

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Flerin, M., 2016. Geodetska izmera fasad stavb za namen energetske sanacije. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Savšek, S., somentor Kogoj, D.): 66 str.

Datum arhiviranja: 29-06-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Flerin, M., 2016. Geodetska izmera fasad stavb za namen energetske sanacije. Master Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Savšek, S., co-supervisor Kogoj, D.): 66 pp.

Archiving Date: 29-06-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM DRUGE STOPNJE
GEODEZIJA IN
GEOINFORMATIKA**

Kandidat:

MATJAŽ FLERIN

**GEODETSKA IZMERA FASAD STAVB ZA NAMEN
ENERGETSKE SANACIJE**

Magistrsko delo št.: 17/II.GIG

**GEODETIC EVALUATION OF THE BUILDING'S
FACADES FOR THE PURPOSE OF ENERGY
RENOVATION**

Graduation – Master Thesis No.: 17/II.GIG

Mentorica:

doc. dr. Simona Savšek

Somentor:

izr. prof. dr. Dušan Kogoj

Ljubljana, 17. 06. 2016

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Spodaj podpisani študent **Matjaž Flerin**, vpisna številka **26440008**, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: **Geodetska izmera fasad stavb za namen energetske sanacije**

IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V Ljubljani, dne 8. 6. 2016

Podpis študenta:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.7:699.8(497.4)(043)
Avtor:	Matjaž Flerin, dipl. inž. geod
Mentor:	doc. dr. Simona Savšek
Somentor:	izr. prof. dr. Dušan Kogoj
Naslov:	Geodetska izmera fasad stavb za namen energetske sanacije
Tip dokument:	Magistrsko delo
Obseg in oprema:	66 str., 13 pregl., 46 sl., 12 en., 5 pril.
Ključne besede:	geodetska mreža, energetska sanacija, fasada, predhodno izdelani fasadni elementi, klasična metoda izmere, terestrično lasersko skeniranje, žični model, 3D modeliranje

Izvleček

Statistični podatki kažejo, da v zadnjih letih svetovna poraba energije vztrajno narašča. V državah Evropske unije stavbe porabijo kar 40 odstotkov celotne energije in v ozračje izpustijo 36 odstotkov emisij toplogrednih plinov. Ti podatki kažejo, da je nujno potrebno zmanjšati porabo energije in izpuste toplogrednih plinov. K temu lahko največ pripomoremo z izboljšano energetske učinkovitostjo stavb, do te pa pridemo z energetske sanacije. Energetska sanacija ali prenova stavb je inženirski projekt, s katerim dosežemo, da stavba za ogrevanje in hlajenje porabi vsaj polovico manj energije kot pred sanacijo. V magistrskem delu obravnavamo energetske sanacije stavb in metode geodetske izmere fasad. Tema v največji meri zavzema področje geodezije, kjer obravnava tako klasično metodo izmere kot terestrično lasersko skeniranje. Hkrati pa pokriva tudi področje energetskih sanacij, kjer se povezuje z energetiko in gradbeništvom. Pregledali smo področje energetskih sanacij in možnosti sodelovanja geodetske stroke pri izmeri fasad stavb. Osredotočili smo se na klasično terestrično izmero in terestrično lasersko skeniranje, žični model stavbe ter predhodno izdelane fasadne elemente. Zaradi potrebe po zagotovitvi visoke stopnje natančnosti smo morali pozornost nameniti tudi vzpostavitvi referenčne geodetske mreže v okolici obravnavane stavbe. Na podlagi referenčnega primera smo želeli priti do ugotovitev glede izbire ustrezne geodetske metode na osnovi izbrane stavbe in izbrane metode energetske sanacije. Opravljena je bila praktična terenska izmera in različne naknadne obdelave. Za terensko izmero smo uporabili napreden geodetski instrument, ki združuje različne merske tehnike. Do končnega rezultata – 3D žičnega modela fasade – pa smo prišli z različnimi postopki izračunov in naknadnih obdelav. S primerjavo dobljenih rezultatov smo lahko ocenili natančnost posamezne metode in kar je najpomembneje, določili prednosti in slabosti posamezne metode ter razlike med njimi.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	528.7:699.8(497.4)(043)
Author:	Matjaž Flerin, B. Sc.
Supervisor:	Assist. Prof. Simona Savšek, Ph. D.
Co-supervisor:	Assoc. Prof. Dušan Kogoj, Ph. D.
Title:	Geodetic evaluation of the building's facades for the purpose of energy renovation
Document type:	M. Sc. Thesis
Scope and tools:	66 p., 13 tab., 46 fig., 12 eq., 5 ann.
Key words:	geodetic network, energy renovation, façade, prefabricated façade elements, classical method of measuring, terrestrial laser scanning, wireframe model, 3D modeling

Abstract

Statistics show that in recent years, global energy consumption is growing steadily. In the countries of the European Union buildings consume 40 percent of total energy and release 36 percent of greenhouse gas emissions. These data suggest that it is necessary to reduce energy consumption and greenhouse gas emissions. To this we can contribute with improved energy efficiency of buildings that we can achieve with energy renovation. Energy renovation of buildings is an engineering project with which we reach that the buildings consume at least half of the energy for heating or cooling as before the renovation. In this master's thesis we are studying the energy renovation of buildings and the methods of façade measuring. Topic largely covers the area of geodesy, which deals with both classical method of surveying and terrestrial laser scanning. At the same time it also covers the area of energy renovation, which is associated with energetic and construction. We reviewed the area of energy renovation and the possibility of participating geodetics profession in the façade measurements. Our focus was on the classical terrestrial measurement and terrestrial laser scanning, wireframe buildings and prefabricated façade elements. The need to ensure a high level of precision we needed to pay attention to the establishment of a geodetic reference network in the vicinity of the present building. Based on the reference case, we want to draw conclusions regarding the selection of relevant geodetic methods on the basis of selected buildings and the chosen method of energy renovation. A practical field measurement was carried out following various post processing. For field measurement, we used an advanced surveying instrument that combines different measurement techniques. To the final result - 3D wireframe façade - we came up with different calculation and post-processing. By comparing the results obtained, we can assess the accuracy of each method, and most importantly, determine the advantages and disadvantages of each method, and the differences between them.

ZAHVALA

Za strokovno vodenje, nasvete in pomoč pri izdelavi magistrskega dela se iskreno zahvaljujem mentorici doc. dr. Simoni Savšek in somentorju izr. prof. dr. Dušanu Kogoju. Hvala za vso potrpežljivost, predvsem pa za hitro odzivnost in korektno usmerjanje med izdelavo zaključnega dela. Posebna zahvala velja tudi vsem ostalim članom Katedre za geodezijo, ki so mi pomagali v času celotnega študija in pri izdelavi magistrskega dela.

Zahvaljujem se tudi družini in bližnjim, ki so me med študijem podpirali, spodbujali, motivirali in bodrili. Hvala vsem, ki so mi stali ob strani in mi pomagali doseči višjo stopnico na moji poti.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Predmet magistrskega dela	1
1.2	Namen magistrskega dela.....	1
1.3	Cilj magistrskega dela.....	2
1.4	Delovna hipoteza	2
2	NA SPLOŠNO O STAVBAH IN FASADAH.....	3
3	PREGLED ZAKONODAJE S PODROČJA ENERGETIKE IN ENERGETSKE SANACIJE	5
4	ENERGETSKA SANACIJA STAVB.....	7
4.1	Namen in obseg energetske sanacije stavb.....	8
4.2	Postopek energetske sanacije.....	8
4.3	Metode energetskih sanacij.....	10
4.4	Predhodno izdelani fasadni elementi	14
5	GEODETSKE METODE IZMERE FASAD	17
5.1	Klasična terestrična metoda izmere	19
5.2	Terestrično lasersko skeniranje.....	20
5.3	Primerjava in razlike med geodetskimi metodami izmere.....	21
6	MODELIRANJE IN 3D MODELI STAVB	24
6.1	Žično modeliranje.....	26
6.2	Akumulativno modeliranje	27
6.3	Proizvodno modeliranje.....	28
6.4	BIM modeli.....	29
7	REFERENČNI PRIMER.....	31
7.1	Opis stavbe	31
7.2	Ogled terena in plan izmere.....	32
7.3	Meritve.....	34
7.3.1	Instrumentarij in merski pribor	34
7.3.2	Geodetska mreža.....	35
7.3.3	Zajem obstoječega stanja fasade.....	37
7.4	Obdelava meritev.....	41

7.4.1	Izravnava geodetske mreže	41
7.4.2	Izris načrta fasade	44
7.4.3	Obdelava oblaka točk	45
7.5	Rezultati obdelave	50
7.5.1	Rezultati klasične metode izmere	50
7.5.2	Rezultati terestričnega laserskega skeniranja	52
8	KONČNI REZULTATI NALOGE	55
8.1	Primerjava geodetskih metod izmere na podlagi referenčnega primera	55
8.2	Rezultati analize	56
9	ZAKLJUČEK	60
	VIRI	62

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Povezanost in časovno zaporedje posameznih korakov sanacije s predhodno izdelanimi fasadnimi elementi	15
Preglednica 2: Primernost posamezne merske tehnike	21
Preglednica 3: Specifikacije instrumenta Leica Nova MS50	35
Preglednica 4: Koordinate referenčnih točk	37
Preglednica 5: Koordinate stojišč instrumenta in natančnosti njihove določitve	38
Preglednica 6: Približne vrednosti koordinat referenčnih in veznih točk	41
Preglednica 7: Izravnane koordinate referenčnih in veznih točk s pripadajočimi natančnostmi	42
Preglednica 8: Parametri absolutnih elips pogreškov za referenčne in vezne točke	43
Preglednica 9: Koordinate merskih točk, pridobljene z različnimi merskimi metodami	57
Preglednica 10: Razlike med koordinatami merskih točk	57
Preglednica 11: Dolžine linij okenske odprtine, pridobljene z različnimi merskimi metodami in njihove razlike v primerjavi s klasično metodo izmere	58
Preglednica 12: Parametri kakovosti izračunanih koordinat merskih točk	59
Preglednica 13: Parametri kakovosti izračunanih dolžin linij	59

KAZALO SLIK

Slika 1: Razporeditev energetskih izgub preko sestavnih delov stavbe	3
Slika 2: Zmanjšanje porabe energije pri energetski prenovi celotnega ovoja stavbe	8
Slika 3: Infrardeč termografski posnetek stavbe	9
Slika 4: Načini sanacij fasad po prej opisanem vrstnem redu	12
Slika 5: Energetsko učinkovite metode obnove po prej opisanem vrstnem redu	13
Slika 6: Postopek od zajema podatkov do montaže predhodno izdelanih fasadnih elementov	14
Slika 7: Izdelava fasadnih elementov v tovarni in montaža na terenu	15
Slika 8: Predhodno izdelan fasadni element se mora popolnoma prilegati na obstoječo fasado	16
Slika 9: Poenostavljen proces od zajema prostorskih podatkov do montaže	18
Slika 10: Razporeditev merskih točk na objektu.....	19
Slika 11: Vpliv parametrov na različne merske tehnike.....	22
Slika 12: Razmerje med stroški in prednostmi skupno uporabljenih merskih metod	22
Slika 13: Primerjava CAD in STL modela.....	26
Slika 14: Primer žične upodobitve 3D objekta na levi in z dodanimi nanosi na desni	27
Slika 15: Primer akumulativnega modeliranja	28
Slika 16: Primer proizvodnega modeliranja.....	28
Slika 17: Razmerje med stroški in kompleksnostjo 3D modelov.....	30
Slika 18: Obravnavana stavba; pogled na zahodno in južno fasado	31
Slika 19: Obravnavana stavba; pogled na južno in vzhodno fasado	32
Slika 20: Poškodbe na fasadi stavbe in detajl okenske police.....	32
Slika 21: Plan terenske izmere	33
Slika 22: Uporabljen instrument Leica Nova MS50 MultiStation.....	34
Slika 23: Signalizacija referenčnih točk.....	36
Slika 24: Razporeditev referenčnih in veznih točk	36
Slika 25: Obravnavana stavba; pogled na zahodno fasado	37
Slika 26: Shematičen prikaz postopka in principa merjenja skrite točke	38
Slika 27: Uporabljen komplet dveh.....	39
Slika 28: Razporeditev zajetih točk na objektu glede na stojišče instrumenta.....	40
Slika 29: Absolutna elipsa pogreškov	42
Slika 30: Izravnana geodetska mreža z absolutnimi elipsami pogreškov	44
Slika 31: Žični model obravnavane stavbe	45
Slika 32: Očiščen oblak točk vzhodne fasade z enobarvnim prikazom vseh točk in z lažnimi barvami na podlagi oddaljenosti od instrumenta	46
Slika 33: Oblak točk izbranega detajla z enobarvnim prikazom vseh točk in s pravimi barvami.....	46
Slika 34: Neuspešnost metode pri obravnavanju grobe napake v podatkih	47

Slika 35: Splošen prikaz preseka dveh ravnin na levi in dveh premic na desni	49
Slika 36: Žični model vzhodne fasade v ortogonalnem in perspektivnem pogledu.....	51
Slika 37: Žični model zahodne fasade v ortogonalnem in perspektivnem pogledu	51
Slika 38: Realno stanje, žični ter ploskovni model izbranega detajla-vhoda	51
Slika 39: Realno stanje, žični ter ploskovni model izbranega detajla-okenske odprtine	52
Slika 40: Rezultat obdelave celotne fasade v programu <i>Pointfuse</i> ; žični model levo in ploskovni model desno	52
Slika 41: Rezultat obdelave izbranega detajla v programu <i>Pointfuse</i> ; žični model z neobdelanim oblakom točk levo in z očiščenim oblakom točk desno	53
Slika 42: Rezultat obdelave izbranega detajla v programu <i>Pointfuse</i> ; ploskovni model z neobdelanim oblakom točk levo in z očiščenim oblakom točk desno	53
Slika 43: Rezultat <i>Ransac</i> algoritma po korakih iskanja posamezne ravnine	54
Slika 44: Razlike med zajemom prostorskih podatkov s klasično metodo izmere in terestričnim laserskim skeniranjem ter združitv obeh metod.....	55
Slika 45: Razporeditev merskih točk in referenčnih linij na obravnavani okenski odprtini	56
Slika 46: Pogled na zahodno in vzhodno fasado obravnavane stavbe po izvedeni energetske sanaciji	61

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: Poročilo o izračunu sredin girusov za stojišče S1

PRILOGA B: Poročilo o izravnavi geodetske mreže

PRILOGA C: Poročilo o izračunu prostega stojišča na stojišču ST1

PRILOGA D: Seznam zajetih detajlnih točk s koordinatami

PRILOGA E: Vmesni rezultati obdelave oblaka točk z *Ransac* algoritmom

1 UVOD

Statistični podatki kažejo, da v zadnjih letih svetovna poraba energije vztrajno narašča. Tako je bila rast svetovne porabe energije v letu 2010 kar 5,6 odstotna, kar je največ po letu 1973. Tudi v nadaljnjih letih je sledila od 1,8 do 2,5 odstotna rast svetovne porabe energije, desetletno povprečje pa znaša 2,5 odstotka [29].

V državah Evropske unije stavbe porabijo kar 40 odstotkov celotne energije in v ozračje izpustijo 36 odstotkov emisij toplogrednih plinov [9]. Ti podatki kažejo, da je nujno potrebno zmanjšati porabo energije in izpuste toplogrednih plinov. K temu lahko največ pripomoremo z izboljšano energetske učinkovitostjo stavb. Najboljši in najučinkovitejši način, da izboljšamo energetske učinkovitost stavb je, da izvedemo energetske sanacije. Le-ta obsega tako gradbeni kot energetske del sanacije. V prvi vrsti bi bilo potrebno sanirati javne stavbe, saj naj bi bile te zgled vsem ostalim. Velik potencial za tovrstne sanacije pa imajo tudi večstanovanjske stavbe, saj obstajajo rezervni skladi za tovrstne investicije in je tako finančna sredstva za obnovo lažje zagotoviti. Glede na to, da je geodezija zelo interdisciplinarna veda in se že tako tesno povezuje in sodeluje z gradbeništvom, se ji s projekti energetskih sanacij stavb odpirajo vrata tudi na področje energetike.

1.1 *Predmet magistrskega dela*

Ob vsakdanjem razvoju se vse pogosteje srečujemo z raznimi direktivami in zahtevami. Tako je tudi na področju energetike, kjer se stremi k učinkoviti rabi energije ter zmanjšanju izpustov toplogrednih plinov. Po statističnih podatkih je bila večina (več kot 70 odstotkov) današnjih stavb v Evropski uniji zgrajena pred letom 1970 [11]. To posledično pomeni, da so te stavbe že potrebne energetske obnove. Ker je oblik oziroma metod sanacij več, želimo v tem magistrskem delu pregledati različne metode sanacij, osredotočili pa se bomo na zahtevnejše metode, ki zahtevajo izdelavo gradbenih načrtov na osnovi 3D modelov stavb. Dotaknili se bomo zakonodaje s področja učinkovite rabe energije in energetskih sanacij stavb. V nadaljevanju bomo predstavili geodetske tehnologije oziroma metode, s katerimi je mogoče izdelati načrt fasade in pa samo izvedbo izmere. Za primerjavo rezultatov izmer in interpretiranje podanih zaključkov nam bo v pomoč referenčni primer.

1.2 *Namen magistrskega dela*

Namen magistrskega dela je raziskati in predstaviti novo možnost uporabe geodetskih storitev na zelo zanimivem in aktualnem področju. To je področje energetskih sanacij stavb. Tu imamo v mislih predvsem kompleksnejše in javne stavbe, ki so potrebne tovrstnih sanacij. Na podlagi terenske izmere in naknadne obdelave referenčnega primera bi radi prišli do ugotovitev o izbiri ustrezne geodetske metode izmere ter različne metode ustrezno ovrednotili.

1.3 Cilj magistrskega dela

Cilj magistrskega dela je pregledati področje energetskih sanacij stavb, predvsem v smislu metod energetskih sanacij in možnosti sodelovanja geodetske stroke pri izmeri fasad stavb. Osredotočili se bomo na klasično terestrično izmero in terestrično lasersko skeniranje, žični model stavbe ter predhodno izdelane fasadne elemente. Na podlagi referenčnega primera želimo priti do ugotovitev glede izbire ustrezne geodetske metode na osnovi izbrane stavbe in metode energetske sanacije. Glavni cilj magistrskega dela pa je na podlagi referenčnega primera ovrednotiti različne merske metode. Želimo tudi oceniti, katera geodetska metoda je najustreznejša in najoptimalnejša za zajem fasade stavbe, izdelave žičnega modela stavbe in izdelave ustreznega načrta obstoječega stanja fasade stavbe, vendar ocenjujemo, da je to zaradi specifičnosti vsakega posameznega primera praktično nemogoče.

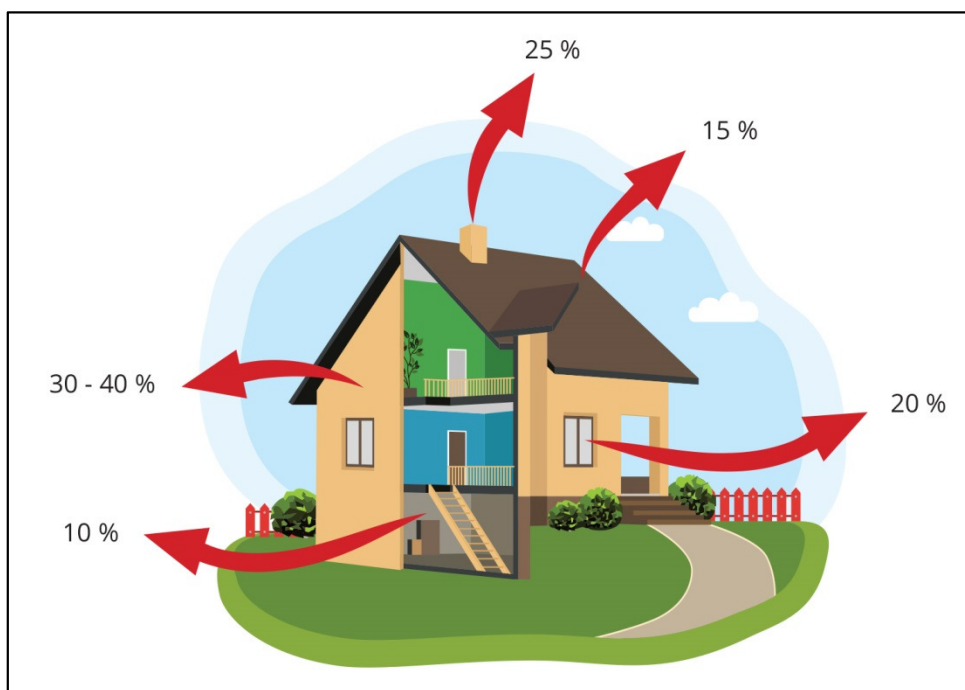
1.4 Delovna hipoteza

Na osnovi poznavanja obravnavanega področja smo na začetku magistrskega dela postavili delovno hipotezo, in sicer da v Sloveniji prevladujejo klasične metode sanacij fasad stavb. Posledično tudi potreba po geodetskih posnetkih fasad stavb za te namene še ni razvita. Glede geodetske opreme in izmere se zavedamo, da tehnologija terestričnega laserskega skeniranja zagotavlja večjo količino podatkov. Zajem podatkov je hiter in brezkontakten, največja prednost pa je v zajemu visoke stopnje detajla nepravilnih oblik. Problem predstavlja zahtevnejše modeliranje, odbojnost objekta in stopnja natančnosti. Posledično predpostavljamo, da je ta tehnika primernejša za objekte s kompleksnimi detajli, saj gre za ploskovno zajemanje. Nasprotno pa je klasična terestrična izmera na terenu zamudnejša, zagotavlja pa nam natančnejšo določitev položaja posamezne točke na objektu. Predpostavljamo, da je ta tehnika primernejša za enostavnejše objekte, saj gre za točkovno zajemanje. Uporaba instrumenta, ki združuje obe omenjeni tehnologiji (npr. Leica MS50), združuje prednosti obeh tehnik in s tem zagotavlja učinkovito in ekonomično izmero. V primeru, da bi se izkazala potreba po tovrstnih geodetskih storitvah, predpostavljamo, da bi imel naročnik željo po uporabi terestričnega laserskega skeniranja zaradi količine prostorskih podatkov, izvajalec pa bi želel izbrati najhitrejšo in najbolj ekonomično metodo.

2 NA SPLOŠNO O STAVBAH IN FASADAH

Stavba je v splošnem objekt, v katerega lahko človek vstopi, in ki je namenjen njegovemu stalnemu ali začasnemu prebivanju, opravljanju poslovne ali druge dejavnosti ali zaščiti ter ga ni mogoče prestaviti brez škode za njegovo substanco [42]. Z drugimi besedami lahko rečemo, da je stavba vsak grajen objekt, ki ima štiri stene in streho. Lahko ima enega ali več vhodov, zgrajen pa je z namenom, da se v njem prebiva, opravlja dejavnost ali hrani materialne dobrine. V resnici pa je stavba še vse kaj več kot le to. Lastniki so na svojo stavbo lahko tudi čustveno navezani, hkrati pa stavba v fazi gradnje predvsem pa v fazi vzdrževanja in obnavljanja predstavlja velik del posameznikovih stroškov. Zato je zelo pomembno, da kjer je le mogoče, minimaliziramo stroške.

Največ stroškov in energije se porabi za ogrevanje, hlajenje in prezračevanje stavbe ter prostorov v njej. Vsaka stavba skozi različne dele izgublja določene količine energije. V primeru, da stavba ni ustrezno toplotno izolirana, pa so te izgube še večje. Razporeditev energetskih izgub preko sestavnih delov stavbe je prikazana na sliki 1. Dejstvo je, da fasadni obod predstavlja kar do 40 odstotkov vse izgubljene energije, torej se največ energije izgubi skozi zidove stavbe [40].



Slika 1: Razporeditev energetskih izgub preko sestavnih delov stavbe [37]. str. 11

Zato ima fasada poleg estetske lastnosti tudi zelo pomembno nalogo, da preprečuje energetske izgube skozi zidove. Že tako so zunanje stene pomemben del zgradbe, saj morajo prenašati tako mehanske obremenitve, kot ščititi notranjost stavbe pred različnimi zunanjimi vplivi, kot so dež, vlaga, sončno sevanje, nizke ter visoke temperature, hrup in podobno. Ravno zato morajo biti zunanje stene stavbe,

ki mejijo na neogrevano površino, kakovostno izolirane. S tem zmanjšamo porabo energije za ogrevanje ali hlajenje notranjih prostorov, izboljšamo kvaliteto bivanja v prostorih ter posledično tudi pripomoremo k zmanjšanim izpustom toplogrednih plinov [36]. Fasada je tako ali drugače pritrjena na nosilno konstrukcijo stavbe. Materiali, ki se uporabljajo za zunanji ovoj stavbe so različni. V Sloveniji še vedno prevladujejo toplotnoizolacijski kompozitni sistemi z ometom, pri novogradnjah pa so aktualne tudi steklene fasade. Poznamo še zunanje ovoje iz opečnih ali betonskih plošč, elementov iz profilirane pločevine, sendvič panelov in druge sisteme [27].

3 PREGLED ZAKONODAJE S PODROČJA ENERGETIKE IN ENERGETSKE SANACIJE

Preden se odločimo za določen poseg na kateremkoli področju, moramo najprej pregledati veljavno zakonodajo. Tako je tudi pri energetskih sanacijah. Področji, v kateri posegamo s tovrstnimi sanacijami, sta tako energetika kot gradbeništvo.

Zakon o graditvi objektov določa, da morajo biti vse stavbe skladne s prostorskimi akti in zanesljive. Njihova zanesljivost se zagotavlja s projektiranjem, gradnjo, nadzorom in vzdrževanjem, izkazuje pa z upoštevanjem gradbenih predpisov, ki se nanašajo na mehansko odpornost, varnost pred požarom, zaščito pred hrupom, varčevanje z energijo ter ohranjanje toplote, neoviran dostop in drugo. Vse to velja pri graditvi novih stavb. V primeru, ko pri prenovi oziroma sanaciji, ki spada med vzdrževalna dela, ne sodeluje odgovorni projektant, je odgovornost zagotavljanja zanesljivosti stavbe razdeljena med investitorja, nadzornika in izvajalca del. Občina po omenjenem zakonu lahko zaveže lastnika k izvedbi vzdrževalnih del, za energetske sanacije pa po trenutno veljavnih predpisih ni potrebno pridobiti gradbenega dovoljenja [43].

Direktiva 2010/31/EU o energetske učinkovitosti stavb (prenovitev) določa zahteve v povezavi z metodologijo izračuna celovite energetske učinkovitosti stavb, nacionalnimi načrti za povečanje števila skoraj nič energijskih stavb, energetskim certificiranjem stavb, rednimi pregledi ogrevalnih in klimatskih sistemov ter nadzornim sistemom za energetske izkaznice. Omenjena direktiva Evropskega parlamenta in Sveta je bila v letu 2010 prenovljena, saj so bile potrebne vsebinske spremembe. Ker so naftni derivati, zemeljski plin in trda goriva glavni vir energije, hkrati pa tudi največji vir emisij toplogrednih plinov, je potrebna njihova učinkovita, preudarna, racionalna in trajnostna poraba. Trenutno stavbe v Evropski uniji porabijo skoraj polovico celotne energije, ta sektor pa se še veča, kar pomeni, da se bo porabilo še več energije. Zato se Evropska unija s to direktivo zavzema za zmanjšanje porabe energije, predvsem za zmanjšanje energetske odvisnosti in emisij toplogrednih plinov. Dolgoročni cilj je, da bi do leta 2020 zmanjšali emisije toplogrednih plinov za 20 odstotkov glede na leto 1990 [9].

Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah določa tehnične zahteve, ki morajo biti izpolnjene za učinkovito rabo energije v stavbah na področju toplotne zaščite, ogrevanja, hlajenja in prezračevanja ter priprave tople vode in razsvetljave v stavbah. Pravilnik velja tako za novogradnje kot rekonstrukcije dela ali celotne stavbe. *Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije* določa gradbene ukrepe za doseg zahtev tega pravilnika in postopke izračuna energijskih lastnosti stavbe. Uporaba pravilnika kot tudi tehnične smernice, ki se sklicuje na mednarodne standarde, je obvezna. Pravilnik in tehnična smernica povzemata in prenašata zahteve Evropske direktive o

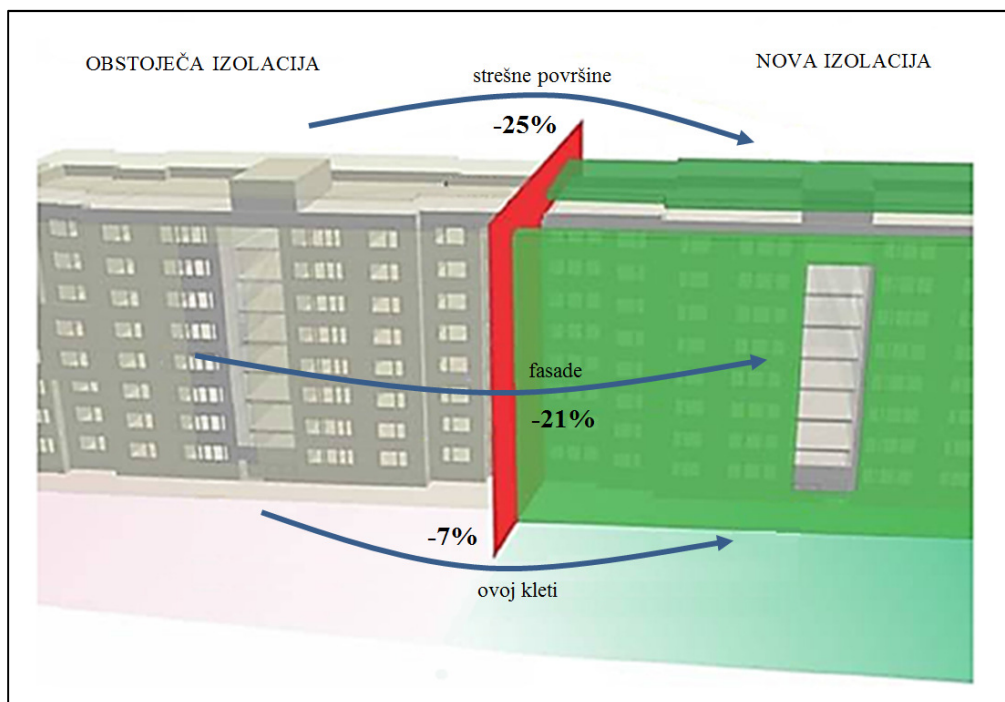
učinkoviti rabi energije v stavbah v slovensko zakonodajo. Pri zagotavljanju učinkovite rabe energije v stavbah je potrebno upoštevati celotno življenjsko dobo stavbe, podnebne podatke, vgrajene materiale, lego in orientiranost, uporabo obnovljivih virov in druge. Ovoj stavbe je potrebno s toplotno zaščito ločiti in s tem preprečiti ali vsaj zmanjšati prehod energije in podhlajevanje oziroma pregrevanje stavbe [23], [35].

Glede na predmet magistrskega dela, se bomo podrobneje posvetili prenovam fasad. Tovrstne preнове so tudi sicer najbolj izpostavljeno področje. Namen prenove fasadnega ovoja je največkrat energijska učinkovitost in/ali vizualna sanacija. Pri tem pa ne smemo pozabiti tudi na druge zahteve, ki jih mora ta stavbni element izpolnjevati. Tu je potrebno opozoriti predvsem na varnost pri morebitnih požarih in zvočno zaščito. *Zakon o varstvu pred požarom* tako določa, da se požarna varnost v stavbah ob rekonstrukciji ali vzdrževanju ne sme zmanjšati [44]. Poleg tega morajo biti zunanje stene in strehe stavbe projektirane in grajene tako, da je hitro širjenje požara omejeno. To pomeni, da mora biti stavba zadosti odmaknjena od parcelne meje, v primeru da pride do požara in pa tudi, da morajo biti uporabljeni gradbeni proizvodi, sestavljeni iz materialov, ki se težko vžgejo, v primeru vžiga pa oddajo nizko količino toplote in dima ter omejujejo hitro širjenje požara po površini. Za večstanovanjske stavbe visoke od 10 m do 22 m morajo biti obloge zunanje stene glede odzivnosti na ogenj razvrščene v razred B-d1 (npr. lesocementne plošče, lesne plošče, obdelane z zavirali gorenja, sendvič plošče s poliiizocianuratno peno), za stavbe višje od 22 m pa mora biti fasada v celoti zgrajena iz negorljivih materialov (npr. sendvič plošče s kameno mineralno volno, kamen, opeka, kovine). Skladno s *Pravilnikom o požarni varnosti v stavbah* je dopustna tudi izvedba fasad, ki ne ustrezajo *tehnični smernici TSG-1-001: 2010 Požarna varnost v stavbah*. Med take, precej pogosto uporabljene materiale, sodi tudi les. Uporaba fasadnih oblog ali podkonstrukcij iz lesa je dovoljena v primeru, če so izvedeni ustrezni požarno-tehnični ukrepi, in če je zagotovljena intervencija ustrezno opremljene gasilske enote z odzivnim časom največ 15 minut. Vseeno obstaja omejitev glede števila etaž, fasada pa mora biti med prehodom iz ene etaže v drugo ločena z negorljivim materialom. Ob vsem tem je še posebej potrebno opozoriti na primere, ko je fasada grajena iz gorljive toplotne izolacije in je ta že vgrajena na ovoj stavbe, zaključni negorljiv sloj pa še ni izveden. V takem primeru je velika nevarnost hitrega širjenja požara po zunanjih stenah in zato takšno stanje predstavlja nižjo raven varnosti pred požarom kot pred posegom [34], [22].

4 ENERGETSKA SANACIJA STAVB

Kot smo spoznali v prejšnjem poglavju, je načela energetske varčnosti povzela tudi slovenska zakonodaja, ki je v zadnjem desetletju na osnovi evropskih direktiv zaostрила zahteve na področju učinkovite rabe energije v stavbah. Tako je postala prenova starejših, predvsem pa neustrezno grajenih stavb, nujna. Energetska sanacija ali prenova stavbe je inženirski projekt, s katerim dosežemo, da stavba za ogrevanje in hlajenje porabi vsaj polovico manj energije kot pred sanacijo. Med sanacijo naj delovanje stavbe ne bi bilo moteno, uporabimo pa sodobne in trajnostne tehnologije ter ne posegamo v konstrukcijo stavbe ali tlorisno zasnovo. Pri tem je zelo pomembno, da je sanacija izvedena pravilno. V preteklosti je namreč pre pogosto prišlo do napak in pomanjkljivosti pri tovrstnih sanacijah, zato so lastniki in morebitni investitorji izgubili zaupanje, predvsem pa so se porajala vprašanja o smiselnosti in finančni upravičenosti tovrstnih posegov [26], [10].

