaktne tehnologije za 3D skeniranje so njena natančnost in sposobnost 3D skeniranja prozornih ali odsevnih površin.

Slabosti tehnologije kontaktnega 3D skeniranja vključujejo njeno nizko hitrost in nezmožnost dela z organskimi oblikami proste oblike. (Aniwaa, 2021)

4.1.5 Tehnologija 3D skeniranja na osnovi laserskih impulzov

3D skenerji na osnovi laserskih impulzov, znani tudi kot skenerji časa leta ali laserski 3D skenerji Lidar , merijo, koliko časa potrebuje oddani laserski žarek, da zadene predmet in se vrne nazaj.

Ker je svetlobna hitrost natančno znana, poda čas, ki je potreben, da se laserski žarek vrne do skenerja, natančno razdaljo med 3D skenerjem in predmetom. Za natančno merjenje razdalje 3D skener izračuna milijone laserskih impulzov z natančnostjo do pikosekunde.

Ker se vsak izmerek nanaša le na eno točko, mora 3D skener svoj laser usmeriti za 360 stopinj okoli te točke. V ta namen je 3D skener običajno opremljen z ogledalom, ki spremeni orientacijo laserja.

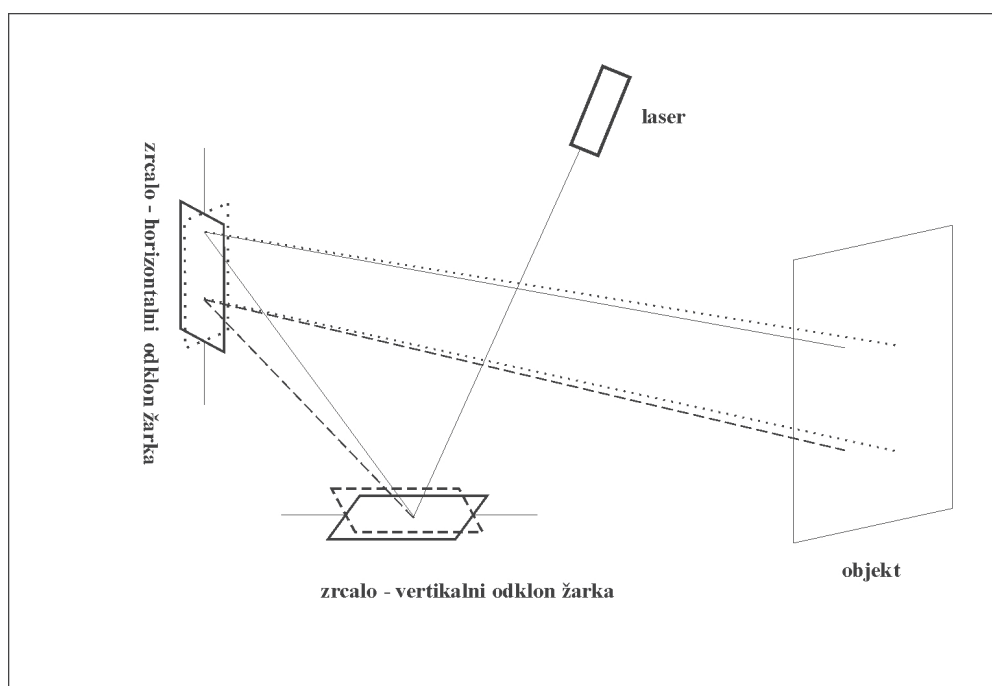
3D skenerji za merjenje časa letenja zajemajo laserske impulze in laserje s faznim zamikom. Laserski 3D skenerji s faznim zamikom so podkategorija laserskih impulznih 3D skenerjev. Poleg pulziranja laserja sistemi za fazni zamik modulirajo tudi moč laserskega žarka. Laserji s faznim zamikom ponujajo boljšo splošno zmogljivost.

Glavna prednost 3D skenerjev z laserskim impulzom je njihova sposobnost 3D skeniranja zelo velikih predmetov in okolij. So pa precej počasni .

Tehnologijo laserskih impulzov pogosto uporabljajo zemeljski laserski 3D skenerji, ki so namenjeni predvsem 3D skeniranju celotnih zgradb. Nekateri 3D skenerji z laserskim impulzom vključujejo tudi dinamične algoritme SLAM (hkratna lokalizacija in kartiranje) za izboljšanje njihove sposobnosti prepoznavanja okolice. (Aniwaa, 2021)

4.2 Opis 3D laserskih skenerjev

V nadaljevanju so obravnavani 3D laserski skenerji kot mobilni sistemi na stativih ali podobnih stojalih. Imenujemo jih terestrični 3D laserski skenerji in se uporabljajo v kulturni dediščini, arheologiji, pri meritvah deformacij, topografskih meritvah in v strojništvu. S 3D laserskimi skenerji skeniramo površino objekta. Skeniranje je izvedeno z enim ali dvema gibljivima zrcaloma, ki omogočata zelo majhne spremembe v odklonskem kotu laserskega žarka, projiciranega na površino objekta (slika 1). Osnovni pogoj za izvedbo 3D laserskega skeniranja je, da skenirana površina odbija lasersko svetlobo. Za izračun prostorskih koordinatnih točk potrebujemo podatek o odklonskem kotu zrcal in poševni razdalji med 3D laserskim skenerjem in objektom. Glede na način merjenja razdalje delimo terestrične 3D laserske skenerje na ranging LiDAR (Light Detection and Ranging) in triangulacijske skenerje. (Boehler, 2001)



Slika 1 Način delovanja rotacijskih zrcal

Vir: (Boehler, 2001)

4.3 Vrste laserskih skenerjev

4.3.1 Skenerji za merjenje na daljši razdalji

Številni zemeljski laserski skenerji uporabljajo tehnologijo, znano kot LiDAR (Light Detection and Ranging).

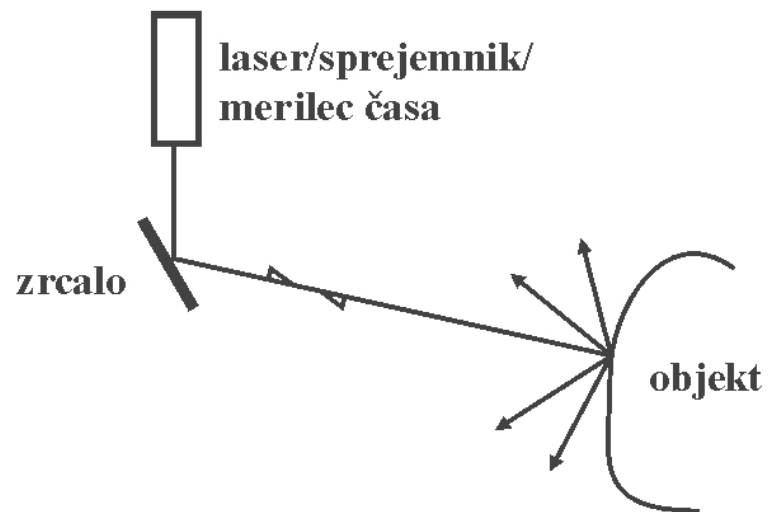
Skenerji za merjenje na daljši razdalji (ranging skenerji) delujejo na osnovi metode časovnega intervala potovanja elektromagnetnega valovanja med začetno in končno točko ali na osnovi metode primerjave faze oddanega in sprejetega moduliranega signala. Prvi je dobro poznan pri impulznih elektronskih razdaljemernih. Skenerji uporabljajo majhne rotirajoče naprave (slika 2) za kotno odklanjanje žarka (najmanj eno ali dve zrcali), za izračun razdalje pa uporabljajo preproste algoritme, kar lahko vodi do slabše natančnosti.

Tipični standardni odklon za merjene razdalje znaša nekaj milimetrov. Ker so razdalje majhne, je ta natančnost enaka za vso površino skeniranega objekta. Na natančnost določitve prostorskih koordinat vpliva tudi natančnost določitve kotnega odklona laserskega žarka.

Pri faznih elektronskih razdaljemernih je oddani žarek moduliran s harmoničnim valovanjem. Razdalja se računa na podlagi fazne razlike med oddanim in sprejetim valovanjem. Zaradi podrobnejše analize signala so rezultati določitve razdalje natančnejši. Zaradi zahtevane jakosti odbitega valovanja se lahko zgodi, da imajo takšni skenerji zmanjšan doseg delovanja.

Z ranging skenerji lahko delamo na večji oddaljenosti od objekta kot s skenerji, ki delujejo na osnovi triangulacije, vendar je dosežena natančnost slabša, še posebej pri kratkih razdaljah.

Natančnost določitve prostorskih koordinat znaša od nekaj milimetrov do treh centimetrov. (Boehler, 2001)



Slika 2 Način delovanja ranging skenerja (skener za merjenje na daljši razdalji)

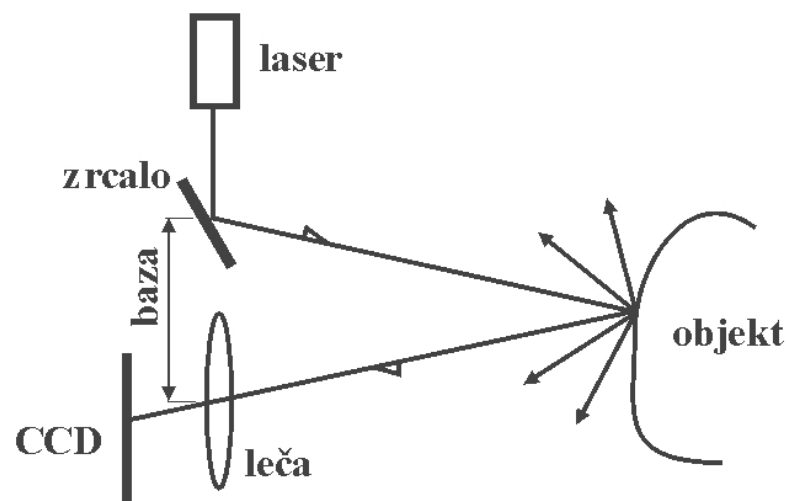
Vir: (Boehler, 2001)

4.3.2 Triangulacijski skenerji

Druga skupina skenerjev temelji na triangulaciji. Svetlobni žarek, ki ga odda laserski izvor, se projicira na površino objekta. Položaj točke na objektu se registrira s CCD kamero.

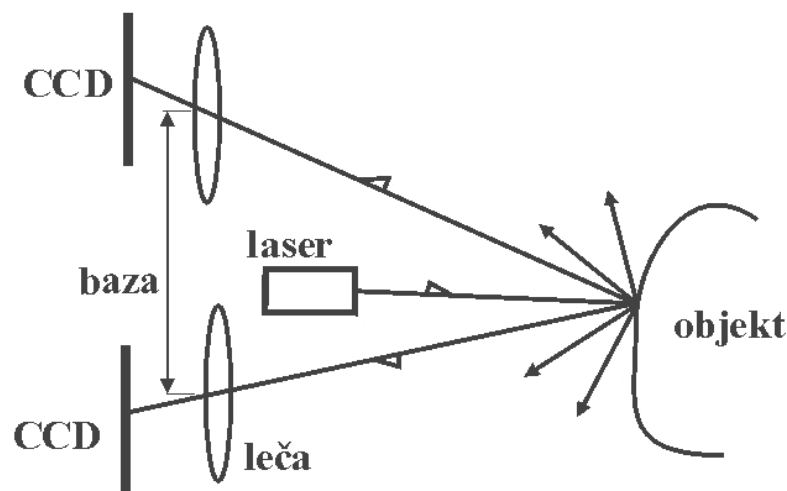
Osnovni način delovanja je zelo preprost. Laserski žarek je proti objektu usmerjen pod določenim kotom, medtem ko je dolžina baze znana iz kalibriranja 3D laserskega skenerja. Razdalja od instrumenta do objekta je izračunana iz kota in dolžine baze. Obstajata tehnični rešitvi z eno ali dvema CCD kamerama (slika 3). Skenerji triangulacijskega tipa dosežejo natančnost določevanja prostorskega položaja točke okrog milimetra pri razdaljah, krajših od dveh metrov (Boehler, 2001).

Natančnost je odvisna od dolžine baze skenerja in oddaljenosti od skeniranega objekta. (Mozetič, 2004)



Slika 3 Način delovanja ene CCD kamere

Vir: (Boehler, 2001)



Slika 4 Način delovanja dveh CCD kamer

Vir: (Boehler, 2001)

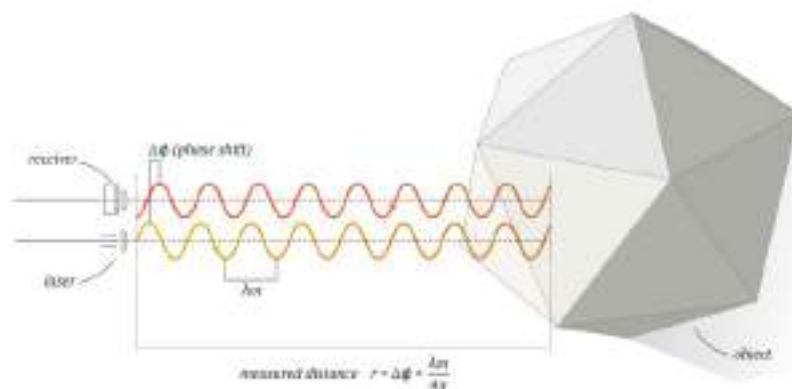
4.3.3 Skener faznega premika

3D skenerji faznega premika oddajajo lasersko svetlobo na izmeničnih frekvencah in določajo razdaljo do objekta z merilom fazne razlike med oddanimi in odbitimi signali, za razliko od skenerjev za merjenje na daljši razdalji. Skenerji faznega premika delujejo v krajših razponih od 80 do največ 120 metrov, s tipičnim obsegom delovanja od 1 do 50 metrov. 3D skenerji faznega premika so pogosto kategorizirani kot najhitrejši laserski skenerji, pri tem pa nekateri sistemi trdijo, da je stopnja napisa do milijon točk na sekundo. Imajo tudi večjo natančnost in ločljivost kot skenerji za merjenje na daljši razdalji.

