

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

ODDELEK ZA
GEODEZIJO



**VISOKOŠOLSKI
STROKOVNI ŠTUDIJ
GEODEZIJE
SMER GEODEZIJA V
INŽENIRSTVU**

Kandidatka:

SIMONA ZAVEC

**IZDELAVA TRIRAZSEŽNEGA MODELA STAVBE NA
PRIMERU PLEČNIKOVE HIŠE V LJUBLJANI**

Diplomska naloga št.: 354

**CREATION OF THE THREE DIMENSIONAL BUILDING
MODEL ON THE CASE OF PLECNIK HOUSE IN
LJUBLJANA**

Graduation thesis No.: 354

Mentorica:

Doc.dr. Mojca Kosmatin Fras

Predsednik komisije:

Viš.pred.mag. Samo Drobne

Somentorica:

Irena Potočniik, univ.dipl.inž.arh.

Ljubljana, 2011

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisana Simona Zavec izjavljam, da sem avtorica diplomskega dela z naslovom »Izdelava trirazsežnega modela stavbe na primeru Plečnikove hiše v Ljubljani«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 1. 9. 2011

.....

(podpis)

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	347.235(497.4Ljubljana)(043.2)
Avtor:	Simona Zavec
Mentor:	doc. dr. Mojca Kosmatin Fras
Somentor:	Irena Potočnik, univ. dipl. inž. arh.
Naslov:	Izdelava trirazsežnega modela stavbe na primeru Plečnikove hiše v Ljubljani
Obseg in oprema:	53 str., 10 preg., 43 sl., 6 pril.
Ključne besede:	bližnjelikovna fotogrametrija, zajem podatkov, kulturna dediščina, trirazsežni model, Ljubljana - Plečnikova hiša.

Izvleček

V diplomski nalogi je predstavljen potek izdelave trirazsežnega modela stavbe, Plečnikove hiše v Ljubljani, v programu PhotoModeler. V začetnem delu diplomske naloge so predstavljene teoretične osnove fotogrametrije, ki so pomembne za razumevanje praktičnega dela diplomske naloge. V drugem delu smo predstavili potek priprave in izdelave trirazsežnega modela, predstavljene so tudi težave, ki so nastale pri sami izdelavi modela. Del izdelanega trirazsežnega modela smo primerjali z arhitekturnimi meritvami, ki so nastale v okviru Konservatorsko restavratorskega projekta na Restavratorskem centru Zavoda za varstvo kulturne dediščine Slovenije (ZVKDS) v Ljubljani.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 347.235(497.4Ljubljana)(043.2)
Author: Simona Zavec
Supervisor: Assist. Prof. Mojca Kosmatin Fras, Ph. D.
Cosupervisor: Irena Potočnik, B. Sc.
Title: Creation of the three-dimensional building model on the case of Plecnik house in Ljubljana
Scope and tools: 53 p., 10 tab., 43 fig., 6ann.
Keywords: close range photogrammetry, data acquisition, cultural heritage, three - dimensional model, Ljubljana - Plecnik house.

Abstract

This Diploma thesis presents a production process of the three - dimensional model of Plecnik house in Ljubljana with PhotoModeler program. In the initial part of the thesis the theoretical basis of photogrammetry are presented, which are important for understanding the practical part that follows. In the second part we presented a process of preparation and production of the three - dimensional model, covering problems which have arisen by making a model. We compared one part of the model with architectural metric measurements which emerged within the Conservation restoration project at the Restoration Center of the Institute for the Protection of Cultural Heritage of Slovenia in Ljubljana.