Učinkovita energetska sanacija starejših stanovanjskih stavb zajema predvsem vgradnjo nadstandardne debeline toplotne zaščite in nadstandardno stavbno pohoštvo. Sočasno moramo zmanjšati oziroma odpraviti toplotne mostove in zagotoviti dobro tesnjenje celotnega ovoja stavbe. S kakovostno sanacijo se lahko energetska zelo potratna stavba spremeni v nizkoenergijsko stavbo. Številni izvedeni primeri v tujini že dokazujejo, da je vgradnja novih materialov smiselna ter tudi ekonomsko upravičena. Pri nas v smislu prenove večstanovanjskih stavb žal še zaostajamo za tujino. Vzrokov zato je več, najverjetneje pa so glavni razpršeno lastništvo, energijska neosveščenost ter pomanjkanje finančnih sredstev. Stavbe, ki so bile zgrajene v različnih časovnih obdobjih imajo različna energijska izhodišča, posledično pa je tudi poraba energije v njih različna. Ta poraba je večinoma previsoka, saj imajo starejše stavbe slabšo toplotno zaščito, ogrevalne sisteme, stavbno pohoštvo in ostalo. Zato je pri teh stavbah energetska sanacija nujnejša, hkrati pa tudi zahtevnejša. Poleg tega se je življenjska doba nekaterim elementom ovoja stavb in ogrevalnega sistema že iztekla. Pri novejših stavbah so fasade običajno pravilno zasnovane, vendar pa prihaja do toplotnih izgub zaradi površne vgradnje. Stavbe tako razvrščamo glede na obdobje izgradnje, s tem pa so povezani tudi uporabljeni materiali in način gradnje. Motivi za prenovu stavbe ali dela stavbe so različni, običajno pa se za njo odločimo zaradi poškodb, zmanjšanja porabe energije ali izboljšanja bivalnih pogojev [15].



Slika 2: Zmanjšanje porabe energije pri energetske prenovi celotnega ovoja stavbe [10]

4.1 Namen in obseg energetske sanacije stavb

Namen celostne prenovе ovoja stavbe je [25]:

- maksimalen prihranek energije,
- izboljšanje energetske učinkovitosti stavbe,
- zmanjšanje stroškov,
- doseganje boljših bivalnih razmer.

Energetska sanacija stavbe obsega [25]:

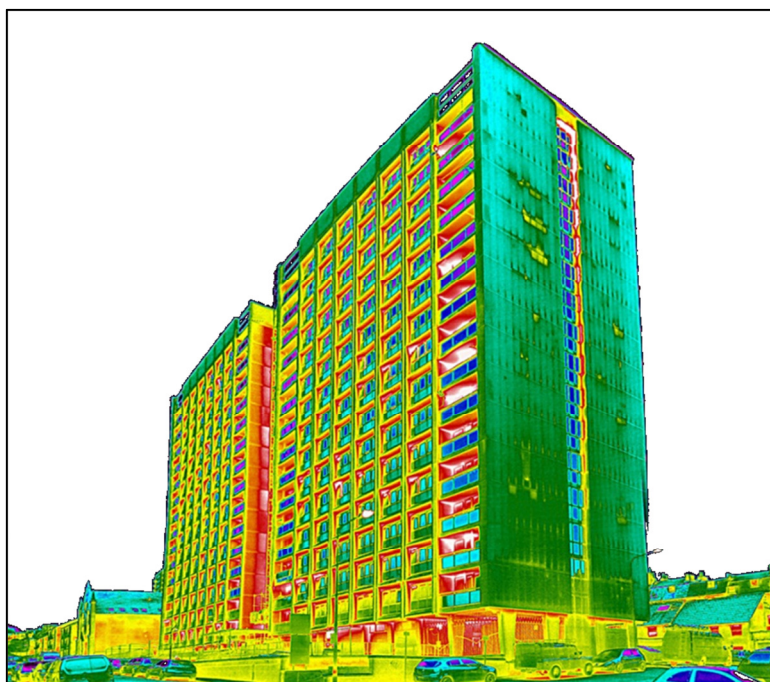
- zamenjavo oken,
- toplotno izolacijo podstrešja in strehe,
- toplotno izolacijo zunanjih sten,
- prenovu ogrevalnega sistema,
- vgradnjo sistema za prezračevanje.

4.2 Postopek energetske sanacije

Projekta energetske sanacije stavbe se moramo lotiti celostno. Najprej je potrebno poiskati izvajalca del in opredeliti finančni okvir. Izbira izvajalca del je pomembna tako s finančnega vidika kot z vidika kakovostno opravljene storitve. Pri individualnih stavbah, ki imajo enega lastnika, je dogovarjanje in usklajevanje želja ter potreb enostavnejše. Običajno pa je nekaj več težav pri financiranju, oziroma je energetska sanacija pogojena s finančno zmožnostjo lastnika. Pri večstanovanjskih stavbah je potrebno

doseči usklajenost med lastniki znotraj stavbe. Največ težav se pojavi pri menjavi oken, saj jih nekateri ne želijo menjati ali pa so jih že menjali pred kratkim. Tudi glede financiranja je potrebno najti skupni jezik. Imajo pa večstanovanjske stavbe prednost v rezervnem skladu, v katerega lastniki vplačujejo sredstva za podobne namene, in pa v raznih javnih skladih, iz katerih lahko črpajo sredstva za tovrstne sanacije.

Po izbranem izvajalcu in finančnem okviru sledi pregled in posnetek obstoječega stanja. V tem koraku se energetske pregleda celotna stavba. Pomembna je trenutna debelina izolativnega materiala na fasadnem ovoju, izolacija podstrešja in strehe ter kleti. Pregleda se obstoječe stavbno pohištvo. Največji poudarek je na oknih, kjer je pomemben podatek, koliko slojna okna so trenutno vgrajena. Na podlagi vseh teh podatkov se določi trenutna poraba stavbe. Po potrebi se lahko izvede tudi infrardeč termografski posnetek stavbe. Primer takega posnetka je prikazan na sliki 3. Ti posnetki se izvajajo s posebno infrardečo kamero, ki zaznava infrardeče elektromagnetno sevanje. To sevanje nato pretvori v sliko, ki jo imenujemo termogram oziroma termograf. Na podlagi temperaturne variacije se lepo vidijo razlike med toplimi telesi in hladno okolico, ki se nato uporabijo za uspešno termografsko analizo (odkrivanje toplotnih mostov, pojav vlage, poškodbe izolacije) [24]. Slabost zunanje termografije je, da se izvaja ob ustreznih vremenskih pogojih v hladnem obdobju leta, ko je stavba ogrevana in je temperaturna razlika med notranjim ogrevanim prostorom in zunanostjo, izrazitejša. Ker pa se večina gradbenih del sanacije izvaja v toplejšem obdobju leta, običajno ni primerne časa za termografske posnetke. Namesto tega se lahko podatke, zbrane z energetskim pregledom stavbe, uredi in dopolni z barvno lestvico, ki odraža porabo toplote oziroma mesta, kjer so povečane izgube stavbe [10], [11].



Slika 3: Infrardeč termografski posnetek stavbe [21]

Pod posnetek obstoječega stanja sodi tudi zajem stavbe kot celote. V tem koraku vidimo možnost sodelovanja geodetske stroke pri zajemu prostorskih podatkov. Kadar gre za manj zahtevne objekte in enostavne oblike energetskih sanacij, se meritve na stavbi ne izvajajo. Podatke o stavbi se pridobi iz gradbenih načrtov, na terenu pa se preveri usklajenost dejanskega stanja z načrtovanim. V tujini se za tovrstne namene že uporabljajo geodetske meritve, saj zagotavljajo višjo natančnost. Na podlagi geodetskega posnetka ali gradbenih načrtov se izdelata 3D model stavbe z vsemi značilnimi podrobnostmi kot so balkoni, okna, streha in ostalo. V osnovi se izdelata žični 3D model stavbe, ki pa se nato zaradi boljše predstavitve dopolni v ploskovni 3D model. Model se lahko oblepi s fotografijami dejanskega stanja, fotografijami predvidenega stanja po izvedeni sanaciji, termografskim posnetkom ali barvno lestvico, ki nakazuje porabo energije oziroma poudarja, kje so toplotne izgube večje.

Ko so zbrani vsi potrebni podatki, sledi izdelava projektne dokumentacije za energetske sanacije. Na podlagi meritev na objektu, analize trenutne energetske porabe stavbe in 3D modela stavbe se izdelata projekt strojnih in elektro inštalacij, gradbenih konstrukcij ter arhitekture. Izvedejo se vsi potrebni energetski izračuni in določijo vgradni materiali. Pomemben je popis potrebnega materiala in dela ter terminski plan energetske sanacije stavbe. Tudi v tem koraku se kaže prednost natančnega in kakovostnega zajema obstoječega stanja. Pri velikih stavbah, z velikimi fasadnimi površinami, vsak odstotek napačno ocenjenega materiala predstavlja večja materialna odstopanja od dejansko potrebnih. Posledično je projekt lahko napačno finančno ovrednoten, postavljena cena pa nerealna.

Zadnji korak energetske sanacije stavbe je izvedba same sanacije. Dela potekajo tako v notranjosti kot zunanosti stavbe. V času izvedbe sanacije je uporaba stavbe lahko motena. Izvedba sanacije obsega gradbeno obrtniška dela, ki zajemajo montažo toplotne izolacije, fasadnega ovoja, stavbnega povišstva in drugo, ter inštalacijska dela, ki zajemajo montažo ogrevalnih, hladilnih in prezračevalnih sistemov. Pri zahtevnejših sanacijah in natančnejših umestitvah novih elementov na projektirano mesto, lahko s postopkom zakoličbe pomaga tudi geodet. Po uspešnem zaključku del je stavba energetske sanirana in pripravljena za uporabo.

4.3 Metode energetskih sanacij

Kot smo opredelili že v uvodu tega magistrskega dela, se bomo v nadaljevanju posvetili zgolj sanacijam fasad. Pri sanaciji le-teh namreč lahko sodeluje tudi geodetska stroka. Glede na opisan postopek sanacije, lahko geodet sodeluje pri izmeri obstoječega stanja kot tudi pri zakoličbi projektiranega stanja v fazi izvedbe. Pri sanaciji fasadnega ovoja stavbe gre največkrat za sanacijo celotne fasadne površine. Poznamo pa tudi primere, ko se sanira le del fasade. Vse je odvisno od razlogov za sanacijo in obstoječega stanja fasade. Posledično ločimo štiri stopnje sanacij fasad v odvisnosti od trenutnega stanja fasade.

Stopnje oziroma načini sanacij fasad [30]:

- čiščenje in ponovni premaz

Fasade so izpostavljene mnogim zunanjim vplivom. Zato se s časom umažejo, na njih pa se lahko nabere tudi plesen. Zlasti v urbanih območjih so ti vplivi zaradi prometa še večji. Posledično so take stavbe videti stare in zapuščene. V postopku čiščenja se fasada očisti z visokotlačnim pranjem in nato premaže z zaščitnim premazom. Poleg nove barve ta premaz preprečuje nabiranje umazanije, plesni in nastajanje razpok. S tem posegom ohranjamo vrednost stavbe, izboljšamo njen videz in zmanjšamo potrebo po vzdrževanju.

- manjša popravila in ponovni zaključni sloj

Ob večjih in stalnih mehanskih vplivih na fasadni ovoj se lahko pojavijo manjše poškodbe na zunanjih stenah. Manjše poškodbe na zunanjih stenah je potrebno popraviti, dokler so še majhne, saj s tem preprečimo, da bi se razvile v večjo škodo, ki jo je težje in dražje popraviti. Poleg sanacije pa je zelo pomembno, da odkrijemo vzrok za poškodbo in ga, če je mogoče, odpravimo. Najprej se popravijo razpoke in druge poškodbe. Za obnovitev zunanosti stavbe v prvotno stanje se uporabi dodatna plast laka in vgradi mreža. Ko je škoda popravljena, se fasado premaže z visoko zmogljivim zaključnim slojem, ki jo varuje pred zunanjimi vplivi in upočasnjuje obrabo.

- izolativna preplastitev in ponovni zaključni sloj

Izolativne stenske obloge se vgrajujejo na obstoječ fasadni ovoj. Večinoma gre za sanacijo starejših ali energetske neučinkovitih stavb. Poleg novega videza je po sanaciji bistveno izboljšana energetska učinkovitost stavbe. S tem posegom se podaljša življenjska doba stavbe, znižajo stroški ogrevanja ter hlajenja in izboljšajo življenjski pogoji v stavbi. Energetske učinkovite stavbe sledi standardom in zahtevam ter tako manj obremenjuje okolje. Na koncu se izdelava še zaključni sloj, ki zunanjo steno ščiti pred zunanjimi vplivi.

- odstranitev poškodovanih oblog in ponovna izdelava fasadnega ovoja

Ob večjih poškodbah so potrebna obsežnejša sanacijska dela. Najprej je potrebno odstraniti poškodovano obstoječo oblogo do trdnega in zdravega jedra. Poškodovano oblogo nadomestimo z novo vzdržljivo oblogo. Poleg novega videza nova fasada zagotavlja podaljšanje življenjske dobe stavbe, izboljšanje bivalnih pogojev in znižanje skupnih obratovalnih stroškov. Zaključni sloj seveda zunanjo steno ščiti tudi pred zunanjimi vplivi.



Slika 4: Načini sanacij fasad po prej opisanem vrstnem redu [30]

Pri tem je potrebno omeniti, da se vsi omenjeni postopki ne nanašajo na energetske sanacije. Pri energetskih sanacijah je cilj jasen; po sanaciji želimo energetsko učinkovito stavbo. V prvi vrsti je potrebno vgraditi dodatno nadstandardno debelino izolativnega materiala. Na osnovi obstoječega stanja fasade se izvajalci odločijo ali je potrebno predhodno odstraniti obstoječ fasadni ovoj. Lahko se na obstoječo fasado doda nov sloj, včasih pa je potrebno fasado dodatno sidrati v stene. Običajno se energetsko sanira celoten fasadni ovoj stavbe.

Najbolj učinkovit način za zmanjšanje količine porabljene energije za ogrevanje in hlajenje stavbe, je prenova zunanjih sten. S tem preprečimo toplotne izgube.

Ločimo več energetsko učinkovitih metod obnove in naknadne vgradnje, ki so povezane z zunanjimi stenami [3]:

- uporaba izolativnih elementov (na notranjem ali zunanem delu zunanjih sten)

Za toplotno izolacijo sten se najpogosteje uporablja material kot je mineralna volna, poliuretan, v preteklosti pa tudi steklena volna. Vgradnjo izolativnih materialov lahko izvedemo na notranji ali zunanji strani zunanjih sten. Pogostejša je izolacija zunanosti zunanjih sten. V tem primeru se toplota ohranja v notranjosti in zmanjšana je možnost za nastanek kondenzacije in vlage v notranjosti. Ker je z izolativnim materialom prekrit celoten zunanji ovoj stavbe, so odpravljeni tudi toplotni mostovi. Izolacijo notranjosti zunanjih sten izvedemo, kadar je stavba ogrevana le krajši čas koledarskega leta.

- uporaba elementov za senčenje

Vgradnja teh elementov pripomore k zmanjšani porabi energije v toplem delu koledarskega leta. Elementi za senčenje namreč preprečujejo, da bi sončno sevanje dodatno ogrevalo zunanje stene in posledično notranjost stavbe. S tem se razbremeni hladilni sistem in privarčuje energija. Običajno se uporabljajo v kombinaciji z uporabo izolativnih materialov.

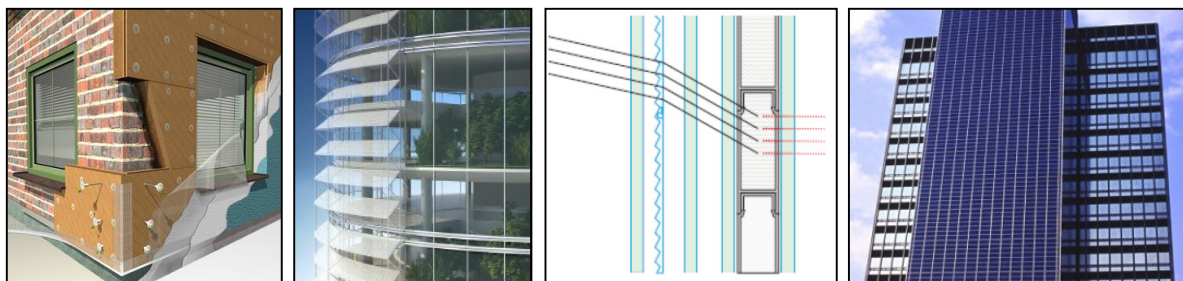
- uporaba transparentnih izolativnih elementov

Gre za priljubljene elemente pasivnega ogrevanja, saj pripomorejo tudi k zmanjšanju porabe fosilnih goriv. Ti elementi izkoriščajo sončno energijo tako, da prepuščajo vsaj 40 odstotkov sončne energije. S tem pride sončna energija do masivnih sten in dodatno segreva zunanjo steno. Za čim boljši izkoristek morajo biti ti elementi na zunanjih stenah primerno in dovolj gosto razporejeni. Vgrajeni

morajo biti na južni strani stavbe, stene pa naj ne bi bile dodatno izolirane. Uporabljajo se samo v ogrevalnem delu koledarskega leta. Glede na lego stavbe in povprečne letne temperature je potrebno najti kompromis med transparentno in klasično izolacijo.

- uporaba fotonapetostnih panelnih elementov

Ti elementi se uporabljajo za izkoriščanje sončne energije. V odvisnosti od strukture sončnih celic, lahko sončno energijo pretvorijo v električno z izkoristkom od 5 do 20 odstotkov. V osnovi ti elementi zgoj zagotavljajo dodatno energijo za obratovanje stavbe, tako da morajo biti zunanje stene še vedno primerno toplotno izolirane. Običajno se tovrstni paneli vgrajujejo na strehe, kjer so vizualno manj moteči. Zaradi kota, pod katerim padajo sončni žarki na streho, dosežejo boljši izkoristek, vendar pa so napredki vidni tudi na tem področju.



Slika 5: Energetsko učinkovite metode obnove po prej opisanem vrstnem redu [39], [4], [38], [7]

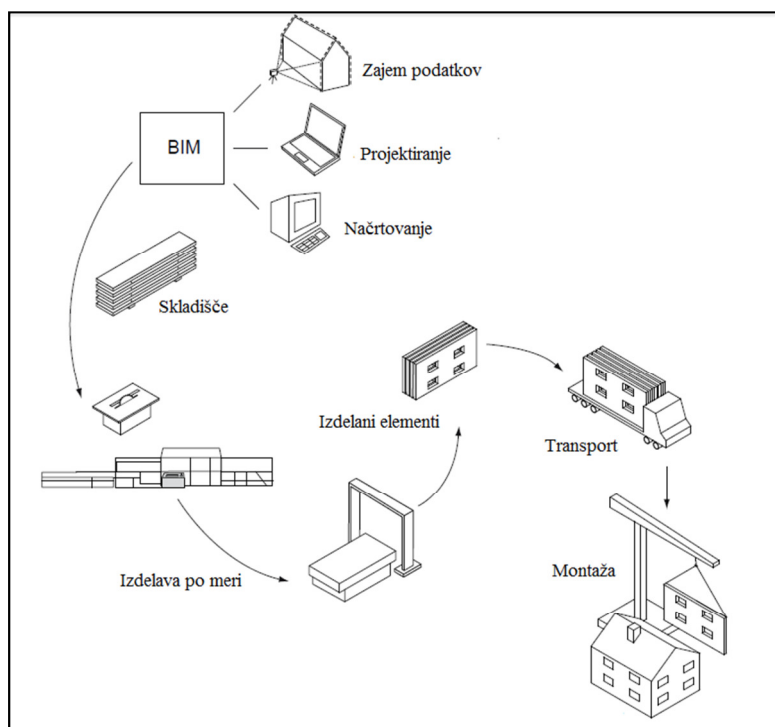
Fasadni sistemi so sestavljeni iz elementov, ki ščitijo stavbo pred vremenskimi, temperaturnimi in zvočnimi vplivi. Vrsta uporabljenega fasadnega sistema je odvisna od vrste in velikosti stavbe, njene namembnosti in pa tudi zahtev glede načrtovanja na lokalni ravni. Z zunanjim videzom namreč stavba lahko zelo vpliva na ostale stavbe v soseski. Upoštevati je potrebno tudi sodobno načrtovanje in arhitekturo. V Sloveniji na obstoječih stavbah prevladujejo klasične fasade z (ne)ustrezno debelino izolativnega materiala in končnim slojem, ki je običajno fasadni (apeno-cementni) omet. Pri enodružinskih stavbah je temu še vedno tako, pri večstanovanjskih, poslovnih in javnih stavbah pa trendi narekujejo uporabo sodobnih materialov. Sestavni deli fasadnih elementov so tako lahko iz stekla, kovine (jeklo, pločevina, aluminij), kerrock materiala, lesa ali kombinacije le teh. Aktualne so tudi plošče sestavljene iz različnih slojev. Skupno jim je to, da sredinski sloj predstavlja visokoizolativni material, zunanji sloj pa je zaščitni. Pomembna lastnost uporabljenih materialov je požarna varnost. Fasadni ovoj mora izpolnjevati zahteve glede požarne varnosti, zato je predvsem pri uporabi lesenih elementov potrebno precej pozornosti nameniti tudi temu.

Z izboljšavo materialov, ki se vgrajujejo, se spreminjajo tudi tehnike izdelave in vgradnje fasadnih elementov. Za klasične metode sanacij in izdelav fasad velja, da je njihova izvedba omejena na določen del koledarskega leta. Zaradi prenizkih temperatur v zimskem času, tako uporabljena lepila,

premazi in ometi ne morejo biti kakovostno vgrajeni oziroma ne bodo optimalno služili svojemu namenu. Poleg tega je na delovišču ob stavbi potrebno postaviti gradbeni oder, ki omogoča dostop do celotnega fasadnega ovoja. Postopek sanacije ob obsežnejših delih lahko traja tudi več mesecev. Gradbeni oder, gradbišče in hrup so v tem času vizualno moteči, motijo obratovanje stavbe, stanovalce in okolico. V izogib vsem tem težavam in povečanju možnosti izvedbe gradbenih del preko celotnega koledarskega leta, se vse bolj uveljavljajo predhodno izdelani fasadni elementi, ki bistveno skrajšajo čas sanacije.

4.4 Predhodno izdelani fasadni elementi

Novosti v tehnologiji in gradbeništvu so usmerjene v povečano uporabo montažnih elementov. Z zmanjšanjem del na sami stavbi se kažejo gospodarske koristi, saj se izognemo nepredvidenim težavam in stroškom ter povečamo produktivnost. Gradbena industrija se spreminja in ne temelji več samo na obrti, ampak tudi na znanju. Predvsem proces projektiranja postaja vse bolj prefinjen in vključuje veliko potrebnega znanja. Gradbena dela še vedno temeljijo na obrti, vendar pa morajo delavci poznati vedno več sistemov in orodij, tako v fazi proizvodnje kot tudi vgradnje. Tudi za predhodno izdelane fasadne elemente lahko uporabimo različne materiale. Vseeno pa prevladujejo obnovljivi viri kot je les, saj je lahek in enostavnejši tako za obdelavo kot tudi za montažo. Njegova pomanjkljivost je požarna varnost, ki pa jo rešujejo z različnimi premazi in kombinacijo z drugimi materiali.

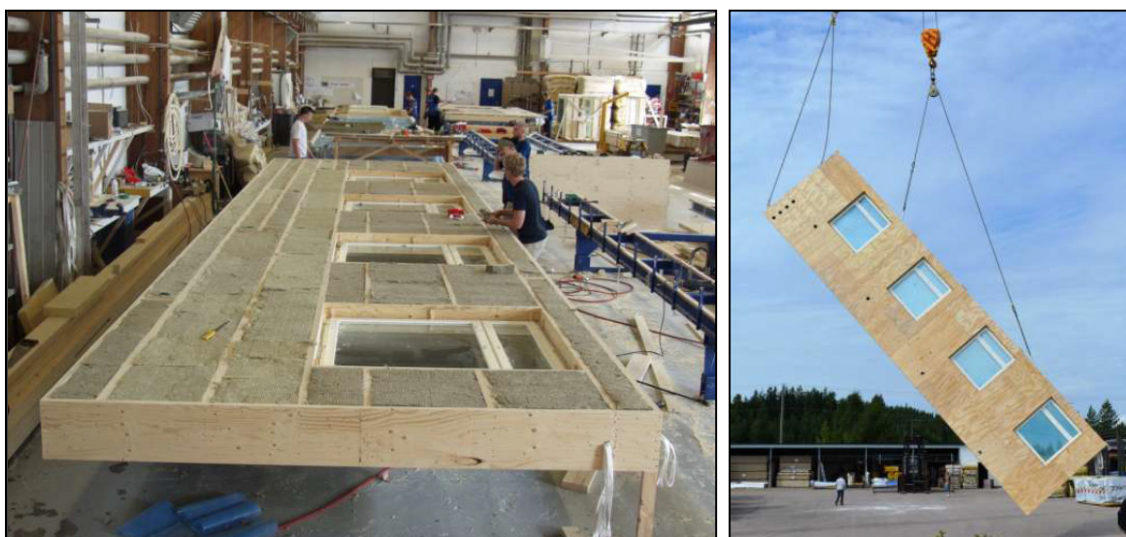


Slika 6: Postopek od zajema podatkov do montaže predhodno izdelanih fasadnih elementov [16], str. 59

Preglednica 1: Povezanost in časovno zaporedje posameznih korakov sanacije s predhodno izdelanimi fasadnimi elementi [16], str. 60

Zajem podatkov	█
Gradbena dokumentacija	█
Ponudba/pogodba	█
Načrtovanje proizvodnje	█
Naročilo materiala	█
Proizvodnja	█
Montaža	█

Kot smo že omenili, nas najbolj zanimajo sanacije, ki vključujejo predhodno izdelane fasadne elemente. Ti elementi so izdelani po naročilu v tovarnah. S primernimi transportnimi vozili se jih nato pripelje do stavbe in vgradi na zunanje stene. Pri vseh prednostih pa ta način zahteva precej višjo stopnjo natančnosti, tako načrtovanja in izdelave kot tudi vgradnje. Pri uporabi steklenih ali kovinskih elementov je zahtevana natančnost v rangu nekaj milimetrov, pri lesenih materialih pa je ta toleranca nekoliko višja. Osnova za doseganje tako visoke natančnosti je kakovosten in izrazit 3D model obstoječega stanja fasade, ki mora čim podrobneje in natančneje prikazovati dejansko stanje stavbe. V nasprotnem primeru je namreč načrtovanje in proizvodnja predhodno izdelanih fasadnih elementov zelo tvegana. Podatke za izdelavo 3D modela stavbe lahko zajamemo na različne načine. Glede na prikaz postopka na sliki 6 vidimo, da lahko geodeti sodelujemo pri prvem koraku, kjer je potrebno zajeti prostorske podatke in zadnjem, kjer je potrebno projektirane elemente umestiti v prostor.



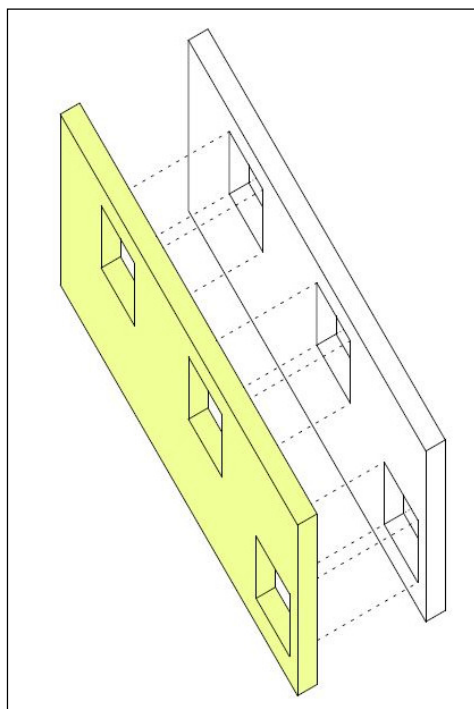
Slika 7: Izdelava fasadnih elementov v tovarni in montaža na terenu [19]

Pri uporabi predhodno izdelanih fasadnih elementov poznamo več stopenj, ki se delijo glede na kompleksnost vgradnih elementov. Tako so za najnižje stopnje značilni enostavni elementi kot so

posamezni odrezani deli plošč in se stopnjujejo preko stenskih okvirjev do popolnoma končanih in toplotno izoliranih delov sten, ki lahko vključujejo tudi oblogo in okna. Stopnjo predizdelave se določi na osnovi geometrije obstoječe fasadne konstrukcije in v dogovoru z izvajalcem del [16].

Prednosti visoke stopnje predhodno izdelanih fasadnih elementov [16]:

- izboljšana hitrost, kakovost in trajnost gradnje,
- poenostavljena vgradnja na terenu,
- izboljšana toplotna učinkovitost in učinkovito upravljanje z vlago,
- prilagojena proizvodnja v tovarniških obratih,
- predvidljivost stroškov in časovnega plana.



Slika 8: Predhodno izdelan fasadni element se mora popolnoma prilegati na obstoječo fasado [16], str. 62

5 GEODETSKE METODE IZMERE FASAD

Zajem podatkov in digitalni delovni proces sta ključnega pomena pri prenovi s predhodno izdelanimi fasadnimi elementi. Zato bomo v tem poglavju obravnavali zahteve in metodologijo zajema podatkov obstoječega stanja na terenu.

Zaradi pomanjkanja ustrezne dokumentacije o dejanskem stanju obstoječe fasade lahko pride do napak pri ocenjevanju, netočne ponudbe in celo dodatnih terenskih del na gradbišču. Ocenjuje se, da je z boljšim zajemom dejanskega stanja, mogoče prihraniti od dva do pet odstotkov celotnih stroškov. Pregled oziroma opazovanje stavbe je torej prvi pomemben korak v procesu obnove [16].

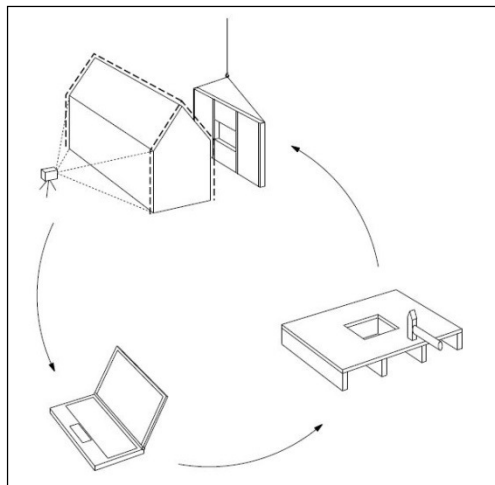
Ločimo dva vidika zajema obstoječega stanja fasade [16]:

- Vzpostavitev digitalnega 3D modela stavbe in fasade, na katerega se morajo ujemati montažni elementi. Elemente se pritrdi na obstoječe strukture brez dodatnih prilagajanj elementov na delovišču ob montaži. Velikost in dimenzije elementov so natančno opredeljene.
- Dokumentiranje posebnih značilnosti fasade in celotne stavbe, ki bi lahko vplivale na vgradnjo elementov ali naknadno poslabšale izboljšano učinkovitost izrabe energije. Gre za analitičen proces, ki lahko vključuje tudi zapiske, skice in fotografije, z namenom opozarjanja na možne obstoječe poškodbe na fasadi.

Negeometrijski podatki so prav tako pomembni kot geometrijski. Za potrebe obnove moramo zbrati vse razpoložljive podatke o obstoječem stanju stavbe. Zbrane podatke združimo v celoto. V času pridobivanja dokumentacije in izdelave montažnih delov morajo biti ti podatki dostopni vsem sodelujočim v procesu obnove. S tem skrajšamo celoten čas obnove in se izognemo raznim neusklajenostim. Praktične izkušnje so pokazale, da je zelo pomembno sodelovanje v vseh fazah obnove. Prav tako je v proces potrebno vključiti tudi naročnika, s čimer zmanjšamo morebitno kasnejše nezadovoljstvo.

Izbira merske metode zajema podatkov je odvisna od [16]:

- gradnje obstoječe stavbe (nosilne in nenosilne zunanje stene),
- postopka izdelave in
- transporta montažnih delov.



Slika 9: Poenostavljen proces od zajema prostorskih podatkov do montaže [16], str. 16

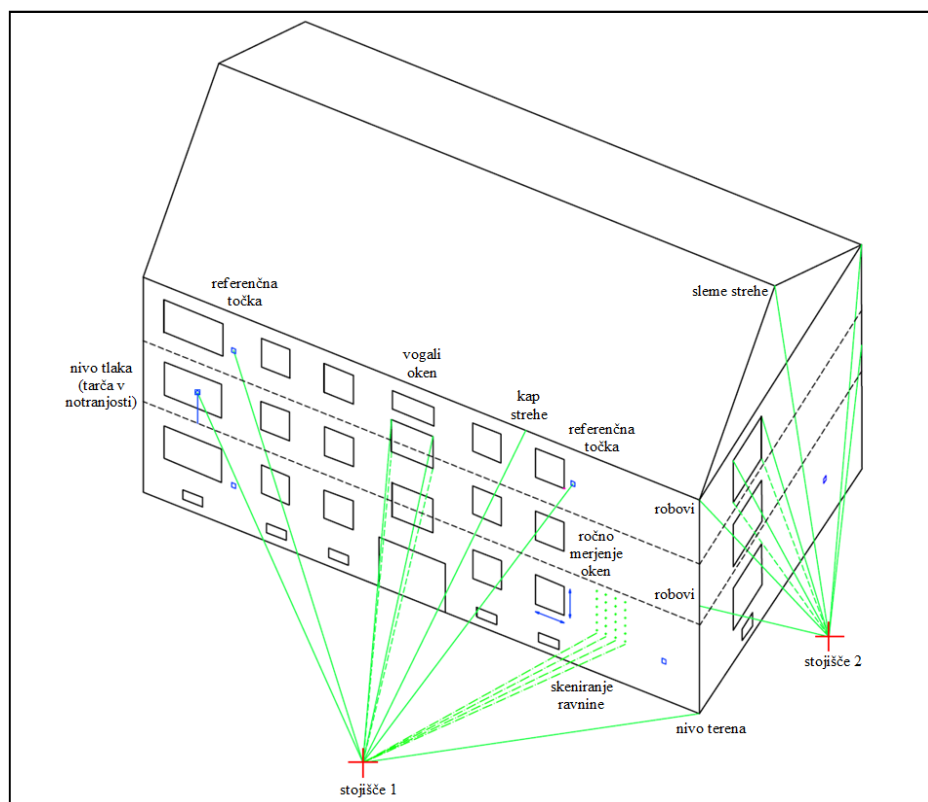
Značilne točke, ki jih moramo pridobiti in zajeti na obstoječi stavbi ter prikazati na 3D modelu so [16]:

- višina in širina fasad (zunanji robovi in vogali),
- geometrija slemena in kapi strehe,
- natančna lokacija in dimenzije obstoječe okenske odprtine,
- natančna višina strukturnih delov, ki bodo služili kot osnova za pritrditev novih elementov na steno (npr. betonske talne plošče v stavbah ali nenosilne zunanje stene),
- posebnosti, kot so neravnine na fasadnih površinah, ukrivljenost in nagnjenost sten,
- višina terena po celotnem obsegu stavbe,
- referenčna višina in horizontalna ravnina označena v 3D modelu in na stavbi,
- osnovne referenčne točke na vsaki fasadni površini in v 3D modelu namenjene za prilagoditev fasadnih delov pri montaži,
- lokalni koordinatni sistem za vsako fasadno ravnino.