Zaradi visoke natančnosti skenerji faznih premikov najboljše delujejo za srednjeročne potrebe po skeniranju, kot so industrijski objekti, velike hiše, okolica objektov, industrijska oprema, kulturna dediščina ... Tako skenerji faznega premika kot skenerji za merjenje na daljši razdalji se lahko uporabljajo tudi pri prizemnih aplikacijah za skeniranje, kjer je mogoče preučiti večje predmete ali strukture nekaj metrov do več kilometrov.

Skener faznega premika se lahko uporablja kot stacionarna oprema na stativu ali premikajoča oprema, na premikajočem kopenska ali zračnem vozilu. Uporablja se za projekte, ki zahtevajo informacije iz obsežnih pokrajin, cestnega področja ali nedostopnih območij.

(Golubova, 2022)



Slika 5 Prikaz, kako deluje princip merjenja faznih premikov

Vir: (Golubova, 2022)

4.3.4 Ključna podobnost 3D laserskih skenerjev

Vsi laserski skenerji pošiljajo lasersko svetlobo oziroma žarek do objekta, vendar uporabljajo različne tehnologije za interpretacijo oddanih in dohodnih (odbitih) signalov od površine. Skenerji za merjenje na daljši razdalji zabeležijo čas, ki ga potrebuje žarek, da se odbije od površine objekta nazaj v senzor.

Skenerji faznega premika merijo fazno razliko med oddanimi in odbitimi signali. Triangulacijski skenerji pa izračunajo kot, pod katerim se izhodni žarek vrne v senzor skenerja.

4.4 Osnovni elementi 3D laserskih skenerjev

Čeprav je v geodeziji natančnost izmere pri primerjavi merske opreme bistvena, je potrebno v primeru 3D laserskih skenerjev upoštevati tudi druge elemente, ki so pri izbiri 3D laserskega skenerja za določeno nalogo pomembni. Elementi, ki vplivajo na odločitev o izbiri, so: izvedba, natančnost, hitrost skeniranja, ločljivost in velikost laserske pike, doseg tarče, vidno polje, transport, napajanje, programska oprema ter ne nazadnje tudi cena.

Izvedba. Obstajata dva načina izvedbe terestričnih 3D laserskih skenerjev: kamera skener in panoramski skener. Kamera skener skenira vnaprej določeno vidno polje, omejeno z zgradbo snemalne glave, ki se med postopkom skeniranja ne vrti. Panoramski skener ima snemalno glavo, ki se med skeniranjem profilov samodejno vrti okrog ene osi. Velika prednost 3D laserskega skeniranja je njihova zmožnost delovanja in pridobivanja merskih podatkov tudi v popolni temi.

Natančnost. Natančnost določitve prostorske lokacije skenirane točke je odvisna od natančnosti določitve razdalje in natančnosti kotnih meritev. 3D laserski skenerji z optimalnim razmerjem med kotno in dolžinsko natančnostjo so sposobni določiti prostorski položaj točke z natančnostjo ± 6 mm za posamezno točko ter ± 2 mm za modelirano točko na razdalji 50 metrov, kar je bilo potrjeno tudi s testiranjem.

Hitrost skeniranja. Kljub veliki hitrosti zajemanja podatkov lahko 3D lasersko skeniranje postane časovno potraten postopek, kadar je potrebna velika gostota točk za doseganje visoke ločljivosti zajetega objekta. Hitrost zajemanja 100 točk na sekundo se lahko pojmuje kot počasno skeniranje. Hitrost 1000 točk na sekundo je zadovoljiva v večini primerov. Uporaba 3D skenerja, ki v sekundi zajame 1000 točk, ni 10-krat daljša od uporabe skenerja, ki v sekundi zajame 100 točk. Hitrejše je namreč le skeniranje, časa, ki ga porabimo za ostale operacije (prevoz, priprava opreme, meritve kontrolnih točk, premikanje s stojišča na stojišče, pisarniška obdelava podatkov ...), pa z izbiro skenerja ni mogoče skrajšati.

Ločljivost in velikost pike. Ločljivost 3D laserskega skenerja je teoretično funkcija velikosti kotnega zasuka zrcala, ki ga je še mogoče izvesti. Ločljivost 3D laserskih skenerjev z enim zrcalom (Callidus) je odvisna od kotnega zasuka zrcala, ki omogoča navpično odklanjanje laserskega žarka ($0,25^\circ$, $0,5^\circ$, 1°), in od kotnega zasuka merilne glave, ki omogoča vodoravne premike laserskega žarka ($0,0625^\circ$, $0,125^\circ$, $0,25^\circ$, $0,5^\circ$, 1°). Pri 3D laserskih skenerjih z dvema zrcaloma je ločljivost odvisna le od kotnega zasuka zrcal. Velikost laserske svetlobne pike je odvisna od natančnosti fokusiranja.

Doseg. Doseg 3D laserskih skenerjev je zelo odvisen od odbojnosti materialov, stanja atmosfere, difuzne svetlobe. Na splošno so skenerji, ki delujejo na osnovi časovnega intervala, manj občutljivi kot fazni in triangulacijski skenerji.

Vidno polje. Velikost vidnega polja, ki ga razdelimo na vodoravno in navpično sestavino, je odvisna od izvedbe 3D laserskega skenerja. Fiksni 3D laserski skenerji, ki nimajo možnosti samodejne rotacije okrog osi med skeniranjem, imajo manjše vidno polje, saj je omejeno z

zgradbo snemalne glave. Običajno lahko skeniramo vidno polje velikosti $40^{\circ} \times 40^{\circ}$ (Cayrax 2500). 3D laserski skenerji z eno rotacijsko osjo pokrijejo območje $46^{\circ} \times 320^{\circ}$ (Mensi S25), medtem ko skenerji z dvema rotacijskima osema pokrijejo območje $360^{\circ} \times 180^{\circ}$ (Callidus PS 3200). Velikost vidnega polja je pomembna pri skeniranju v zaprtih prostorih, kjer lahko z enega samega stojišča brez posredovanja operaterja skeniramo ves prostor.

Tarče. Za združevanje več skenogramov (oblakov točk), narejenih z različnih stojišč, ali preslikavo meritev v želeni koordinatni sistem je priporočljiva uporaba posebnih tarč, ki jih skenerjeva programska oprema lahko tudi samodejno zazna. Nekateri proizvajalci ponujajo kot dodatno opremo posebne tarče z visoko odbojnostjo, ki so primerne tudi za polarno terestrično izmero in fotogrametrične meritve.

Transport. Idealno bi bilo, da bi bila oprema za skeniranje majhna in lahka. Večina skenerjev srednjega in dolgega dosega je še vedno relativno velika. Pomembni sta robustnost (odpornost, vzdržljivost) opreme in kvaliteta transportnih kovčkov. 3D laserski skener in baterija lahko skupaj tehtata tudi do 30 kg.

Napajanje. Uporabljajo se prenosne akumulatorske baterije ali priklop na električno omrežje. Pri baterijah sta zaželeni čim daljša doba delovanja in čim manjša masa baterij. Uporaba električnega omrežja ni najbolj praktična. Običajno ena baterija zdrži en snemalni dan. Izkušnje kažejo, da so šibkejši del opreme za 3D lasersko skeniranje notranje baterije prenosnega instrumenta.

Programska oprema. Programska oprema za 3D lasersko skeniranje je sestavljena iz različnih programskih modulov. Njihova kakovost ima znaten vpliv na kakovost končnega izdelka in na količino porabljenega časa za njegovo izdelavo. V celotnem postopku od zajema podatkov do končnega izdelka so programski moduli naslednji:

- modul za krmiljenje (upravljanje) skenerja,
- modul za obdelavo oblakov točk,
- modul za geometrično enostavne ploskve,
- modul za kreiranje zapletenih ploskovnih modelov,
- modul za upodobitev površin in
- modul za upravljanje podatkov in postopkov.

(Mozetič, 2004)

4.5 Predstavitev in način delovanja instrumenta Leica RTC360



Slika 6 3D laserski skener Leica RTC360

Vir: (Geoservis, 2023)

Leica RTC360 laserski skener združuje najhitrejšo tehnologijo laserskega skeniranja z 2 milijonoma točk na sekundo, visokoločljiv HDR zajem panoramskih fotografij in inovativno tehnologijo za samodejno združevanje skenogramov.

Z enim pritiskom na gumb v manj kot dveh minutah svet okrog sebe digitalizira v fotorealističen oblak točk ter skenograme z različnih stojišč samodejno združuje brez predhodnih priprav.

Že na terenu si je mogoče ogledati združen 3D oblak točk v mobilni aplikaciji Leica Cyclone FIELD 360. To uporabniku omogoča kontrolo, da ni izpustil nobenega detajla.

Laserski skener RTC360 proizvajalca Leica je hiter, agilen, precizen in inovativen.

Laserski skener Leica RTC360 ponuja rešitve za maksimalno produktivnost pri zajemu prostorskih podatkov, tudi pri večjih objektih kompleksnih oblik. Odlikuje ga prenosljivost, hitrost in natančnost, hkrati pa izredna avtomatizacija postopkov in enostavna uporaba. Lasersko skeniranje izvaja vsaj 2-krat hitreje od svojih vrstnikov. Kljub ekstremni hitrosti merilni doseg znaša zelo uporabnih 130 metrov. V manj kot minuti zajame visokoločljivo HDR panoramsko fotografijo ne glede na svetlobne pogoje.

Leica RTC360 je prvi laserski skener na svetu, ki uporablja vizualni inercialni sistem (Visual Inertial System, VIS) za samodejno določitev premikov in orientacije skenerja med sosednjimi

stojišči. »Oči« skenerja zaznavajo premike ves čas, tudi ko uporabnik skener prenaša po prostoru oziroma ga prenese v drugo sobo ali nadstropje.

Revolucionarna kombinacija vseh teh tehnologij zagotavlja edinstveno uporabniško izkušnjo, dvig produktivnosti na terenu, občutne prihranke časa in navora. Samodejno združevanje skenogramov v enoten oblak točk že na terenu pa nudi še izboljššan pregled nad celovitostjo in kakovostjo zajema, prav tako pa tudi zmanjšanje stroškov dela v pisarni zaradi občutno hitrejši obdelave že predregistriranih oblakov točk.

Številne drobne pozornosti obsegajo še inovativen sistem pritrdjevanja na stativ, učinkovito upravljanje z baterijami, enostavno upravljanje preko zaslona na dotik ali tablice (Android, iOS), modernega LED indikatorja pod vrtljivim zrcalom ter ne nazadnje kompaktno obliko in nizko težo. Z Leica RTC360 se lahko uporabnik brezskrbno posveti končnim produktom iz oblaka točk.

(Geoservis, 2023)

Tehnologija VIS



Slika 7 Prikaz video kamer za sledenje spremljanja položaja v prostoru

Vir: (Geoservis, 2023)

Integrirana tehnologija vizualni inercialni sistem (angl. Visual Inertial System, kratica VIS) je novost na področju terestričnega laserskega skeniranja. Ta patent podjetja Leica temelji na petih metričnih video kamerah, inercialni merilni enoti (IMU) in inteligentnem algoritmu, ki v realnem času sledi spremembam položaja in smeri skenerja v prostoru.

Sistem s pomočjo podatkov žiroskopov, pospeškomerov ter tehnologije vizualnega razpoznavanja karakterističnih objektov v prostoru samodejno združuje oblake točk z različnih lokacij oz. stojišč skenerja že neposredno na terenu. S tem se prihrani čas in napor tako na

terenu kot v pisarni, saj so skenogrami z različnih stojišč samodejno združeni brez kakršnegakoli človeškega posredovanja.

Nova definicija hitrosti



Slika 8 Prikaz pogonskega sklopa za vrtenje leče in zajemanje odbitih žarkov od skeniranega telesa

Vir: (Geoservis, 2023)

Leica RTC360 je hitrost laserskega skeniranja postavil na 2.000.000 točk/sekundo. Skeniranje pri ločljivosti 12 mm na razdalji 10 m traja vsega 26 sekund.

Dodana je nova možnost dvojnega skeniranja, ki samodejno odstrani premikajoče se objekte.

Fotorealističen zajem



Slika 9 Prikaz treh kamer za zajem fotografij, ki jih naredi med postopkom skeniranja

Vir: (Geoservis, 2023)

Leica RTC360 oblak točk obarva fotorealistično na podlagi sistema treh HDR kamer in tehnologije *TruRTC*. Posamezna kamera za isti prizor naredi pet različno osvetljenih posnetkov in sestavi dinamično fotografijo najboljših elementov. Skupno nastane 432 MP surovih podatkov, ki jih algoritem samodejno pretvori v visokoločljivo HDR panoramsko fotografijo ločljivosti 180 MP. (Geoservis, 2023)

Tehnični podatki

Tabela 1 Tehnični podatki za skener Leica RTC360

SPLOŠNO	
Slikovni skener	3D laserski skener z integriranim sferičnim slikovnim zajemom in vizualnim inercialnim sistemom
Področja uporabe	Industrija, gradbeništvo, BIM, kulturna dediščina, obnove in rekonstrukcije, forenzika
Funkcionalnost	• Upravljanje z zaslonom na dotik ali tablico; shranjevanje na USB ključek • Sprotno pretakanje slikovnih in skeniranih podatkov, sprotno 2D ali 3D pregledovanje in kontrola (z aplikacijo Leica Cyclone FIELD360) • Samodejno združevanje skenogramov neposredno na terenu (brez tarč in drugih predpriprav) na podlagi sistema za sledenje premikov med sosednjimi stojišči (tehnologija VIS) • Povezljivost v oblak • Možnost dodajanja GNSS sprejemnika, višinomera ali e-kompasa
SKENIRANJE	
Varnost	Laser Razred 1
Vidno polje	360° (horizontalno) × 300° (vertikalno)
Merilni doseg	0.5 m - 130 m
Hitrost	2.000.000 točk/sekundo Zajem celotne okolice (full dome, 169 mio točk) v < 1min
Ločljivost	3 mm, 6 mm ali 12 mm na razdalji 10 m
Natančnost merjenja dolžine	1 mm + 10 ppm
Natančnost 3D	1.9 mm na razdalji 10 m 2.9 mm na razdalji 20 m 5.3 mm na razdalji 40 m