ZAHVALA

Za pomoč in podporo pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem mentorici doc. dr. Mojci Kosmatin Fras in somentorici Ireni Potočnik ter asist. dr. Alešu Marjetiču.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	TEORETIČNE OSNOVE.....	3
2.1	Določitev parametrov notranje orientacije s kalibracijo fotoaparata	4
2.2	Zunanja orientacija	5
2.3	Večslikovni zajem	6
2.4	Absolutna orientacija modela stavbe	8
3	PRIPRAVA ZA IZVEDBO PRAKTIČNEGA DELA IN UPORABLJENA OPREMA	9
3.1	Kulturna dediščina	9
3.2	Lokacija in značilnosti Plečnikove hiše v Ljubljani	10
3.3	Konservatorsko restavratorski projekt za Plečnikovo hišo v Ljubljani.....	11
3.4	Uporabljen programski paket in instrumentarij.....	12
	3.4.1 Program PhotoModeler.....	12
	3.4.2 Zrcalno-refleksni fotoaparati Nikon D3000	13
	3.4.3 Instrument Leica TS06	13
3.5	Pregled obstoječe dokumentacije	14
3.6	Ogled terena in predhodno fotografiranje za nadaljnje načrtovanje izvedbe terenskega dela.....	15
3.7	Načrtovanje izvedbe terenskega dela.....	15
	3.7.1 Določitev števila oslonilnih in veznih točk	16
	3.7.2 Število potrebnih fotografskih posnetkov.....	17
	3.7.3 Število stojišč za klasično geodetsko metodo izmere.....	17
	3.7.4 Zahtevana natančnost trirazsežnega modela.....	17
4	OPIS PRAKTIČNEGA PRIMERA.....	19
4.1	Klasična metoda izmere	19
4.2	Kalibracija fotoaparata.....	21
4.3	Fotografiranje stavbe	23
5	OBDELAVA PODATKOV	25
5.1	Obdelava geodetskih meritev	25
5.2	Izdelava modela v programu PhotoModeler.....	26
	5.2.1 Zunanja orientacija	27
	5.2.2 Orientacija fotografij s pomočjo definiranih oslonilnih točk.....	27
	5.2.3 Določanje identičnih točk.....	29
	5.2.4 Tvorjenje trirazsežnega žičnega modela.....	29
	5.2.5 Absolutna orientacija modela	30

5.2.6	Tvorjenje trirazsežnega ploskovnega modela	31
5.3	Težave pri izdelavi 3D modela	32
5.4	Prikaz modela	38
6	ANALIZA TRIRAZSEŽNEGA MODELA	41
6.1	Analiza vzhodnega dela stavb na Karunovi 4 in Karunovi 6	42
6.2	Analiza vzhodnega dela fasade na Karunovi 4 (levi del fasade)	43
6.3	Analiza vzhodnega dela fasade na Karunovi 4 (desni del fasade).....	45
6.4	Analiza severnega dela fasade	47
7	ZAKLJUČEK	49
8	VIRI.....	52

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Tehnični podatki zrcalno–refleksnega fotoaparata Nikon D3000 (Nikon, 2010).....	13
Preglednica 2: Tehnični podatki instrumenta Leica TS06 (Leica geosystems AG, 2010).	13
Preglednica 3: Prikaz dveh kalibracijskih poročil.	22
Preglednica 4: Višinska izravnava poligona.....	25
Preglednica 5: Položajna izravnava poligona.....	26
Preglednica 6: Pregled vseh treh meritev za posamezne dolžine.	42
Preglednica 7: Primerjava dolžin vzhodne fasade hiše na Karunovi 4 (levi del fasade), pridobljenih z merskim trakom in laserskim razdaljemerom ter fotogrametričnimi meritvami.	44
Preglednica 8: Primerjava dolžin vzhodne fasade hiše na Karunovi 4 (desni del fasade), pridobljenih z merskim trakom in laserskim razdaljemerom ter fotogrametričnimi meritvami.	45
Preglednica 9: Primerjava dolžin vzhodne fasade hiše na Karunovi 4 (desni del fasade), pridobljene s tremi metodami izmere.	46
Preglednica 10: Primerjava dolžin severne fasade hiše na Karunovi 4, pridobljenih z merskim trakom in laserskim razdaljemerom ter fotogrametričnimi meritvami.	47