V geodeziji poznamo različne metode za zajem prostorskih podatkov. Razdelimo jih lahko na kontaktne in brezkontaktne metode, glede na način določitve položaja pa ločimo lokalne in globalne metode. V primeru izmere fasad so po našem mnenju primerne lokalne metode. S koordinatami znanih točk v enem od globalnih koordinatnih sistemov pa rezultate teh metod lahko umestimo tudi v izbran globalni koordinatni sistem. Kar pa se tiče kontaktnosti, sta za zajem podatkov fasad primerni obe skupini metod. Za potrebe izmer značilnosti obstoječe fasade je pogojno uporabna tudi metoda merjenja dolžin z ročnim elektronskim razdaljemerom. Pogoj je, da imamo na voljo gradbeni načrt stavbe. Glede na zastavljen namen in cilj tega magistrskega dela bomo v nadaljevanju podrobneje obravnavali le kontaktne geodetske metode, pri čemer imamo v mislih klasično terestrično izmero in terestrično lasersko skeniranje. V zadnjem odstavku tega poglavja bomo primerjali omenjene geodetske metode izmere. V predstavitev razlik bomo vključili tudi fotogrametrijo in ročne meritve.

5.1 Klasična terestrična metoda izmere

Klasično terestrično metodo izmere izvajamo s tahimetrom. Imenujemo jo tudi tahimetrija. Osnova za izmero je geodetska mreža točk z znanimi koordinatami. Pred pričetkom izmere je potrebno določiti koordinate stojišča instrumenta. Na voljo imamo različne metode orientacije. Koordinate novih detajlnih točk v prostoru najpogosteje določamo s polarno metode izmere, pri kateri merimo horizontalne smeri, zenitne razdalje in poševne dolžine. Ob sočasni uporabi reflektorja, klasična metoda geodetske izmere še vedno velja za najnatančnejšo metodo določitve položaja v prostoru. Z razvojem merske opreme, nam instrumenti omogočajo tudi izmero dolžin in s tem določitev prostorskih koordinat brez uporabe reflektorja. Gre za nekoliko manj natančno metodo, ki temelji na odboju svetlobnega žarka. Omogoča nam določitev točke na nedostopnih mestih z zadostno natančnostjo, nekoliko bolj vprašljiva pa je točnost. Po opravljeni terenski izmeri posnete detajlne točke prenesemo na računalnik, kjer sledi nadaljnja obdelava. V splošnem za klasično metodo geodetske izmere velja, da zajemamo karakteristične točke objekta. Posnetih točk mora biti vsaj toliko, da lahko na podlagi teh točk izrišemo celoten objekt. V primeru poškodb na fasadi je zajem podatkov za analizo neravnin zahtevnejši. Običajno je terenska izmera zamudna in nam da omejeno število točk. Hkrati pa je zaradi svojih značilnosti primernejša za objekte pravilnih in enostavnih oblik [14], [28].



Slika 10: Razporeditev merskih točk na objektu [16], str. 73

5.2 Terestrično lasersko skeniranje

Terestrično lasersko skeniranje izvajamo s terestričnim laserskim skenerjem. Instrument deluje na principu laserskega žarka. Glavni pogoj, ki mora biti izpolnjen za uspešno skeniranje je, da obravnavan objekt omogoča odboj laserskega žarka. Lastnosti odboja so v največji meri odvisne od odbojne površine. Žarek potuje od instrumenta do objekta, kjer se odbije in potuje nazaj. Dolžina se izračuna na osnovi časovnega intervala potovanja signala od oddajnika do sprejemnika, meritve faznih razlik ali trikotniške mreže. Posledično ločimo impulzne, fazne in triangulacijske skenerje. Metoda merjenja dolžin neposredno vpliva na domet in natančnost skeniranja. Pomembne lastnosti skenerjev pa so tudi hitrost zajema točk, vidno polje in gostota skeniranja [2], [28].

Skeniranje je izvedeno z enim ali dvema gibljivima zrcaloma v notranjosti, ki omogočata spremembe odklonskega kota žarka. Za vsako točko poleg prostorskih koordinat pridobimo tudi intenziteto odboja. Koordinate so podane v lokalnem koordinatnem sistemu z izhodiščem v središču skenerja. Poleg obravnavanega objekta pridobimo tudi podatke iz okolice. Laserski žarek se namreč odbije od vseh predmetov, ki so v njegovem dosegu. Območje, ki ga ne obravnavamo, imenujemo šum in ga moramo odstraniti iz naknadne obdelave. Za to lahko uporabimo programsko opremo z algoritmi ali pa jih odstranimo ročno. Na območjih, kjer so slabo odbojne površine ali pa ni predmetov, ki bi odbijali signal, nastanejo območja brez podatkov. Rezultat skeniranja na terenu je množica prostorskih točk, ki jo imenujemo oblak točk [2], [28].

Če je objekt prevelik ali preveč razgiban, da bi ga lahko zajeli z enega stojišča, ga skeniramo z več stojišč. Pri tem pridobimo skenogram. Vsak skenogram je v svojem lokalnem koordinatnem sistemu. Skenogram je zato potrebno registrirati, da dobimo oblak točk v enotnem koordinatnem sistemu. Za potrebe registracije skenogramov že pred izmero na in ob opazovan objekt namestimo reflektivne tarče. Položaje tarč izberemo tako, da jih z vsakega stojišča vidimo čim več. Te tarče imajo lastnost visoke odbojnosti, tako da jih v oblaku točk enostavneje najdemo. Večina programske opreme, ki je prilagojena za obdelavo skenogramov, pa jih tudi avtomatsko zazna. Če želimo oblak točk umestiti v katerega od globalnih koordinatnih sistemov, moramo oblak točk georeferencirati. Za ta namen določimo referenčne točke s koordinatami v izbranem koordinatnem sistemu ali pa koordinate določimo kar veznim točkam, ki služijo tudi za registracijo [2], [28].

Očitno je, da za končni izdelek porabimo še precej časa tudi v pisarni. Po odstranitvi šumov in transformaciji oblaka točk v želen koordinatni sistem, sledijo še druge tehnike, s katerimi izboljšamo končni izdelek. Običajno oblak točk filtriramo ter s tem zmanjšamo število točk. Največji problem je namreč še vedno obdelava oblakov točk, saj vsebujejo ogromno količino podatkov. Na osnovi obdelanega oblaka točk, izdelamo 3D model, ki služi za prikaz rezultatov naročniku in nadaljnjo obdelavo ter uporabo [2], [28].

5.3 Primerjava in razlike med geodetskimi metodami izmere

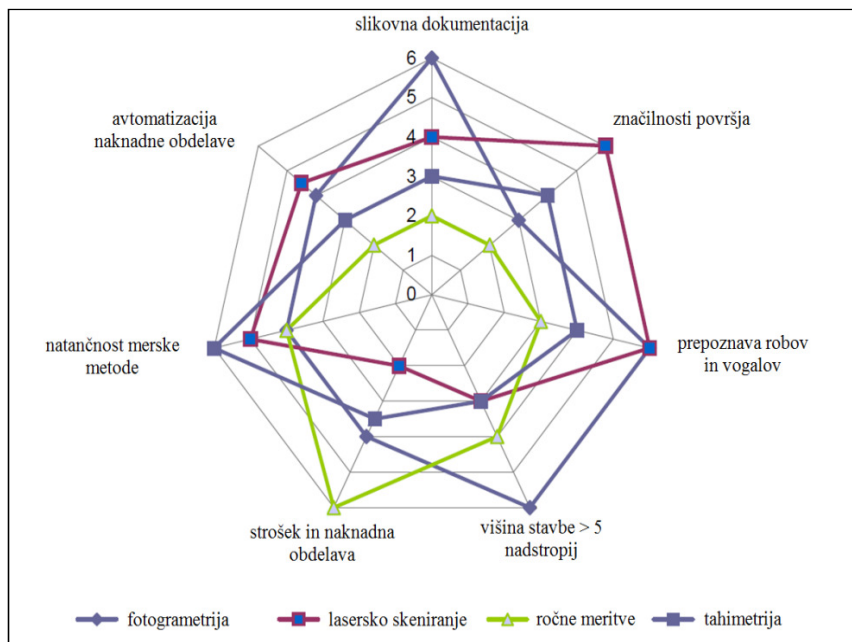
Jasno je, da ima vsaka metoda svoje prednosti in pa tudi slabosti. Redko katero podjetje razpolaga z instrumentarijem, ki bi mu omogočalo uporabo katerekoli metode. Izbira je namreč pogojena tudi s ceno opreme in vsakdanjo uporabo.

Kriteriji za primerjavo so različni. Nekaj smo jih predstavili v preglednici 2. V prvi vrsti nas je zanimala cena merske opreme in izmere ter hitrost opravljenih meritev. Za najdražjo opremo ocenjujemo opremo za izvedbo laserskega skeniranja, medtem ko za ročne meritve ne potrebujemo drage opreme. Meritve so najhitreje izvedene z laserskim skenerjem, pri katerem pa sledi še precej naknadne obdelave. Za samo izmero je pomembno, ali se med meritvami pojavljajo kakšne motnje oziroma, če lahko zajamemo vse točke na stavbi ter po potrebi vključimo tudi notranjost. Vsaka metoda ima omejitve glede skritih točk, pri fotogrametriji pa je pomembna tudi osvetljenost. Načeloma lahko z vsako metodo zajamemo tudi notranjost, vendar pa smo tu upoštevali, da je stojišče instrumenta izven stavbe. Tako ima največjo prednost tahimetrija, saj lahko prizmo postavimo tudi v notranjost stavbe. Pri končnem izdelku najprej opazimo stopnjo podrobnosti in celovitost modela. Tu ima največjo prednost lasersko skeniranje. Geometrijske značilnosti seveda lahko zajamemo tudi s tahimetrijo, vendar pa za to porabimo več časa. Pri skeniranju moramo gostoto posnetih točk določiti že med izmero. Če med obdelavo ugotovimo, da bi potrebovali večjo gostoto posnetih točk, se moramo vrniti na teren in ponoviti izmero.

Preglednica 2: Primernost posamezne merske tehnike [16]

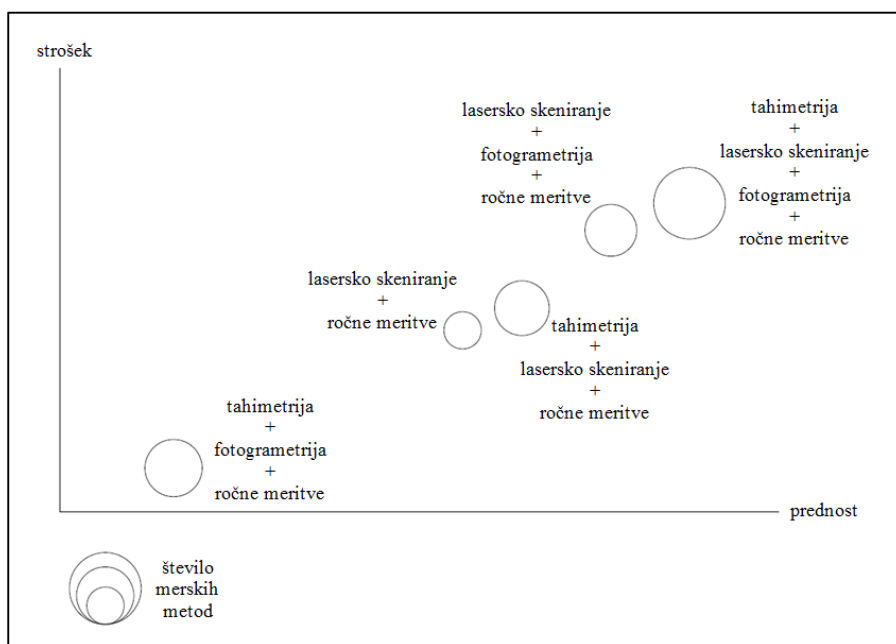
	Ročne meritve	Fotogrametrija	Tahimetrija	Lasersko skeniranje
Geometrijske značilnosti	-	+	++	++
Stopnja podrobnosti	-	++	○	+
Celovitost modela	-	+	○	++
Vključevanje notranjosti	○	○	++	++
Analize	-	○	+	++
Hitrost merjenja	○	+	○	++
Motnje, skrite točke	○	○	+	○
Cena opreme in izmere	++	+	○	-

Očitno je, da se ročne meritve ne morejo primerjati z ostalimi metodami. Imajo pa ostale tri metode več prednosti, zato smo naredili še eno primerjavo, ki je prikazana na sliki 11. Prikazuje tako imenovan diagram pajkove mreže, ki obravnava vpliv različnih parametrov na merske metode zajema prostorskih podatkov. Večja kot je številka oziroma bolj po robu mreže kot poteka, večja je prednost te metode. Prednost fotogrametrije je predvsem v slikovni dokumentaciji in možnosti zajema visokih stavb, tahimetrija dosega najvišje natančnosti, lasersko skeniranje pa zajame največ značilnosti površja in je najprimernejše za razgiban relief ter kompleksne oblike.



Slika 11: Vpliv parametrov na različne merske tehnike [16], str. 64

Glede na preglednico 2 in sliko 11, ki prikazujeta prednosti in slabosti posamezne merske tehnike, ne moremo zagotovo trditi, katera metoda je najboljša. Izbira je pogojena z dejanskim primerom, zato za vsako nalogo znova izbiramo najprimernejšo metodo glede na zahtevane kriterije naročnika. Če bi od vsake metode izbrali le prednosti in jih uporabili hkrati, bi verjetno dosegli najoptimalnejši rezultat. Bi pa s tem povečali tako obseg dela kot tudi časovni okvir izdelave ter tudi stroške opreme in izmere. V nadaljevanju smo na sliki 12 prikazali možnost združitve merskih metod ter pri tem upoštevali prednosti, ki jih pridobimo in tudi stroške, ki pri tem nastanejo. Pri vseh opcijah smo vključili tudi ročne meritve predvsem kot kontrolo relativnih dimenzij.



Slika 12: Razmerje med stroški in prednostmi skupno uporabljenih merskih metod [16], str. 65

Razvidno je, da največ prednosti pridobimo z združitvijo vseh merskih metod, vendar pa pri tem nastanejo tudi najvišji stroški. Glede na to, da smo se v naši nalogi omejili le na kontaktne metode zajema prostorskih podatkov, je za nas najbolj zanimiva združitev tahimetrije in laserskega skeniranja. Lahko rečemo, da bi z združitvijo teh dveh merskih tehnik dobili boljše rezultate, kot če bi uporabili le eno od obeh metod. Ker že obstaja možnost združitve omenjenih tehnik v en sistem, bi bilo za zajem prostorskih podatkov to najbolj optimalno. S tem delno že odgovarjamo na začetno vprašanje o izbiri ustrezne merske opreme, vendar pa smo vseeno nadaljevali še s terensko izmero in referenčnim primerom.

6 MODELIRANJE IN 3D MODELI STAVB

Po končanih meritvah je potrebno rezultate predstaviti v obliki, uporabni za celotno ekipo projektiranja, inženiringa in proizvodnje. Takšna oblika so 3D modeli, ki jih lahko predstavimo na naslednje načine [16]:

- popolno registriran in filtriran oblak točk visoke ločljivosti
Pridobimo ga kot rezultat laserskega skeniranja. Možno je vključiti tudi notranjost. Okenske odprtine in drugo stavbno pohištvo je geometrijsko modelirano v primerni programski opremi.
- 3D žični model fasade
Pridobljen je z eno izmed že opisanih merskih tehnik. Gre za interpretacijo in idealizacijo 3D merskih podatkov. Nujno potrebne pa so dodatne informacije o topografiji fasade.
- 3D ploskovni model
Dobimo ga z izboljšanjem žičnega modela, in sicer s triangulacijo fasadne površine. Ta način je zelo dober približek realnosti, če je zagotovljena dovolj visoka gostota mreže.
- 3D volumenski model
Model vključuje tudi notranjost. Pridobimo ga kot rezultat laserskega skeniranja, pri čemer je zelo pomembna natančna naknadna obdelava in modeliranje oblaka točk. Potrebne so dodatne informacije o topografiji fasade.

Ko omenimo modeliranje 3D objektov, imamo v mislih izdelavo in prikaz modelov tridimenzionalnih objektov. Ločimo različne metode modeliranja 3D prostorskih objektov, najpogostejše med njimi pa so [32]:

- žično modeliranje (*wire frame model*),
- akumulativno modeliranje (*B-Rep- Boundary representation*) in
- proizvodno modeliranje (*CSG- Constructive Solid Geometry*).

Poleg kvalitetnega in celovitega zajema podatkov obstoječega stanja fasade je pomembna tudi ta značilnost, da za potrebe izdelave predhodno izdelanih fasadnih elementov potrebujemo CAD model. V postopku proizvodnje koncept izdelave del namreč temelji na fizičnem modelu brez uporabe inženirskega risanja. Tak proces imenujemo obrnjeno inženirstvo.

Ločimo dva inženirska pristopa, in sicer [33]:

- razvojno inženirstvo ter
- obrnjeno inženirstvo.

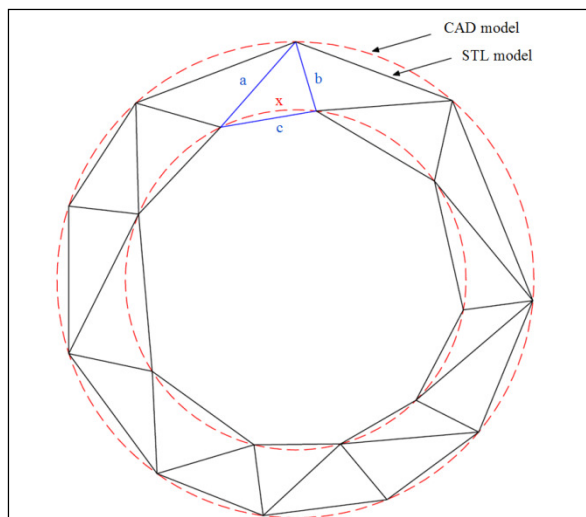
Razvojno inženirstvo je prevladujoč metodološki pristop, ki proizvede nov ali spremenjen sistem, ter izhaja iz začetnih postavk in danosti. Nasprotno pa obrnjeno inženirstvo izhaja iz sistema, ki obstaja in deluje. Obrnjeno inženirstvo (*RE-reverse engineering*) je torej postopek opredelitve analitičnih zahtev in razvojnega načrta na podlagi lastnosti delujočega operativnega sistema. Sestavlja ga postopek razstavitve obstoječega modela informacijskega sistema in njegova vnovična obnovljena ali spremenjena izgradnja, ki je potrebna zaradi uporabe sodobnejše tehnologije ali spremenjenih uporabniških zahtev. Temelji na vnovični obdelavi in ponovitvi razvojnega inženirskega postopka ter izdelavi izboljšanega načrta delujočega sistema [33].

Obrnjeno inženirstvo uporabljamo zlasti pri [33]:

- rekonstrukciji dela ali celote sistema zaradi spremenjenih uporabniških zahtev,
- prenovi dela ali celote sistema zaradi spremenjenih tehnoloških razmer,
- povezovanju med različnimi sistemi,
- analizi in optimizaciji obstoječega sistema.

Strojništvo in zobozdravstvo že izkoriščata prednosti, ki jih omogoča obrnjeno inženirstvo za izdelavo posameznih komponent, ki se morajo prilagati naključnim in neravnim površinam. V našem primeru je potrebno zagotoviti prileganje oken obstoječim zidnim odprtinam in omejiti fizično razliko med obstoječimi in novimi fasadnimi elementi. Glavna prednost pa je, da naknadna obdelava ni več potrebna [16].

Za proizvodnjo montažnih delov fasade je torej potrebno zagotoviti 3D model za načrtovalce in oblikovalce. Najpogosteje se uporablja datotečni format DWG, lahko pa tudi odprt datotečni format kot je STL. Format STL (*Standard Triangle Language* ali *Standard Tessellation Language*) je datotečni format za izmenjavo podatkov in hitro izdelavo prototipov. Opisuje zgolj površinsko geometrijo tridimenzionalnega objekta brez dodanih atributov kot so barve teksture in podobno. Površino objekta predstavi s trikotniki in bolj zapletena kot je površina, več trikotnikov je potrebnih za izdelavo [1].



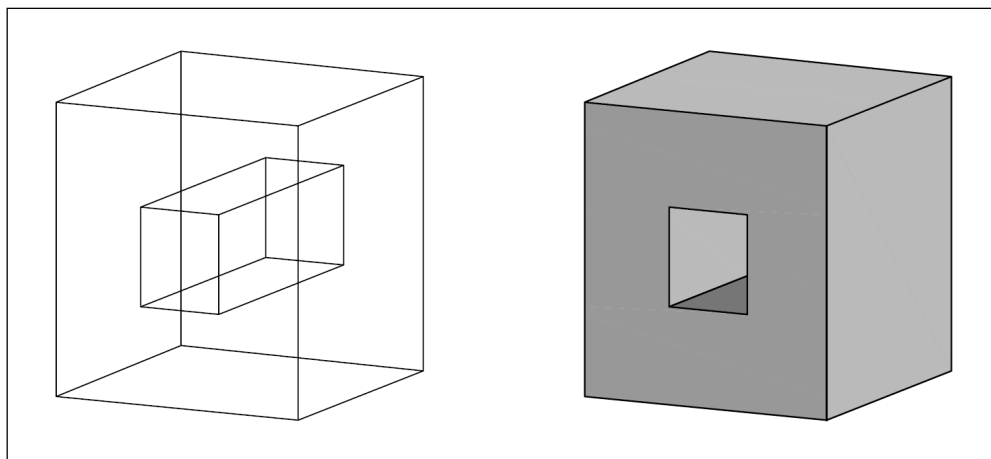
Slika 13: Primerjava CAD in STL modela [41]

Tako kot sestava in uporaba 3D prostorskih podatkov, je pomembna tudi izmenjava le teh. Slednja je še posebej pomembna zaradi vse večjega števila uporabnikov, različnih aplikativnih področij in integracije podatkov. Izmenjavo omogočajo in zastopajo različni odprti izmenjevalni formati, npr. 3DMLW, COLLADA, IFC in U3D. Za naš primer je aktualen IFC podatkovni model. IFC (*Industry Foundation Classes*) je v osnovi nevtralna in odprta specifikacija. Je objektno usmerjen datotečni format, katerega zapis temelji na semantičnem 3D objektnem podatkovnem modelu. Za predstavitev 3D stavb uporablja konstruktivne sestavine kot so stebri, stene, konzole itd. Omejitev predstavlja izbira koordinatnega sistema in vključevanje topografskih objektov kot so teren, vegetacija in druga infrastruktura. Osrednji namen IFC formata je zagotavljanje medopravilnosti med CAD orodji za področja arhitekture in gradbeništva, ter je podlaga za projekte v tehnologiji BIM [31].

6.1 Žično modeliranje

Žično modeliranje je enostaven pristop za načrtovanje in prikazovanje 3D objektov v računalniški grafiki. Žični model se sestavi s povezovanjem vozlišč 3D objekta. Vozlišča običajno povezujemo s premimi linijami, lahko tudi s krivuljami, za kar pa je potrebnih več točk. Vizualizacija je preprosta zaradi zgolj dveh topoloških elementov. To sta točka in linija. Baza podatkov tako vsebuje informacije o vozliščih in povezavah med njimi, ki so zbrane v tabeli vozlišč in v tabeli segmentov. Položaj modela je podan z nizom karakterističnih točk v prostoru, ki povezane med seboj tvorijo robove. Zaključene linije pa nato tvorijo robne ploskve, ki so običajno pravilni geometrični liki, kot so trikotniki, mnogokotniki, krogi in podobno. Žični model je uporaben za prikaz posameznih dimenzij objekta. Pri stavbi običajno z njim prikažemo tloris temeljev, ostrešje, zunanje zidove in zidne odprtine. Na zaslonu se objekt prikaže kot žično ogrodje, na katerega lahko dodajamo nanose. Je torej osnova za ploskovne modele. Najpogosteje se na ploskve nanašajo ortofoto posnetki. Izris žičnih modelov na zaslonu je hiter, zato je takšen prikaz primeren za ponazoritev 3D objektov v fazi

načrtovanja, ko je potrebno hitro sprotno grafično prikazovanje. Takšen prikaz modela je primeren za uporabnika, ki je sposoben interpretirati vsebino. Težava je namreč v tem, da ne moremo opredeliti vidnosti vseh linij, zato je predstavitev takega modela nekoliko omejena in v nekaterih primerih celo dvoumna [14], [31].



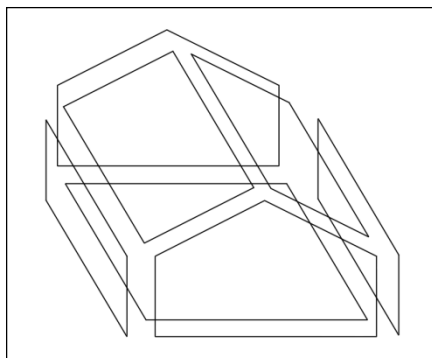
Slika 14: Primer žične upodobitve 3D objekta na levi in z dodanimi nanosi na desni [31], str. 696

V računalniški grafiki je torej izdelava 3D modelov razvojni proces, v katerem se z ustrezno programsko opremo sestavi matematična predstavitev izbranega 3D objekta. Rezultat takega postopka je 3D model skeleta objekta. Žični model zato lahko poimenujemo tudi tradicionalni matematični model. Bolj pomembna, predvsem pa dovršena pa sta zlasti naslednja dva pristopa, ki izhajata vsak iz svojega tehnološkega področja [32].

6.2 Akumulativno modeliranje

Akumulativno modeliranje oziroma predstavitev z robnimi ploskvami določa 3D objekt s pomočjo detajlnih robnih ploskev, ki s stiki na robovih obdajajo telo in s tem določajo njegovo prostornino. Oblike predmetov so predstavljene z uporabo omejitev. Objekt, opredeljen z mejnimi ploskvami, ima sklenjen zunanji videz in zaprto notranjost. Za sestavo lupine telesa je pomembna orientacija mejnih ploskev. Ta se določi s smerjo normalnega vektorja ploskve. Modeli so sestavljeni iz dveh delov, in sicer topologije in geometrije. Glavni topološki gradniki so vozlišče, rob in ploskev. Topologija podaja topološke odnose med njimi, vključno z usmerjenostjo, povezljivostjo in zaporednostjo. Pristop je primeren za ponazoritev 3D objektov, za katere so merjene vse značilne točke. Tako je tudi zapletene poliedre mogoče obravnavati kot celovito geometrično telo. Tovrstno modeliranje podpirajo GIS (*Geographical Information System*) sistemi oziroma geografski informacijski sistemi. Osrednji cilj 3D GIS podpore je razvoj celovitega prostorskega objekta. Opazno je, da v obstoječih rešitvah GIS orodja zaostajajo za rešitvami v CAD okolju. Zagotoviti je namreč potrebno podporo za prostorske analize različnih tipov 3D objektov. Največja težava oziroma omejitev je prikazovanje 2D prostora kot

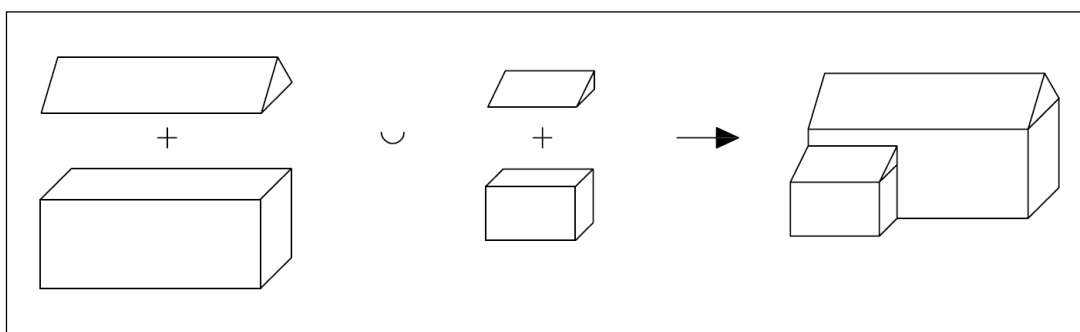
prevladujoč osnovni model realnosti v velikih bazah prostorskih podatkov. Hkrati pa je ovira tudi potreba po zgolj kakovostni vizualizaciji 3D objektov [31], [32].



Slika 15: Primer akumulativnega modeliranja [31], str. 698

6.3 *Proizvodno modeliranje*

Proizvodno modeliranje ali konstrukcijska geometrija teles je tehnika modeliranja, ki omogoča ustvarjanje kompleksnih modelov s kombiniranjem osnovnih predmetov, ki se imenujejo gradniki. Za njih je značilno, da so preprostih oblik, na primer kocka, krogla, valj, stožec, piramida itd. Gradniki se sestavljajo v ciljni sestavljeni objekt s pomočjo raznih operatorjev kot so seštevanje, odštevanje, presek, unija in podobno. Gradniki so v osnovni ali izpeljani obliki podani kot objektni tipi, ki so v fazi modeliranja uporabljeni kot sestavni objekti. V primeru uporabe izpeljanih gradnikov so običajno potrebne določene pretvorbe (premiki) in linearne transformacije. Pristop je primeren za modeliranje 3D objektov s CAD orodji. CAD (*Computer Aided Design*) je kratica za računalniško podprto načrtovanje [31], [32].



Slika 16: Primer proizvodnega modeliranja [31], str. 698

Računalniško podprto načrtovanje se tradicionalno uporablja v različnih strokah za podroben inženirski razvoj načrtov. Omogoča številne in raznovrstne tehnološke rešitve za izdelavo in načrtovanje 3D modelov obstoječih ali navideznih objektov. Sodoben metodološki pristop k 3D modeliranju na področju CAD pa je BIM [31].

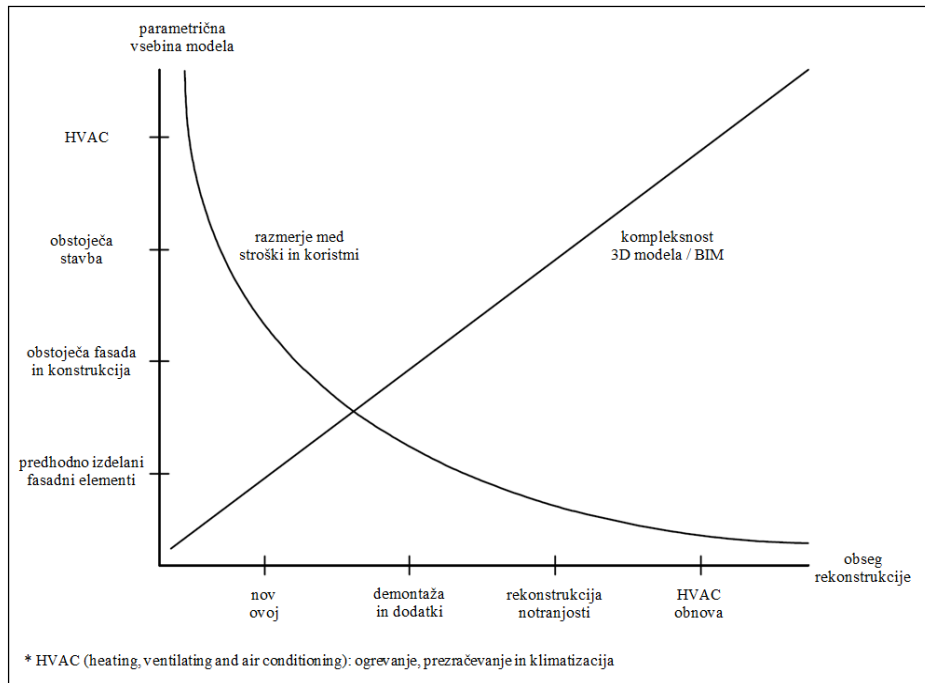
6.4 BIM modeli

BIM (*Building information modeling*) ali informacijski model objekta je digitalna predstavitev fizičnih in funkcionalnih značilnosti zgradbe, ki tvori temeljno osnovo, zanesljiv vir znanja in deljive podatke o zgradbi za odločanje med njenim celotnim življenjskim ciklom. Predstavlja nov sodoben proces načrtovanja, gradnje in vzdrževanja objektov ter integriran proces vseh udeležencev projekta na skupnem digitalnem modelu. Osnovni cilj je povečana produktivnost tako med načrtovanjem in gradnjo kot vzdrževanjem objekta. Razvojni proces temelji na modelu stavbe, ki vključuje podrobno geometrijo stavbe, prostorska razmerja, geografijo okolice ter druge kvantitativne in opisne podatke o stavbi in njenih sestavinah. Predstavlja predvsem podroben 3D model notranjosti stavbe, ki je zgrajena z volumskimi 3D gradniki in tehniko proizvodnega modeliranja [31].

V BIM modelih je zajeto vse, kar je znanega o določeni stavbi. BIM model tako v eni podatkovni bazi zagotavlja enotne informacije o celotni stavbi. Uporabimo jih lahko na različne načine predvsem zaradi dejstva, da BIM strojno pridobiva podatke iz virtualnih modelov. Med prednosti takega pristopa lahko štejemo prostorsko preverjanje napak, energetske analize, popis potrebnega materiala ter oceno stroškov. Druga prednost pa je sprotno obveščanje arhitektov, inženirjev in oblikovalcev o učinkih morebitnih sprememb na modelu. Tako strokovno znanje kot praktične izkušnje kažejo na to, da z BIM modeli ustvarimo trajnostno zgrajene stavbe, ki so energetske in stroškovno bolj učinkovite [16].