Dvojno skeniranje	Samodejno filtriranje premikajočih se objektov (na primer mimovozeča vozila, ljudje v tovarni ali zgradbi ...)
ZAJEM SLIKOVNEGA GRADIVA	
Fotografija	Sistem 3 kamer s 36 MP, HDR (5 osvetlitev, samodejno sestavljanje fotografij), 432 Mpx surovih podatkov Zajem HDR kalibrirane sferične fotografije (180 Mpx) Vidno območje $360^{\circ} \times 300^{\circ}$
Hitrost	Zajem celotne okolice (full dome) v 1 min ne glede na svetlobne pogoje
SISTEM NAVIGACIJSKIH SENZORJEV	
Vizualni inercialni sistem (VIS)	Sistem 5 video kamer z integrirano tehnologijo razpoznavanja karakterističnih objektov v prostoru za sledenje premikov skenerja med stojšči
Inercialna merilna enota (IMU)	Samodejna kompenzacija nagibov Podpora za samodejno združevanje skenogramov s pomočjo tehnologije VIS
Dodatni senzorji	Višinomer, e-kompas, GNSS
DRUGO	
Upravljanje	- Na dotik občutljiv barven WVGA zaslon (na skenerju) ali - Tablica z aplikacijo Leica Cyclone FIELD 360
Povezljivost	Vgrajen Wi-Fi s 360° anteno
Shranjevanje podatkov	Samodejno na USB ključ kapacitete 256 GB
FIZIČNE LASTNOSTI	
Ohišje	Aluminij
Dimenzije	$12\text{ cm} \times 24\text{ cm} \times 23\text{ cm}$
Teža	5,3 kg
Temperaturno območje delovanja	- 5 °C do + 40 °C

Odpornost na prah in vodo	IP54 Primeren za notranjo in zunanjo uporabo
NAPAJANJE	
Poraba energije	Tipično 30 W, največ 75 W
Baterija	Leica Li-ion bateriji GEB361, 5.6 Ah (dve izmenljivi bateriji) Avtonomija > 5 ur

Vir: (Geoservis, 2023)

4.6 Prednosti 3D laserskega terestičnega skeniranja (TLS) pred ostalimi geodetskimi metodami

Prednosti TLS v primerjavi z ostalimi geodetskimi metodami za zajem prostorskih podatkov so: manjši strošek zajema vseh prostorskih podatkov, laser deluje tudi pri slabši svetlobi, brezkontaktno snemanje v prostoru in okolju, prostorska vizualizacija, samodejno in sistematično pridobivanje ostalih koordinat na posnetem objektu in sorazmerno enostavna uporaba skenerja, ki ga lahko upravlja en sam operater. Na drugi strani pa so slabosti povezane s časovno obsežno in zahtevno računalniško obdelavo, ki zahteva kakovostno programsko, prav tako pa tudi strojno opremo. Zahtevno in časovno zamudno je tudi filtriranje točk in odprava šumov v skenogramu, ki se pojavijo zaradi odboja svetlobe od drugih objektov. Dodatno težavo predstavlja izredno majhna maksimalna razdalja skenerja od objekta. Ta otežuje pridobivanje kakovostnih in natančnih podatkov o samem objektu.

(Blaž Mozetič, 2004)

Zaradi uporabe 3D laserskega skenerja na toliko različnih področjih in za različne namene obstaja veliko laserskih skenerjev, prilagojenih različnim delovnim pogojem. V nekaterih primerih je potreben skener z dolgim dosegom merjenja, v drugih primerih je bolj pomembna ločljivost in natančnost. Tako je najprej potreben razmislek o tem, kateri so pričakovani rezultati skeniranja in kakšni so pogoji za skeniranje, šele nato sledi izbira najustreznejšega laserja.

(Sarjaš, 2020)

4.7 Slabosti 3D terestričnega laserskega skeniranja

Sam postopek 3D laserskega skeniranja je hiter in preprost, medtem ko nadaljnja obdelava skeniranih podatkov zahteva veliko potrpežljivosti, časa, znanja in kakovostno programsko in računalniško opremo. To za sabo potegne veliko količino denarja.. Velja poudariti, da moramo imeti pri izbiri modela 3D laserskega skenerja pred očmi vedno želeni končni rezultat, saj bomo le tako lahko izbrali najprimernejšo natančnost, izvedbo, hitrost, ločljivost in druge karakteristike našega 3D laserskega skenerja.

(Blaž Mozetič, 2004)

5 3D LASERSKO SKENIRANJE JE LAHKO PODPORA INŽENIRSKI GEODEZIJI

Geodezija spada med najstarejše tehniške znanosti. V zadnjem času doživlja izreden razvoj tako v znanosti kot tudi v praksi. Razvoj geodezije je zelo povezan z razvojem drugih znanosti in novih tehnologij, prav tako pa tudi s potrebami družbe po kvalitetnih prostorskih podatkih. V ta namen prihaja do interdisciplinarnega sodelovanja med različnimi strokami. V področje geodezije danes spadajo nižja in višja geodezija, fotogrametrija, daljinsko zaznavanje, satelitska geodezija, geodetske evidence, urbanistično in ruralno planiranje, urejanje prostora, geografski informacijski sistemi in kartografija. Ime geodezija je sestavljeno iz grških besed 'geo', kar pomeni Zemlja, in 'desis', kar pomeni meriti. V svoji osnovi se geodezija torej ukvarja z določanjem položaja. Pri nižji geodeziji gre predvsem za merjenje posameznih manjših delov zemeljskega površja in njihovo predstavitev na načrtih in kartah. Med dela nižje geodezije spadajo tudi dela inženirske geodezije in katastrske izmere. Inženirska geodezija se ukvarja predvsem s prenosom projektiranih objektov v naravo (zakoličenje objektov) in spremljanjem objektov skozi njihovo življenjsko dobo, katastrska izmera pa se ukvarja z določanjem mej med lastniškimi parcelami in lastništvom na objektih. Višja geodezija se ukvarja z merjenjem Zemlje kot celote oz. z določanjem oblike in dimenzij Zemlje kot nebesnega telesa, torej z opazovanjem geodinamičnih pojavov, med katere spadajo premiki zemeljske skorje, plimovanje in gibanje zemeljskih polov. (Ulbl, 2010)

Inženirska geodezija, kamor sodi tudi TLS in je nepogrešljiv del gradbenih projektov, predstavlja nujno podporo gradbeništvu v vseh fazah gradbenih projektov, od načrtovanja in gradnje do evidentiranja zgrajenih objektov in infrastrukture. Ena osnovnih nalog geodezije je zajem prostorskih podatkov iz zemeljskega površja in objektov z različnimi geodetskimi merskimi tehnikami ter instrumenti. Neprestan razvoj računalniških tehnologij je spremenil potrebe po prikazu prostorskih podatkov. Upodobitev le-teh v obliki animacij oziroma večpredstavnostnih vsebin se v sodobnem času zdi povsem samoumevna. Pri tem se uporabniku omogoči izboljšana celovitost njihove prostorske zaznave, posledično pa predvsem kakovostnejša izkušnja rešitev in meritev, vezanih na prostor.

5.1 Določitev položaja točk v prostoru

Za določitev položaja točk (objektov) v prostoru mora biti definiran koordinatni sistem. Položaj točk je podan s koordinatami (pravokotne, geografske). Koordinatni sistem je sredstvo za podajanje geometrijskega položaja točke v prostoru. V okviru koordinatnega sistema je položaj točke podan s koordinatami. V geodeziji ločimo med koordinatnimi sistemi na elipsoidu ali krogli (prostorski koordinatni sistemi) in koordinatnimi sistemi v ravnini (ravninski koordinatni sistemi). V nadaljevanju bodo obravnavani le sistemi v ravnini, ki jih delimo na pravokotne in polarne. Ko imamo definiran koordinatni sistem, ga je potrebno povezati s telesom Zemlje, kar storimo preko trajno stabiliziranih geodetskih točk na zemeljskem površju, ki predstavljajo praktično realizacijo koordinatnega sistema. Praktično realiziran koordinatni sistem se imenuje koordinatni sestav. V klasični geodetski terminologiji ga predstavljajo fizično stabilizirane geodetske točke na zemeljski površini s koordinatami, določenimi v izbranem koordinatnem sistemu. (Stopar B. B., 2013)

Vzpostavitev in vzdrževanje koordinatnega sistema na ravni, ki jo omogoča trenutno stanje razvoja merskih tehnik za pridobivanje in obdelavo prostorskih podatkov, je ena od nalog državne geodetske službe.

(Stopar B. B., 2013)

5.1.1 Koordinatni sistem v geodeziji

Naloga geodetske znanosti in stroke ter na operativnem nivoju državne geodetske službe je zagotovitev kakovostne referenčne osnove za enolično lociranje stanj in pojavov v fizičnem prostoru. Takšna referenčna osnova je koordinatni sistem. Obstoječi državni koordinatni sistem Slovenije je naslednik koordinatnega sistema, ki so ga zasnovali Avstro-Ogrska monarhija, Kraljevina Jugoslavija in Socialistična federativna republika Jugoslavija. Pestra zgodovina državnega koordinatnega sistema je razlog, da sta popolna rekonstrukcija nastajanja in celovit vpogled v kakovost obstoječega koordinatnega sistema praktično nemogoča.

Koordinatni sistem predstavlja referenčno osnovo za vse prostorske podatke. Vsak prostorski podatek je namreč opisan (podan, določen, predstavljen) v koordinatnem sistemu. V geodetski znanosti in stroki je znano, da koordinatni sistem ni dan sam po sebi, ampak ga je treba

zasnovati, vzpostaviti in tudi vzdrževati, predvsem pa ga je treba fizično realizirati oziroma pripraviti v obliko, primerno za praktično uporabo. Kakovost vseh podatkov, določenih v koordinatnem sistemu, je neposredno odvisna od kakovosti koordinatnega sistema. S tehnološkim razvojem se pojavljajo tehnologije za določanje položaja vse višje kakovosti, ki po drugi strani dvigujejo zahteve glede kakovosti prostorskih podatkov. Tem zahtevam mora slediti tudi kakovost referenčnega koordinatnega sistema. Da referenčni koordinatni sistem lahko izpolni svojo nalogo, mora biti realiziran z vsaj eno stopnjo višje kakovosti kot je kakovost splošno dostopne tehnologije za določanje položaja. (Stopar B. B., 2013)

5.1.2 Geodetski datum

V povezavi z določanjem koordinat v geodeziji nastopa tudi t. i. geodetski datum. V geodeziji predstavljajo geodetski datum dane količine, ki jih potrebujemo zato, da lahko določimo nove količine. Konkretno predstavljajo geodetski datum dane količine, ki jih potrebujemo za določitev koordinat v koordinatnem sistemu. Problem geodetskega datuma izhaja iz dejstva, da so običajna geodetska opazovanja, kot so dolžine, horizontalne smeri, zenitne razdalje t. i. notranja opazovanja oz. notranje količine, ki omogočajo kvečjemu določitev relativnih koordinat točk. (Stopar B. B., 2013)

5.1.3 Terestrični koordinatni sistem

S široko praktično uporabo tehnologij, ki omogočajo enostavno »prehajanje« državnih meja: internet, globalni satelitski navigacijski sistemi GNSS, globalna omrežja mobilne telefonije (GSM) ..., je smiselno obravnavanje prostorskih podatkov v enotnem koordinatnem sistemu, veljavnem za celo Zemljo. Tako danes ne vzpostavljamo več lokalnih ali državnih koordinatnih sistemov, ki bi bili samostojni, ampak vzpostavljamo globalne oziroma terestrične referenčne koordinatne sisteme. S tem v zvezi se je spremenil tudi način praktične realizacije koordinatnih sistemov. Sedaj realizacija referenčnega koordinatnega sistema ne zahteva več ogromnega števila geodetskih točk, povezanih v različne geodetske mreže na območju vzpostavitve sistema, ampak vzpostavitev t. i. geodetskih observatorijev. To so geodetske referenčne točke,

ki so opremljene s tehnologijo za izvajanje ustreznih opazovanj, ki omogočajo dostop do nadrejenih (nebesnih in terestričnih) koordinatnih sistemov ter praktično realizacijo terestričnih, kontinentalnih oziroma državnih koordinatnih sistemov. Vzpostavitev referenčnega sistema togega telesa je dokaj enostavna in temelji na klasični mehaniki, kjer so koordinate in čas med seboj strogo ločene količine. V tem primeru referenčni sistem aproksimiramo z zadostnim številom geometrijskih »datumskih« parametrov, ki povezujejo geometrijske lastnosti telesa s koordinatnim sistemom. Vendar lahko tako definiramo le referenčne sisteme, ki veljajo za majhna območja. V tej zvezi govorimo o geometrijskem načinu definiranja koordinatnih sistemov. Tako so definirani državni referenčni sistemi v klasični geodeziji. Klasični državni koordinatni sistemi so tako koordinatni sistemi, ki temeljijo le na geometrijskih lastnostih. (Stopar B. B., 2013)

5.1.4 Globalna omrežja postaj GNSS

Za potrebe zagotavljanja produktov in storitev za uporabo GNSS tehnologije v najrazličnejših nalogah, neposredno ali posredno povezanih z določanjem položaja, geodezija vzpostavlja številna omrežja stalno delujočih postaj GNSS. Naloge teh omrežij so številne in zelo različne. V ozko geodetskem smislu so naloge omrežij postaj GNSS in ustreznih analitičnih centrov, ki vodijo in koordinirajo delovanje omrežij, naslednje:

- realizacija in vzdrževanje terestričnih koordinatnih sistemov,
- povezovanje koordinatnih in navigacijskih sistemov,
- spremljanje in modeliranje razmer v atmosferi,
- modeliranje stalnega geodinamičnega dogajanja,
- modeliranje izjemnih geodinamičnih dogodkov in dogajanja pred, med in po njih.

Omrežja so vzpostavljena kot aktivna omrežja postaj GNSS, kar pomeni, da se opazovanja izvajajo, obdelujejo in analizirajo permanentno oziroma neprekinjeno. (Stopar B. B., 2013)

5.2 Geodetski načrt

Geodetski načrt je ena od pomembnejših geodetskih storitev in predstavlja osnovo za izdelavo planskih dokumentov ter projektne in tehnične dokumentacije, ki sta osnova za posege v prostor. Pri 3D laserskem skeniranju nam služi kot podlaga za umestitev oblaka točk v državni koordinatni sistem. Kvalitetno izdelan geodetski načrt je predpogoj za dobro izdelano dokumentacijo in temeljna vsebina za pridobitev lokacijske informacije ter kasneje gradbenega dovoljenja. Vsebino geodetskega načrta ureja Pravilnik o geodetskem načrtu.