Kadar geometrični digitalni model vsebuje zgolj tridimenzionalne podatke brez dodatnih atributov, ga ne moremo opredeliti kot BIM model. Taki modeli se lahko uporabljajo zgolj za grafične vizualizacije in nimajo inteligence na objektnem nivoju. Lahko torej rečemo, da so uporabni za vizualizacijo, vendar ne zagotavljajo podpore za povezovanje podatkov in načrtovalske analize. Po drugi strani pa je iz geometričnih podatkov možno izračunati in pridobiti vse potrebne informacije za geometrijsko pravilno izdelavo montažnih delov [16].

Graf na sliki 17 prikazuje kvalitativno razmerje med koristmi in stroški ter kompleksnost modela z uporabo kombinacije sodobne in klasične merske tehnike. Izkušnje kažejo, da je zahtevano natančnost in celovitost modela mogoče zagotoviti na več načinov. S tem so povezani tudi stroški. Za 3D model celotne fasade znašajo od 2,5 do 4,0 €/m² (cena kvadratnega metra fasade je pridobljena na podlagi nemškega trga ponudnikov tovrstnih storitev v letih 2008 in 2009). Metoda terestričnega laserskega skeniranja je tako primerljiva s kombinacijo tahimetrije in fotogrametrije. Ker pa se je cena laserskega skeniranja zadnja leta zmanjševala, ima ta metoda v prihodnosti dobro perspektivo za 3D zajem in obdelavo podatkov [16].



Slika 17: Razmerje med stroški in kompleksnostjo 3D modelov [16], str. 81

Integrirano sodelovanje med oblikovalci, izvajalci in investitorji v celotnem procesu načrtovanja je torej ključnega pomena in omogoča pospešitev projektov in jih s tem naredi tudi stroškovno učinkovite. Večji kot je obseg obnove na obstoječi stavbi, bolj kompleksen bo model in manjše bo razmerje med koristmi in stroški za celoten projekt.

7 REFERENČNI PRIMER

Za potrebe izdelave te naloge smo potrebovali referenčni primer. Da bi lahko preverili v uvodu postavljene hipoteze in v celoti sami rešili zastavljen problem, smo iskali primerno stavbo, ki bi nam to omogočala. Želeli smo, da stavba ne bi bila prezahtevna v smislu geometrije. Predvsem pa je bilo pomembno, da smo imeli dostop do stavbe, kar je pri zasebnih lastninah bistvenega pomena. Ob izbiri stavbe smo upoštevali tudi dejansko potrebo po energetske sanaciji stavbe. Hkrati smo se povezali z enim izmed ponudnikov tovrstnih storitev, z željo, da bi bil končni izdelek tudi praktično uporaben.

7.1 Opis stavbe

Referenčno stavbo smo našli v Ljubljani, točneje na Rojčevi ulici številka 19 in 21. Gre za večstanovanjsko stavbo z dvema vhodoma. V tlorisu stavba meri približno 24 krat 40 metrov in ima poleg kleti in visokega pritličja še štiri nadstropja in podstrešje. V višino meri približno 17,5 metrov. V okolici stavbe se nahajajo garaže, parkirišče za stanovalce in še ena podobna simetrična stavba.



Slika 18: Obravnavana stavba; pogled na zahodno in južno fasado (Vir: GoogleEarth)

Izbrana stavba je bila zgrajena leta 1960, kar pomeni, da je več kot primerna za energetske sanacije. Posledično so na fasadi tudi vidne poškodbe, ponekod že odpada omet. Fasada je kombinirana z ometom v dveh barvah in opeko. S svojo daljšo stranjo je stavba orientirana v smeri sever-jug. Vhoda sta na zahodni strani. Krajši stranici sta brez oken in drugih detajlov, ter tako ne predstavljata problemov tako za zajem podatkov kot za samo sanacijo. Izstopajočih balkonov ni, imajo pa nekatera stanovanja na zunanjih stenah nameščene naprave za klimatiziranje prostorov. Okna so različnih dimenzij vendar po nadstropjih simetrična. Nekatera so že bila zamenjana, nekatera pa so še vedno iz časa izgradnje stavbe. Kletna okna imajo dodatno nameščene zaščitne rešetke.

7.2 Oglad terena in plan izmere

Po izbiri ustrezne stavbe je najprej sledil ogled stavbe in njene okolice. Z ogledom smo želeli pridobiti informacije o dejanskem stanju obravnavane stavbe in dobiti občutek o poteku same terenske izmere.



Slika 19: Obravnavana stavba; pogled na južno in vzhodno fasado

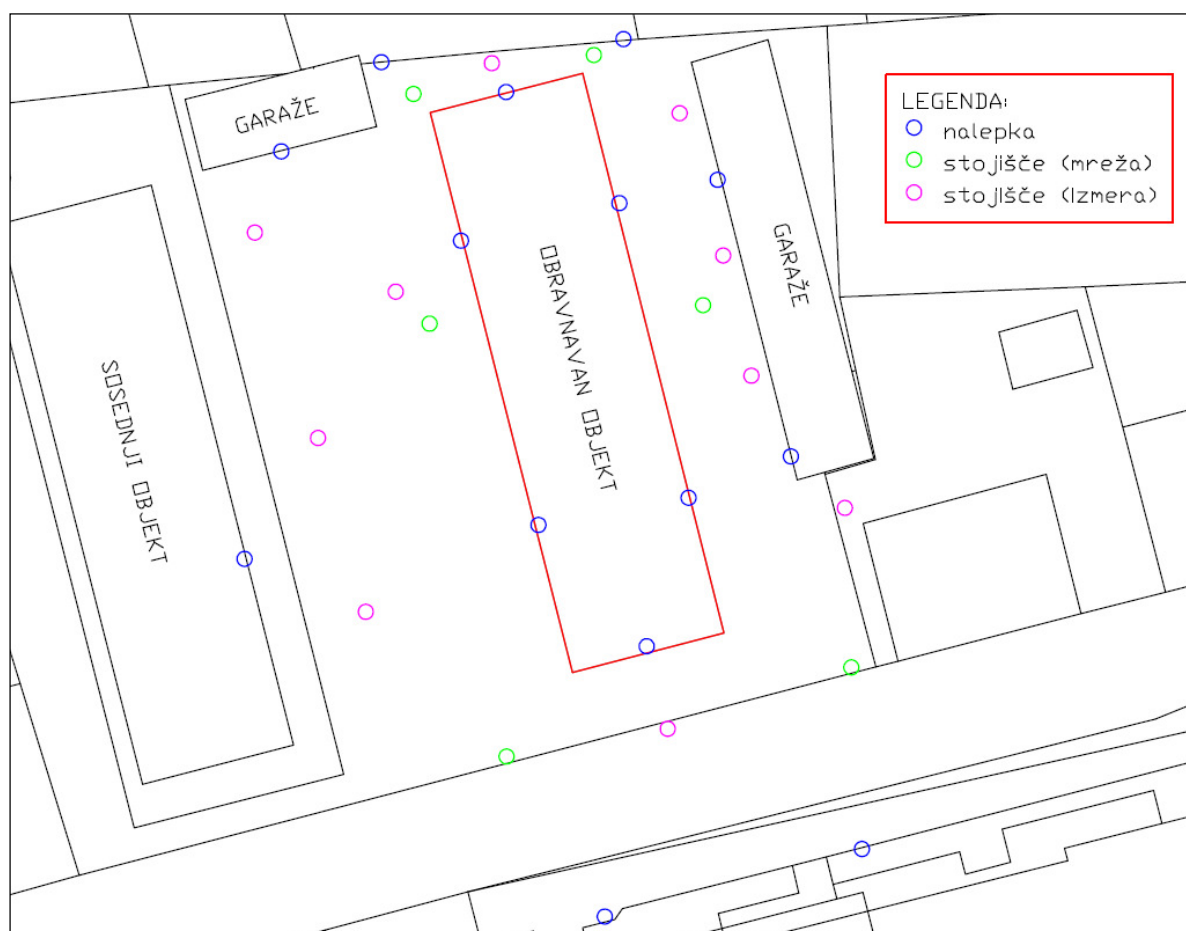
Ob ogledu smo opazili, da so na fasadi že nastale poškodbe, predvsem na ometu. Po dogovoru s predstavnikom podjetja za energetske sanacije in odločitvi o izbiri merske metode, smo se odločili, da bomo robove fasade posplošili. Podjetja po trenutnih postopkih sanacij predpostavijo, da je obstoječa fasada pravih oblik, odstopanja pa pavšalno ocenijo. Poškodbe na obstoječi fasadi so prikazane na sliki 20. Prav tako je na tej sliki prikazan detajl okenske police, ki so na obravnavani stavbi izdelane iz pločevine in zaradi svoje specifičnosti zahtevne za zajem. Glede na prakso podjetij iz predhodnih sanacij, zajemajo okenske police v tekočih metrih, tako da smo se odločili, da okenskih polic ne bomo detajlno snemali.



Slika 20: Poškodbe na fasadi stavbe in detajl okenske police

Po končanem ogledu smo naredili popis elementov fasade, ki naj bi jih zajeli v fazi meritev in izdelali plan poteka izmere. Odločili smo se, da bomo zajeli vogale stavbe brez strehe, vse zidne odprtine vključno s špaletami, oba vhoda skupaj z nadstreškom ter na fasadi ločili omet od opeke. Prav tako pa smo se odločili, da žlebov in naprav za klimatiziranje, ki so nameščene na zunanjih stenah, ne bomo zajemali.

Sledila je izdelava plana izmere. Terensko izmero smo razdelili na dva dela, in sicer na izmero geodetske mreže ter detajlno izmero fasade. Razlog za to je v sami organizaciji izmere. Predvideli smo tudi, da bo za detajlno izmero potrebnega več časa in smo zanj planirali cel dan terenskega dela. Ob izmeri mreže pa smo nekaj časa namenili tudi signalizaciji in stabilizaciji referenčnih ter veznih točk. Po opravljenem prvem delu izmere smo morali podatke še obdelati in izravnati mrežo.



Slika 21: Plan terenske izmere

Pri izdelavi plana smo upoštevali približno število potrebnih stojišč za zajem vsega detajla. Na podlagi tega podatka smo predvideli, koliko referenčnih točk potrebujemo za določitev položaja stojišča in na koncu dodali še vsa stojišča veznih točk za izmero celotne mreže. Na sliki 21 je prikazan plan terminske izmere, ki vključuje referenčne točke v modri barvi, stojišča za detajlno izmero v magenta barvi in stojišča veznih točk geodetske mreže v zeleni barvi.

7.3 Meritve

Meritve smo opravili v dveh delih. V prvem delu smo izmerili geodetsko mrežo. Meritve geodetske mreže so potekale 29. maja 2015, detajlna izmera fasade pa 17. junija 2015. V nadaljevanju je opisana uporabljena merska oprema vključno s predstavitvijo instrumenta, potek in način izmere geodetske mreže ter nato še zajem obstoječega stanja fasade. S terenskim delom smo pričeli po osmi uri zjutraj, ko se je nekoliko sprostilo parkirišče v okolici stavbe. Pri izmeri geodetske mreže so sodelovale tri osebe, predvsem zaradi hitrejše postavitve vseh veznih točk in obračanja reflektorjev med samo izmero. Za detajlno izmero pa sta zadostovali dve osebi. Operaterju na instrumentu je bil v pomoč figurant, ki je držal reflektor in beležil že posnet detajl.

7.3.1 Instrumentarij in merski pribor

Za izmero smo uporabili instrument proizvajalca Leica, natančneje Leica Nova MS50. Gre za tako imenovan *MultiStation*, ki predstavlja mejnike v merski tehnologiji, prinaša inovativnost tehnologij in omogoča združitev različnih metod zajema prostorskih podatkov.



Slika 22: Uporabljen instrument Leica Nova MS50 MultiStation

Izbran instrument ponuja nepredstavljen celovit zajem prostorskih podatkov, saj združuje številne inovativne in sofisticirane tehnologije, ki poskrbijo za preproste delovne postopke. Je prvi instrument na svetu, ki v eni napravi združuje vse učinkovite merske tehnologije. S tem omogoča raznolik zajem prostorskih podatkov, saj omogoča 3D skeniranje, natančne tahimetrične meritve (tudi brez uporabe reflektorja na dolgih razdaljah), slikovno zajemanje in povezovanje z GNSS tehnologijo [13]. Na sliki 22 je prikazan uporabljen instrument, v preglednici 3 pa njegove specifikacije.

Poleg instrumenta smo za izmero geodetske mreže uporabili še stativo, precizne reflektorje, podnožja in peclje. Na vsakem stojišču instrumenta smo dodatno merili tudi temperaturo in zračni pritisk. Izmerjene vrednosti smo vnesli v instrument, ki je izračunal in upošteval atmosferski popravek dolžin (*ppm* popravek), ki je pomemben pri merjenju dolžin. Za stabilizacijo in signalizacijo referenčnih točk smo uporabili odbojne reflektivne nalepke. Pri detajlni izmeri fasad smo od dodatne opreme uporabili okular, ki omogoča viziranje strmih vizur, kar nam je poenostavilo zajem podatkov v višjih nadstropjih.

Preglednica 3: Specifikacije instrumenta Leica Nova MS50 [13]

Merjenje kotov:	
Natančnost	1"
Merjenje razdalj:	
Z reflektorjem (doseg / natančnost)	10000 m / 1 mm ; 1.5 ppm
Brez reflektorja (doseg / natančnost)	2000 m / 2 mm ; 2 ppm
Velikost pike laserskega žarka	8 mm x 20 mm na razdalji 50 m
Skeniranje:	
Hitrost vrtenja s piezo motornimi pogoni	180° / s
Hitrost / največji doseg / šum	1000 Hz / 300 m / 1.0 mm na razdalji 50 m
	250 Hz / 400 m / 0.8 mm na razdalji 50 m
	62 Hz / 500 m / 0.6 mm na razdalji 50 m
	1 Hz / 1000 m / 0.6 mm na razdalji 50 m
Splošno:	
Temperaturno območje delovanja	- 20°C do + 50°C

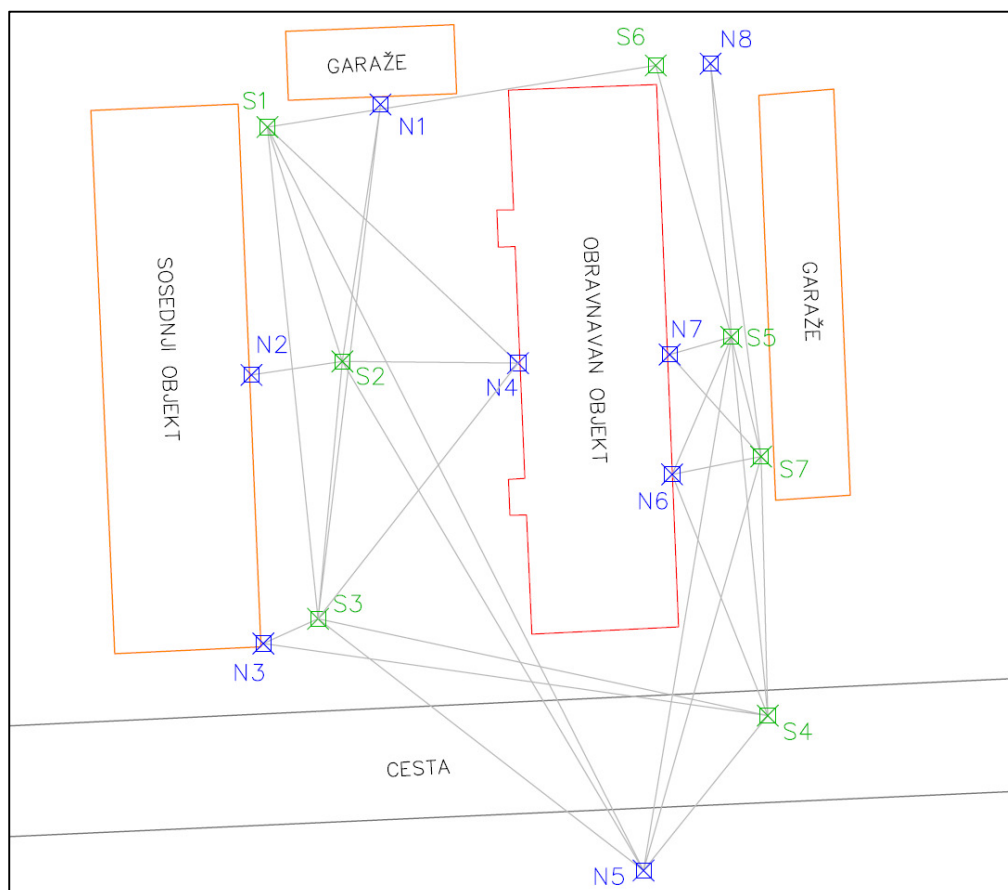
7.3.2 Geodetska mreža

Pred pričetkom meritev geodetske mreže smo morali stabilizirati referenčne točke. Kot že omenjeno, smo uporabili reflektivne nalepke, ki omogočajo enolično viziranje in imajo dobro odbojno površino. Število točk v mreži in njena geometrija sta se nekoliko razlikovali od predvidene v planu izmere. Uporabili smo osem nalepk, ki smo jih namestili na sosednje objekte in tudi na obravnavano stavbo. Sosednje objekte smo uporabili zaradi ohranitve mreže točk ob morebitni sanaciji fasade. Če bi se ob sanaciji pokazala potreba po zakoličbi fasadnih elementov, bi tako lahko izhajali iz iste geodetske mreže. Vseeno pa smo tri nalepke namestili tudi na obravnavano stavbo in s tem izboljšali geometrijo mreže. Stojišča veznih točk smo izbrali tako, da niso bila moteča na terenu in smo pustili prost prehod tako za avtomobile kot tudi za pešce. Vezne točke namreč niso bile trajno stabilizirane, tako da so morali stativi ostati na istem mestu skozi celotno izmero mreže. Dodatni pogoj pa je bil, da je bila vsaka referenčna točka vidna vsaj z dveh veznih točk. S tem smo zagotovili nadštevilne meritve in izboljšali natančnost določitve položaja referenčnih točk. Razporeditev referenčnih in veznih točk je prikazana na sliki 24. Na sliki so s predpono N označene referenčne točke, s predpono S pa vezne točke. Dodatno so v preglednici 4 navedene koordinate referenčnih točk.



Slika 23: Signalizacija referenčnih točk

Geodetska mreža in s tem referenčne točke ter celotna izmerjena stavba so pozicionirane v lokalnem koordinatnem sistemu. Meritve geodetske mreže smo opravili po girusni metodi. Z vsakega stojišča smo merili horizontalne smeri, zenitne razdalje in poševne dolžine proti vsem vidnim referenčnim in veznim točkam. Instrument je pri merjenju dolžin samodejno upošteval atmosferski popravek dolžin. Pri meritvah na vezne točke, ki so bile signalizirane s preciznimi reflektorji, smo uporabili sistem avtomatskega viziranja, na referenčne točke, ki so bile signalizirane z odbojnimi nalepkami, pa smo vizirali ročno. Na vseh stojiščih smo opravili po tri giruse in ob zaključku dela na stojišču kontrolirali kakovost izvedenih meritev, zaradi prisotnosti morebitnih grobih napak med meritvami. Primer poročila o izračunu sredine girusov na enem stojišču je dodan v prilogi A.



Slika 24: Razporeditev referenčnih in veznih točk

Preglednica 4: Koordinate referenčnih točk

Točka	Y [m]	X [m]	h [m]
N1	1008.3011	1001.6582	100.4095
N2	998.8265	981.8144	100.5561
N3	999.6896	962.1019	100.5241
N4	1018.4120	982.6799	100.4902
N5	1027.6241	945.4491	99.8787
N6	1029.7349	974.5133	100.3896
N7	1029.5494	983.2974	100.4087
N8	1032.5449	1004.6482	100.4639

7.3.3 Zajem obstoječega stanja fasade

Zajem obstoječega stanja fasade smo razdelili na dva dela. Glede na izbor instrumenta, ki nam omogoča zajem podatkov z različnimi merskimi tehnikami in postavk v uvodu magistrskega dela, smo se odločili, da za zajem obstoječega stanja fasade uporabimo klasično tahimetrično metodo izmere in terestrično lasersko skeniranje. Zajem se tako deli glede na uporabljeno metodo. Instrument sicer z istega stojišča omogoča uporabo različnih merskih tehnik.



Slika 25: Obravnavana stavba; pogled na zahodno fasado

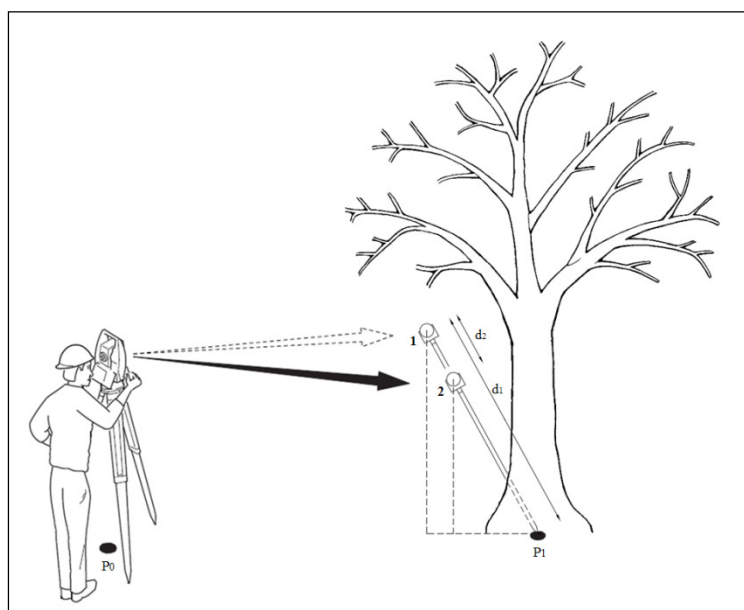
Glede na enostavnost severne in južne fasade, ki ne vsebujeta posebnih detajlov, smo se odločili, da bodo vsa stojišča za izvedbo meritev ob vzhodni in zahodni fasadi. Za zajem vseh podatkov smo potrebovali šest stojišč in eno dodatno stojišče za testno skeniranje izbranega detajla. Za terenski zajem celotnega detajla obstoječe fasade smo porabili en delovni dan.

Za zajem obstoječe stavbe smo vsako stojišče instrumenta skrbno izbrali. Paziti smo morali, da smo z vsakega stojišča videli vsaj tri referenčne točke. Na podlagi meritev na te tri referenčne točke smo določili položaj instrumenta z metodo prostega stojišča. Hkrati smo kontrolirali natančnost določitve stojišča. Primer poročila o izračunu prostega stojišča za stojišče ST1 je dodano v prilogi C, koordinate in natančnost vseh stojišč pa v preglednici 5.

Preglednica 5: Koordinate stojišč instrumenta in natančnosti njihove določitve

Stojišče	Y [m]	X [m]	h [m]	σY [m]	σX [m]	σh [m]
ST1	1035.7448	993.0684	99.8886	0.0011	0.0010	0.0002
ST2	1036.8459	971.9515	100.2898	0.0003	0.0003	0.0004
ST3	1035.6520	997.7218	99.9898	0.0001	0.0001	0.0007
ST4	1007.5035	995.3313	99.8594	0.0009	0.0009	0.0002
ST5	1012.4410	966.0505	99.9366	0.0004	0.0004	0.0003
ST6	1013.5710	990.4576	99.8621	0.0011	0.0012	0.0003
ST7	1013.4035	960.4367	99.9283	0.0005	0.0004	0.0003

Poleg pogoja vidnosti referenčnih točk smo morali upoštevati tudi vidnost detajla na fasadi. Zaradi bližine sosednjih objektov in dreves so bila stojišča izbrana relativno blizu obravnavane stavbe. Posledično smo imeli nekaj težav z viziranjem v višja nadstropja, ki pa smo jih rešili s pomočjo nastavka na okularju. Vseeno je zaradi kota vizur zakrit določen detajl (npr. spodnja notranja točka okenske odprtine). Težavo skritih točk lahko odpravimo z uporabo kompleta dveh reflektorjev. To metodo smo uporabili na kletnih oknih, ki so imela nameščene rešetke. Uporaba takega kompleta je prikazana na sliki 27. Enak sistem bi lahko uporabili tudi na ostalih oknih in detajlu, vendar se zato, predvsem zaradi dostopa preko lastniških stanovanj, nismo odločili.



Slika 26: Shematičen prikaz postopka in principa merjenja skrite točke [5], [18]

Nekateri instrumenti imajo nameščeno dodatno programsko opremo, ki nas vodi skozi postopek meritev skrite točke. Najprej je potrebno vnesti nekaj nastavitvev. Izbiramo lahko med uporabo dveh ali treh reflektorjev. Poznati je potrebno še dolžino togega grezila (d_1) in razdaljo med reflektorjema (d_2). Poljubno lahko nastavimo še tolerančni parameter oziroma dopustno odstopanje, ki nas opozori, če je prišlo do grobe napake. Do te lahko pride, če meritev nismo opravili z zadostno natančnostjo, smo zamenjali vrstni red reflektorjev, vnesli napačno dolžino togega grezila oziroma razdaljo med reflektorjema ali pa se je komplet reflektorjev med izmero premaknil. Najprej izmerimo horizontalno smer, zenitno razdaljo in poševno dolžino proti reflektorju 1 in nato še proti reflektorju 2. S tem določimo položaj posameznega reflektorja v prostoru. Med postopkom izmere instrument ustvari pomožne točke, ki jih po naši presoji po koncu izračuna lahko izbriše in shrani samo koordinate iskane točke P_1 [18].

Bistvo merjenja skritih točk je zajem prostorskih koordinat točke, ki ni direktno vidna s stojišča instrumenta. Uporabimo jo predvsem, kadar je nemogoče zajeti ves detajl ali pa bi za to potrebovali precej več stojišč. Metoda temelji na principu podobnostnih trikotnikov. Pomembno je predvsem, da se položaj reflektorjev v času merjenja ne spremeni. Če poznamo oziroma izmerimo koordinate obeh reflektorjev, enostavno izračunamo koordinate iskane točke [5]:

$$Y_{P_1} = Y_2 - \left[\frac{(Y_2 - Y_1)}{((d_1 - d_2) - d_1)} \cdot (d_1 - d_2) \right],$$

$$X_{P_1} = X_2 - \left[\frac{(X_2 - X_1)}{((d_1 - d_2) - d_1)} \cdot (d_1 - d_2) \right],$$

$$h_{P_1} = h_2 - \left[\frac{(h_2 - h_1)}{((d_1 - d_2) - d_1)} \cdot (d_1 - d_2) \right],$$

kjer je:

Y_{P_1} ... Y koordinata točke P_1 ,

Y_1 ... Y koordinata točke 1,

Y_2 ... Y koordinata točke 2,

X_{P_1} ... X koordinata točke P_1 ,

X_1 ... X koordinata točke 1,

X_2 ... X koordinata točke 2,

h_{P_1} ... višina točke P_1 ,

h_1 ... višina točke 1,

h_2 ... višina točke 2,

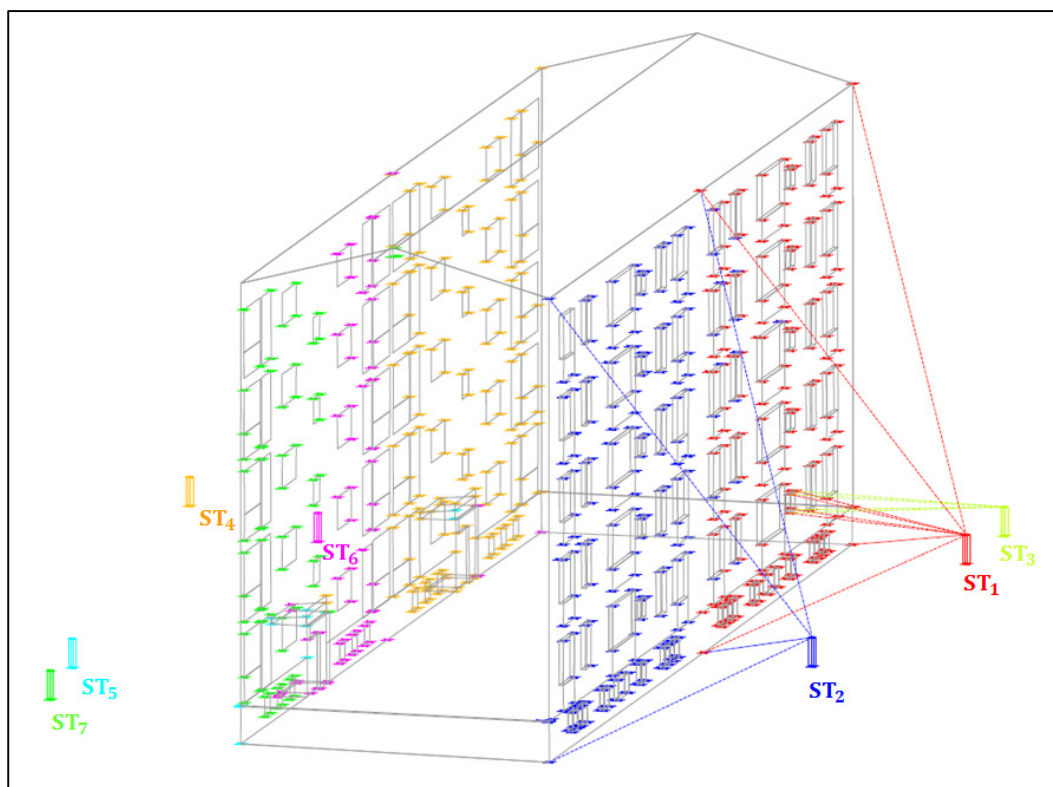
d_1 ... dolžina togega grezila,

d_2 ... razdalja med reflektorjema.



Slika 27: Uporabljen komplet dveh reflektorjev za merjenje skritih točk

Detajl v zgornjih nadstropjih smo tako zajemali s tahimetrom s funkcijo merjenja dolžin brez uporabe reflektorja. Pri grobem viziranju smo si pomagali tudi z vidno lasersko svetlobo, ki nam je kazala mesto viziranja. Za potrebe zajema smo na instrumentu ustvarili kode, ki so ločevale posnet detajl. Ločili smo vogale stavbe, okna, opečni del fasade ter vhod. Uporabili smo linijske kode, kar pomeni, da je instrument sproti povezoval zaporedno posnete točke. Ko smo končali z zajemanjem enega okvirja okna, smo morali linijo prekiniti in začeti znova. S takim načinom dela smo po končanem zajemu dobili že delno izrisan načrt fasade in si olajšali naknadno risanje. Na vzhodni fasadi smo zajemali celotno okensko odprtino do okenskega okvirja, s čimer smo pridobili tudi podatek o globinah okenskih polic in špalet. Na zahodni fasadi pa tega detajla nismo zajemali, smo se pa bolj posvetili vhodu, kjer smo zajeli stopnico pred vhodom in nadstrešek. Izpuščen detajl pri oknih bi lahko tudi naknadno skonstruirali iz podatkov na vzhodni fasadi, saj so vrednosti enake. Vse skupaj smo zajeli več kot šeststo detajlnih točk. Seznam detajlnih točk vključno s koordinatami je dodan v prilogi D. Točke so v prilogi ločene glede na to, s katerega stojišča so bile zajete. Podobno je to z različnimi barvami prikazano tudi na sliki 28. Črte na sliki pa nakazujejo območje skeniranja s posameznega stojišča.



Slika 28: Razporeditev zajetih točk na objektu glede na stojišče instrumenta

Na vzhodni fasadi smo uporabili tudi tehniko terestričnega laserskega skeniranja. Z dveh stojišč smo po končanem detajlnem zajemu izvedli skeniranje celotne stavbe z ločljivostjo pet centimetrov. Dodatno smo izbrali okno v prvem nadstropju in ga detajlno skenirali z ločljivostjo dveh milimetrov. Postopek skeniranja je zelo enostaven. Izbrali smo le območje skeniranja, ki smo ga podali z levim

zgornjim in desnim spodnjim kotom. Instrument nato s pomočjo vgrajenih piezo motorjev sistematično zajema detajl od leve proti desni in od zgoraj navzdol. Poleg prostorskega položaja za vsako točko pridobimo tudi vrednost o intenziteti odboja. Za vsak posamezen oblak točk je bilo potrebnih približno petnajst minut, skupaj pa smo pridobili preko sedemsto tisoč točk.

7.4 Obdelava meritev

Obdelavo meritev smo razdelili na tri dele. Po prvem delu meritev smo najprej obdelali meritve v geodetski mreži. V drugem delu smo izrisali načrt fasade na podlagi tahimetrične detajlne izmere in nato v tretjem še obdelali oblak točk. Cilj obdelave meritev je bil pridobitev in izdelava različnih modelov obstoječega stanja fasade.

7.4.1 Izravnava geodetske mreže

Da smo dobili izravnane koordinate točk v geodetski mreži s pripadajočimi parametri natančnosti, je bilo potrebno izravnati geodetsko mrežo. Mrežo smo izravnali kot prosto, kar pomeni, da nobene točke nismo privzeli kot dane. Tako v postopku izravnave vse točke dobijo popravke. Uporabili smo program *Leica Geo Office*, ki na podlagi vhodnih podatkov izravna prostorsko geodetsko mrežo. Vhodni podatki so opazovanja med točkami in približne koordinate referenčnih ter veznih točk, ki so prikazane v preglednici 6. Podali smo še ocenjene vrednosti natančnosti opazovanj. Poročilo o izravnavi geodetske mreže v obliki izpisa iz uporabljenega programa je dodano v prilogi B. Približne koordinate smo določili že na terenu z meritvami med točkami. V postopku izravnave namreč na rezultate vplivajo tudi približne vrednosti koordinat, zato je pomembno, da so te čim bolj točne.

Preglednica 6: Približne vrednosti koordinat referenčnih in veznih točk

Točka	Y [m]	X [m]	h [m]
N1	1008.2988	1001.6590	100.4096
N2	998.8257	981.8137	100.5563
N3	999.6906	962.1007	100.5240
N4	1018.4086	982.6838	100.4899
N5	1027.6220	945.4485	99.8782
N6	1029.7357	974.5138	100.3903
N7	1029.5534	983.2950	100.4093
N8	1032.5483	1004.6476	100.4643
S1	1000.0001	999.9998	99.9996
S2	1005.4932	982.8051	100.0057
S3	1003.7160	963.9147	100.1510
S4	1036.7561	956.8086	99.7856
S5	1034.0814	984.5999	99.8055
S6	1028.5286	1004.5233	100.2725
S7	1036.2743	975.8254	99.9128

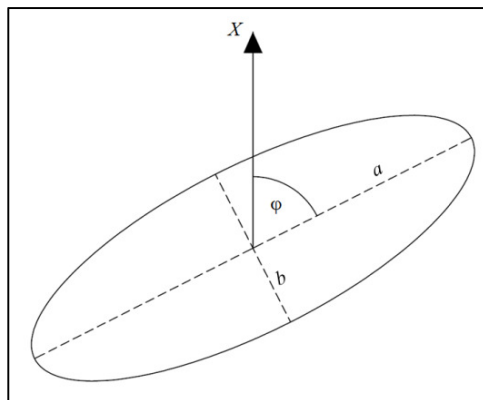
Po izravnavi dobimo izravnane koordinate točk v mreži s pripadajočimi parametri natančnosti. Vrednosti so zbrane v preglednici 7. Program v izhodni datoteki poda parametre natančnosti v obliki standardnih deviacij za posamezno koordinatno os. Mi pa smo dodatno izračunali še vrednost standardnega odklona v prostoru. Ta nam poda popolno informacijo o natančnosti določitve položaja točke v prostoru.

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_Y^2 + \sigma_X^2 + \sigma_h^2}$$

Preglednica 7: Izravnane koordinate referenčnih in veznih točk s pripadajočimi natančnostmi

Točka	Y [m]	X [m]	h [m]	σ_Y [m]	σ_X [m]	σ_h [m]	σ_p [m]
N1	1008.3011	1001.6582	100.4095	0.0002	0.0003	0.0003	0.0005
N2	998.8265	981.8144	100.5561	0.0004	0.0001	0.0001	0.0004
N3	999.6896	962.1019	100.5241	0.0002	0.0001	0.0001	0.0002
N4	1018.4120	982.6799	100.4902	0.0002	0.0001	0.0002	0.0003
N5	1027.6241	945.4491	99.8787	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002
N6	1029.7349	974.5133	100.3896	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002
N7	1029.5494	983.2974	100.4087	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002
N8	1032.5449	1004.6482	100.4639	0.0002	0.0003	0.0003	0.0005
S1	1000.0023	999.9992	99.9997	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002
S2	1005.4941	982.8051	100.0057	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002
S3	1003.7161	963.9143	100.1509	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002
S4	1036.7547	956.8096	99.7856	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002
S5	1034.0796	984.6013	99.8060	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002
S6	1028.5314	1004.5206	100.2734	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002
S7	1036.2721	975.8266	99.9125	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002

Za nas so bile najbolj pomembne koordinate referenčnih točk, ki smo jih potrebovali za detajlni del izmere. Ob pregledu parametrov natančnosti vidimo, da standardne deviacije po posameznih koordinatnih oseh in tudi v prostoru, niso večje od pol milimetra. To je posledica dobre geometrije mreže in kratkih vizur.



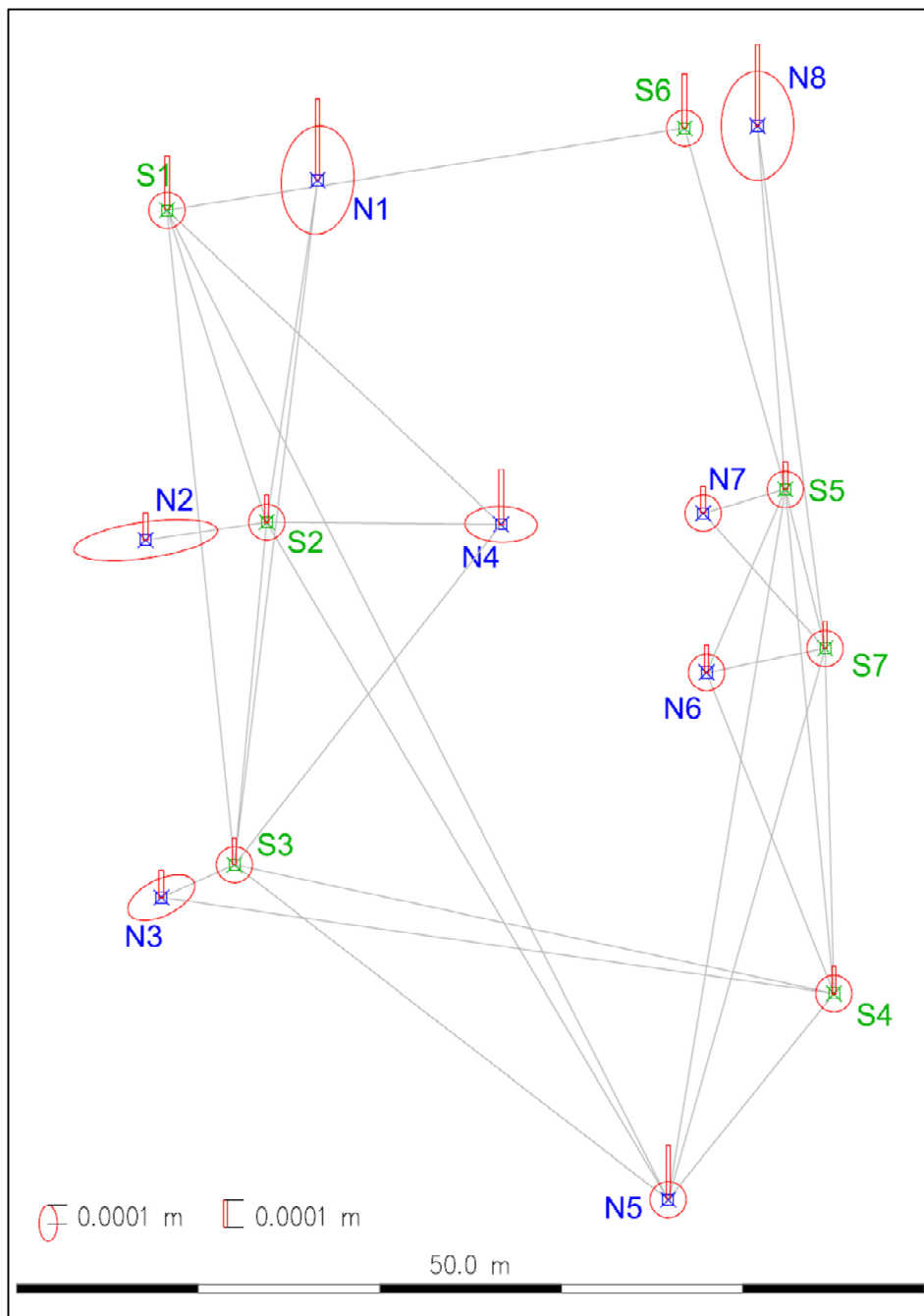
Slika 29: Absolutna elipsa pogreškov [17]

Za grafični prikaz lokalnih mer natančnosti se najpogosteje uporabljajo absolutne elipse pogreškov. Verjetnost, da se izravnana koordinata točke nahaja znotraj absolutne elipse pogreškov, znaša 39,4%. Oblika elipse je določena z velikostjo velike (a) in male (b) polosi, orientacija pa s kotom (φ) med veliko polosjo elipse in X koordinatno osjo (slika 29). Na sliki 30 je za vsako točko izrisana absolutna elipsa pogreškov, parametri elips pa so podani v preglednici 8. Negativen predznak pri orientaciji elipse je posledica načina izračuna kota v programu. S tem je določena smer merjenja kota glede na X koordinatno os, vrednosti pa se nahajajo v razponu od -90° do 90° [17].

Preglednica 8: Parametri absolutnih elips pogreškov za referenčne in vezne točke

Točka	a [m]	b [m]	φ [°]	Hgt [m]
N1	0.0003	0.0002	4	0.0003
N2	0.0004	0.0001	82	0.0001
N3	0.0002	0.0001	64	0.0001
N4	0.0002	0.0001	-88	0.0002
N5	0.0001	0.0001	23	0.0002
N6	0.0001	0.0001	75	0.0001
N7	0.0001	0.0001	-70	0.0001
N8	0.0003	0.0002	0	0.0003
S1	0.0001	0.0001	82	0.0002
S2	0.0001	0.0001	-74	0.0001
S3	0.0001	0.0001	60	0.0001
S4	0.0001	0.0001	15	0.0001
S5	0.0001	0.0001	-16	0.0001
S6	0.0001	0.0001	-60	0.0002
S7	0.0001	0.0001	-44	0.0001

Želja je, da po izravnavi dobimo elipse, ki so po obliki čim bolj podobne krožnicam. Na grafičnem prikazu vidimo, da smo na veznih točkah to uspeli doseči, medtem ko na določenih referenčnih točkah dobimo zelo podolgovate elipse. To je posledica načina signalizacije, ki omogoča viziranje na nalepke zgolj z ene strani. Večji kot je kot viziranja na nalepko, težje je viziranje in slabši so rezultati. Vseeno pa je tak način signalizacije točk odlična izbira, saj dobimo dobre rezultate. Točke so nemoteče v okolju in eliminiran je pogrešek centriranja. Vse dobljene absolutne elipse pogreškov so velikostnega ranga pod pol milimetra, kar je zelo dober rezultat.

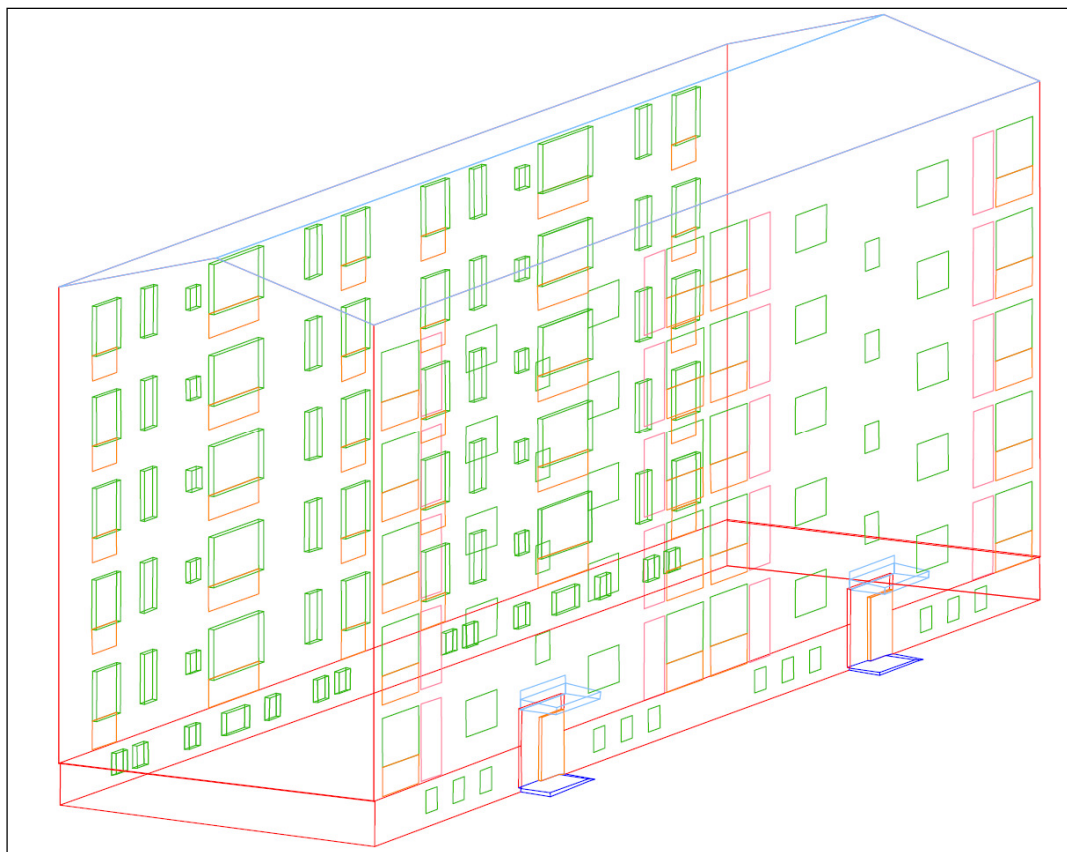


Slika 30: Izravnana geodetska mreža z absolutnimi elipsami pogreškov

7.4.2 Izris načrta fasade

Z uporabo kod med tahimetričnimi meritvami detajla, smo si olajšali delo v pisarni. Po končanih meritvah smo z instrumenta prenesli meritve v obliki tekstovne datoteke, ki je vsebovala prostorske koordinate vseh posnetih točk in v izmenjevalnem datotečnem formatu za risbe, v katerem so že bile izrisane 3D linije, ki smo jih določili v fazi meritev. Na podlagi vseh posnetih detajlnih točk smo dopolnili načrt in dobili izdelek, ki je v celoti prikazan na sliki 31. Zaradi nazornejšje predstavitve so v nadaljevanju prikazani še posamezni detajli. Za izris vsega detajla smo morali imeti posneto zadostno število detajlnih točk. Ker zaradi določenih omejitev na terenu vse točke niso bile vidne, smo določen

detajl skonstruirali s pomočjo pravokotnic in vzporednic. Tako smo na primer za okensko odprtino potrebovali vsaj tri posnete točke. V splošnem je izris zelo podoben vsakodnevnemu izrisu 2D topografskih načrtov. Nekoliko zahtevnejši je le zaradi prekrivanja detajla v posameznih pogledih. Potrebno je imeti dobro 3D predstavo in sistematičen pristop, da ne izpustimo kakšnega detajla.



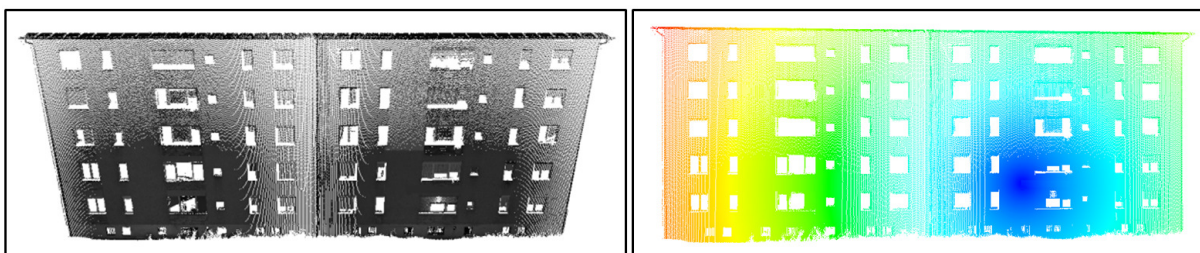
Slika 31: Žični model obravnavane stavbe

7.4.3 Obdelava oblaka točk

Obdelava oblaka točk je nekoliko bolj zahtevna kot obdelava tahimetrično posnetih točk. Gre za povsem drugačen pristop, pri katerem nimamo nadzora nad vsako točko posebej. Predvsem pa s to tehnologijo in načinom obdelave nimamo zadostnih izkušenj, ki pa so zaradi specifičnosti nujno potrebne. S tehniko laserskega skeniranja pridobimo velike količine podatkov, ki jih je potrebno predhodno pripraviti za nadaljno uporabo. Običajno je prvi postopek registracija skenogramov in po potrebi tudi georeferenciranje registriranega oblaka točk. Ker smo uporabili instrument, ki združuje več merskih tehnik, in smo s kombiniranim notranjim urezom določili stojišče instrumenta v geodetski mreži, je odpadel tako postopek registracije kot tudi georeferenciranja.

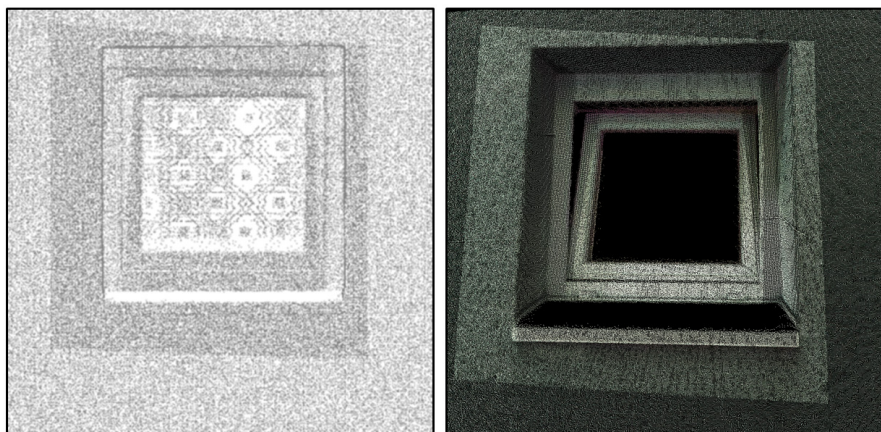
Dobljen oblak točk pa vseeno vsebuje šum in odvečne točke. Odstranimo jih lahko z določenimi algoritmi in tudi ročno. Z lastnim programom, napisanim v *Matlabu*, smo poskusili na podlagi

podanega koordinatnega okna izločiti vse točke, ki se nahajajo izven podanega območja. Ker objekt ni poravnani z eno od koordinatnih osi, je podano koordinatno okno toliko večje, posledično pa na robovih odvečne točke ostanejo znotraj območja obdelave. Zato smo uporabili še ročni način odstranjevanja točk. Uporabili smo program *RiSCAN PRO*, ki je prilagojen za obdelavo podatkov laserskega skeniranja. Omogoča pregled zajetih točk in izločanje posameznih točk. S spreminjanjem pogleda smo počasi izločili večino odvečnih točk. V programu obstajajo različni tipi prikazov točk. Izbiramo lahko med pravimi in lažnimi barvami, vse točke imajo lahko enako barvo, lahko pa se le ta določi na podlagi intenzitete, odbojnosti, višine ali oddaljenosti od instrumenta.



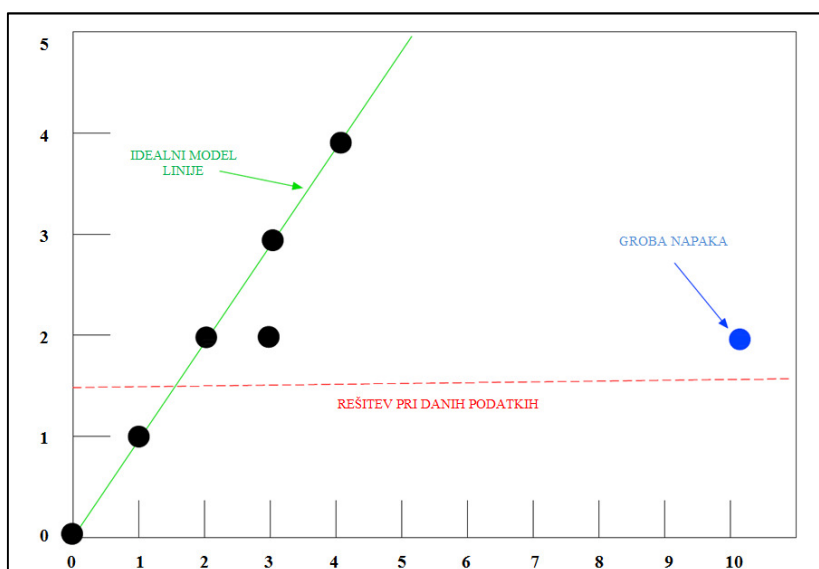
Slika 32: Očiščen oblak točk vzhodne fasade z enobarvnim prikazom vseh točk in z lažnimi barvami na podlagi oddaljenosti od instrumenta

V fazi zajema podatkov smo nastavili resolucijo oziroma korak zajema. Glede na podano vrednost tega koraka in izmerjeno dolžino, instrument izračuna kotni zamik, na podlagi katerega motorji nato zamikajo zgornji del instrumenta. Iz slike 32 je razvidno, da tako dobimo oblak točk z različno gostoto. V našem primeru smo za celotno fasado korak pet centimetrov nastavili glede na najdaljšo razdaljo. Z višino se namreč oddaljenost od instrumenta spreminja, zato so tam točke redkejše, oziroma na krajši oddaljenosti od podane, je zajem detajla gostejši. Izbran detajl, ki smo ga zajeli z občutno večjo resolucijo, pa je bil v manjšem obsegu in se zato oddaljenost od instrumenta ni toliko spreminjala. S tem dobimo enakomerno gostoto točk v celotnem oblaku skeniranih točk.



Slika 33: Oblak točk izbranega detajla z enobarvnim prikazom vseh točk in s pravimi barvami

Obdelava oblaka točk je zahtevnejša od povezovanja tahimetrično posnetih detajlnih točk. Ne moremo namreč zgolj povezati točk, ampak moramo iz velike množice točk priti do rezultata. Gre za interpretacijo danih podatkov, v našem primeru oblaka točk, v obliki vnaprej definiranega modela. Pri tem nastopita dva problema. Prvi je problem razvrščanja oziroma iskanja najboljšega ujemanja med danimi podatki in želenim modelom. Drugi pa je problem določitve ocene parametrov oziroma iskanja najboljših vrednosti parametrov izbranega modela. Oba problema sta medsebojno odvisna. Najpogosteje se za oceno parametrov uporabljata metoda najmanjših kvadratov in ocena največje verjetnosti. Pomanjkljivost teh metod je ocenjevanje parametrov na podlagi vseh vhodnih podatkov, posledično pa nezmožnost odkrivanja grobih napak. Tovrstne metode temeljijo na predpostavki, da ne glede na količino podatkov, vedno obstaja zadostno število »pravih« vrednosti, ki bodo eliminirale grobe napake. Postopek iskanja parametrov je iterativen proces. V prvem koraku izračunamo parametre na podlagi vseh točk. Nato odstranjujemo točke, ki se najmanj ujemajo in postopek ponavljamo, dokler ni odstopanje znotraj dopustnih meja ali pa imamo premalo podatkov za nadaljevanje. Žal ta teorija v določenih praktičnih primerih ne drži. Kot lahko vidimo na sliki 34, lahko že ena sama groba napaka v podatkih privede do napačnega rezultata. Tak postopek zato ni uporaben na nepreverjenih podatkih [12].



Slika 34: Neuspešnost metode pri obravnavanju grobe napake v podatkih [12], str. 382

V postopku iskanja optimalnih parametrov gre torej za tako imenovano glajenje. Običajne tehnike temeljijo na izločanju točk iz prvotne rešitve. Leta 1981 je bila prvič javno predstavljena alternativa v obliki *Ransac* (*Random Sample Consensus*) algoritma. Gre za tako imenovano soglasje naključnega vzorca. Algoritem oceni parametre matematičnega modela kljub prisotnosti velikega števila izven ležečih točk (*outliers*) v vhodnih podatkih. Tudi ta postopek je iterativen, le da začne z minimalnim številom točk in nato točke dodaja. Tako je sposoben zaznavati različne geometrijske oblike v oblaku točk. Cilj algoritma je najti čim več pripadajočih in čim manj odstopajočih točk [12], [45].

Ransac algoritem sestavljajo trije glavni parametri [45]:

- število iteracij (i),
- kriterij, ki določa skladnost točke s predlaganim modelom in
- prag, ki določa pravilnost modela.

V vsaki iteraciji se ponovita dva koraka, in sicer hipoteza in test. V prvem koraku naključno izberemo vzorec z minimalnim številom točk (s) iz vhodnih podatkov. Na podlagi izbranega vzorca točk se izračuna parametre modela. V drugem koraku se preveri skladnost vseh točk s parametri modela iz prvega koraka. Točke, ki ustrezajo modelu, imenujemo pripadajoče točke, ostale pa odstopajoče. Po vsaki iteraciji dobimo naključni vzorec z množico različnih pripadajočih točk. Vzorec, ki vsebuje največjo množico pripadajočih točk je zmagovalen. Točke iz te množice pripadajo iskanemu modelu oziroma opisujejo iskano geometrijsko obliko [45].

Rezultati *Ransac* algoritma so odvisni od izbranih parametrov. S parametrom i podamo število iteracij. Določiti moramo minimalno število točk s iz vhodnih podatkov, ki so potrebne za določitev iskanega modela. Na podlagi minimalnega števila točk sestavimo model in mu nato prilegamo preostale točke iz vhodnih podatkov. Postopek iterativno ponavljamo z različnimi kombinacijami minimalnega števila točk. Pri tem nastopi verjetnost p , da algoritem v vsaj eni iteraciji izbere samo prilegajoče točke in s tem zagotovi razumljiv rezultat. Odstotek prilegajočih točk W ni predhodno definiran, zato upoštevamo zgolj grobo ocenjeno vrednost. Ob predpostavki, da je množica točk s izbrana naključno, je W^s verjetnost, da so vse točke iz s pripadajoče. Iz tega sledi, da je $1 - W^s$ verjetnost, da je vsaj ena točka iz množice s odstopajoča. Verjetnost, da algoritem ne izbere samo pripadajočih točk pa je $1 - p$.

Iz vsega tega sledi [8]:

$$1 - p = (1 - W^s)^i .$$

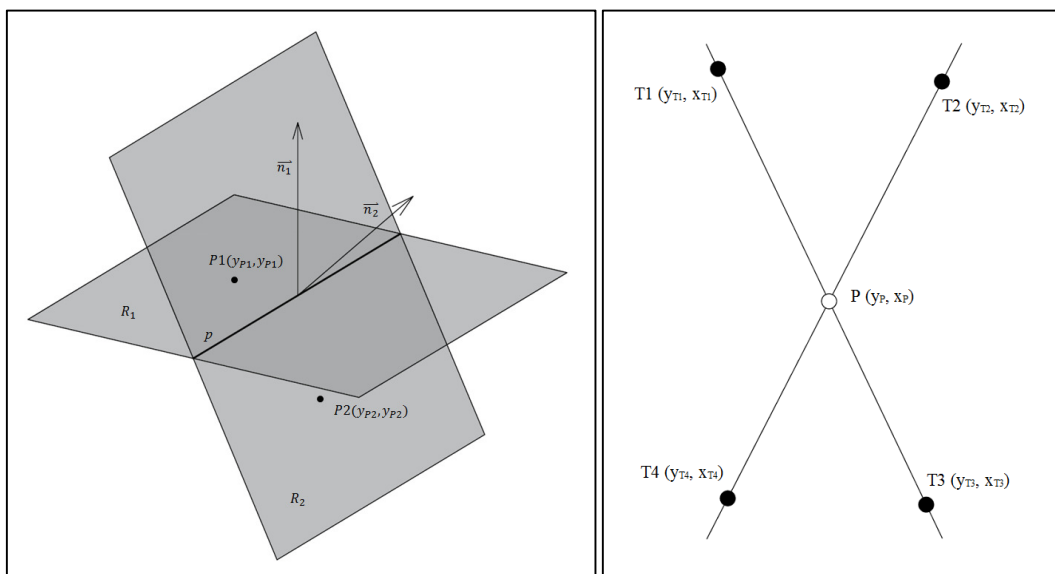
Če enačbo logaritmiramo in preoblikujemo, dobimo enačbo, ki določa število iteracij [8]:

$$i = \frac{\log(1 - p)}{\log(1 - W^s)} .$$

V našem primeru smo *Ransac* algoritem uporabili na testnem izseku, ki smo ga skenirali z večjo ločljivostjo, in sicer ločljivostjo dveh milimetrov. Po čiščenju oblaka točk smo za izbran detajl še vedno imeli ogromno število točk. Zaradi zamudne obdelave smo algoritem najprej preizkusili na naključno generiranih podatkih. Šele, ko je zanesljivo deloval na testnem primeru, smo prešli na naše podatke pridobljene z meritvami. Ker pa smo morali še uskladiti parametre algoritma in smo celotno obdelavo večkrat pognali, smo oblak točk najprej razredčili. Tako smo vse izračune najprej opravili na oblaku točk iz zgolj desetih odstotkov skeniranih točk. Na koncu pa smo vso obdelavo ponovili še na celotnem oblaku točk.

Iskali smo ravnine fasade in okenske odprtine. V teoriji je ravnina določena z natanko tremi točkami v prostoru. Minimalno število točk za določitev iskanega modela je torej tri. Glede na gostoto skeniranega detajla, smo morali določiti število zahtevanih prilegajočih točk. Ker je velikost površin posameznih ravnin različna, se razlikuje tudi število točk na posamezni ravnini. Tako smo morali najti kompromis glede števila prilegajočih točk. To sicer ni predstavljalo večjih težav, saj je bila vsaka ravnina še vedno določena iz ogromnega števila točk. V programu, ki smo ga napisali za rešitev naše naloge, smo določili še število iteracij in dopustno odstopanje. Ker smo skeniran oblak točk dodatno ročno čistili, je bilo v modelu malo izvenležečih točk. S tem smo zmanjšali število potrebnih iteracij, ki smo ga nastavili na štiri. Dopustno odstopanje pa določa, koliko lahko posamezna točka odstopa od ravnine, da še pripada tej ravnini. Glede na to, da smo imeli opravka z dokaj ravnimi površinami, smo za doseg boljših rezultatov določili manjše odstopanje, in sicer pol centimetra.

Po uspešno izvedenem iskanju vseh ravnin, smo določili presek ravnin, s čimer smo dobili premice, ki natančno definirajo robove okenske odprtine. Na podlagi presekov premic smo dobili točke, ki definirajo karakteristične točke okenske odprtine. Za izračun preseka dveh ravnin smo za vsako ravnino potrebovali točko, ki leži na izbrani ravnini in normalni vektor te ravnine. Te podatke smo pridobili kot izhodne vrednosti obdelave z *Ransac* algoritmom. Rezultat preseka dveh ravnin je premica in je podan s smernim vektorjem in s točko, ki leži na premici. Za določitev preseka dveh premic pa smo potrebovali po dve točki, ki ležita na isti premici. Če poznamo točko in smerni vektor premice, ni težko določiti še drugih točk, ki ležijo na tej isti premici. Rezultat preseka so prostorske koordinate presečiščne točke. Vmesni rezultati iskanja ravnin z *Ransac* algoritmom (smerni vektor ravnine in točka na ravnini), izračuna presekov ravnin in izračuna presekov premic so tabelarično prikazani v prilogi E.



Slika 35: Splošen prikaz preseka dveh ravnin na levi in dveh premic na desni

Rezultate izračunanih presekov lahko predstavimo z žičnim modelom in rezultat primerjamo z rezultatom klasično posnetega istega detajla. Dobljene linije in točke je nato enostavno primerjati s klasično posnetimi točkami in izmerjenimi linijami. Na podlagi odstopanj smo tudi ocenili natančnost. Ker smo algoritem uporabili na različni gostoti oblaka točk, smo dobili dva sklopa rezultatov. Zdelo se nam je smiselno primerjati tudi gostoto skeniranega detajla in njen vpliv na rezultat, zato smo prikazali oba sklopa rešitev.

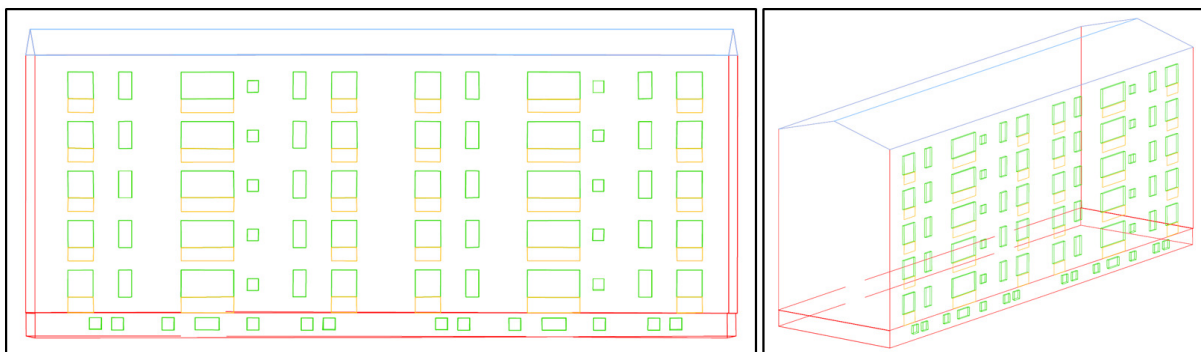
Osnova in ozadje algoritma sta dokaj enostavna. Vseeno pa je potrebnega nekaj znanja za praktično uporabo algoritma. Običajno imamo pri tovrstnih obdelavah velike količine podatkov, ki jih je potrebno obdelati. Vse to je privedlo do razvoja programske opreme, ki samodejno prepozna enostavne geometrijske oblike v oblakih točk. Rezultat je običajno predstavljen v obliki ploskovnega modela, ki pa ga lahko preoblikujemo tudi v žičnega. Eden takih programov je tudi program *Pointfuse*, ki omogoča samodejno izdelavo žičnega in/ali ploskovnega modela iz oblaka točk. Na spletu je možno dobiti brezplačno testno verzijo, tako da smo jo uporabili tudi na našem primeru. Testna verzija deluje brez omejitev in v enakem obsegu kot licenčna, omejeno je le število izvozov rezultatov. Edina težava oziroma pomanjkljivost je, da nimamo nadzora nad dobljenimi rezultati, saj ne poznamo ozadja delovanja programa.

7.5 Rezultati obdelave

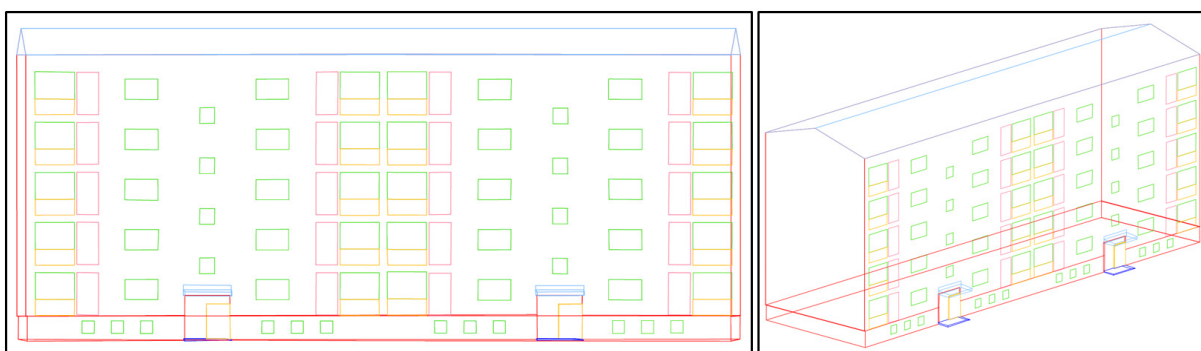
Pri sestavi in predstavitvi rezultatov se je vedno treba prilagajati naročniku, predvsem njegovim zahtevam in željam. Kot smo opredelili v uvodu tega magistrskega dela, smo za rezultat želeli dobiti 3D model obstoječega stanja stavbe. Glede na izbrane različne merske metode zajema, se tudi rezultati nekoliko razlikujejo. V nadaljevanju predstavljamo žične in ploskovne modele obravnavane stavbe ter izbranih detajlov stavbe.