5.2.1 Predmet pravilnika

Pravilnik o geodetskem načrtu določa vsebino, izdelavo in uporabo geodetskega načrta. Za pripravo projektne dokumentacije za graditev objekta je potrebno izdelati geodetski načrt z podrobnejšo vsebino. (PIS, 2004)

5.2.2 Vsebina geodetskega načrta

Geodetski načrt je prikaz fizičnih struktur in naravnih pojavov na zemeljskem površju, nad in pod njim. Prikazani podatki so v pomanjšanem merilu po kartografskih pravilih.

Geodetski načrt lahko vsebuje podatke o:

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

Podatki o zemljiških parcelah so podatki o mejah zemljiških parcel, številkah zemljiških parcel in podatki o mejah vrst rabe.

Geodetsko podjetje, ki izpolnjuje pogoje za geodetsko dejavnost, in naročnik, ki geodetski načrt potrebuje, se ob naročilu izdelave geodetskega načrta dogovorita glede na namen uporabe geodetskega načrta, katere podatke iz pravilnika mora vsebovati geodetski načrt, ter določita podrobnost in natančnost prikazanih vsebin.

5.2.3 Sestavni deli geodetskega načrta

»Geodetski načrt sestavljata grafični prikaz geodetskega načrta in certifikat geodetskega načrta.«

(PIS, 2004)

5.2.4 Grafični prikaz geodetskega načrta

»V grafičnem prikazu se za prikaz vsebine geodetskega načrta uporabljajo znaki, določeni v topografskem ključu, tega določi Geodetska uprava Republike Slovenije. Na geodetskem načrtu se prikažejo le tisti podatki, ki po kakovosti ustrezajo namenu uporabe geodetskega načrta.«

5.2.5 Certifikat

»Odgovorni geodet s certifikatom potrdi skladnost geodetskega načrta s predpisi, ki urejajo graditev objektov in urejanje prostora, oziroma drugimi predpisi, ki določajo izdelavo geodetskega načrta, in z namenom uporabe geodetskega načrta.«

Certifikat vsebuje:

- podatke o naročniku geodetskega načrta,
- izjavo odgovornega geodeta,

- številko geodetskega načrta,
- podatke o namenu uporabe geodetskega načrta,
- podatke o vsebini geodetskega načrta,
- pogoje za uporabo geodetskega načrta,
- podatke o kraju in datumu izdaje certifikata in
- osebni žig in podpis odgovornega geodeta, žig geodetskega podjetja in podpis odgovorne osebe.

»Certifikat se izda na obrazcu iz priloge, ki je sestavni del geodetskega načrta. Številka geodetskega načrta je sestavljena iz skrajšanega naziva firme geodetskega podjetja, leta potrditve geodetskega načrta in interne številke potrjenega geodetskega načrta v tekočem letu.«

»Če so v grafičnem prikazu prikazani podatki o mejah zemljiških parcel, se pri podatkih o vsebini geodetskega načrta navede podatek o lokacijski natančnosti prikazanih mej zemljiških parcel ter podatek o tem, katere meje zemljiških parcel so dokončne.« (PIS, 2004)

5.3 Izdelava geodetskega načrta

»Geodetski načrt se izdelava na podlagi podatkov uradnih evidenc, ki vsebujejo podatke po kartografskih pravilih. Če podatki iz uradnih evidenc niso vzdrževani, niso dovolj natančni ali so nepopolni oziroma če ne zadoščajo za izdelavo geodetskega načrta, se podatke zajame z geodetsko izmero.«

»Geodetski načrt se izdelava v državnem koordinatnem sistemu, lahko pa se izdelava tudi v drugem koordinatnem sistemu. Če se geodetski načrt izdelava v drugem koordinatnem sistemu, je treba to navesti v certifikatu, pri pogojih za uporabo geodetskega načrta in opisati navezavo na državni koordinatni sistem.«

(PIS, 2004)

5.4 *Uporaba geodetskega načrta*

»Geodetski načrt se lahko uporabi za namen, za katerega je bil izdelan. Uporabnik geodetskega načrta mora ob uporabi geodetskega načrta upoštevati v certifikatu navedene pogoje za uporabo. Pri vsaki uporabi geodetskega načrta mora biti navedena številka geodetskega načrta.«
(PIS, 2004)

6 SPLOŠNO O OBLAKU TOČK

Oblak točk je sestavljen iz množice točk, zajetih s 3D laserskim skenerjem. V primeru skenirane zgradbe vsaka virtualna točka predstavlja resnično točko na steni, oknu, stopnišču, kovinski konstrukciji ali kateri koli površini, s katero pride v stik laserski žarek. Optični bralnik samodejno združi navpične in vodoravne kote, ki jih ustvari laserski žarek za izračun 3D koordinatnega položaja (x , y , z) za vsako točko. S tem proizvede niz meritev 3D koordinat, ki pogosto vključuje tudi barvno vrednost, shranjeno v RGB (rdeča, zelena, modra) in intenzivnost odboja. Te podrobnosti je nato mogoče pretvoriti v digitalni 3D model, ki podaja natančno podrobno sliko našega predmeta. Čim gostejše so točke, tem bolj podrobna je predstavitev, ki omogoča jasnejšo in natančnejšo opredelitev manjših funkcij in podrobnosti teksture. Torej, če bi povečali oblak točk na skeniranem primeru, bi videli drobne točke, ki ustvarjajo celoten oblak točk. (Slam, 2023)

Skeniranje oblaka točk je postopek uporabe 3D laserskega skenerja za zajemanje različnih točk in merjenje območja. Z laserskimi skenerji lahko relativno hitro ustvarimo oblak točk za zajem dimenzij, velikosti in podatkov o postavitvi skeniranih objektov. (Slam, 2023)

Izrez podatkov oblaka točk se uporablja za označevanje podatkovnih točk, zbranih za dano geografsko območje, teren, stavbo ali prostor. Nabor podatkov oblaka točk se ustvari, ko se območje skenira z zaznavanjem svetlobe in določanjem razdalje. (Slam, 2023)

3D oblak točk, ki je rezultat zajema podatkov na terenu, običajno še ni končni izdelek. Z obdelavo oblaka točk se podatki oblaka točk spreminjajo v 3D modele skeniranega elementa. To obdelavo podatkov omogoča različna programska oprema za obdelavo, kot je na primer Leica CloudWorks. (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. Različni programski paketi omogočajo enega ali več korakov, vendar so posamezna orodja visoko specializirana in zato bolj učinkovita za nekatere posebne aplikacije in namene. (Bilban, 2016)

Vsaka aplikacija zahteva svojo namensko programsko opremo, ki do potankosti zadosti pričakovanjem in zahtevam na področju terestričnega laserskega skeniranja - od najrazličnejših modelirnikov, sistemov CAD s podporo za upravljanje z obsežnimi oblaki točk do

specializiranih programov za ustvarjanje topografskih posnetkov, profilov, modelov terena, 3D modelov nepravilnih struktur in trikotniških mrež. (Geoservis, 2023)

7 PRIMER: 3D SKENIRANJE OBJEKTA V PROSTORU IN UMESTITEV OBLAKA TOČK V DRŽAVNI KOORDINATNI SISTEM D69/TM

7.1 Opis postopka pridobivanja oblaka točk z instrumentom Leica RTC360 za potrebe umestitve v državni koordinatni sistem D69/TM

Pred pričetkom del sem na omenjenem delovišču najprej pregledal območje skeniranja in predvidel stojišča skeniranja. Za potrebe umestitve oblaka točk v državni koordinatni sistem sem na dani lokaciji potreboval pooblaščenega geodeta, ki je podal izhodiščne geodetske točke oz. t. i. oslonilne točke, na katere sem kasneje navezal oblak točk. Geodetski del terenskega dela predstavljajo vzpostavitev in izmera geodetske mreže ter obdelava podatkov v geodetski pisarni. Tako dobljeni podatki iz terena so uporabni in podani v digitalni obliki npr. v *.dwg (ang. Drawing) obliki.

7.1.1 Priprava in delo geodeta na terenu

Pred vzpostavitvijo geodetske mreže je pomembno poznati podrobnosti delovišča. Treba je pridobiti informacije o obsegu delovišča in potrebni natančnosti, na osnovi česar geodet izbere potrebno metodo dela in instrumentarij, da zagotovi zahtevano natančnost.

Na danem delovišču so se geodetska dela pričela z rekognosciranjem terena. Delovišče se nahaja v katastrski občini 0995 Šempeter v Savinjski dolini, v kateri smo snemali na parcelah s parcelnima številka 2763/1 in 2764, kjer se nahajata dve stavbi s številka stavbe 686 in 685. Po ogledu terena se je geodet odločil za vzpostavitev mreže s štirimi danimi talnimi točkami (dane točke je izmeril s sprejemnikom GNSS), pri čemer je vsaka točka stabilizirana v vogalu delovišča. Te točke so služile kot stojne točke za nadaljnje delo s tahimetrom, s katerim je bila izvedena klasična terestrična izmera. Stabilizacija točk v vogalu delovišča omogoča pri vsakem stojišču orientacijo na dve dani točki, kar služi kot nadštevilna meritev in tako omogoča kontrolo.

Za delo na terenu je bil uporabljen sledeč geodetski instrumentarij:

- sprejemnik GNSS Leica GS07,
- tahimeter Leica GS09,
- togo grezilo in reflektor,
- stativ,
- Leica merski trak za merjenje višine instrumenta s pomočjo nastavka na podnožju tahimetra,
- kovinski klini za stabilizacijo geodetske mreže v naravi.

Na vsako talno točko, ki jo je geodet določil z GNSS sprejemnikom, je treba pravilno in natančno pozicionirati tahimeter. Slika prikazuje odčitavanje vertikalne oddaljenosti tahimetra od talne točke, ki je označena in fiksirana z zabitim kovinskim klinom.



Slika 10 Prikaz stabilizacije instrumenta - tahimeter Leica GS09

Vir: (lasten vir)

7.1.2 Opis postopka pridobivanja geodetskih podatkov

Pri projektu so sodelovali geodetsko podjetje Geoprojekt d.o.o., Šlandrov trg 11, 3310 Žalec kot pooblaščen geodetsko podjetje. Meritve so izvedli po veljavnih standardih v Republiki Sloveniji. Na terenu so na osnovi predhodnega ogleda terena stabilizirali štiri točke s kovinskimi klini, primernimi za geodetsko delo. Pazili so na zagotovitev vizure oziroma vidnost med točkami in na varnost v prometu, torej da so se primerno umaknili od cestne vozne površine. Točke so izmerili s sprejemnikom GNSS LEICA GS07, s katerim so se povezali na omrežje stalnih GNSS postaj. S principom VRS (Virtual Reference Station) so pridobili podatke o popravkih, potrebnih za izmero RTK (Real-time kinematic positioning). Vsako točko so izmerili v dveh serijah po dve meritvi. Vsako meritev so izvajali 30 sekund, se obrnili za pol kroga okoli talne geodetske točke in ponovno merili 30 sekund. Takšno serijo so ponovili še enkrat po preteku 20 minut. Razlog za dvojno merjenje po 30 sekund je kontrola togega grezila, na katerem je privit GNSS sprejemnik – v primeru kakršnega koli odstopanja med meritvama bi preverili, če je togo grezilo ustrezno za nadaljnje delo. Dve seriji z razmakom 20 minut pa so izvedli za neodvisno kontrolo meritev, saj pride v tem času do rahle spremembe v geometriji satelitov.

Po izmeri stojišč so pričeli s klasično terestrično izmero. Postavili so stativ in s srčnim vijakom privili tahimeter. Postavili so ga grobo nad točko in pohodili noge, da med delom ne pride do slučajnega zdrsa. Instrument so centrirali in horizontirali, dokler libela ni bila v pravilni legi. Z Leica merskim trakom so s pomočjo nastavka izmerili višino instrumenta. Merjenje so pričeli z orientacijo (vsako stojišče je imelo dve orientaciji), ki so jo merili v dveh krožnih legah. Nato so merili detaljne točke, potrebne za izris geodetskega načrta za potrebe pridobitve gradbenega dovoljenja. Dodatno so z laserjem merili še črno-bele tarče, ki so kasneje služile kot oslonilne točke pri registraciji oblaka točk, zajetega s skenerjem. Postopek izmere so ponovili na vsakem od štirih stojišč. Slika 11 prikazuje geodetsko izmero s tahimetrom. Med snemanjem detajla so točke zapisovali na predhodno izrisano terensko skico, ki jim med delom v pisarni služi kot pomoč pri interpretaciji merjenih točk. Slika 12 prikazuje sprotno risanje skice. Delo na terenu, kjer sta potrebna dva človeka, so opravljali dobri dve uri, v pisarni pa še dodatne tri ure.

Na terenu zajete podatke so v pisarni obdelali v programu GEOS10 in geodetski načrt izrisali v AutoCadu. Poleg geodetskega načrta so pripravili še certifikat, ki je obvezna sestavina geodetskega načrta.

(Geoprojekt, 2023)

Na spodnjih dveh slikah je prikazan postopek klasične izmere s tahimetrom. Operater, ki upravlja s tahimetrom, mora beležiti pozicije odboja od reflektorja, ki mu ga prestavlja po delovišču njegov pomočnik ali izbira kakšne druge točke na objektu, v mojem primeru pa izmeri tudi pozicije črno-belih tarč, ki smo jih predhodno namestili.



Slika 11 Prikaz geodetske izmere s tahimetrom

Vir: (lasten vir)

Pri izdelavi geodetskega načrta 2.5D, kot je narejen v mojem primeru, mora geodet ročno vpisati višinske kote posamezne izmerjene točke na terenu. Zato si pomaga s tem, da si predhodno nariše skico in na njej označi zaporedne številke izmerjene točke, posnete s tahimetrom.