7.5.1 Rezultati klasične metode izmere

Končni rezultat v obliki žičnega modela celotne stavbe smo že predstavili na sliki 31. V tem poglavju pa predstavljamo še vsako fasado posebej in dodatno izbran detajl. Fasadi smo ločili po straneh neba in s tem omogočili izrazitejšo predstavitev. Še vedno so posamezni elementi fasade ločeni z različnimi barvami, kar nam omogoča nazornejši prikaz. Za vsako stran smo izdelali ortogonalen in perspektiven pogled, slednji pa omogoča tudi prostorsko predstavitev.

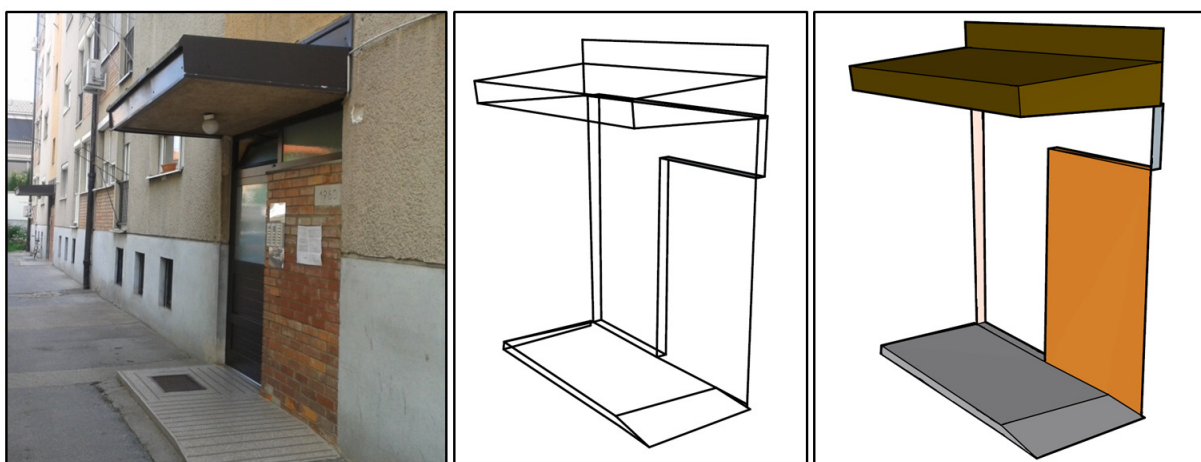


Slika 36: Žični model vzhodne fasade v ortogonalnem in perspektivnem pogledu

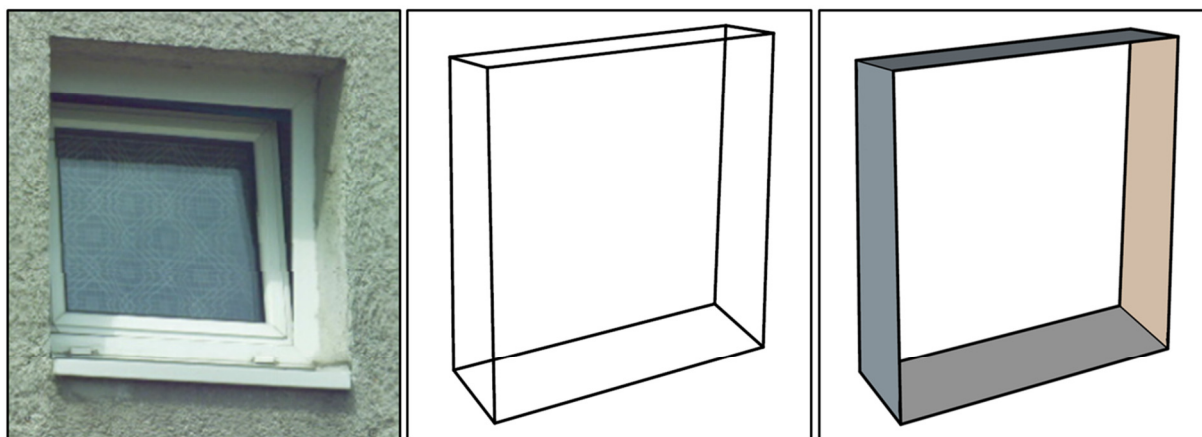


Slika 37: Žični model zahodne fasade v ortogonalnem in perspektivnem pogledu

Ker je celotno stavbo oziroma fasado težko predstaviti v smislu vidnosti detajla, smo izpostavili izbran detajl. Najbolj zanimiv in izstopajoč je bil vhod z nadstreškom. Ta detajl smo izluščili iz celotnega modela in dodatno izdelali še ploskovni model. Na ploskve smo dodali še lažne barve, ki nam pomagajo narediti model bolj realističen. Poleg vhoda smo enako naredili še za okensko odprtino, ki smo jo obdelali tudi iz oblaka točk.



Slika 38: Realno stanje, žični ter ploskovni model izbranega detajla-vhoda



Slika 39: Realno stanje, žični ter ploskovni model izbranega detajla-okenske odprtine

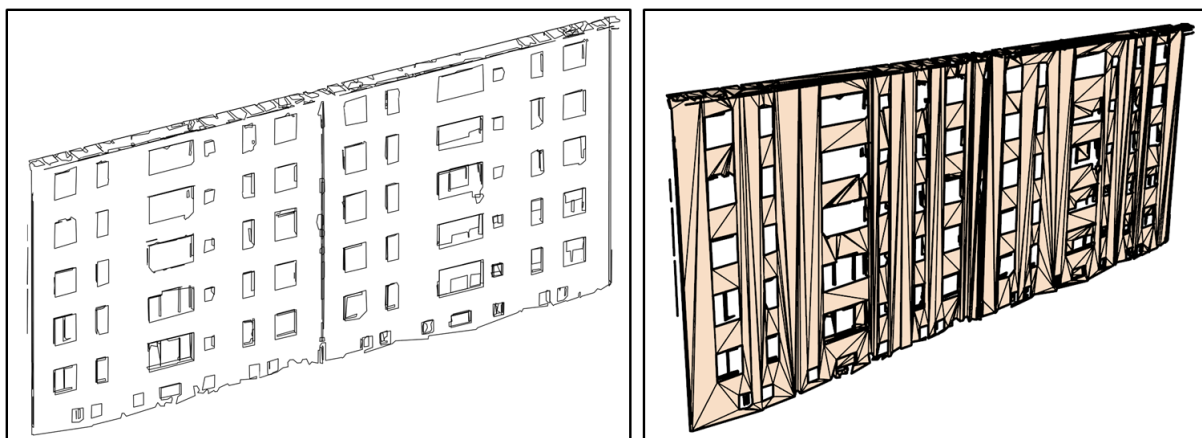
7.5.2 Rezultati terestričnega laserskega skeniranja

Pri obdelavi oblaka točk smo se osredotočili na detajl okenske odprtine. Z avtomatiziranim postopkom izbrane programske opreme pa smo obdelali tudi celotno fasado. Najprej so prikazani rezultati obdelave z *Ransac* algoritmom, nato pa še s programom *Pointfuse*.

Rezultati s programsko opremo *Pointfuse*

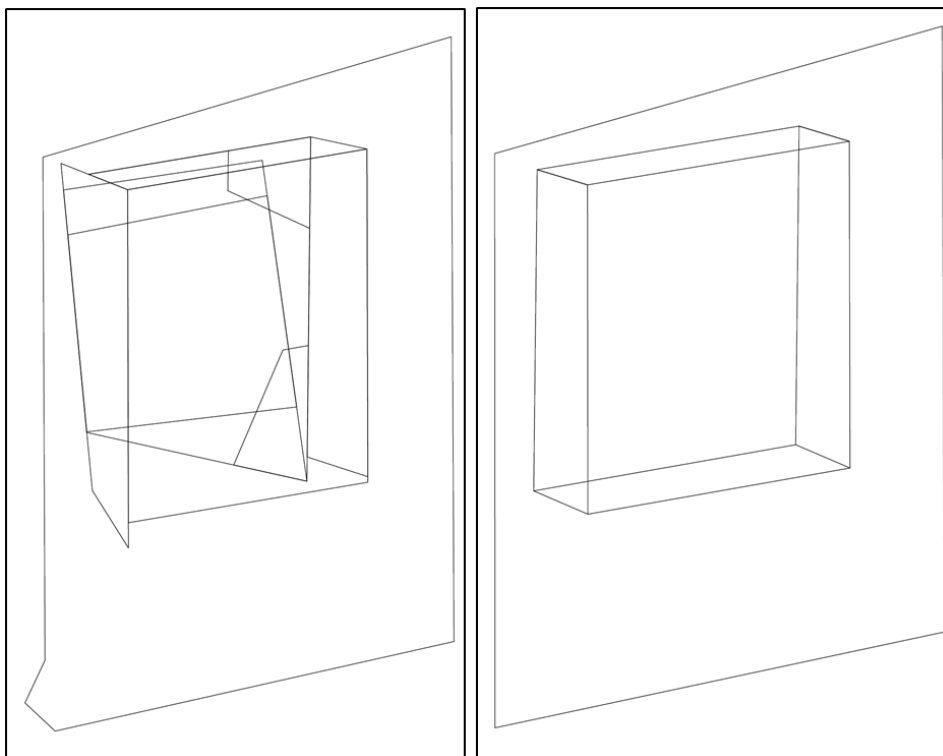
Najenostavneje smo do rezultatov prišli s programsko opremo *Pointfuse*. Po namestitvi programa na računalnik, smo potrebovali še vhodne podatke in lahko smo začeli z obdelavo. Zaradi enostavnosti postopka, smo obdelavo izvedli za celotno vzhodno fasado in ločeno za izbrano okensko odprtino z neobdelanim ter očiščenim oblakom točk. Vhodni podatek je bil torej izbran oblak točk, rezultat pa žični in ploskovni model. Na potek obdelave in končne rezultate nismo imeli vpliva.

Na sliki 40 je prikazan rezultat obdelave celotne fasade. Podrobnejši pogled nam pokaže, da je dobljen model premalo detajlen. Potrebne bi bilo še kar nekaj dodatne obdelave, da bi prišli do smiselnega in izrazitejšega modela.

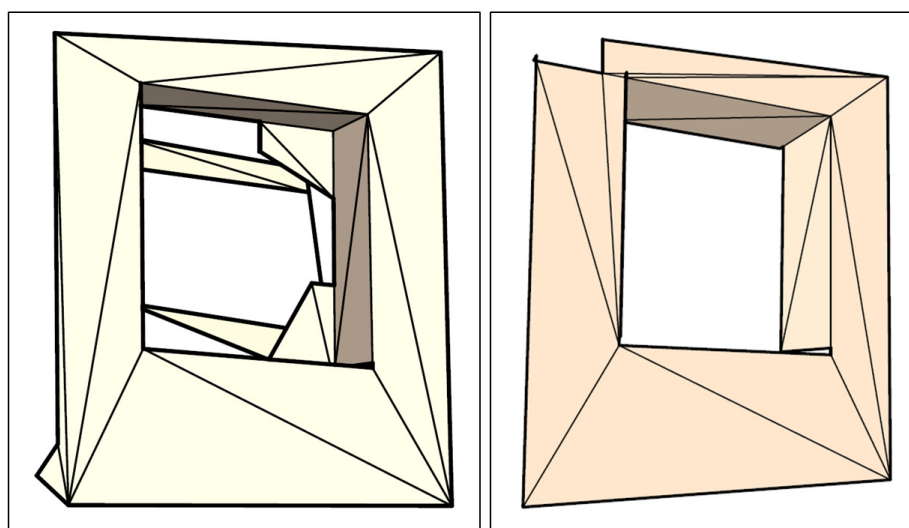


Slika 40: Rezultat obdelave celotne fasade v programu *Pointfuse*; žični model levo in ploskovni model desno

Pri obdelavi izbrane okenske odprtine smo preverili vpliv vhodnih podatkov na rezultat. Tako smo za isto okensko odprtino naredili dve ločeni obdelavi. Najprej smo uporabili neobdelan oblak točk, nato pa še ročno očiščen oblak točk. Izkazalo se je, da so vhodni podatki zelo pomembni in imajo velik vpliv na rezultate. Na slikah 41 in 42 so primerjalno prikazani rezultati obdelav okenske odprtine.



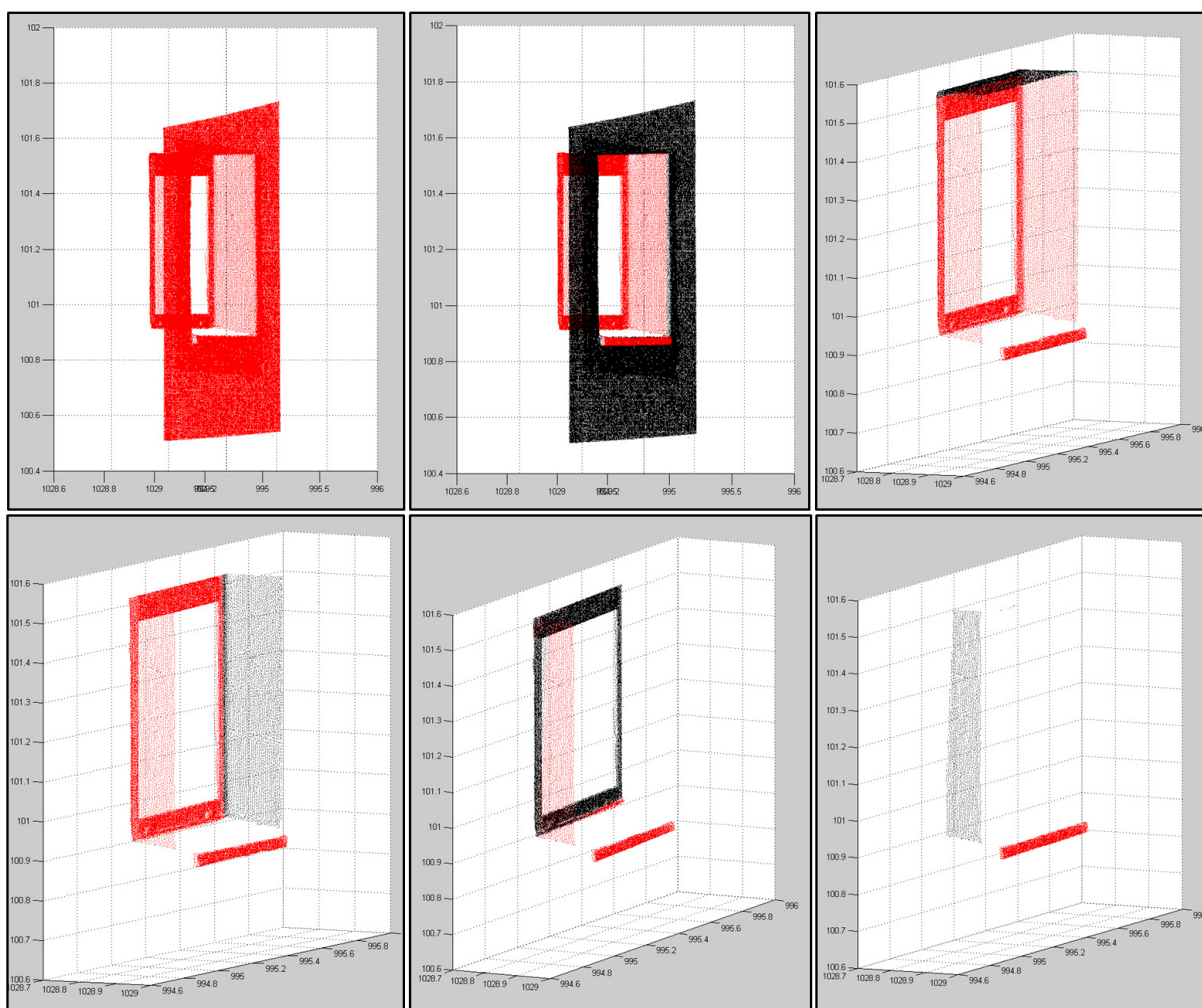
Slika 41: Rezultat obdelave izbranega detajla v programu *Pointfuse*; žični model z neobdelanim oblakom točk levo in z očiščenim oblakom točk desno



Slika 42: Rezultat obdelave izbranega detajla v programu *Pointfuse*; ploskovni model z neobdelanim oblakom točk levo in z očiščenim oblakom točk desno

Rezultati z algoritmom Ransac

Ransac algoritem deluje po prej opisanem postopku. Za rešitev naše naloge, smo morali iz oblaka točk določiti šest ravnin. Na sliki 43 je po korakih prikazan postopek iskanja posamezne ravnine. Vse točke v oblaku so obarvane rdeče. Po določitvi ravnine se njene pripadajoče točke obarvajo črno in so izločene iz oblaka in nadaljne obdelave. Po zadnjem koraku nam ostanejo samo izvenležeče točke, v našem primeru so to točke okenske police. Odstotek izvenležečih točk je bil majhen zaradi dodatnega ročnega čiščenja oblaka točk. Na podlagi presekov ravnin smo dobili 12 premic, ki definirajo robove okenske odprtine. Na podlagi presekov premic pa smo dobili osem iskanih točk, katerih koordinate so predstavljene v preglednici 8.

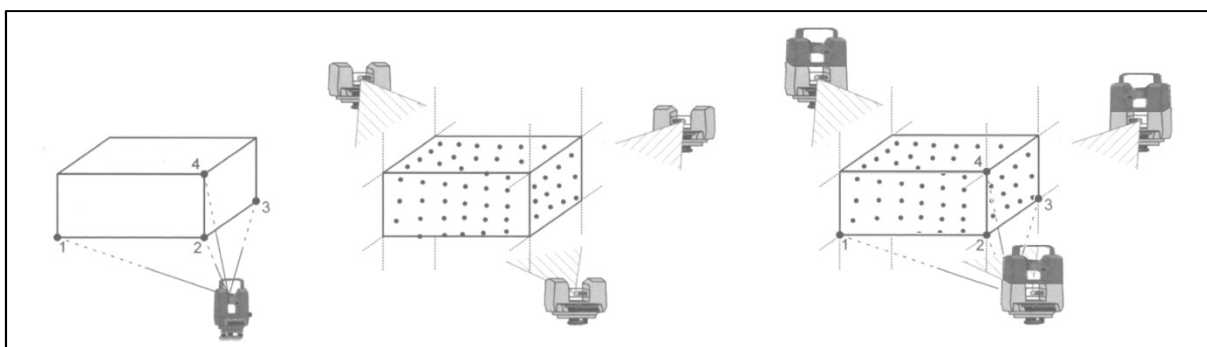


Slika 43: Rezultat Ransac algoritma po korakih iskanja posamezne ravnine

8 KONČNI REZULTATI NALOGE

8.1 Primerjava geodetskih metod izmere na podlagi referenčnega primera

Tudi na podlagi referenčnega primera in rešene naloge izmere obstoječega stanja fasade na izbrani stavbi, smo ostali podobnega mišljenja kot v uvodu. Vsaka merska tehnika ima določene prednosti. Če povzamemo, se je klasična metoda izmere izkazala za zelo natančno, vendar terensko dolgotrajno. Lasersko skeniranje je nasprotno na terenu precej hitrejšo, še posebej, če ni potrebno vzpostavljati veznih točk za kasnejšo registracijo skenogramov. Sledi pa precej več dela v pisarni. Veliko težavo predstavlja predvsem premalo izkušenj pri tovrstnih obdelavah in zmogljivost ter dostopnost programske opreme. Očitno je, da je klasična metoda izmere primernejša za enostavne objekte pravilnih oblik in z malo detajla. Prednosti laserskega skeniranja pa pridejo bolj do izraza pri zahtevnejših objektih z veliko detajla. Na sliki 44 vidimo ponazorjen prikaz načina zajema podatkov z različnima merskima tehnikama. V našem primeru smo uporabili instrument, ki združuje obe merski tehniki. Tako izrazit detajl, kot so vogali stavbe, zajamemo klasično, preostale dele pa skeniramo.



Slika 44: Razlike med zajemom prostorskih podatkov s klasično metodo izmere in terestričnim laserskim skeniranjem ter združitvev obeh metod (povzeto po [14])

Klasična metoda nam dokazano ponuja zajem prostorskih podatkov z najvišjo stopnjo natančnosti. Težje pa je zagotoviti visoko točnost zajema. Če se osredotočimo na zajem detajla na fasadi, je pomembno samo viziranje, ne smemo pa zanemariti niti velikosti svetlobnega žarka. V zgornjih nadstropjih smo namreč detajl merili brez uporabe reflektorja. Velikost laserskega žarka na razdalji 50 metrov znaša 8 mm x 20 mm, kar pomeni, da žarek lahko pade tudi mimo viziranega detajla. Dodatno je viziranje in merjenje oteženo zaradi strmih vizur. Določen detajl tako ostane skrit. Strmim vizuram se predvsem v urbanem območju težko izognemo, saj nam sosednji objekti onemogočajo, da bi stojišče instrumenta izbrali na večji oddaljenosti od obravnavane stavbe.

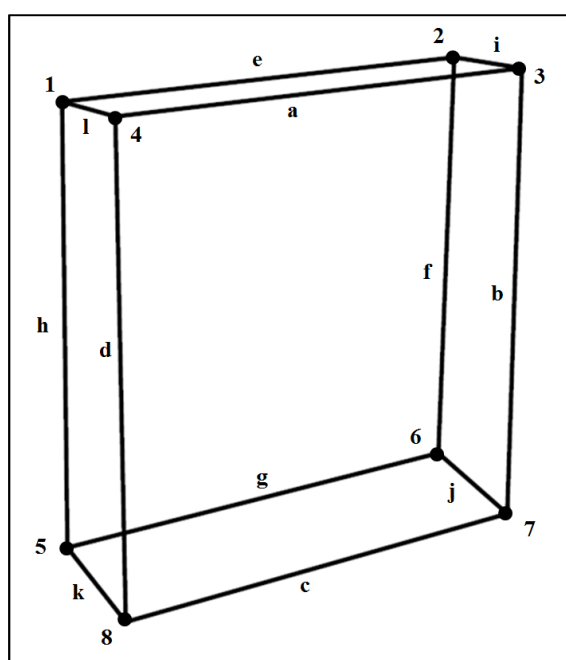
Tudi pri laserskem skeniranju imamo opravka s strmimi vizurami in skritim detajlom. Dodatno težavo pa povzroča tudi izbran korak zajemanja prostorskih podatkov na terenu. V primeru izbire prevelikega koraka (npr. 5 cm), lahko določen detajl izpustimo oziroma ga ne zajamemo dovolj podrobno. Torej bi

bilo bolje, da je ta korak čim manjši. Pri tem pa se pojavi težava v smislu dolgotrajnejšega terenskega zajema. Pridobimo ogromno količino podatkov, kar pomeni, da je tudi obdelava procesno zahtevnejša. V našem primeru izbran instrument omogoča kombiniranje merskih tehnik. Posledično so bili pri njegovi zasnovi in izdelavi sprejeti določeni kompromisi, tako da samo skeniranje ni tako hitro ter zmogljivo kot pri pravih laserskih skenerjih. Če bi želeli celotno stavbo zajeti v oblak točk z visoko ločljivostjo, bi potrebovali pravi terestrični laserski skener.

Na testnem primeru okenske odprtine smo preizkusili tudi modeliranje ploskev in nadalje linij iz oblaka točk. Kljub temu, da so klasične meritve zelo natančne, smo podvomili v točnost pridobljenih podatkov. Pri tako visoki zahtevani stopnji natančnosti, kot jo želijo naročniki v primeru uporabe predhodno izdelanih fasadnih elementov, je zelo pomembno, kje točno posnamemo vogal fasade ali stavbnega pohištva. V večini primerov robovi niso ostri ampak rahlo zaobljeni, ponekod tudi poškodovani. Zato je pri takih objektih bolj smiselno uporabiti tehniko iskanja ravnin in njihovih presečišč. Če je objekt sestavljen iz drugih enostavnih geometrijskih oblik, seveda lahko iščemo tudi druge oblike. V tem primeru je za doseg korektnih rezultatov potreben dobro očiščen oblak točk in veliko naknadne obdelave.

8.2 Rezultati analize

Rezultate posameznih merskih tehnik in obdelave najlažje primerjamo z razliko v položaju in dimenziji. Izbrano okensko odprtino smo predstavili z osmimi točkami in dvanajstimi linijami. Primerjali smo prostorski položaj točk in dolžine linij. Pri tem smo podatke, pridobljene s klasično metodo izmere, privzeli kot točne.



Slika 45: Razporeditev merskih točk in referenčnih linij na obravnavani okenski odprtini

Preglednica 9: Koordinate merskih točk, pridobljene z različnimi merskimi metodami

Točka	Klasična metoda izmere			TLS (<i>Ransac</i>) 10%			TLS (<i>Ransac</i>) 100%			TLS (<i>Poinfuse</i>)		
	Y [m]	X [m]	h [m]	Y [m]	X [m]	h [m]	Y [m]	X [m]	h [m]	Y [m]	X [m]	h [m]
1	1028.752	995.012	101.534	1028.747	995.006	101.542	1028.750	995.006	101.539	1028.751	994.985	101.546
2	1028.725	995.633	101.537	1028.719	995.629	101.547	1028.719	995.624	101.540	1028.725	995.631	101.541
3	1028.879	995.635	101.545	1028.882	995.636	101.544	1028.882	995.637	101.546	1028.882	995.636	101.539
4	1028.906	995.012	101.542	1028.906	995.012	101.540	1028.905	995.012	101.544	1028.906	994.990	101.544
5	1028.750	995.007	100.929	1028.751	995.008	100.929	1028.751	995.008	100.929	1028.743	994.984	100.910
6	1028.724	995.625	100.931	1028.723	995.628	100.931	1028.721	995.625	100.932	1028.718	995.629	100.911
7	1028.884	995.632	100.892	1028.886	995.635	100.892	1028.886	995.638	100.891	1028.887	995.634	100.895
8	1028.910	995.012	100.890	1028.910	995.013	100.890	1028.910	995.014	100.890	1028.911	994.987	100.896

Za primerjavo smo torej morali poznati koordinate vseh osmih točk okenske odprtine. S klasično metodo izmere smo jih posneli na terenu, iz oblaka točk pa smo jih pridobili z naknadno obdelavo na dva načina. Odstopanje oz. razliko smo izračunali za posamezne koordinatne osi. Razliko med dvema točkama v prostoru pa smo izračunali s koordinatami, pridobljenimi s posamezno metodo, po enačbi:

$$\Delta p = \sqrt{\Delta Y^2 + \Delta X^2 + \Delta h^2}.$$

Preglednica 10: Razlike med koordinatami merskih točk

Točka	TLS (<i>Ransac</i>) 10% - klasika				TLS (<i>Ransac</i>) 100% - klasika				TLS (<i>Poinfuse</i>) - klasika			
	ΔY [cm]	ΔX [cm]	Δh [cm]	Δp [cm]	ΔY [cm]	ΔX [cm]	Δh [cm]	Δp [cm]	ΔY [cm]	ΔX [cm]	Δh [cm]	Δp [cm]
1	-0.5	-0.6	0.8	1.1	-0.2	-0.6	0.5	0.8	-0.1	-2.7	1.2	3.0
2	-0.6	-0.4	1.0	1.2	-0.6	-0.9	0.3	1.1	0.0	-0.2	0.4	0.4
3	0.3	0.1	-0.1	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3	0.1	-0.6	0.7
4	0.0	0.0	-0.2	0.2	-0.1	0.0	0.2	0.3	0.0	-2.2	0.2	2.2
5	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	-0.7	-2.3	-1.9	3.1
6	-0.1	0.3	0.0	0.3	-0.3	0.0	0.1	0.3	-0.6	0.4	-2.0	2.1
7	0.2	0.3	0.0	0.3	0.2	0.6	-0.1	0.6	0.3	0.2	0.3	0.5
8	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.2	0.1	-2.5	0.6	2.6

V preglednici 10 lahko vidimo razlike v položaju merskih točk. Z obdelavo v programu *Poinfuse* je prišlo do večjih razlik, in sicer tudi do tri centimetre. Nasprotno pa razlike pri obdelavi z *Ransac* algoritmom komaj presežejo vrednost enega centimetra. Razlike med gostoto uporabljenega oblaka točk so komaj opazne, vseeno pa smo najmanjša odstopanja dobili z uporabo celotnega oblaka točk z ločljivostjo dveh milimetrov.

Dimenzije okenske odprtine oziroma dolžino posamezne linije smo izračunali s koordinatami dveh točk, pridobljenimi z isto metodo po enačbi:

$$l = \sqrt{\Delta Y^2 + \Delta X^2 + \Delta h^2}.$$

Razliko v dolžini linije, izračunane iz različnih metod pa po enačbi:

$$\Delta l = l_2 - l_1.$$

Preglednica 11: Dolžine linij okenske odprtine, pridobljene z različnimi merskimi metodami in njihove razlike v primerjavi s klasično metodo izmere

Linija	Klasična metoda izmere	TLS (<i>Ransac</i>) 10%		TLS (<i>Ransac</i>) 100%		TLS (<i>Poinfuse</i>)	
	<i>l</i> [m]	<i>l</i> [m]	Δl [cm]	<i>l</i> [m]	Δl [cm]	<i>l</i> [m]	Δl [cm]
a	0.623	0.625	0.2	0.625	0.2	0.647	2.4
b	0.652	0.653	0.1	0.655	0.3	0.644	-0.8
c	0.620	0.622	0.2	0.624	0.4	0.647	2.7
d	0.652	0.650	-0.2	0.654	0.2	0.648	-0.4
e	0.621	0.624	0.3	0.619	-0.2	0.646	2.5
f	0.606	0.615	0.9	0.609	0.3	0.631	2.5
g	0.619	0.621	0.2	0.618	-0.1	0.645	2.6
h	0.605	0.614	0.9	0.610	0.5	0.636	3.1
i	0.154	0.162	0.8	0.163	0.9	0.156	0.2
j	0.165	0.167	0.2	0.170	0.5	0.170	0.5
k	0.165	0.164	-0.1	0.163	-0.2	0.169	0.4
l	0.154	0.159	0.5	0.156	0.2	0.156	0.2

V preglednici 11 so prikazane še razlike v dolžinah linij. Tudi tu so odstopanja rezultatov programa *Poinfuse* največja, in sicer do tri centimetre. Odstopanja rezultatov, pridobljenih z *Ransac* algoritmom, ne presegajo vrednosti enega centimetra, malenkost boljši pa so ob uporabi celotnega oblaka točk.

Kakovost rezultatov ocenimo na podlagi primerjave referenčnih vrednosti in kontrolnih vrednosti. V našem primeru smo ocenili natančnost položaja in dimenzije okenske odprtine. Pri tem smo kot referenčne vrednosti uporabili vrednosti, določene s klasično metodo izmere. Kontrolne vrednosti pa so bile vrednosti, pridobljene z naknadno obdelavo. Z izvedbo primerjave smo dobili vpogled v točnost rezultatov, ki smo jih pridobili v postopku analize. Na podlagi posameznih odstopanj (koordinatnih, dolžinskih) smo ocenili koren srednjega kvadratnega pogreška *RMSE* (*Root Mean Square Error*), srednjo vrednost odstopanj μ in standardni odklon σ . Vrednosti smo izračunali po enačbah [6]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2},$$

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i),$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta y_i - \mu)^2},$$

kjer je:

y_i ... kontrolna vrednost,

\hat{y}_i ... referenčna vrednost.

Preglednica 12: Parametri kakovosti izračunanih koordinat merskih točk

Metoda	TLS (<i>Ransac</i>) 10%				TLS (<i>Ransac</i>) 100%				TLS (<i>Pointfuse</i>)			
	<i>Y</i>	<i>X</i>	<i>h</i>	<i>p</i>	<i>Y</i>	<i>X</i>	<i>h</i>	<i>p</i>	<i>Y</i>	<i>X</i>	<i>h</i>	<i>p</i>
RMSE [cm]	0.3	0.3	0.5	0.6	0.3	0.4	0.2	0.6	0.4	1.7	1.1	2.1
μ [cm]	-0.1	0.0	0.2	0.5	-0.1	-0.1	0.1	0.5	-0.1	-1.1	-0.2	1.8
σ [cm]	0.3	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.2	0.6	0.4	1.8	1.2	2.2

Preglednica 13: Parametri kakovosti izračunanih dolžin linij

Metoda	TLS (<i>Ransac</i>) 10%	TLS (<i>Ransac</i>) 100%	TLS (<i>Pointfuse</i>)
RMSE [cm]	0.5	0.4	1.9
μ [cm]	0.3	0.3	1.3
σ [cm]	0.5	0.4	2.0

V preglednici 12 so zbrane vrednosti parametrov ocene kakovosti dobljenih rezultatov za merske točke, v preglednici 13 pa za linije. Tudi tu se je pokazalo, da so rezultati dobljeni z *Ransac* algoritmom bistveno boljši od rezultatov programa *Pointfuse*. Za merske točke tako parametri kakovosti za rezultate dobljene s programom *Pointfuse* znašajo dva centimetra in za rezultate obdelave z *Ransac* algoritmom šest milimetrov. Za linije so vrednosti podobne, celo nekoliko nižje. Razlik med gostoto oblaka točk pri *Ransac* algoritmu pa skorajda ni.

9 ZAKLJUČEK

V magistrskem delu smo obravnavali energetske sanacije stavb in vključevanje geodetske stroke na tem področju. Glede na situacijo na geodetskem tržišču in nasploh v gospodarstvu, si lahko le želimo, da bi projekti energetskih sanacij zaživel. S tem bi se pokazala potreba po dodatnih geodetskih delih, geodetskim podjetjem pa bi se odprla vrata na novo področje in lahko bi razširili svojo dejavnost.

Čeprav obstaja več vrst energetskih sanacij, vidimo največ rezerv in največji potencial v obnovah s predhodno izdelanimi fasadnimi elementi. Inženirske stroke stalno iščejo nove in izpopolnjene rešitve ter težijo k dovršenosti sistemov. Tako so novi fasadni elementi energetsko varčni, atraktivnega videza in kar je najpomembneje, izdelani in vgrajeni so v skladu s tehničnimi standardi. V tujini je že viden napredek tako po kakovosti kot tudi po videzu fasadnih sistemov, kmalu pa bo verjetno ta trend prišel tudi k nam.

Napredek in spremembe v tehniki so opazni tudi v geodetski stroki. Trenutno je največ prizadevanja usmerjenega v izpopolnjevanje obstoječih sistemov in združevanje različnih metod ter tehnik v enovit sistem. Tako smo izkoristili priložnost in za potrebe tega magistrskega dela uporabili napreden geodetski instrument, ki ga je proizvajalec poimenoval »*MultiStation*«. Instrument združuje in omogoča uporabo različnih merskih tehnik za zajem prostorskih podatkov. Tako smo enostavneje primerjali merske tehnike med seboj. Uporabili smo klasično metodo izmere in terestrično lasersko skeniranje. Z naknadno obdelavo smo prišli do rezultatov in zaključkov, na podlagi teh pa do ciljev magistrskega dela.

Predstavljeni rezultati se nekoliko razlikujejo tudi glede na uporabljeno mersko tehniko. Izkazalo se je, da je žični model v večini primerov zadosten približek realnega stanja. Kombiniranje merskih tehnik pa pozitivno vpliva tudi na rezultate v obliki izdelanih 3D modelov. Ploskovni model tako predstavlja nadgradnjo žičnega modela. Do njega pa najenostavneje pridemo s tehniko laserskega skeniranja.

Težko je potegniti črto in vnaprej določiti, katera merska metoda je primernejša in katera bo na določenem primeru zagotovila boljše rezultate. Vseeno pa lahko na podlagi izkušenj in znanj to predvidimo. O izbiri ustrezne merske metode se odločamo tudi na podlagi oblike in metode energetske sanacije. V primeru, da gre za enostavno obliko sanacij, kjer ni potrebno zagotoviti izjemno visoke stopnje natančnosti, bi predlagali klasično metodo izmere. Postopek dela je precej uveljavljen in tako vemo, kaj lahko pričakujemo v rezultatih. Tudi kadar moramo zagotoviti visoko stopnjo natančnosti, bi dali prednost klasični metodi izmere. V primeru, da potrebujemo zelo natančne podatke o poškodbah in neravninah na obstoječi fasadi, pa je v primeru uporabe klasične metode izmere potrebno narediti določene posplošitve in poenostavitve. To ni najbolj optimalno, zato v takem

primeru predlagamo uporabo metode laserskega skeniranja. Prav tako se nam zdi lasersko skeniranje primernejše za zajem razgibanih stavb nepravilnih oblik. Na podlagi referenčnega primera, predvsem pa izkušenj z uporabo izbranega instrumenta, lahko zaključimo, da je kombinacija teh dveh merskih tehnik, na enem stojišču, idealna rešitev.



Slika 46: Pogled na zahodno in vzhodno fasado obravnavane stavbe po izvedeni energetske sanaciji

Namen in cilj magistrskega dela je bil ovrednotiti različne geodetske metode zajema prostorskih podatkov. Napačno je prepričanje, da je možno vnaprej izbrati ustrezno mersko metodo. Le to lahko izberemo šele na podlagi zahtev naročnika in poznavanja obravnavane stavbe. Tako smo še vedno prepričani, da je najoptimalneje kombinirati merske tehnike med seboj. Sedaj nam je to omogočeno celo z enim samim instrumentom. Za najnatančnejšo metodo sicer še vedno velja klasična metoda geodetske izmere, vendar pa smo pokazali, da je tudi iz podatkov laserskega skeniranja mogoče priti do dobrih rezultatov. Predvsem pri večjih objektih z veliko detajla in velikimi fasadnimi površinami je nesmiselno in prezahtevno vse detajlne točke posneti s klasično metodo. V takem primeru priporočamo posneti zgolj določene detajlne točke za kasnejšo kontrolo dobljenih rezultatov. Z laserskim skeniranjem lahko s pametno izbiro stojišč instrumenta zagotovimo hiter in enostaven zajem prostorskih podatkov. Z izpopolnitvijo algoritmov za naknadno obdelavo bi natančnost lahko še povečali in upamo si napovedati, da bi bila dosegljiva tudi natančnost v rangu nekaj milimetrov. S tem pa bi dosegli uporabnost metode laserskega skeniranja tudi za najnatančnejše projekte energetskih sanacij.

VIRI

- [1] 3dsystems, podjetje za 3D digitalno oblikovanje.
<http://www.3dsystems.com/quickparts/learning-center/what-is-stl-file>
(Pridobljeno 5. 2. 2016.)
- [2] Balon, M. 2007. Analiza uporabnosti tehnologije terestričnega laserskega skeniranja za metrično dokumentacijo zemeljskih plazov. Diplomsko naloga. Ljubljana, FGG: 89 str.
- [3] Basarir, B., Sahin Diri, B., Diri, C. Energy efficient retrofit methods at the building envelopes of the school buildings. Department of Architecture. Mimar Sinan Fine Arts University, Istanbul, Findikli.
- [4] BFZ, Shading devices, spletna stran proizvajalca senčil.
<http://www.bfz.biz/tag/shading-devices> (Pridobljeno 28. 3. 2015.)
- [5] Billings, S. 2008. Hidden point offset. The American Surveyor. November 2008: 4 f.
- [6] Chai, T., Draxler, R. R. 2014. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature. Geoscientific Model Development 7: 1247-1250.
- [7] Clean solar solutions, spletna stran ponudnika solarnih sistemov.
<http://www.solar-panel-cleaners.com/solar-panel-cleaning-manchester>
(Pridobljeno 28. 3. 2015.)
- [8] Čehovin, L. 2010. Vizualno sledenje netogim objektom. Magistrska naloga. Ljubljana, Fakulteta za računalništvo in informatiko: 87 f.
- [9] Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 19. maja 2010 o energetski učinkovitosti stavb (prenovitev), Uradni list Evropske unije, L153.
- [10] Energetske preнове, Predstavitveno gradivo podjetja, ki se ukvarja z energetskimi prenovami.
http://www.energetske-prenove.si/uploads/2/0/4/1/20414501/energetske_prenove_predstavitev.pdf (Pridobljeno 21. 10. 2014.)
- [11] European Commission, Community research and development information service, Friendly and Affordable Sustainable Urban Districts Retrofitting, Project number: 609222.
http://cordis.europa.eu/project/rcn/110304_en.html (Pridobljeno 24. 3. 2015.)
- [12] Fischler M. A., Bolles R. C. 1981. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. Communications of the ACM, letnik 24, št.6: 381–395.

- [13] Geoservis, spletna stran pooblaščenega prodajalca in serviserja merske opreme.
<http://www.geoservis.si/> (Pridobljeno 10. 12. 2015.)
- [14] Kopač, S. 2014. Geodetska izmera fasade stavbe. Diplomski naloga. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 47 str.
- [15] Kovič, S., Praznik, M., Sanacija večstanovanjskih stavb v pasivnem in nizkoenergijskem standardu, Gradbeni inštitut ZRMK, Center za bivalno okolje, gradbeno fiziko in energijo.
<http://www.gi-zrmk.si/Knjiznica/SANACIJA%20VEČSTANOVANJSKIH%20STAVB.pdf>
(Pridobljeno 28. 11. 2014.)
- [16] Lattke, F. et al. TES EnergyFaçade – prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope. Technische Universität München. Fakultät für Architektur. Institut für Entwerfen und Bautechnik: 189 f.
- [17] Leica Geo Office, help; pomoč programa za obdelavo geodetskih opazovanj in prostorskih podatkov.
- [18] Leica TPS1200+, Applications, Field Manual, Version 6.0. 2008. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland.
- [19] le Roux, S., Renovation with prefabricated timber elements-experiences from some recent Finnish building projects. Aalto university. Department of Architecture. Finland.
- [20] Ott, S., Hernandez-Maetschel, S., Lattke, F. 2011. Industrial Energy Efficient Retrofitting of Resident Buildings in Cold Climates, Guidelines to Preliminaries/Survey. E2ReBuild, Project no. 260058.
- [21] Posnetki nepremičnin s termalno kamero; iRed vodilna skupina za uporabo termografije na stavbah.
<http://ired.co.uk/thermal-images-gallery/> (Pridobljeno 6. 5. 2016.)
- [22] Pravilnik o požarni varnosti v stavbah (Uradni list RS, št. 31/04 z dne 31. 3. 2004.)
- [23] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah – PURES (Uradni list RS, št. 52/2010 z dne 30. 6. 2010.)
- [24] Previtali, M., Barazzetti, L., Redaelli, V., Scaioni, M., Rosina, E. Rigorous procedure for mapping thermal infrared images on threedimensional models of building façades. Journal of Applied Remote Sensing. 2013, 7: 20 f.
- [25] Projektna dokumentacija, podjetje, ki se ukvarja z izdelavo projektne dokumentacije za izvedbo pasivnih in nizkoenergijskih objektov.
<http://www.projektnadokumentacija.si/> (Pridobljeno 3. 12. 2014.)

- [26] Slanič, D. 2011. Ekonomski in tehnični vidik energetske sanacije večstanovanjskega objekta v Kamnici, Diplomsko delo, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, 87 str.
- [27] Smernica SZPV 412 Uporaba gorljivih/negorljivih gradbenih materialov, Slovensko združenje za požarno varnost, izdaja 01/12.
- [28] Smogavec, L. 2015. Uporabnost terestričnega laserskega skeniranja pri izdelavi geodetskega načrta. Diplomaska naloga. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 77 str.
- [29] Statistical Review of World Energy 2011, 2012, 2013, 2014. British Petroleum Statistical Review of World Energy, London.
bp.com/statisticalreview (Pridobljeno 2. 12. 2014.)
- [30] Sto reStore, Advanced restoration for building facades. 2009.
<http://www.stocorp.com/index.php/products-systems/View-document-details/2309-Sto's-reStore-Program-Overview-S626.html> (Pridobljeno 12. 2. 2015.)
- [31] Šumrada, R. 2009. Trirazsežni pristopi za modeliranje stavb, mest in pokrajin. Geodetski vestnik 53, 4: 695-713.
- [32] Šumrada, R. 2015. Modeliranje 3D objektov: 14 str.
ftp://ftp.fgg.uni-lj.si/sendable/R%20Sumrada/GIG%20Ma%20APP/modeliranje%20ploskev/Analize_3D%20-%20tretji%20del.pdf (Pridobljeno 12. 5. 2015.)
- [33] Šumrada, R. 2015. Razvojno življenjski cikel informacijskega sistema (IS): 19 str.
<ftp://ftp.fgg.uni-lj.si/Sendable/R%20Sumrada/TUN%20GIS/razvoj%20IS/Razvojni%20ciklus%20IS.pdf> (Pridobljeno 12. 5. 2015.)
- [34] Tehnična smernica TSG-1-001:2010 Požarna varnost v stavbah, Ministrstvo za okolje in prostor.
- [35] Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije, Ministrstvo za okolje in prostor.
- [36] Toplotna zaščita zunanjih sten, Zbirka informativnih listov "Za učinkovito rabo energije", Ministrstvo za gospodarske dejavnosti, Agencija RS za učinkovito rabo energije, 2006.
- [37] Trajnostna energija; portal o učinkoviti rabi energije.
<http://www.trajnostnaenergija.si/Trajnostna-energija/Var%C4%8Dujte/Kako-privar%C4%8Devati/ArtMID/554/ArticleID/1/Toplotna-za%C5%A1%C4%8Dita-stavb>
(Pridobljeno 6. 5. 2016.)

- [38] Treberspurg, M., Djalili, M. 2010. New technical solutions for energy efficient building, Multifunctional facade systems.
http://www.sci-network.eu/fileadmin/templates/sci-network/files/Resource_Centre/Innovative_Technologies/State_of_the_Art_Report_Multifunctional_Facade_Systems.pdf
(Pridobljeno 16. 12. 2014.)
- [39] Unger diffutherm, Innovative thermal insulation systems.
<http://unger-diffutherm.de/en/udiproduktesystem/holzfaser-wdvs-systeme/udireco/>
(Pridobljeno 28. 3. 2015.)
- [40] Weber fasadni sistemi, Saint-Gobain Gradbeni izdelki d.o.o., Promocijska brošura, izdaja za leto 2013/14.
- [41] Wikipedia, spletna enciklopedija, STL file format.
[https://en.wikipedia.org/wiki/STL_\(file_format\)](https://en.wikipedia.org/wiki/STL_(file_format)) (Pridobljeno 5. 2. 2016.)
- [42] Zakon o evidentiranju nepremičnin – ZEN (Uradni list RS, št. 47/06 z dne 9. 5. 2006.)
- [43] Zakon o graditvi objektov – ZGO-1 (Uradni list RS, št. 110/02 z dne 18. 12. 2002.)
- [44] Zakon o varstvu pred požarom – ZVPoz (Uradni list RS, št. 3/2007 z dne 12. 1. 2007.)
- [45] Zuliani, M. 2014. RANSAC for Dummies. GNU Free Documentation License: 101 str.
<http://old.vision.ece.ucsb.edu/~zuliani/Research/RANSAC/docs/RANSAC4Dummies.pdf>
(Pridobljeno 15. 2. 2016.)

»Ta stran je namenoma prazna.«

PRILOGA A: Poročilo o izračunu sredin girusov za stojišče S1



Sets of Angles Report

Processed: 02/17/2016 11:31:04

Project Information

Project name: Matjaz
 Date created: 02/17/2016 11:08:10
 Coordinate system name: None
 Application software: LEICA Geo Office 7.0

Station: S1

Instrument Information

Instrument Type: MS50 1" R2000
 Instrument Serial Number: 369332
 Instrument Height: 0.0000 m
 Setup Time: 05/29/2015 07:14:08

Sets of Angles

Time: 05/29/2015 07:14:09
 Number of Points: 5 / 5
 Number of Sets: 3 / 3
 Mean Error of avg direction (Hz): 0° 00' 01.4"
 Mean Error of avg vertical angle (V): 0° 00' 00.7"
 Mean Error of avg distance: 0.0001 m
 Mean Error of single direction (Hz): 0° 00' 02.5"
 Mean Error of single vertical angle (V): 0° 00' 01.2"
 Mean Error of single distance: 0.0003 m

Tolerances	Hz	V	Distance
Residuals	0° 00' 16.2"	0° 00' 16.2"	0.0100 m
Face Diff.	0° 00' 16.2"	0° 00' 16.2"	0.0100 m

Point S6

Mean of all sets (Hz): 0° 00' 00.0"
 Mean of all sets (V): 89° 27' 39.4"
 Mean of all sets (Dist): 28.8864 m

Set	Use	Hz	V	Distance	Target height	Refl.Type
1	✓	0° 00' 00.0"	89° 27' 37.8"	28.8864 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
2	✓	0° 00' 00.0"	89° 27' 40.4"	28.8863 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
3	✓	0° 00' 00.0"	89° 27' 39.9"	28.8864 m	0.0000 m	Leica Circ Prism

Set	Use	Res. Hz	Res. V	Res. Dist.	Face Diff Hz	Face Diff V	Face Diff Dist	Tolerance exceeded
1	✓	0° 00' 00.0"	0° 00' 01.5"	0.0000 m	0° 00' 00.5"	0° 00' 06.3"	0.0002 m	
2	✓	0° 00' 00.0"	-0° 00' 01.0"	0.0000 m	0° 00' 02.2"	0° 00' 07.6"	0.0001 m	
3	✓	0° 00' 00.0"	-0° 00' 00.5"	0.0000 m	0° 00' 00.0"	0° 00' 07.2"	0.0002 m	

Point N4

Mean of all sets (Hz): 52° 15' 26.8"
 Mean of all sets (V): 88° 53' 21.8"
 Mean of all sets (Dist): 25.2779 m

Set	Use	Hz	V	Distance	Target height	Refl.Type
1	✓	52° 15' 28.0"	88° 53' 23.1"	25.2779 m	0.0000 m	Leica Refl. Tape
2	✓	52° 15' 28.4"	88° 53' 22.3"	25.2778 m	0.0000 m	Leica Refl. Tape
3	✓	52° 15' 24.1"	88° 53' 19.8"	25.2779 m	0.0000 m	Leica Refl. Tape

Set	Use	Res. Hz	Res. V	Res. Dist.	Face Diff Hz	Face Diff V	Face Diff Dist	Tolerance exceeded
1	✓	-0° 00' 01.1"	-0° 00' 01.4"	0.0000 m	0° 00' 01.1"	0° 00' 01.8"	0.0002 m	
2	✓	-0° 00' 01.5"	-0° 00' 00.6"	0.0001 m	0° 00' 00.5"	0° 00' 01.3"	0.0002 m	
3	✓	0° 00' 02.7"	0° 00' 02.0"	0.0000 m	0° 00' 00.1"	0° 00' 02.3"	0.0002 m	

Point N5

Mean of all sets (Hz): 72° 09' 09.5"
 Mean of all sets (V): 90° 06' 52.6"
 Mean of all sets (Dist): 61.1459 m

Set	Use	H _z	V	Distance	Target height	Refl.Type
1	✓	72° 09' 15.5"	90° 06' 52.0"	61.1462 m	0.0000 m	Leica Refl. Tape
2	✓	72° 09' 07.9"	90° 06' 54.1"	61.1453 m	0.0000 m	Leica Refl. Tape
3	✓	72° 09' 05.2"	90° 06' 51.5"	61.1462 m	0.0000 m	Leica Refl. Tape

Set	Use	Res. H _z	Res. V	Res. Dist.	Face Diff H _z	Face Diff V	Face Diff Dist	Tolerance exceeded
1	✓	-0° 00' 06.0"	0° 00' 00.5"	-0.0003 m	0° 00' 01.4"	0° 00' 00.5"	0.0001 m	
2	✓	0° 00' 01.7"	-0° 00' 01.5"	0.0006 m	0° 00' 07.7"	0° 00' 09.4"	0.0018 m	
3	✓	0° 00' 04.3"	0° 00' 01.0"	-0.0003 m	0° 00' 00.1"	0° 00' 02.0"	0.0003 m	

Point S2

Mean of all sets (Hz): 81° 17' 31.5"
 Mean of all sets (V): 89° 58' 58.2"
 Mean of all sets (Dist): 18.0511 m

Set	Use	H _z	V	Distance	Target height	Refl.Type
1	✓	81° 17' 32.1"	89° 58' 58.6"	18.0511 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
2	✓	81° 17' 32.5"	89° 58' 57.9"	18.0511 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
3	✓	81° 17' 29.9"	89° 58' 58.1"	18.0511 m	0.0000 m	Leica Circ Prism

Set	Use	Res. H _z	Res. V	Res. Dist.	Face Diff H _z	Face Diff V	Face Diff Dist	Tolerance exceeded
1	✓	-0° 00' 00.6"	-0° 00' 00.4"	0.0000 m	0° 00' 01.9"	0° 00' 07.1"	0.0002 m	
2	✓	-0° 00' 01.0"	0° 00' 00.3"	0.0000 m	0° 00' 03.3"	0° 00' 03.6"	0.0002 m	
3	✓	0° 00' 01.6"	0° 00' 00.1"	0.0000 m	0° 00' 02.6"	0° 00' 04.0"	0.0002 m	

Point S3

Mean of all sets (Hz): 93° 07' 47.3"
 Mean of all sets (V): 89° 45' 46.0"
 Mean of all sets (Dist): 36.2767 m

Set	Use	H _z	V	Distance	Target height	Refl.Type
1	✓	93° 07' 47.5"	89° 45' 45.4"	36.2766 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
2	✓	93° 07' 46.1"	89° 45' 46.0"	36.2768 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
3	✓	93° 07' 48.3"	89° 45' 46.7"	36.2766 m	0.0000 m	Leica Circ Prism

Set	Use	Res. H _z	Res. V	Res. Dist.	Face Diff H _z	Face Diff V	Face Diff Dist	Tolerance exceeded
1	✓	-0° 00' 00.2"	0° 00' 00.6"	0.0001 m	0° 00' 00.4"	0° 00' 06.7"	0.0002 m	
2	✓	0° 00' 01.2"	-0° 00' 00.0"	-0.0001 m	0° 00' 00.7"	0° 00' 01.8"	0.0002 m	
3	✓	-0° 00' 01.0"	-0° 00' 00.6"	0.0000 m	0° 00' 00.2"	0° 00' 04.0"	0.0001 m	

PRILOGA B: Poročilo o izravnavi geodetske mreže



Network Adjustment

www.MOVE3.com
(c) 1993-2008 Grontmij
Licensed to Leica Geosystems AG


Created: 02/17/2016 13:06:22

Project Information

Project name:	Matjaz
Date created:	02/17/2016 13:04:54
Coordinate system name:	None
Application software:	LEICA Geo Office 7.0
Processing kernel:	MOVE3 4.0.1

General Information

Adjustment

Type:	Inner constrained
Dimension:	3D
Coordinate system:	Local Grid
Height mode:	Orthometric
Number of iterations:	1
Maximum coord correction in last iteration:	0.0000 m  (tolerance is met)

Stations

Number of (partly) known stations:	0
Number of unknown stations:	15
Total:	15

Observations


Directions:	252
Distances:	252
Zenith angles:	252
Inner constraints:	6
Total:	762

Unknowns

Coordinates:	45
Orientations:	14
Additional parameters:	2
Total:	61

Degrees of freedom: 701

Testing

Alfa (multi dimensional):	0.7377
Alfa 0 (one dimensional):	5.0 %
Beta:	80.0 %
Sigma a-priori:	10.0
Critical value W-test:	1.96
Critical value T-test (2-dimensional):	2.42
Critical value T-test (3-dimensional):	1.89
Critical value F-test:	0.97
F-test:	0.97  (rejected)

Results based on a-posteriori variance factor

Input data

Approximate Coordinates

Station	Easting	Northing	Height [m]
N1	1008.2988 m	1001.6590 m	100.4096
N2	998.8257 m	981.8137 m	100.5563
N3	999.6906 m	962.1007 m	100.5240
N4	1018.4086 m	982.6838 m	100.4899
N5	1027.6220 m	945.4485 m	99.8782
N6	1029.7357 m	974.5138 m	100.3903
N7	1029.5534 m	983.2950 m	100.4093
N8	1032.5483 m	1004.6476 m	100.4643
S1	1000.0001 m	999.9998 m	99.9996
S2	1005.4932 m	982.8051 m	100.0057
S3	1003.7160 m	963.9147 m	100.1510
S4	1036.7561 m	956.8086 m	99.7856
S5	1034.0814 m	984.5999 m	99.8055
S6	1028.5286 m	1004.5233 m	100.2725
S7	1036.2743 m	975.8254 m	99.9128

Additional Parameters

	Value	Sd
Scale factor S0:	1.0000000000	fixed
Vertical refraction coefficient Z0:	0.13	fixed

Adjustment Results

Coordinates

Station		Coordinate	Corr	Sd
N1	Easting	1008.3011 m	0.0023 m	0.0002 m
	Northing	1001.6582 m	-0.0008 m	0.0003 m
	Height	100.4095 m	-0.0002 m	0.0003 m
N2	Easting	998.8265 m	0.0008 m	0.0004 m
	Northing	981.8144 m	0.0007 m	0.0001 m
	Height	100.5561 m	-0.0002 m	0.0001 m
N3	Easting	999.6896 m	-0.0010 m	0.0002 m
	Northing	962.1019 m	0.0012 m	0.0001 m
	Height	100.5241 m	0.0001 m	0.0001 m
N4	Easting	1018.4120 m	0.0034 m	0.0002 m
	Northing	982.6799 m	-0.0039 m	0.0001 m
	Height	100.4902 m	0.0002 m	0.0002 m
N5	Easting	1027.6241 m	0.0021 m	0.0001 m
	Northing	945.4491 m	0.0006 m	0.0001 m
	Height	99.8787 m	0.0005 m	0.0002 m
N6	Easting	1029.7349 m	-0.0008 m	0.0001 m
	Northing	974.5133 m	-0.0005 m	0.0001 m
	Height	100.3896 m	-0.0007 m	0.0001 m
N7	Easting	1029.5494 m	-0.0040 m	0.0001 m
	Northing	983.2974 m	0.0025 m	0.0001 m
	Height	100.4087 m	-0.0006 m	0.0001 m
N8	Easting	1032.5449 m	-0.0034 m	0.0002 m
	Northing	1004.6482 m	0.0006 m	0.0003 m
	Height	100.4639 m	-0.0004 m	0.0003 m
S1	Easting	1000.0023 m	0.0022 m	0.0001 m
	Northing	999.9992 m	-0.0007 m	0.0001 m
	Height	99.9997 m	0.0001 m	0.0002 m
S2	Easting	1005.4941 m	0.0009 m	0.0001 m
	Northing	982.8051 m	-0.0001 m	0.0001 m
	Height	100.0057 m	0.0000 m	0.0001 m
S3	Easting	1003.7161 m	0.0001 m	0.0001 m
	Northing	963.9143 m	-0.0003 m	0.0001 m
	Height	100.1509 m	-0.0001 m	0.0001 m
S4	Easting	1036.7547 m	-0.0014 m	0.0001 m
	Northing	956.8096 m	0.0010 m	0.0001 m
	Height	99.7856 m	0.0000 m	0.0001 m

S5	Easting	1034.0796 m	-0.0018 m	0.0001 m
	Northing	984.6013 m	0.0014 m	0.0001 m
	Height	99.8060 m	0.0006 m	0.0001 m
S6	Easting	1028.5314 m	0.0028 m	0.0001 m
	Northing	1004.5206 m	-0.0028 m	0.0001 m
	Height	100.2734 m	0.0009 m	0.0002 m
S7	Easting	1036.2721 m	-0.0021 m	0.0001 m
	Northing	975.8266 m	0.0012 m	0.0001 m
	Height	99.9125 m	-0.0003 m	0.0001 m

External Reliability

Station		Ext Rel [m]		Station	Target
N1	Easting	0.0001	R0	S2	N1
	Northing	0.0002	S0	S3	N1
	Height	-0.0003	Z0	S2	N1
N2	Easting	-0.0005	S0	S2	N2
	Northing	-0.0001	S0	S2	N2
	Height	-0.0001	Z0	S2	N2
N3	Easting	-0.0002	S0	S3	N3
	Northing	0.0001	R1	S4	N3
	Height	-0.0001	Z0	S3	N3
N4	Easting	0.0001	R0	S3	N4
	Northing	-0.0001	R0	S1	N4
	Height	-0.0002	Z0	S2	N4
N5	Easting	0.0000	R1	S4	S3
	Northing	-0.0001	S0	S5	N5
	Height	-0.0001	Z0	S4	N5
N6	Easting	0.0001	R0	S4	N6
	Northing	0.0000	R0	S4	N6
	Height	-0.0001	Z0	S7	N6
N7	Easting	0.0001	R0	S7	N7
	Northing	0.0000	S0	S5	N5
	Height	-0.0001	Z0	S5	N7
N8	Easting	0.0001	R0	S5	N8
	Northing	0.0002	S0	S7	N8
	Height	-0.0002	Z0	S5	N8
S1	Easting	-0.0001	S0	S1	S6
	Northing	0.0000	S0	S1	S3
	Height	-0.0001	Z0	S2	S1
S2	Easting	0.0000	S0	S1	S6
	Northing	0.0000	S0	S2	N1
	Height	0.0001	Z0	S2	N1
S3	Easting	0.0000	S0	S3	S4
	Northing	0.0000	S0	S3	N1
	Height	0.0001	Z0	S3	S2
S4	Easting	0.0000	S0	S4	N3
	Northing	-0.0001	R0	S3	S4
	Height	0.0001	Z0	S4	N5
S5	Easting	0.0000	S0	S1	S6
	Northing	0.0000	S0	S5	N5
	Height	0.0001	Z0	S5	N8
S6	Easting	0.0001	S0	S1	S6
	Northing	0.0001	S0	S7	S6
	Height	-0.0001	Z0	S5	S6
S7	Easting	0.0000	S0	S1	S6
	Northing	0.0000	S0	S7	N8
	Height	0.0000	Z0	S5	N8

Absolute Error Ellipses (2D - 39.4% 1D - 68.3%)

Station	A [m]	B [m]	A/B	Phi	Sd Hgt [m]
N1	0.0003	0.0002	1.6	4°	0.0003
N2	0.0004	0.0001	3.7	82°	0.0001
N3	0.0002	0.0001	2.5	64°	0.0001
N4	0.0002	0.0001	1.4	-88°	0.0002
N5	0.0001	0.0001	1.2	23°	0.0002
N6	0.0001	0.0001	1.2	75°	0.0001
N7	0.0001	0.0001	1.3	-70°	0.0001
N8	0.0003	0.0002	1.7	0°	0.0003

S1	0.0001	0.0001	1.1	82°	0.0002
S2	0.0001	0.0001	1.1	-74°	0.0001
S3	0.0001	0.0001	1.1	60°	0.0001
S4	0.0001	0.0001	1.3	15°	0.0001
S5	0.0001	0.0001	1.1	-16°	0.0001
S6	0.0001	0.0001	1.2	-60°	0.0002
S7	0.0001	0.0001	1.3	-44°	0.0001

Relative Error Ellipses (2D - 39.4%)

Station	Station	A [m]	B [m]	A/B	Psi	Sd Hgt [m]
S5	S7	0.0001	0.0000	2.7	4°	0.0001
S5	S6	0.0002	0.0001	2.0	-8°	0.0002
S5	N8	0.0003	0.0001	2.5	1°	0.0003
S5	N7	0.0001	0.0000	2.9	3°	0.0001
S5	N6	0.0001	0.0001	1.8	0°	0.0001
S5	N5	0.0002	0.0001	1.4	10°	0.0002
S7	S6	0.0002	0.0001	1.6	-11°	0.0002
S7	N8	0.0003	0.0001	2.2	6°	0.0003
S7	N7	0.0001	0.0001	1.9	-2°	0.0001
S7	N6	0.0001	0.0001	2.0	-1°	0.0001
S7	N5	0.0002	0.0001	1.5	3°	0.0002
S4	S7	0.0001	0.0001	1.9	7°	0.0002
S4	S5	0.0002	0.0001	1.8	14°	0.0002
S4	N6	0.0001	0.0001	1.6	35°	0.0002
S4	N5	0.0002	0.0001	2.0	-13°	0.0002
S4	N3	0.0003	0.0001	2.1	-31°	0.0002
S1	S6	0.0002	0.0001	1.7	2°	0.0002
S1	S3	0.0002	0.0001	1.4	5°	0.0002
S1	S2	0.0001	0.0001	1.8	8°	0.0002
S1	N5	0.0002	0.0002	1.1	65°	0.0002
S1	N4	0.0002	0.0001	1.1	12°	0.0003
S3	S4	0.0001	0.0001	1.2	-5°	0.0002
S3	S2	0.0001	0.0001	1.8	-9°	0.0002
S3	N5	0.0001	0.0001	1.2	3°	0.0002
S3	N4	0.0001	0.0001	1.1	4°	0.0003
S3	N3	0.0003	0.0000	9.0	0°	0.0001
S3	N1	0.0003	0.0001	2.0	-5°	0.0003
S2	N5	0.0002	0.0001	1.2	-13°	0.0002
S2	N4	0.0001	0.0001	1.7	0°	0.0002
S2	N2	0.0004	0.0001	8.6	0°	0.0001
S2	N1	0.0003	0.0001	2.5	-2°	0.0003

Redundancy:**W-Test:****Estimated Errors (Observations)****Estimated Errors For Observations With Rejected W-Tests (max 10)**

	Station	Target	W-Test	Fact	Est err
R0	S3	S4	6.15	3.1	0° 00' 19.4"
R1	S1	N5	5.13	2.6	0° 00' 15.9"
R0	S1	N5	4.30	2.2	0° 00' 13.3"
R1	S3	N5	-3.86	2.0	-0° 00' 12.2"
R1	S3	S4	3.80	1.9	0° 00' 12.0"
S0	S1	N4	-3.53	1.8	-0.0035 m
S0	S1	N4	-3.43	1.8	-0.0034 m
S0	S1	N4	-3.43	1.8	-0.0034 m
R0	S2	S1	3.42	1.7	0° 00' 10.8"
S0	S1	N4	-3.33	1.7	-0.0033 m

PRILOGA C: Poročilo o izračunu prostega stojišča na stojišču ST1



Setup Report

Processed: 05/28/2016 20:09:26

Project Information

Project name: Matjaz
Date created: 05/28/2016 19:15:55
Coordinate system name: None
Application software: LEICA Geo Office 8.3

Instrument Information

Instrument Type: MS50 1" R2000
Instrument Serial Number: 369332
Instrument Height: 0.0000 m
Setup Time: 06/17/2015 06:59:04
Geom.ppm (min-max): -
Atm.ppm (min-max): 12.4 - 12.4

Setup Method

Setup Method: Resection

Setup Observations

Point ID	Hz	V	Sl.Dist	H.Dist	Refl.Hgt	Refl.Type
N5	189° 40' 41.0"	90° 00' 41.8"	48.3083 m	48.3083 m	0.0000 m	Leica Refl. Tape
N7	212° 22' 41.2"	87° 25' 38.6"	11.5789 m	11.5673 m	0.0000 m	Leica Refl. Tape
N8	344° 32' 53.9"	87° 15' 30.2"	12.0275 m	12.0137 m	0.0000 m	Leica Refl. Tape

Target Coordinates

Point ID	Easting	Northing	Ortho.Hgt
N5	1027.6236 m	945.4476 m	99.8790 m
N7	1029.5505 m	983.2994 m	100.4084 m
N8	1032.5441 m	1004.6478 m	100.4639 m

Fixpoints

Point ID	Easting	Northing	Ortho.Hgt
N5	1027.6241 m	945.4491 m	99.8787 m
N7	1029.5493 m	983.2975 m	100.4087 m
N8	1032.5448 m	1004.6482 m	100.4639 m

Target Residuals

Point ID	dHz	dDist	dE	dN	dH	Use
N5	-0° 00' 00.9"	-0.0016 m	0.0005 m	0.0015 m	-0.0003 m	3D
N7	-0° 00' 00.0"	0.0023 m	-0.0012 m	-0.0019 m	0.0003 m	3D
N8	0° 00' 13.7"	0.0002 m	0.0007 m	0.0004 m	0.0000 m	3D

Setup Results

Station ID: ST1

Easting: 1035.7448 m Sd. E: 0.0011 m
Northing: 993.0684 m Sd. N: 0.0010 m
Height: 99.8886 m Sd. Hgt: 0.0002 m

Use scale: No
Calculated scale: -
Orientation: 0° 00' 00.0"
Apply scale to survey
obs: No

PRILOGA D: Seznam zajetih detajlnih točk s koordinatami

Stojišče: ST1

Število točk: 201 detajlna točka + skenogram okenske odprtine in polovice vzhodne fasade