Slika 12 Ročno beleženje pozicij izmerjenih točk na objektu

Vir: (lasten vir)

7.1.3 Priprava in delo na terenu za pridobivanje podatkov oblaka točk

Ob prihodu na omenjeno delovišče sem najprej pripravil stojalo za skener, na katerega sem pritrdil skener Leica RTC360. Pri samem skeniranju in nadzoru nad skeniranjem je priporočljivo uporabljati tablico, na kateri je naložena licenčna aplikacija Leica Cyclone Field 360. Jaz sem uporabljal tablico Samsung Galaxy Tab S6, na kateri imam naloženo omenjeno aplikacijo. Preden sem pričel z delom, sem pregledal okolico skeniranja in se odločil, iz katerih pozicij oz. stojišč bom skeniral objekt. Ko je bilo delo geodetov končano, sem skener postavil na mesto, kjer bo skener pri skeniranju dobro zajel oslonilno točko v tleh. Skener in tablico sem prižgal. Skener se je postavil v pripravljeno stanje za skeniranje. Skener je pri skeniranju

omejen na del pod sabo, kjer ne mora skenirati. V radiusu 1 m pod skenerjem je nevidno območje.

Spodnja slika prikazuje prihod na delovišče in pripravo strojne opreme za skeniranje pred pričetkom dela.



Slika 13 Priprava pred pričetkom del 3D laserskega skeniranja

Vir: (lasten vir)

Pri samem skeniranju sem za stojišča izbral takšna mesta, da skener zajame lomljene površine po obeh stranicah, saj tako z različnih stojišč dobimo boljše prekrivanje točk. Na objekt smo skupaj z geodeti namestili črno-bele tarče, prav tako pa tudi štiri samostoječe tarče, ki jih je geodet pomeril. Njihov položaj je prikazal v geodetskem načrtu. Da sem dobil čim boljše prekrivanje točk, sem na delovišču skener postavil na 23 stojišč, ki sem jih kasneje v pisarni povezal v sklenjen krog okoli objekta in podatke izmere iz vseh stojišč povezal v en oblak točk. Meritev na terenu sem opravljal slabo uro, za kar je bil potreben en sam človek.

Slika prikazuje postopek skeniranja in upravljanje tega na tablici, kjer imamo tudi takojšnje kontrolo in sledenje samemu skeniranju instrumenta.



Slika 14 Spremljanje skeniranja na tablici

Vir: (lasten vir)

7.1.4 Obdelava oblaka točk pred registracijo

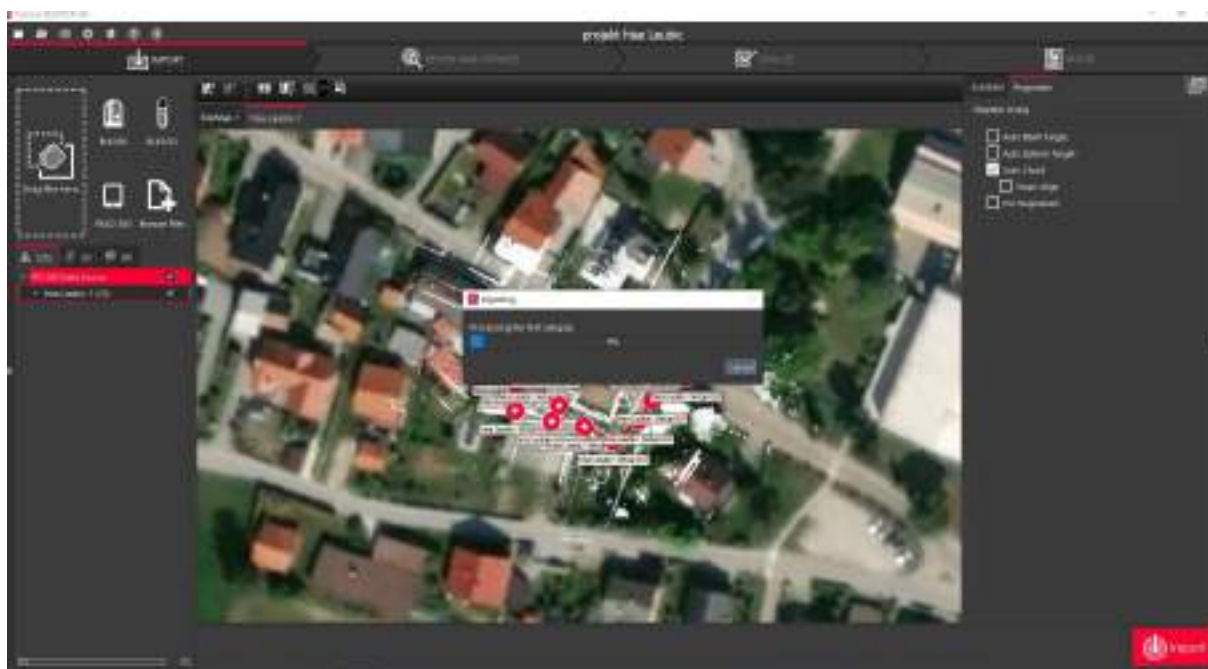
Obdelava oblaka točk je način, pri katerem spreminjamo podatke oblaka točk v 3D modele skeniranega objekta oziroma prostora. To obdelavo podatkov omogoča programska oprema za obdelavo in registracijo. Na tržišču je na voljo sorazmerno veliko različne programske opreme, ki so jo razvili različni proizvajalci oziroma razvijalci.

Programska in računalniška oprema imata pomembno vlogo pri poteku dela 3D laserskega skeniranja, tako na terenu kot tudi v pisarni. Za obdelavo podatkov iz skenerja potrebujemo zmogljiv računalnik, saj so posamični skenogrami zelo velike računalniške datoteke. Običajno je na delovišču potrebno narediti več deset posamičnih skenogramov.

Ko govorimo o programski opremi za 3D lasersko skeniranje, pogosto pomislimo na računalniško programsko opremo, ki združuje več posamičnih oblakov točk. To delo sem jaz opravil z licenčno programsko opremo Leica Cyclone Register 360. Dodatna programska oprema pa vključuje tudi orodja za 3D modeliranje, vizualizacijo, analizo, 2D izris ...

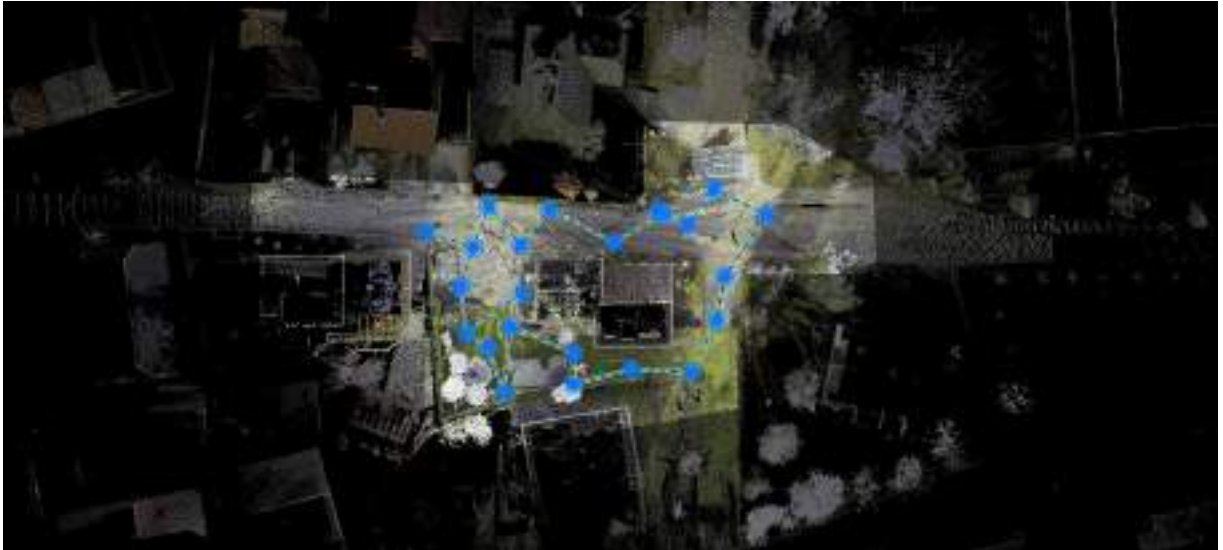
Po končanem delu na terenu je bilo izvedeno delo v pisarni, pri čemer je bilo najprej treba prenesti podatke iz skenerja. Ti so zapisani na USB spominskem ključu. Prenesel sem jih v računalniško programsko opremo Leica Cyclone Register 360, po končanem prenosu sem lahko prišel z nadaljnjim delom.

Na spodnjih dveh slikah je prikazan postopek uvoza skenogramov v programsko opremo za registracijo oblaka točk. Slika 15 prikazuje sam začetek uvoza skeniranih podatkov. Slika 16 pa prikazuje izvirni prenesen oblak točk v program Cyclone Register 360.



Slika 15 Prikaz uvoza skenogramov v računalniški program za registracijo

Vir: (lasten vir)



Slika 16 Prikaz prenesenega skenograma v računalniški program za registracijo

Vir: (lasten vir)

Najprej sem omejil obdelovano območje, nato sem pregledal vse povezave med stojišči, saj včasih pride do odstopanja. Program v nekaterih primerih ne javi odstopanj, ker ne zazna napake pri potrebnem prekrivanju skeniranih točk. Ko sem pregledal vse povezave med stojišči, sem pričel s filtriranjem točk. Filtriranje točk predstavlja ročno odstranjevanje t. i. šumov, ki nastanejo pri samem skeniranju. Ti šumi nastanejo zaradi slabega odboja od površine. V okviru filtriranja pobrišemo točke, ki niso pomembne ali so moteče za oblak točk. Na nekaterih površinah prihaja do slabega odboja (na primer odboj od steklenih površin, odboj od vode, odboj od premičnih elementov ...).

Na samem osnovnem posnetku običajno nastane nekaj motečih elementov, ki jih je potrebno pobrisati. Tako sem na dotičnem posnetku odstranil osebo, ki stoji na pločniku.



Slika 17: Primer, ki zahteva odstranitev osebe na posnetku

Vir: (lasten vir)

Večino časa pri obdelavi oblaka točk vzame čiščenje nastalih šumov zaradi različnih dejavnikov. Primer tako nastalega šuma prikazujeta slika 18 in slika 19, kjer se je odboj od stekla prezrcalil v okolico.



Slika 18 Primer nastalega šuma zaradi odboja v steklo

Vir: (lasten vir)

Nastali šum zaradi odboja v lužico vode ob robniku se je zrcalil v globino in sem zrcaljene točke odstranil tako, da sem jih označil in izbrisal.



Slika 19 Primer nastalega šuma odboja v vodo

Vir: (lasten vir)

7.1.5 Opis georeferenciranja oblaka točk in registracija

Vsak skeniran oblak točk ima izhodišče koordinatnega sistema v skenerjevem lastnem koordinatnem sistemu (SOCS – Scanner own coordinate system). Zaradi tega sem pri izvedbi terestričnega laserskega skeniranja hiše z okolico posnel 23 oblakov točk v 23 različnih koordinatnih sistemih. Slika 20 prikazuje stojišča skenerja na delovišču.



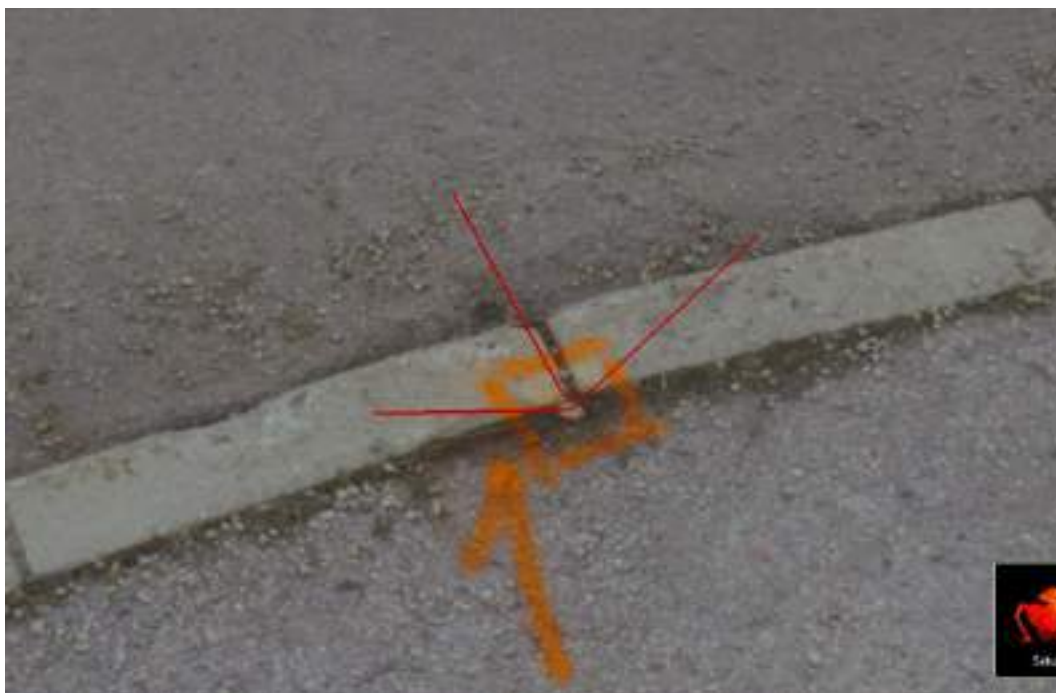
Slika 20 Prikaz stojišč na delovišču

Vir: (lasten vir)

Oblake točk sem v postopku obdelave oblakov točk združil v en skupen oblak točk v skupnem koordinatnem sistemu, ki se imenuje projektni koordinatni sistem (PRCS – angl. Project coordinate system). Koordinatni sistem prvega stojišča je predstavljal projektni koordinatni sistem celotnega projekta za potrebe obdelave podatkov. Za potrebe projektiranja v državnem koordinatnem sistemu in umeščanja v prostor pa je treba oblak točk oz. projektni koordinatni sistem georeferencirati na oslonilne točke, ki so podane s strani pooblaščenega geodeta. V mojem primeru je bilo potrebno projektni koordinatni sistem transformirati v globalni koordinatni sistem (GLCS – angl. Global coordinate system). Projektne koordinate oblakov točk smo zato transformirali v državni koordinatni sistem D96/TM. V programu Cyclon Register 360 sem v oknu za določitev veznih in oslonilnih točk (ang. Find corresponding points) vnesel koordinate predhodno izmerjenih točk, podanih od geodeta. S tem sem obdelan oblak

točk georeferenciral in vsem izmerjenim točkam določil koordinate v državnem koordinatnem sistemu D96/TM. Za oslonilne točke sem uporabil belo-črne tarče, ki jih je predhodno izmeril geodet s tahimetrom, kot je opisano v poglavju 5.2.1.

Slika 21 prikazuje stabilno geodetsko točko, fiksirano s kovinskim klinom, in virtualno tarčo z izračunanimi podatki geodetske izmere.



Slika 21 Prikaz stabilne in virtualne tarče

Vir: (lasten vir)

Slika 22 prikazuje stabilno črno-belo tarčo, postavljeno in fiksirano na stativu, ter virtualno tarčo, ki ima podane geodetske podatke.

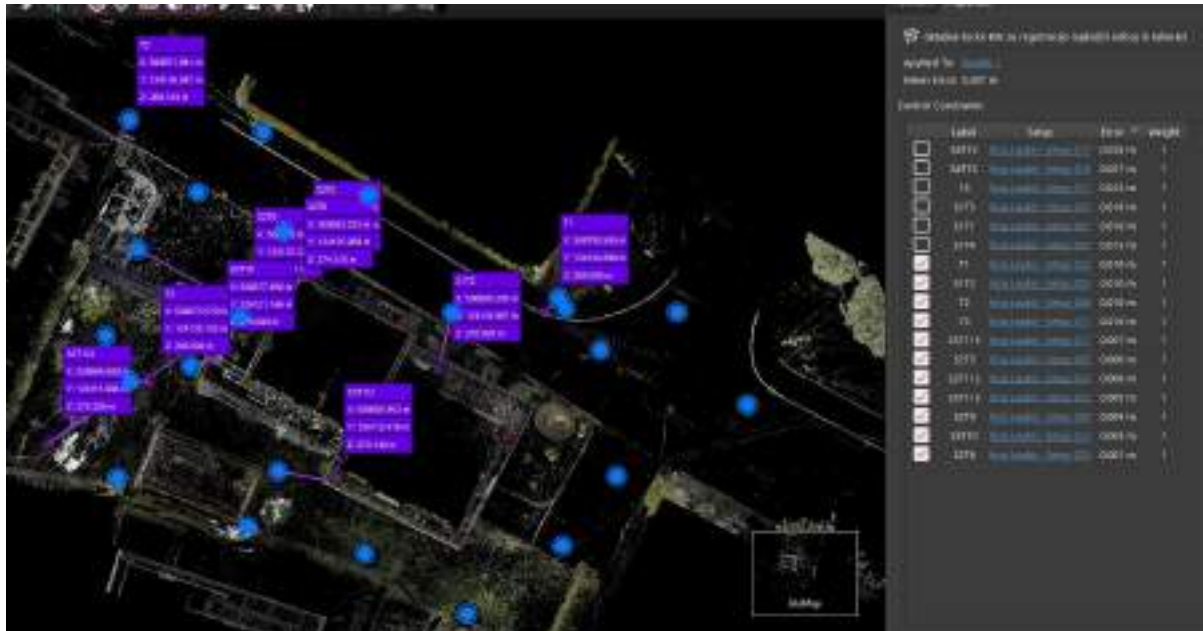


Slika 22 Prikaz stabilne črno-bele tarče in virtualna tarča za potrebe georeferenciranja oblaka točk

Vir: (lasten vir)

Pred končno obdelavo oblaka točk je potrebno preveriti, katere oslonilne točke so najbolj določene. Takšne točke izberemo, oblak točk se georeferencira in transformira na oslonilne točke. Programska oprema poišče optimalna sorazmerja in oblak točk ustrezno transformira, zaradi česar posledično raztegne ali zoži oblak točk. Vse parametre je potrebno preveriti in se odločiti za kompromis med tem, kar ponuja programska oprema in potrebami po natančnosti oblaka točk.

Kot je razvidno na sliki 23, je programska oprema zaznala in prikazala razhajanja izmerjenih stabilnih in virtualnih tarč za navezavo oblaka točk na oslonilne točk v danem primeru od 1mm do 28 mm. Jaz sem pri tej registraciji izbral 11 oslonilnih točk, pri čimer so razhajanja točk do 10 mm.



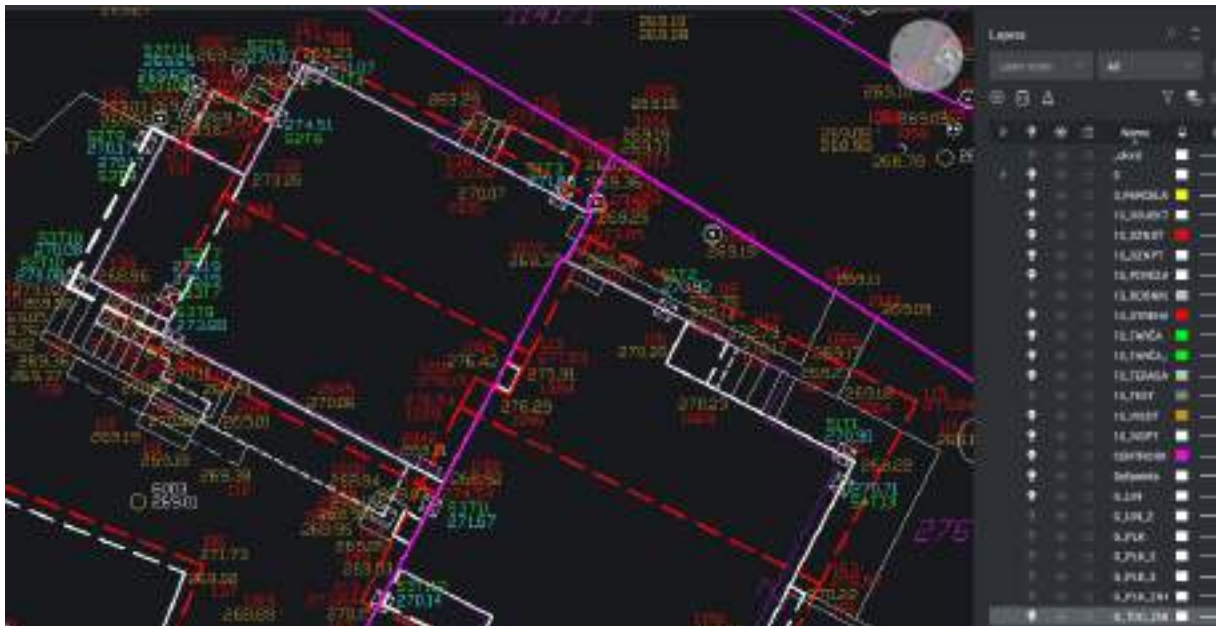
Slika 23 Prikaz povezanih stabilnih in virtualnih tarč na posamičnem stojšču

Vir: (lasten vir)

7.1.6 Osnovni posnetek s polarno metodo izmere

Pri posnetku s polarno metodo izmere dobimo dvorazsežni oziroma dvoipolrazsežni prikaz, kar pomeni, da je prikaz v obliki 2D slike, ki vsebuje tudi podatek o višini. Geodet višinske točke na geodetskem načrtu prikaže s plastnicami ali višinskimi kotami.

Slika 24 prikazuje geodetski posnetek, na katerem so višine točk navedene z rjavo barvo.



Slika 24 Primer umestitve hiše v državni koordinatni sistem 2.5D prikaz

Vir: (lasten vir)

7.1.7 Posnetek na osnovi oblaka točk, pridobljenega s 3D laserskim skeniranjem

Ker je oblak točk definiran v treh dimenzijah, si ga je mogoče ogledati iz katere koli perspektive, ne glede na to, kako veliko območje je bilo skenirano. Dejansko je mogoč ogled katerega koli dela oblaka točk iz katerega koli položaja.

Laserski skener Leica RTC360 omogoča, da pri pregledu uporabimo panoramsko sliko, na kateri je prav tako mogoče izmeriti in določiti vsako poljubno točko. Točke imajo položaj določen v državnem koordinatnem sistemu (x, y, z).



Slika 25 Prikaz izmere in poljubne georeferencirane točke na objektu

Vir: (lasten vir)

Na spodnji sliki je prikazan primer oblaka točk, ki je georeferenciran in registriran. Takšen oblak točk je pripravljen za uvoz v kakšno drugo aplikacijo.

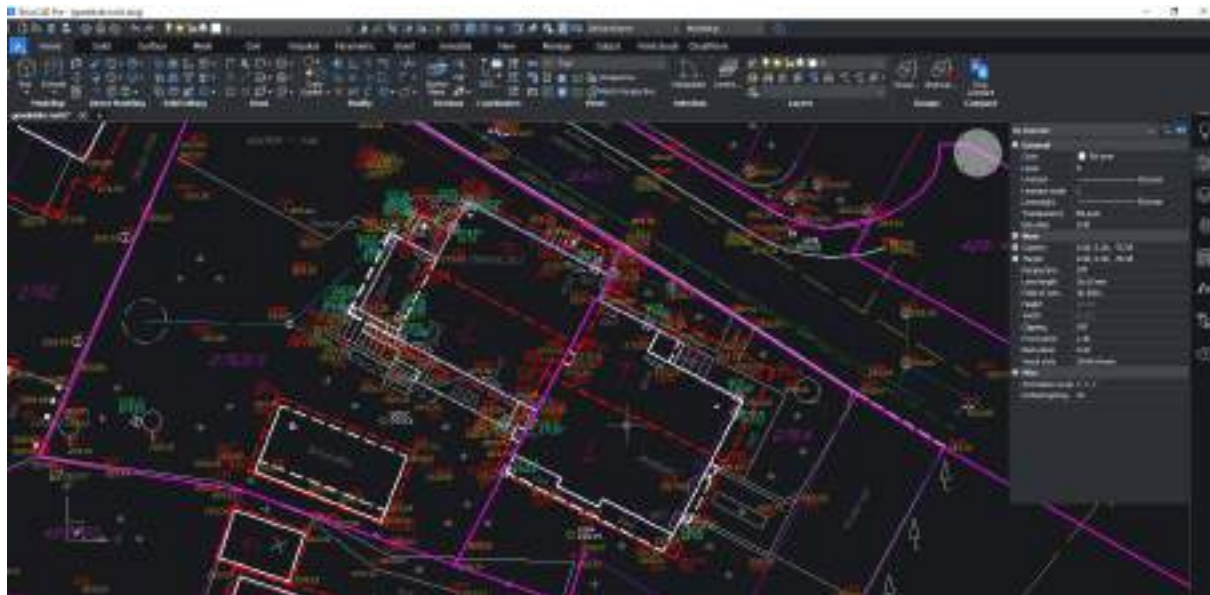


Slika 26:Oblak točk, primeren za nadaljnjo uporabo

Vir: (lasten vir)

7.1.8 Postavitev georeferenciranega oblaka točk na podlago geodetskega načrta

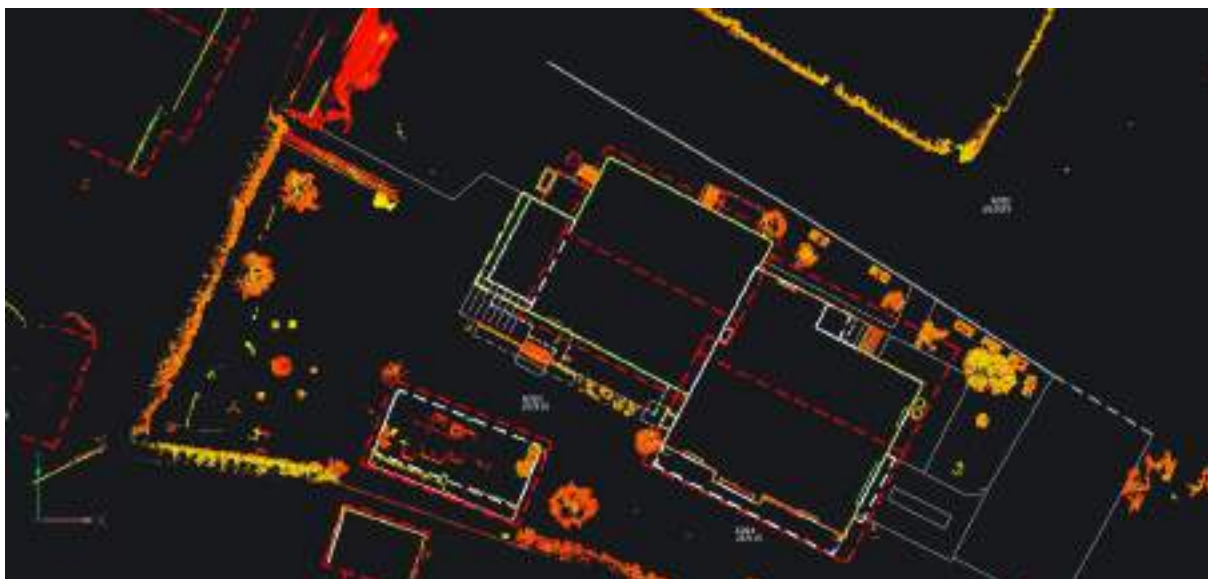
Slika 27 prikazuje uradno izdelan geodetski načrt geodetskega podjetja, ki sem ga uporabil za podlago in na njej primerjal geodetska posnetka, pridobljena z uporabo 3D skeniranja in klasično metodo.



Slika 27 Izdelan uradni geodetski načrt

Vir: (lasten vir)

Na spodnji sliki je prikazan prerez georeferenciranega oblaka točk in umeščenega na geodetsko podlago. Prerez je narejen na višini hiše 1 m od tal. Ugotavljam, da praktično ni nobenih razhajanj, kar se tiče vrisanega objekta na geodetskem načrtu.



Slika 28 Primerjava posnetkov prerez oblaka točk in geodetski načrt

Vir: (lasten vir)

Na sliki 29 je prikazana primerjava georeferenciranega oblaka točk, vnesenega na podlago geodetskega načrta. Na sliki je lepo razvidno točno prekrivanje geodetskega načrta in oblaka točk.