Št. točke	Y [m]	X [m]	h [m]	Št. točke	Y [m]	X [m]	h [m]
1001	1029.398	983.525	98.216	1062	1029.166	984.911	110.441
1002	1029.097	986.735	99.307	1063	1029.044	987.787	110.430
1003	1029.121	986.062	99.308	1064	1028.733	995.625	112.738
1004	1029.126	986.068	98.667	1065	1028.744	995.625	109.948
1005	1029.100	986.730	98.665	1066	1028.622	998.331	110.427
1006	1029.056	988.001	99.317	1067	1028.513	1001.199	107.627
1007	1029.087	987.341	99.318	1068	1028.689	995.609	107.136
1008	1029.087	987.329	98.629	1069	1028.734	995.625	104.344
1009	1029.050	987.994	98.630	1070	1028.724	995.625	100.931
1010	1028.916	990.895	99.300	1071	1028.725	995.633	101.537
1011	1028.958	990.225	99.303	1072	1028.762	994.256	107.626
1012	1028.963	990.237	98.623	1073	1028.889	991.287	107.635
1013	1028.931	990.902	98.621	1074	1029.042	987.792	107.640
1014	1028.809	993.465	99.309	1075	1029.156	984.909	107.634
1015	1028.856	992.099	99.307	1076	1029.414	983.110	114.232
1016	1028.851	992.118	98.635	1077	1028.576	1003.212	114.086
1017	1028.809	993.475	98.638	1078	1028.657	1001.216	99.627
1018	1028.726	995.699	99.306	1079	1028.719	999.771	99.609
1019	1028.752	995.027	99.310	1080	1028.941	994.268	99.617
1020	1028.756	995.028	98.627	1081	1029.062	991.282	99.610
1021	1028.722	995.694	98.631	1082	1029.264	986.354	99.614
1022	1028.603	998.799	99.308	1083	1029.321	984.912	99.614
1023	1028.634	998.129	99.309	1084	1029.320	984.910	102.556
1024	1028.633	998.121	98.629	1085	1029.263	986.353	102.551
1025	1028.593	998.795	98.636	1086	1029.056	991.287	102.550
1026	1028.556	1000.041	99.315	1087	1028.943	994.269	102.555
1027	1028.577	999.375	99.303	1088	1028.715	999.773	102.547
1028	1028.574	999.372	98.674	1089	1028.649	1001.211	102.548
1029	1028.550	1000.040	98.677	1090	1028.654	1001.215	105.351
1030	1028.582	1003.115	99.579	1091	1028.714	999.767	105.346
1031	1028.582	1003.129	98.495	1092	1028.942	994.270	105.345
1032	1028.710	1000.055	98.632	1093	1029.061	991.283	105.351
1033	1028.710	1000.049	99.318	1094	1029.261	986.354	105.346
1034	1028.735	999.369	99.314	1095	1029.320	984.912	105.354
1035	1028.735	999.361	98.628	1096	1029.323	984.913	108.164
1036	1028.757	998.802	98.621	1097	1029.258	986.336	108.148
1037	1028.759	998.803	99.313	1098	1029.057	991.283	108.146
1038	1028.787	998.130	99.314	1099	1028.935	994.267	108.139
1039	1028.784	998.126	98.619	1100	1028.711	999.773	108.138
1040	1028.885	995.705	98.614	1101	1028.653	1001.215	108.146
1041	1028.886	995.707	99.315	1102	1028.650	1001.213	110.939
1042	1028.909	995.031	99.315	1103	1028.707	999.774	110.938
1043	1028.911	995.029	98.616	1104	1028.932	994.267	110.951
1044	1028.973	993.480	98.619	1105	1029.051	991.297	110.958
1045	1028.974	993.480	99.314	1106	1029.258	986.351	110.937
1046	1029.030	992.111	99.316	1107	1029.318	984.915	110.943
1047	1029.031	992.112	98.619	1108	1029.318	984.915	113.234
1048	1029.079	990.915	98.612	1109	1029.263	986.352	113.226
1049	1029.078	990.906	99.312	1110	1029.261	986.353	111.698
1050	1029.107	990.233	99.314	1111	1029.200	987.794	113.243
1051	1029.106	990.232	98.614	1112	1029.172	988.534	113.236
1052	1029.197	988.017	98.620	1113	1029.171	988.544	111.697
1053	1029.199	988.012	99.316	1114	1029.062	991.298	111.687
1054	1029.227	987.328	99.317	1115	1029.056	991.299	113.243
1055	1029.224	987.325	98.623	1116	1028.933	994.269	113.235
1056	1029.277	986.067	98.630	1117	1028.930	994.276	111.700
1057	1029.247	986.747	98.631	1118	1028.905	995.007	112.076
1058	1029.250	986.746	99.318	1119	1028.904	995.008	112.747
1059	1029.274	986.069	99.320	1120	1028.879	995.635	112.747
1060	1029.382	983.492	99.610	1121	1028.802	997.593	111.717
1061	1028.589	1003.199	99.584	1122	1028.797	997.580	113.222

Št. točke	Y [m]	X [m]	h [m]	Št. točke	Y [m]	X [m]	h [m]
1123	1028.760	998.349	113.250	1163	1028.714	999.773	107.634
1124	1028.711	999.766	111.706	1164	1028.653	1001.214	107.631
1125	1028.707	999.755	113.233	1165	1028.724	999.762	103.307
1126	1028.648	1001.221	113.239	1166	1028.710	999.773	104.834
1127	1028.714	999.760	108.906	1167	1028.660	1001.226	104.833
1128	1028.705	999.780	110.443	1168	1028.810	997.603	103.305
1129	1028.655	1001.216	110.453	1169	1028.801	997.601	104.841
1130	1028.802	997.602	108.912	1170	1028.774	998.354	104.831
1131	1028.800	997.604	110.440	1171	1028.909	994.994	103.701
1132	1028.765	998.343	110.439	1172	1028.909	995.009	104.350
1133	1028.880	995.639	109.955	1173	1028.882	995.640	104.347
1134	1028.905	995.010	109.949	1174	1029.065	991.279	103.320
1135	1028.892	995.001	109.306	1175	1029.061	991.291	104.833
1136	1029.066	991.282	108.903	1176	1028.937	994.267	104.843
1137	1029.060	991.299	110.430	1177	1028.945	994.268	103.313
1138	1028.936	994.267	110.434	1178	1029.201	987.794	104.843
1139	1028.939	994.267	108.898	1179	1029.172	988.544	104.841
1140	1029.201	987.791	110.438	1180	1029.179	988.541	103.328
1141	1029.169	988.530	110.432	1181	1029.320	984.914	104.837
1142	1029.178	988.524	108.903	1182	1029.260	986.356	104.835
1143	1029.320	984.915	110.443	1183	1029.261	986.359	103.326
1144	1029.262	986.349	110.433	1184	1029.319	984.911	102.038
1145	1029.263	986.342	108.916	1185	1029.262	986.350	102.038
1146	1029.321	984.914	107.641	1186	1029.259	986.344	100.516
1147	1029.263	986.351	107.635	1187	1029.200	987.791	102.041
1148	1029.261	986.356	106.114	1188	1029.167	988.534	102.045
1149	1029.201	987.792	107.645	1189	1029.171	988.525	100.511
1150	1029.172	988.539	107.639	1190	1029.060	991.286	100.490
1151	1029.178	988.538	106.135	1191	1029.060	991.288	102.037
1152	1029.063	991.287	106.119	1192	1028.942	994.267	102.029
1153	1029.060	991.290	107.639	1193	1028.910	995.012	100.890
1154	1028.940	994.267	107.634	1194	1028.906	995.012	101.542
1155	1028.939	994.276	106.105	1195	1028.879	995.635	101.545
1156	1028.906	995.011	106.492	1196	1028.806	997.612	100.511
1157	1028.909	995.011	107.146	1197	1028.803	997.608	102.038
1158	1028.881	995.634	107.148	1198	1028.772	998.346	102.035
1159	1028.805	997.600	106.099	1199	1028.722	999.772	100.505
1160	1028.803	997.606	107.637	1200	1028.714	999.774	102.030
1161	1028.771	998.345	107.639	1201	1028.651	1001.209	102.030
1162	1028.720	999.766	106.111				

Stojišče: ST2

Število točk: 216 detajlnih točk + skenogram polovice vzhodne fasade

Št. točke	Y [m]	X [m]	h [m]	Št. točke	Y [m]	X [m]	h [m]
2001	1030.126	965.190	110.442	2023	1029.519	980.155	108.902
2002	1030.068	966.630	110.433	2024	1029.570	978.716	110.441
2003	1030.069	966.643	108.928	2025	1029.600	977.974	110.447
2004	1030.009	968.085	113.240	2026	1029.605	977.961	108.930
2005	1029.977	968.818	113.234	2027	1029.686	976.010	109.295
2006	1029.979	968.819	111.698	2028	1029.684	976.014	109.953
2007	1029.868	971.624	111.706	2029	1029.709	975.385	109.950
2008	1029.860	971.627	113.227	2030	1029.713	975.381	109.293
2009	1029.741	974.606	113.235	2031	1029.760	974.611	108.885
2010	1029.740	974.610	111.725	2032	1029.739	974.605	110.435
2011	1029.710	975.379	112.089	2033	1029.863	971.625	110.434
2012	1029.703	975.392	112.753	2034	1029.867	971.617	108.916
2013	1029.682	976.012	112.763	2035	1029.982	968.822	108.908
2014	1029.598	977.967	111.712	2036	1029.981	968.817	110.443
2015	1029.601	977.978	113.241	2037	1030.010	968.085	110.440
2016	1029.574	978.713	113.239	2038	1030.069	966.641	108.908
2017	1029.510	980.154	111.708	2039	1030.068	966.621	110.438
2018	1029.513	980.169	113.232	2040	1030.125	965.189	110.441
2019	1029.455	981.604	113.238	2041	1030.127	965.191	107.636
2020	1029.456	981.612	108.902	2042	1030.066	966.632	107.631
2021	1029.454	981.601	110.437	2043	1030.072	966.648	106.110
2022	1029.514	980.160	110.432	2044	1030.008	968.079	107.640

Št. točke	Y [m]	X [m]	h [m]	Št. točke	Y [m]	X [m]	h [m]
2045	1029.981	968.822	107.641	2115	1029.451	981.602	110.951
2046	1029.980	968.822	106.105	2116	1029.451	981.604	108.149
2047	1029.867	971.625	106.122	2117	1029.516	980.157	108.144
2048	1029.863	971.625	107.642	2118	1029.736	974.612	108.142
2049	1029.739	974.609	107.637	2119	1029.862	971.624	108.134
2050	1029.738	974.630	106.132	2120	1030.065	966.636	108.149
2051	1029.705	975.382	106.490	2121	1030.121	965.190	108.154
2052	1029.706	975.386	107.145	2122	1030.120	965.183	105.353
2053	1029.682	976.014	107.145	2123	1030.072	966.640	105.349
2054	1029.603	977.966	106.103	2124	1029.863	971.625	105.345
2055	1029.603	977.977	107.637	2125	1029.741	974.611	105.344
2056	1029.573	978.715	107.646	2126	1029.514	980.157	105.352
2057	1029.515	980.142	106.114	2127	1029.455	981.598	105.354
2058	1029.514	980.163	107.640	2128	1029.453	981.596	105.356
2059	1029.454	981.602	107.641	2129	1029.455	981.596	102.545
2060	1029.456	981.596	104.839	2130	1029.510	980.160	102.553
2061	1029.512	980.161	104.836	2131	1029.743	974.606	102.550
2062	1029.524	980.149	103.315	2132	1029.862	971.624	102.549
2063	1029.567	978.713	104.834	2133	1030.066	966.637	102.545
2064	1029.601	977.976	104.836	2134	1030.120	965.190	102.547
2065	1029.606	977.970	103.301	2135	1030.125	965.186	99.613
2066	1029.689	976.015	104.351	2136	1030.072	966.646	99.625
2067	1029.714	975.387	104.349	2137	1029.860	971.625	99.628
2068	1029.718	975.378	103.690	2138	1029.741	974.611	99.614
2069	1029.734	974.615	103.322	2139	1029.529	980.144	99.631
2070	1029.741	974.613	104.830	2140	1029.455	981.593	99.623
2071	1029.882	971.618	104.833	2141	1029.533	976.004	109.949
2072	1029.865	971.624	103.302	2142	1029.522	976.009	112.751
2073	1029.983	968.815	103.306	2143	1029.578	974.593	110.433
2074	1029.978	968.811	104.833	2144	1029.709	971.624	110.429
2075	1030.010	968.080	104.833	2145	1029.705	971.624	107.637
2076	1030.124	965.192	104.833	2146	1029.572	974.595	107.630
2077	1030.070	966.636	104.835	2147	1029.976	965.184	104.829
2078	1030.069	966.644	103.313	2148	1029.862	968.073	104.832
2079	1030.118	965.193	102.029	2149	1029.096	986.353	110.436
2080	1030.062	966.632	102.031	2150	1029.108	986.340	107.633
2081	1030.056	966.630	100.501	2151	1029.009	988.517	110.432
2082	1030.006	968.074	102.030	2152	1029.014	988.518	107.638
2083	1029.972	968.809	102.037	2153	1028.765	994.261	107.623
2084	1029.972	968.807	100.503	2154	1029.564	976.003	104.344
2085	1029.863	971.622	100.490	2155	1029.552	976.005	101.538
2086	1029.866	971.626	102.034	2156	1029.617	974.599	102.024
2087	1029.738	974.613	102.027	2157	1030.068	966.414	98.656
2088	1029.741	974.621	100.515	2158	1030.070	966.412	99.340
2089	1029.685	976.014	101.545	2159	1030.045	967.101	99.342
2090	1029.712	975.384	101.545	2160	1030.045	967.102	98.656
2091	1029.707	975.374	100.875	2161	1030.019	967.666	98.638
2092	1029.571	978.713	102.041	2162	1030.021	967.668	99.341
2093	1029.599	977.980	102.034	2163	1029.980	968.338	99.337
2094	1029.608	977.967	100.510	2164	1029.995	968.351	98.638
2095	1029.455	981.595	102.032	2165	1029.906	970.529	98.636
2096	1029.511	980.161	102.035	2166	1029.905	970.530	99.343
2097	1029.514	980.148	100.513	2167	1029.876	971.229	99.341
2098	1029.200	987.796	100.507	2168	1029.877	971.231	98.640
2099	1029.206	987.787	103.302	2169	1029.829	972.411	98.642
2100	1029.205	987.779	106.112	2170	1029.830	972.411	99.339
2101	1029.206	987.782	108.911	2171	1029.775	973.787	99.336
2102	1029.199	987.785	111.711	2172	1029.775	973.789	98.640
2103	1029.320	984.915	113.235	2173	1029.710	975.354	98.634
2104	1029.322	984.896	111.705	2174	1029.708	975.359	99.332
2105	1029.326	984.908	108.923	2175	1029.685	976.042	99.331
2106	1029.328	984.901	106.109	2176	1029.683	976.045	98.638
2107	1029.319	984.912	103.314	2177	1029.587	978.430	98.621
2108	1029.322	984.918	100.495	2178	1029.586	978.432	99.322
2109	1030.200	963.317	113.829	2179	1029.559	979.114	99.324
2110	1030.123	965.188	110.958	2180	1029.560	979.118	98.622
2111	1030.069	966.636	110.942	2181	1029.572	979.652	98.643
2112	1029.863	971.621	110.940	2182	1029.533	979.693	99.322
2113	1029.741	974.604	110.937	2183	1029.507	980.375	99.324
2114	1029.511	980.160	110.948	2184	1029.509	980.376	98.641

Št. točke	Y [m]	X [m]	h [m]	Št. točke	Y [m]	X [m]	h [m]
2185	1029.869	963.298	99.605	2201	1029.625	973.780	99.327
2186	1030.188	963.655	99.609	2202	1029.667	972.414	99.330
2187	1030.191	963.331	99.571	2203	1029.672	972.412	98.648
2188	1030.203	963.324	98.192	2204	1029.626	973.773	98.642
2189	1029.872	967.088	99.335	2205	1029.539	976.035	99.323
2190	1029.915	966.413	99.338	2206	1029.555	975.370	99.326
2191	1029.908	966.402	98.699	2207	1029.552	975.363	98.644
2192	1029.881	967.080	98.694	2208	1029.536	976.034	98.641
2193	1029.824	968.347	99.328	2209	1029.426	979.107	99.318
2194	1029.847	967.665	99.326	2210	1029.438	978.439	99.320
2195	1029.859	967.662	98.646	2211	1029.435	978.440	98.630
2196	1029.826	968.331	98.645	2212	1029.419	979.100	98.630
2197	1029.694	971.215	99.333	2213	1029.359	980.366	99.320
2198	1029.755	970.523	99.336	2214	1029.393	979.693	99.320
2199	1029.755	970.523	98.637	2215	1029.387	979.695	98.681
2200	1029.709	971.205	98.639	2216	1029.351	980.359	98.687

Stojišče: ST3

Število točk: 0 detajlnih točk + skenogram okenske odprtine

Stojišče: ST4

Število točk: 168 detajlnih točk

Št. točke	Y [m]	X [m]	h [m]	Št. točke	Y [m]	X [m]	h [m]
4001	1018.543	982.708	114.236	4039	1018.022	995.311	108.889
4002	1017.710	1002.629	99.588	4040	1018.024	995.325	106.055
4003	1017.701	1002.709	99.587	4041	1018.027	995.326	107.228
4004	1017.703	1002.724	113.991	4042	1017.951	997.167	107.235
4005	1018.401	986.503	105.255	4043	1017.945	997.179	106.089
4006	1018.406	986.497	107.622	4044	1017.845	999.859	105.264
4007	1018.456	985.289	107.621	4045	1017.883	998.639	105.255
4008	1018.399	986.507	108.058	4046	1017.888	998.640	107.625
4009	1018.404	986.494	110.422	4047	1017.829	999.859	108.039
4010	1018.455	985.285	110.419	4048	1017.891	998.638	108.075
4011	1018.454	985.284	110.858	4049	1017.886	998.640	110.408
4012	1018.401	986.502	110.843	4050	1017.840	999.853	110.853
4013	1018.406	986.483	113.222	4051	1017.881	998.632	110.848
4014	1018.552	982.958	111.724	4052	1017.887	998.635	113.207
4015	1018.467	985.144	113.228	4053	1017.833	999.988	113.218
4016	1018.466	985.156	111.729	4054	1017.836	999.979	111.701
4017	1018.554	982.950	110.423	4055	1017.752	1002.195	111.732
4018	1018.462	985.145	110.418	4056	1017.833	999.989	110.414
4019	1018.461	985.152	108.942	4057	1017.848	999.992	108.926
4020	1018.557	982.967	107.622	4058	1017.833	999.990	107.618
4021	1018.463	985.148	107.619	4059	1017.836	999.987	106.117
4022	1018.461	985.160	106.120	4060	1017.733	1002.180	106.113
4023	1018.260	989.854	106.080	4061	1018.163	992.154	111.240
4024	1018.263	989.850	107.215	4062	1018.127	992.979	111.231
4025	1018.339	988.012	107.217	4063	1018.130	992.989	110.355
4026	1018.269	989.842	108.903	4064	1018.161	992.153	108.433
4027	1018.262	989.846	110.032	4065	1018.126	992.984	108.435
4028	1018.339	988.014	110.037	4066	1018.123	993.000	107.555
4029	1018.267	989.851	111.693	4067	1018.164	992.154	105.596
4030	1018.261	989.850	112.824	4068	1018.127	992.987	105.595
4031	1018.339	988.015	112.835	4069	1018.124	992.998	104.723
4032	1018.026	995.328	111.690	4070	1018.559	982.967	104.823
4033	1018.028	995.328	112.832	4071	1018.461	985.149	104.823
4034	1017.951	997.169	112.830	4072	1018.465	985.155	103.339
4035	1017.951	997.159	111.692	4073	1018.346	988.015	104.444
4036	1017.960	997.163	108.896	4074	1018.261	989.845	104.439
4037	1017.948	997.162	110.040	4075	1018.258	989.847	103.296
4038	1018.024	995.314	110.031	4076	1018.031	995.331	103.292

Št. točke	Y [m]	X [m]	h [m]	Št. točke	Y [m]	X [m]	h [m]
4077	1018.029	995.284	104.431	4123	1016.991	991.197	100.711
4078	1017.951	997.166	104.429	4124	1016.962	991.188	100.931
4079	1017.945	997.173	103.286	4125	1016.855	993.813	100.939
4080	1017.835	999.993	104.825	4126	1016.886	993.817	100.719
4081	1017.836	999.990	103.321	4127	1018.197	991.231	101.309
4082	1017.743	1002.179	103.314	4128	1018.086	993.906	101.329
4083	1017.840	999.855	102.443	4129	1018.088	993.908	100.746
4084	1017.893	998.640	104.827	4130	1018.204	991.305	100.271
4085	1017.884	998.635	102.465	4131	1018.146	992.622	100.271
4086	1018.455	985.286	104.821	4132	1018.168	992.620	98.329
4087	1018.404	986.499	104.823	4133	1018.200	991.292	99.627
4088	1018.402	986.507	102.454	4134	1018.115	993.833	99.633
4089	1018.405	986.491	102.013	4135	1018.106	993.838	98.334
4090	1018.409	986.508	99.649	4136	1018.090	993.884	98.333
4091	1018.466	985.157	100.517	4137	1017.083	993.835	98.313
4092	1018.464	985.143	102.013	4138	1017.155	991.581	98.320
4093	1018.555	982.965	102.012	4139	1018.190	991.598	98.336
4094	1018.340	988.008	101.629	4140	1018.206	991.200	98.275
4095	1018.260	989.847	101.631	4141	1017.173	991.198	98.231
4096	1018.259	989.846	100.499	4142	1017.152	991.568	98.248
4097	1018.128	992.997	101.951	4143	1017.067	993.840	98.195
4098	1018.162	992.154	101.962	4144	1018.066	993.891	98.234
4099	1018.162	992.154	102.845	4145	1018.440	985.555	98.634
4100	1018.130	992.988	102.841	4146	1018.447	985.561	99.325
4101	1017.951	997.160	100.517	4147	1018.420	986.250	99.324
4102	1018.024	995.328	100.512	4148	1018.416	986.247	98.633
4103	1018.028	995.323	101.634	4149	1018.377	987.209	98.635
4104	1017.956	997.166	101.627	4150	1018.377	987.205	99.323
4105	1017.831	999.857	99.667	4151	1018.347	987.880	99.324
4106	1017.882	998.645	99.648	4152	1018.347	987.882	98.629
4107	1017.892	998.638	102.010	4153	1018.305	988.853	98.631
4108	1017.830	999.989	100.515	4154	1018.304	988.851	99.327
4109	1017.834	999.993	102.011	4155	1018.275	989.523	99.321
4110	1017.741	1002.172	102.023	4156	1018.271	989.536	98.624
4111	1017.745	1002.173	102.430	4157	1018.025	995.622	98.616
4112	1017.835	999.991	102.432	4158	1018.024	995.623	99.330
4113	1018.463	985.148	102.443	4159	1017.996	996.306	99.323
4114	1018.561	982.963	102.440	4160	1018.000	996.306	98.614
4115	1018.563	982.966	99.628	4161	1017.962	997.253	98.627
4116	1018.470	985.138	99.633	4162	1017.953	997.252	99.326
4117	1017.837	999.996	99.630	4163	1017.923	997.931	99.325
4118	1017.729	1002.177	99.630	4164	1017.926	997.935	98.626
4119	1018.910	974.209	101.045	4165	1017.881	998.882	98.631
4120	1018.072	993.905	101.060	4166	1017.887	998.880	99.317
4121	1018.913	974.223	100.743	4167	1017.851	999.564	99.325
4122	1018.905	974.237	101.296	4168	1017.851	999.564	98.627

Stojišče: ST5

Število točk: 12 detajlnih točk

Št. točke	Y [m]	X [m]	h [m]	Št. točke	Y [m]	X [m]	h [m]
5001	1018.191	991.223	100.784	5007	1019.030	971.556	101.062
5002	1018.188	991.256	101.063	5008	1019.041	971.540	100.748
5003	1019.045	971.619	99.643	5009	1019.034	971.533	101.296
5004	1018.932	974.186	100.732	5010	1019.420	962.793	99.630
5005	1017.836	971.518	100.744	5011	1019.425	962.808	99.595
5006	1017.814	971.512	100.947	5012	1019.410	962.820	98.305

Stojišče: ST6

Število točk: 63 detajlnih točk

Št. točke	Y [m]	X [m]	h [m]	Št. točke	Y [m]	X [m]	h [m]
6001	1018.871	975.606	110.043	6003	1018.793	977.445	108.896
6002	1018.791	977.435	110.038	6004	1018.676	980.313	108.917

Št. točke	Y [m]	X [m]	h [m]	Št. točke	Y [m]	X [m]	h [m]
6005	1018.674	980.311	111.720	6035	1018.832	976.599	98.633
6006	1018.672	980.317	113.231	6036	1018.789	977.545	98.638
6007	1018.681	980.181	108.051	6037	1018.792	977.552	99.324
6008	1018.680	980.181	110.410	6038	1018.761	978.230	99.331
6009	1018.722	978.962	110.862	6039	1018.759	978.241	98.636
6010	1018.677	980.181	110.861	6040	1018.723	979.196	98.639
6011	1018.680	980.171	113.219	6041	1018.722	979.199	99.328
6012	1018.542	982.983	114.229	6042	1018.693	979.881	99.337
6013	1018.792	977.453	100.490	6043	1018.693	979.880	98.640
6014	1018.796	977.443	101.630	6044	1018.672	980.318	105.234
6015	1018.873	975.609	101.631	6045	1018.672	980.320	102.436
6016	1018.791	977.456	103.292	6046	1018.676	980.328	99.632
6017	1018.797	977.440	104.428	6047	1018.205	993.835	98.333
6018	1018.873	975.604	104.434	6048	1018.203	993.826	100.754
6019	1018.871	975.598	107.238	6049	1019.089	972.951	98.330
6020	1018.793	977.443	107.233	6050	1019.092	972.949	100.264
6021	1018.678	980.189	99.631	6051	1019.042	971.628	100.264
6022	1018.680	980.183	102.456	6052	1018.991	972.935	100.262
6023	1018.676	980.180	104.818	6053	1018.982	972.947	98.325
6024	1018.677	980.184	105.259	6054	1019.022	972.048	98.327
6025	1018.681	980.176	107.621	6055	1017.985	972.039	98.312
6026	1018.732	978.965	107.635	6056	1017.907	974.130	98.314
6027	1018.676	980.318	107.620	6057	1018.944	974.187	98.336
6028	1018.668	980.325	103.312	6058	1018.946	974.210	98.280
6029	1018.671	980.318	100.553	6059	1017.903	974.143	98.230
6030	1017.725	974.137	100.727	6060	1017.985	971.982	98.247
6031	1017.705	974.146	100.933	6061	1018.003	971.555	98.237
6032	1018.860	975.923	98.633	6062	1018.593	982.204	98.284
6033	1018.861	975.925	99.328	6063	1017.724	1002.631	98.193
6034	1018.834	976.593	99.334				

Stojišče: ST7

Število točk: 61 detajlnih točk

Št. točke	Y [m]	X [m]	h [m]	Št. točke	Y [m]	X [m]	h [m]
7001	1019.048	974.159	100.754	7032	1019.407	963.262	102.013
7002	1024.907	963.052	115.401	7033	1019.404	963.263	100.519
7003	1024.719	963.043	115.371	7034	1019.106	970.147	107.241
7004	1024.717	963.045	115.554	7035	1019.188	968.304	107.231
7005	1019.255	966.810	110.849	7036	1019.184	968.289	106.099
7006	1019.306	965.588	108.063	7037	1019.109	970.143	104.429
7007	1019.305	965.591	107.613	7038	1019.186	968.302	104.424
7008	1019.306	965.580	105.250	7039	1019.185	968.291	103.299
7009	1019.402	963.261	110.420	7040	1019.106	970.163	101.632
7010	1019.392	963.248	108.909	7041	1019.187	968.306	101.625
7011	1019.402	963.258	107.626	7042	1019.186	968.307	100.492
7012	1019.311	965.454	107.620	7043	1019.006	972.445	108.415
7013	1019.186	968.301	111.696	7044	1018.969	973.288	105.616
7014	1019.107	970.139	110.033	7045	1019.006	972.452	105.614
7015	1019.179	968.287	108.897	7046	1019.004	972.442	104.734
7016	1019.401	963.258	108.034	7047	1019.000	972.454	101.949
7017	1019.309	965.456	108.035	7048	1019.009	972.464	102.818
7018	1019.411	963.263	99.636	7049	1018.970	973.293	102.825
7019	1019.308	965.457	99.638	7050	1019.289	965.987	98.646
7020	1019.308	965.449	102.436	7051	1019.287	965.988	99.333
7021	1019.401	963.259	102.426	7052	1019.258	966.672	99.332
7022	1019.403	963.258	105.227	7053	1019.259	966.674	98.646
7023	1019.312	965.455	105.229	7054	1019.222	967.636	98.630
7024	1019.306	965.589	104.818	7055	1019.220	967.636	99.331
7025	1019.301	965.585	102.461	7056	1019.184	968.317	99.331
7026	1019.251	966.808	102.021	7057	1019.189	968.319	98.630
7027	1019.303	965.590	102.016	7058	1019.149	969.264	98.629
7028	1019.307	965.609	99.654	7059	1019.149	969.265	99.327
7029	1019.403	963.256	104.814	7060	1019.118	969.947	99.330
7030	1019.398	963.243	103.319	7061	1019.118	969.946	98.628
7031	1019.308	965.449	102.016				

PRILOGA E: Vmesni rezultati obdelave oblaka točk z *Ransac* algoritmom

Rezultati, dobljeni iz 10 odstotkov celotnega oblaka točk

Preglednica 1: Elementi ravnin, dobljenih iz 10 odstotkov celotnega oblaka točk

Oblika	Element	Y [m]	X [m]	h [m]
1. ravnina	točka	1028.8981	995.2878	101.0688
	normala	0.99923	0.03889	0.00589
2. ravnina	točka	1028.7346	995.3272	101.2863
	normala	0.99898	0.04461	0.00625
3. ravnina	točka	1028.8320	995.0099	101.2174
	normala	-0.03474	0.99939	0.00221
4. ravnina	točka	1028.8106	995.6325	101.2326
	normala	-0.04104	0.99916	-0.00170
5. ravnina	točka	1028.8196	995.3294	101.5432
	normala	0.01551	-0.00593	0.99986
6. ravnina	točka	1028.8170	995.3190	100.9105
	normala	0.23657	0.00680	0.97159

Preglednica 2: Elementi premic, dobljenih iz presekov ravnin iz 10 odstotkov celotnega oblaka točk

Oblika	Element	Y [m]	X [m]	h [m]
1. premica	točka	1029.4952	995.2571	0.0000
	sm. vektor	-0.00580	-0.00242	0.99997
2. premica	točka	1029.4863	995.4877	0.0000
	sm. vektor	-0.00595	0.00146	0.99998
3. premica	točka	1067.6741	0.0000	95.0346
	sm. vektor	0.03892	-0.99900	-0.00653
4. premica	točka	1067.6541	0.0000	98.4176
	sm. vektor	0.03775	-0.96944	-0.00241
5. premica	točka	1029.3712	995.2528	0.0000
	sm. vektor	-0.00614	-0.00243	0.99993
6. premica	točka	1029.3609	995.4826	0.0000
	sm. vektor	-0.00632	0.00144	0.99997
7. premica	točka	1073.2215	0.0000	94.9486
	sm. vektor	0.04464	-0.99875	-0.00662
8. premica	točka	1073.2083	0.0000	97.0653
	sm. vektor	0.04330	-0.96913	-0.00376

Preglednica 3: Koordinate točk, dobljenih iz presekov premic iz 10 odstotkov celotnega oblaka točk

Element	Y [m]	X [m]	h [m]
točka	1028.9061	995.0118	101.5400
točka	1028.9099	995.0133	100.8900
točka	1028.8818	995.6359	101.5441
točka	1028.8857	995.6350	100.8916
točka	1028.7473	995.0062	101.5425
točka	1028.7511	995.0077	100.9287
točka	1028.7195	995.6293	101.5466
točka	1028.7234	995.6284	100.9311

Rezultati dobljeni iz celotnega oblaka točk

Preglednica 4: Elementi ravnin, dobljenih iz celotnega oblaka točk

Oblika	Element	Y [m]	X [m]	h [m]
1. ravnina	točka	1028.8986	995.2789	101.0579
	normala	0.99926	0.03781	0.00672
2. ravnina	točka	1028.7362	995.2960	101.2444
	normala	0.99881	0.04873	0.00273
3. ravnina	točka	1028.8249	995.0098	101.1992
	normala	-0.04003	0.99920	0.00255
4. ravnina	točka	1028.7823	995.6295	101.2346
	normala	-0.07740	0.99700	0.00117
5. ravnina	točka	1028.7776	995.6283	101.2217
	normala	-0.10431	0.99454	-0.00088
6. ravnina	točka	1028.7809	995.3382	101.5413
	normala	-0.03538	-0.00385	0.99937

Preglednica 5: Elementi premic, dobljenih iz presekov ravnin iz celotnega oblaka točk

Oblika	Element	Y [m]	X [m]	h [m]
1. premica	točka	1029.5779	995.2982	0.0000
	sm. vektor	-0.00662	-0.00282	0.99997
2. premica	točka	1029.5586	995.8082	0.0000
	sm. vektor	-0.00666	-0.00169	0.99919
3. premica	točka	1066.5730	0.0000	99.0417
	sm. vektor	0.03781	-0.99887	-0.00251
4. premica	točka	1066.5755	0.0000	98.6803
	sm. vektor	0.03669	-0.96928	-0.00215
5. premica	točka	1029.0141	995.2756	0.0000
	sm. vektor	-0.00261	-0.00266	0.99996
6. premica	točka	1028.9903	995.7641	0.0000
	sm. vektor	-0.00267	-0.00138	0.99958
7. premica	točka	1077.2996	0.0000	99.4215
	sm. vektor	0.04871	-0.99827	-0.00212
8. premica	točka	1077.3087	0.0000	96.0668
	sm. vektor	0.04733	-0.96979	-0.00474

Preglednica 6: Koordinate točk, dobljenih iz presekov premic iz celotnega oblaka točk

Element	Y [m]	X [m]	h [m]
točka	1028.9054	995.0122	101.5445
točka	1028.9098	995.0140	100.8900
točka	1028.8818	995.6368	101.5461
točka	1028.8862	995.6379	100.8914
točka	1028.7512	995.0075	100.9287
točka	1028.7496	995.0059	101.5389
točka	1028.7194	995.6242	101.5403
točka	1028.7210	995.6250	100.9317