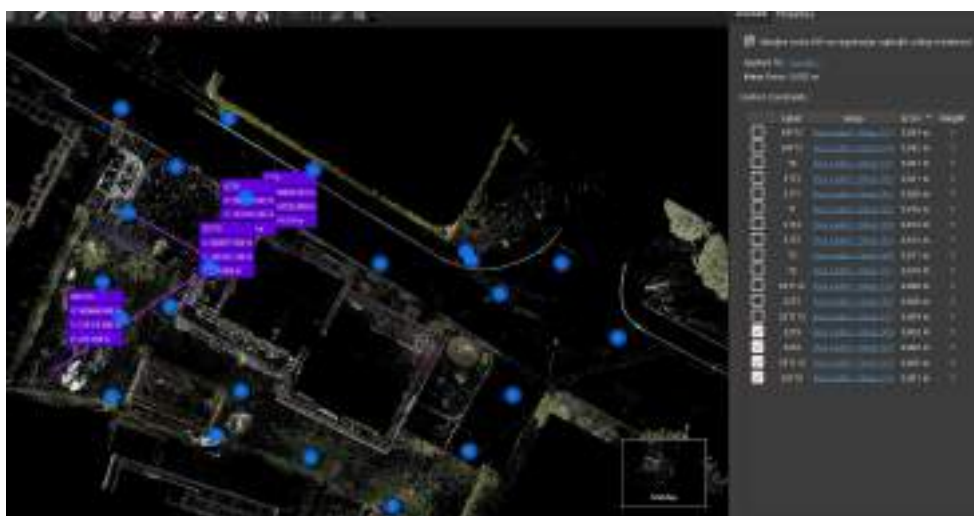
Slika 29 Prikaz primerjave georeferenciranega oblaka točk na podlagi geodetskega načrta

Vir: (lasten vir)

7.1.9 Primerjava izbranih oslonilnih točk za registracijo oblaka točk

Na spodnjih dveh slikah je v desnem delu slike prikazana karakteristika posamičnih tarč in stojišč, iz katerih so fiksne tarče vidne. Stabilne geodetske točke je podalo geodetsko podjetje. Odstopanja se pojavijo pri navezavi oblaka točk na t. i. oslonilne točke oz. fiksne tarče. Oblak točk je bil zajet z natančnostjo prekrivanja v povprečju 1 mm. To pomeni, da je oblak točk, pridobljen v milimetrski natančnosti. Za georeferenciranje oblaka točk sem izbral in uporabil 4 podane geodetske točke, ki so obkljukane v prvi koloni obarvanega pravokotnika in so imele glede na oblak točk najmanjše odstopanje, in sicer od 1 mm do 3 mm, srednji kvadriran odklon je znašal 2 mm. Te točke so služile za georeferenciranje oblaka točk. Če bi izbral vse podane oslonilne točke, kot je prikazano na sliki 28, bi bilo odstopanje prekrivanja točk v oblaku od 5 mm do 20 mm, srednji kvadriran odklon bi znašal 12 mm. Z registracijo na 4 oslonilne točke je bilo ob prekrivanju vseh točk v georeferenciranem oblaku doseženo odstopanje 2 mm.

Slika 27 prikazuje primer točk, na katere sem georeferenciral oblak točk. Prvo kolona prikazuje s kljukco izbrane oslonilne točke, druga kolona (Label) prikazuje imena točk ali pomenjenih tarč, tretja kolona (Setup) prikazuje stojišča, iz katerih se virtualna tarča navezuje na stabilno geodetsko izmerjeno točko oziroma tarčo, četrta kolona (Error) prikazuje posamično odstopanje stabilne in virtualne tarče, peta kolona (Weight) pa pove, iz kolikih stojišč imamo vidno in izbrano stabilno točko.



Slika 30 Georeferenciran oblak na štiri oslonilne točke, ki imajo minimalno odstopanje

Vir: (lasten vir)

Spodnja slika prikazuje simulacijo registracije na vse oslonilne točke. Aplikacija za registracijo pokaže posamično oziroma povprečno odstopanje med stabilnimi in virtualnimi tarčami.



Slika 31 Georeferenciran oblak točk na vse oslonilne geodetske točke

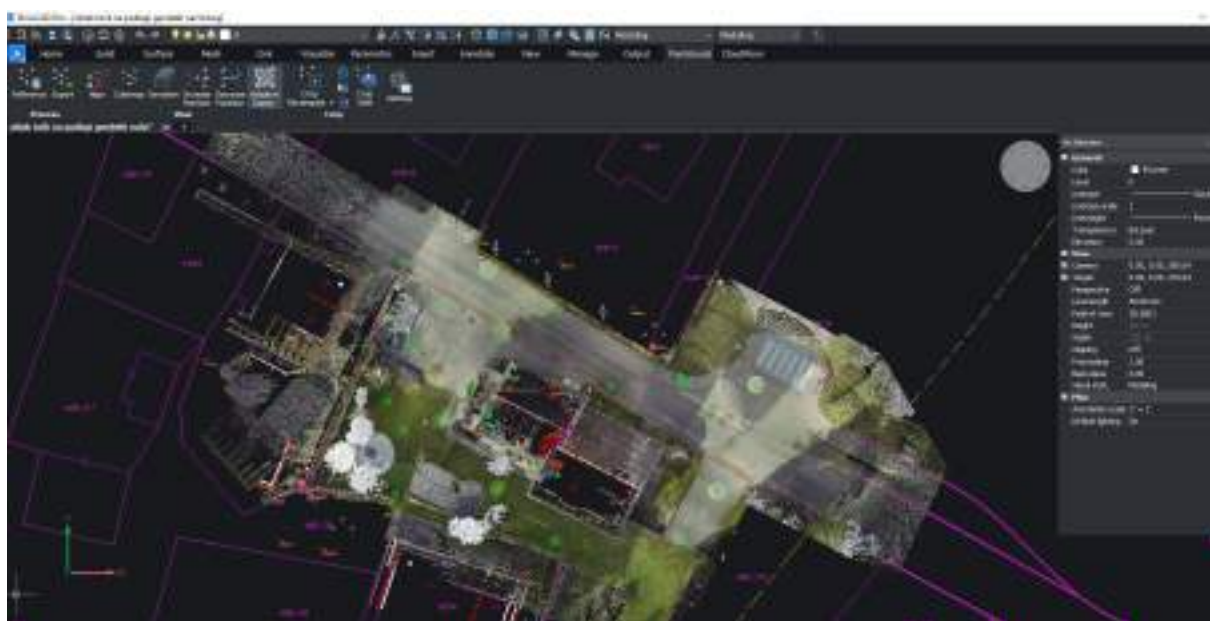
Vir: (lasten vir)

7.1.10 Primerjava obdelanih podatkov, pridobljenih s 3D skeniranjem in s polarno metodo izmere

S 3D laserskim skeniranjem in pridobljenim oblakom točk dobimo mnogo bolj uporaben izdelek po sami izmeri na terenu, kot pa je geodetski posnetek s polarno metodo. Iz oblaka točk lahko pridobimo, odčitamo in izvozimo katerokoli točko. Vse točke imajo podane vse tri koordinate v danem koordinatnem sistemu. Iz klasičnega geodetskega posnetka, posnetega s polarno metodo izmere, lahko odčitamo samo točke, ki jih je geodet posnel na terenu oziroma delovišču. Za pridobitev mnogo več podatkov o objektu sem potreboval približno 3 ure, geodet pa približno 4 ure dela na terenu. Pri polarni izmeri sta bila potrebna dva strokovno usposobljena človeka, medtem ko sem skeniranje opravil sam. Če bi bil projekt bolj obširen, bi

se razlika v porabljenem času pri delu še povečala. Slabost dela s 3D skenerjem je, da je strojna in programska oprema za 3D zajem podatkov mnogo dražja od opreme za izvedbo klasične metode izmere.

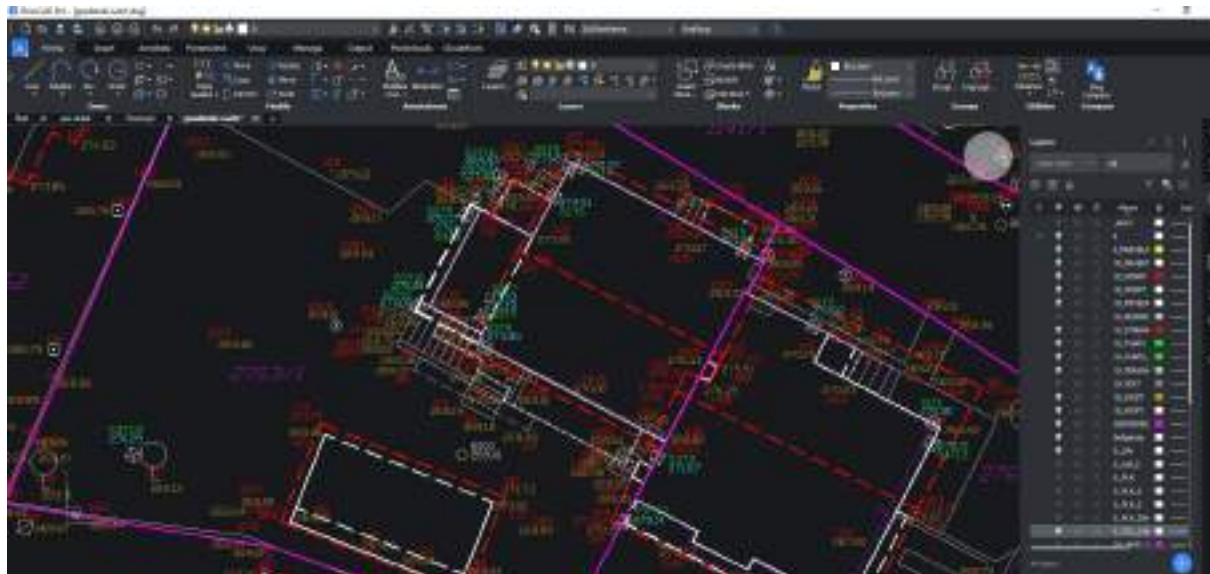
V programski opremi BricsCad sem najprej odprl datoteko geodetski načrt, ki je zapisana v formatu *.dwg (skrajšana različica besede drawing) in se uporablja za risanje načrtov večinoma v Cad programskih okoljih. Nato sem uvozil v BricsCad datoteko *.e57, ki je datoteka za zapis oblaka točk, katerega sem predhodno georeferenciral. Razvidno je, da oblak točk sovпада s podlago geodetskega načrta.



Slika 32 Primer umestitev hiše v državni koordinatni sistem 3D prikaz na geodetski podlagi

Vir: (lasten vir)

Slika 33 prikazuje primer geodetsko vrisanega objekta stanovanjsko hišo v državnem koordinatnem sistemu na podlagi geodetskega načrta.



Slika 33 Primer umestitev hiše v državni koordinatni sistem 2.5D prikaz

Vir: (lasten vir)

7.1.11 Primer spremljanja med samo gradnjo

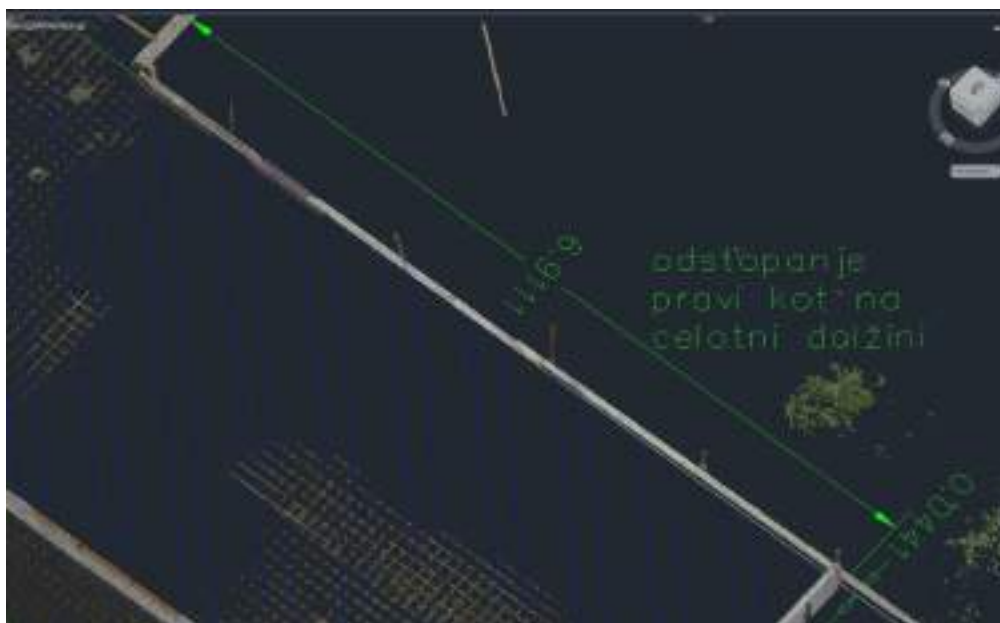
Metoda 3D laserskega skeniranja je zelo primerna za spremljanje med samo gradnjo. S tem postopkom lahko pridemo do podatkov oblaka točk, na katerega lahko modeliramo obstoječe stanje in primerjamo s projektiranim modelom. Hitro je mogoče opaziti razhajanja in ujemanja. V danem primeru, ki je na sliki 34, sem spremljal postavitev opaža in analiziral ravnine in naklone postavljenega opaža. Zaradi teh spremljanj med samo gradnjo lahko tudi privarčujemo in izboljšamo kvaliteto opravljenih del.



Slika 34 Primer spremljanja in kontrola postavljenega opaža

Vir: (lasten vir)

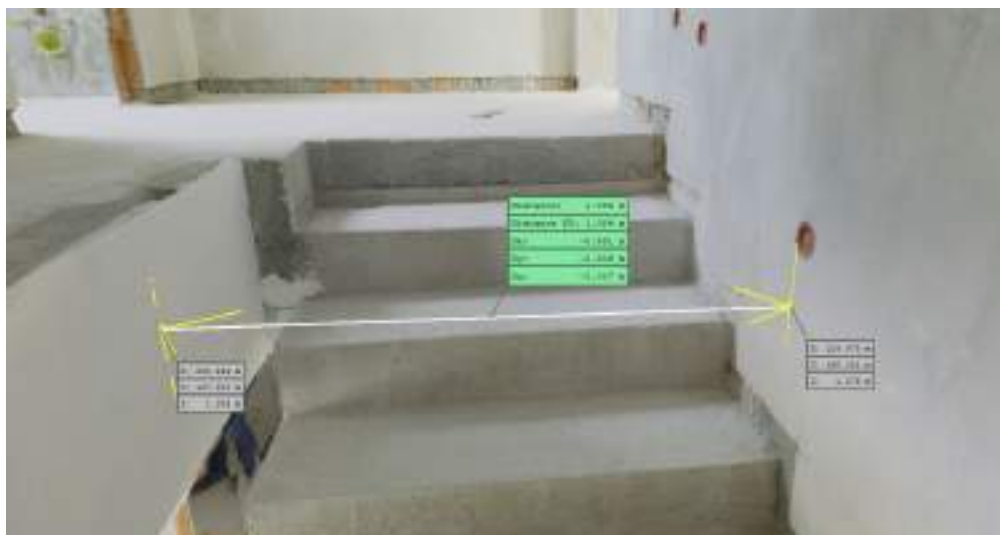
Na sliki 35 sem prikazal spremljanje med gradnjo v primeru postavitve opaža za AB ploščo. Ugotovil sem, da na dolžini slabih 7 m postavitev opaža odstopa za dobrih 4 cm, kar pomeni, da povezovalna AB traka nimata pravega kota na prikazano stranico opaža. Ugotovljeno situacijo so delavci popravili in odpravili pogrešek, ki je bil pred skeniranjem narejen. S tem je gradbeni izvajalec nekaj privarčeval, saj bi drugače moral odpravljati napako, ko bi bil beton že vgrajen in trd.



Slika 35 Primer kontrole postavljenega opaža pred betoniranjem

Vir: (lasten vir)

S postopkom 3D laserskega skeniranja lahko arhiviramo in dokažemo potrebno točnost izvedenih del, ki so predhodno zahtevane od naročnika in projektanta pred pričetkom del.

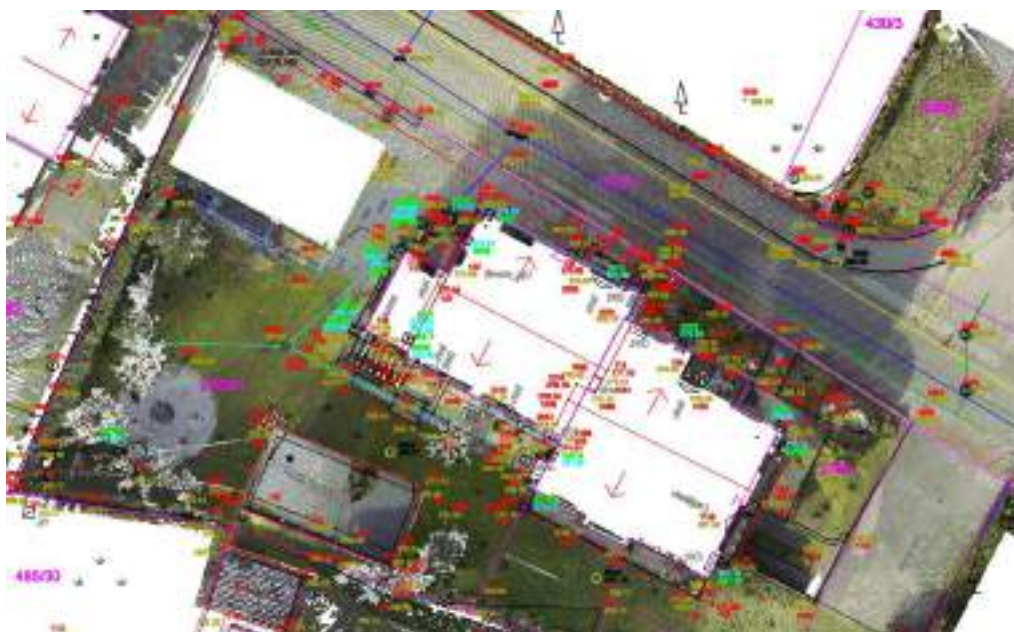


Slika 36 Primer kontrole in arhiviranje predpisane natančnosti izvedenih del

Vir: (lasten vir)

7.1.12 Primer modeliranja na oblaku točk

Pridobljeni oblak točk lahko uporabimo kot podlago za novo projektiranje. Jaz sem za primer na oblaku točk, ki je georeferenciran in postavljen na podlago geodetskega načrta, projektiral nadstrešek za vozila s shrambo za kolesa in vrtno orodje. Model nadstreška je tako georefeenciran v prostoru in državnem koordinatnem sistemu.



Slika 37 Prikaz projektiranega modela na oblaku točk in vstavljenega na podlago geodetskega načrta

Vir: (lasten vir)

Slika 38 prikazuje stranski pogled modela nadstreška, projektiranega na podlagi oblaka točk, kjer je lepo vidna globina temeljenja. Iz modela je možno pridobiti geodetske točke za vris v geodetski načrt, saj je model georeferenciran v državni koordinatni sistem.



Slika 38 Model nadstreška na podlagi georeferenciranega oblaka točk v državnem koordinatnem sistemu

Vir: (lasten vir)

Na samem oblaku točk lahko projektiramo in modeliramo v prostoru in hitro vidimo sovpadanje modeliranega objekta v dejansko okolje. Na spodnji sliki je med drugim prikazano tudi, kako lahko z različnih pogledov gledamo dejansko obstoječe stanje z dodanim modelom, ki ga lahko poljubno pozicioniramo na dano podlago oblaka točk.



Slika 39 Pogled postavitve modela nadstreška projektiranega na oblaku točk

Vir: (lasten vir)

8 SKLEP

V diplomskem delu sem obravnaval primer izdelave geodetskega posnetka s 3D skenerjem. Za te potrebe sem umestil oblak točk v državni koordinatni sistem. Državni prostorski koordinatni sistem D96/TM zagotavlja pogoje za enolično določanje in izražanje položaja objektov v naravnem okolju. Ker lahko z uporabo različnih instrumentov in metod pridobimo potrebne podatke za umeščanje objekta v državni koordinatni sistem, sem primerjal klasičen geodetski posnetek in posnetek s 3D laserskim skenerjem. V diplomskem delu sem opisal pridobivanje omenjenih podatkov z obema metodama ter primerjal pridobljene in obdelane podatke, potrebne za umestitev v državni koordinatni sistem.

V nadaljevanju so povzeti in opisani zaključki hipotez, ki sem si jih postavil na začetku diplomskega dela.

H1: Metoda 3D laserskega skeniranja z instrumentom Leica RTC360 zadostuje za projektiranje na obstoječem objektu.

Za primer in preverjanje sem na istem oblaku točk, ki sem ga uporabil za umeščanje v državni koordinatni sistem, projektiral nadstrešek za osebna vozila. Oblak točk je lahko postavljen v poljubni koordinatni sistem, ki ga lahko npr. v programskem okolju CAD spremenimo med samo obdelavo. Jaz sem projektiral na georeferenciranem oblaku točk. Ugotovil sem, da metoda 3D laserskega skeniranja z instrumentom Leica RTC360 zadostuje za nadaljnje projektiranje in lahko služi kot podlaga, na katero lahko poljubno projektiramo tudi v državnem koordinatnem sistemu.

H2: Metoda 3D laserskega skeniranja je uporabna za umeščanje objektov v državni ali lokalni koordinatni sistem.

Za primer 3D laserskega skeniranja objekta in umestitev v državni koordinatni sistem sem uporabil skenirano stanovanjsko hišo v naselju Šempeter v Savinjski dolini. Georeferenciran oblak točk sem primerjal z geodetskim načrtom, ki ga je izdelal pooblaščen geodet. Ugotovil sem, da sovpada z uradno izdelanim geodetskim načrtom. Oba posnetka sem primerjal le v tlorisnem pogledu, saj so točke in višinske kote na geodetskem načrtu podane v isti ravnini.

H3: Metoda 3D laserskega skeniranja poda več detajla o objektu kot polarna metoda izmere.

Izmera s 3D laserskim skenerjem omogoča izdelavo detajlnih modelov. Da ti modeli dosežejo svojo funkcionalnost in namen, jih je potrebno opremiti z ustreznimi informacijami. V primeru detajlno izdelanih posnetkov se ti pričnejo z izdelavo detajlnega zaznavanja ter zaključijo z izvedbo oz. predajo oblaka točk v nadaljnjo obdelavo. Na 3D posnetku lahko pridobimo katero koli geodetsko točko, katero potrebujemo za nadaljnje delo oziroma projektiranje. Z licenčnim programom za pregledovanje oblaka točk se lahko postavimo na katero koli pozicijo v prostoru in dobimo 3D vizualno podobo. V pregledovalniku lahko opazujemo skenirani objekt v HDR (High Dynamic Range oz. visoko dinamično območje) panoramskem posnetku, na katerim lahko merimo, označujemo, arhiviramo posnetek ...

H4: Metoda 3D skeniranja nam pomaga pri spremljanju gradbišča v fazi gradnje.

S pomočjo 3D skeniranja sem spremljal novogradnjo hiše z okolico v kraju Vitanje. Pri gradnji je izvajalec najprej naredil opaž za AB ploščo in AB pohodno ploščo okoli hiše. Mere postavljenega opaža je bilo potrebno izmeriti čim natančneje. To je služilo kasnejšemu oblaganju AB plošče okoli hiše in terase z granitnimi ploščami, ki so bile predhodno narezane in oblikovane po meri. Pri obdelavi oblaka točk sem preveril postavitev opaža in ugotovil, da od zahtevanih mer minimalno odstopa. Rezultat izmere je služil za popravilo postavitve opaža. Ugotavljam, da s takšno metodo spremljanja lahko kontroliramo in arhiviramo določene podatke pri gradnji ali po njej.

H5: Metoda 3D laserskega skeniranja in analiziranje skenogramov med samo gradnjo lahko privarčujeta ogromno stroškov.

V poglavju 5.2.10 je prikazano opazno odstopanje, ki so ga izvajalci po izmeri s 3D laserskim skenerjem odpravili ter zaradi tega tudi nekaj privarčevali. Popravek opaža pred zalivanjem z betonom je mnogo cenejši kot strošek, če se napaka ugotovi, ko je že zalito z betonom. Na podoben način se lahko izvaja kontrola vseh gradbenih postopkov, kjer je zahtevana visoka natančnost. Posnetki z označenimi merami in vizualnim izgledom se lahko tudi arhivirajo za kasnejše primerjave ali reklamacije. Zaradi navedenega lahko z omenjenim postopkom spremljanja med samo gradnjo veliko privarčujemo.

9 VIRI IN LITERATURA

- Academia. (18. december 2015). Gostujoče predavanje sodelavcev časopisa Večer. Pridobljeno iz Academia Novice: <http://academia.si/novice/gostujoce-predavanje-sodelavcev-casopisa-vecer/>
- Aniwaa. (5. avgust 2021). Aniwaa. Pridobljeno iz 3D scanning technologies and the 3D scanning process: <https://www.aniwaa.com/guide/3d-scanners/3d-scanning-technologies-and-the-3d-scanning-process/>
- Bilban. (2016). http://www.geoservis.si/images/stories/Clanki/gradbenik_11_2016_3d_oblaki_tock.pdf f. Gradbenik, 76-79.
- Blaž, M. (2004). geodetski vestnik 48/2004-3. Ljubljana.
- Blaž, M. (2004). <https://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:doc-XBEIBQJE>. geodetski vestnik, 351-362.
- Boehler, W. A. (2001). 3D scanning instruments. <https://www.isprs.org/commission5/workshop02/part1.pdf>. Nemčija.
- Bučar, F. (2012). Rojstvo države. Ljubljana: Didakta.
- EBRAHIM, M. A.-B. (2013). 3D Laser Scanners' Techniques Overview. https://www.researchgate.net/profile/Mostafa-Ebrahim-3/publication/282753883_3D_Laser_Scanners'_Techniques_Overview/links/561b66cb08ae044edbb24210/3D-Laser-Scanners-Techniques-Overview.pdf. Kingdom of Saudi Arabia.
- Geoprojekt. (2023). Šlandrov trg 11. Žalec.
- Geoservis. (13. februar 2023). Pridobljeno iz <https://www.geoservis.si/produkti/52-programska-oprema-leica-hds>
- Geoservis. (12. februar 2023). Geoservis, Hexagon. Pridobljeno iz <https://www.geoservis.si/produkti/51-laserski-skenerji>
- Golubova, S. (24. januar 2022). Artec3D. Pridobljeno iz 3D scanning solutions: <https://www.artec3d.com/learning-center/laser-3d-scanning>

- Mozetič, B. (2004). Terestrično 3D (trirazsežno) lasersko skeniranje. Geodetski vestnik, 251-362.
- Muck, D. (2011). Splošno o 3D skeniranju. <https://www.ntf.uni-lj.si/igt/wp-content/uploads/sites/8/2018/03/3D-skeniranje.pdf>.
- Oštir, K. (2006). Daljinsko zaznavanje. <https://iaps.zrc-sazu.si/sites/default/files/9616568728.pdf>. Slovenija: Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU.
- PIS. (6. april 2004). Pravilnik o geodetskem načrtu. <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV5692#>. Ljubljana, Slovenija: Služba Vlade Republike Slovenije.
- Sarjaš, T. (2020). geodetsko lasersko skeniranje v gradbeništvu. Projektna naloga. Maribor.
- Slam, G. (13. februar 2023). https://geoslam-com.translate.goog/point-clouds/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=sl&_x_tr_hl=sl&_x_tr_pto=sc.
- Stopar, B. B. (2013). Osnovni geodetski sistem. Slovenija: Inženirska zbornica Slovenije.
- Stopar, B. D. (2002). Projekt izgradnje slovenskega omrežja permanentnih GPS-postaj in vzpostavitev GPS-službe. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije.
- Ulbl, M. A. (2010). Inženirska geodezija. Ljubljana: Zavod IRC, Ljubljana.