KAZALO SLIK

Slika 1: Kalibracijska mreža (PhotoModeler, 2011).....	4
Slika 2: Primerna razporeditev fotografij okoli objekta za večslikovno metodo (Kraus, 2007).....	7
Slika 3: Prikaz tlorisa hiše s posameznimi deli.....	11
Slika 4: Možnost izbire tabel v programu PhotoModeler za prikaz osnovnih podatkov.	12
Slika 5: Arhitekturni posnetek stanja Plečnikove hiše – severna fasada (Potočnik, 2010).....	15
Slika 6: Prikaz razporeditve oslonilnih točk, ki so hkrati vezne točke na objektu.....	16
Slika 7: Signal, ki je označeval oslonilno točko.....	19
Slika 8: Prikaz slepega poligona na podlagi geodetskega načrta.	21
Slika 9: Pozicija fotoaparata v času fotografiranja.....	22
Slika 10: Prikaz pozicij fotoaparata ob trenutku fotografiranja kalibracijske mreže.	23
Slika 11: Prikaz 1. Slikanja.	24
Slika 12: Prikaz 2. Slikanja.	24
Slika 13: Prikaz 3. Slikanja.	24
Slika 14: Osrednji del v programu PhotoModeler.....	26
Slika 15: Podatki kalibracije fotoaparata za vsako posamezno fotografijo.....	27
Slika 16: Določitev oslonilnih točk v programu PhotoModeler.....	28
Slika 17: Prikaz oslonilnih točk na sliki in v 3D prikazovalniku, kjer se izrisuje model.....	28
Slika 18: Določevanje identičnih točk na slikah in povezovanje točk v linije.....	29
Slika 19: Izris trirazsežnega žičnega modela v oknu »3D VIEWER«.	30
Slika 20: Določitev koordinatnega sistema in merila za 3D model.	30
Slika 21: Absolutna orientacija modela.	31
Slika 22: Prikaz izrisa ploskve.	31
Slika 23: Izris ploskovnega modela v orodju »3D VIEWER«.	32
Slika 24: Prikaz napake zajema točke.	33
Slika 25: Severna stran hiše, ki je slabše vidna zaradi dreves.....	33
Slika 26: Prikaz generaliziranega dela stavbe – frčadi na severnem delu stavbe.....	34
Slika 27: Prikaz frčad na južnem delu Karunove 4 in zahodnem delu stavbe na Karunovi 6.....	34
Slika 28: Hiša porasla z viniko in slabša vidljivost na fasado, ki jo zakriva zimzeleno drevo.	35
Slika 29: Strešni tramovi valjastega prizidka, katere smo v modelu poenostavili.	35
Slika 30: Prikaz zimskega vrta na terenu.	36
Slika 31: Prikaz zimskega vrta v modelu.	36
Slika 32: Zid, ki ločuje notranje in zunanje dvorišče.	37
Slika 33: Del valjastega dela stavbe, na katerem smo za model poenostavili del tramov.....	37
Slika 34: Poenostavljen del prizidka pod streho.	38

Slika 35: Tramovi prikazani na modelu (V fasada valjastega dela hiše).....	38
Slika 36: Prikaz praznega prostora na valjastemu prizidku in poenostavitev frčade na strehi.....	39
Slika 37 - a: Prikaz zapolnjenih praznih delov v modelu s sivo barvo (pogled na cel model).....	39
Slika 37 - b: Prikaz zapolnjenih praznih delov v modelu s sivo barvo (pogled na del modela).....	40
Slika 38: Prikaz praznega prostora pod stavbo.....	40
Slika 39: Primerjava dolžin objekta na V fasadi (ortofoto in arhitekturni posnetek stanja).....	42
Slika 40: Združena ortofoto in vektorski načrt vzhodne fasade (Karunova 4 – levi del).....	43
Slika 41: Združena ortofoto in vektorski načrt vzhodne fasade (Karunova 4 – desni del).....	45
Slika 42: Združena ortofoto in vektorski načrt severne fasade (skrajni levi del severne fasade na Karunovi 4).	47

SEZNAM PRILOG

Priloga A: UPORABLJENE FOTOGRAFIJE	A.1
Priloga B: KALIBRACIJI FOTOAPARATA	B.1
Priloga C: SKICE KLASIČNE METODE IZMERE OBJEKTA	C.1
Priloga D: KOORDINATE DETAJLNIH TOČK OBJEKTA	D.1
Priloga E: KOORDINATE TOČK 3D MODELA	E.1
Priloga F: IZDELAN TRIRAZSEŽNI MODEL PLEČNIKOVE HIŠE V LJUBLJANI	F.1

1 UVOD

Bližnjelikovna fotogrametrija je področje fotogrametrije, ki se ukvarja s pridobivanjem geometrijskih in semantičnih informacij o objektih iz posnetkov, ki so narejeni iz krajših razdalj. Definicija kratke razdalje je zelo ohlapna, tako da je dejanska vsebina tega področja definirana z namenom uporabe. Bližnjelikovna fotogrametrija tako obsega različne fotogrametrične aplikacije v industriji (avtomobilska, strojna, ladjedelniška, vesoljska), arhitekturi, arheologiji, konservatorstvu, inženirskih nalogah (npr. merjenje deformacij zgradb), medicini in fiziologiji, forenziki, informacijskih sistemih zgradb, naravoslovnih znanostih (npr. rast kristalov) itd. Druga veja fotogrametrije je topografska fotogrametrija, ki se ukvarja s postopki zajema topografskih podatkov, ki jih potrebujemo za izdelavo in vzdrževanje topografskih kart in baz.

V diplomski nalogi je opisana uporaba bližnjelikovne fotogrametrije na področju dokumentiranja arhitekturne dediščine in konservatorstva, konkretno za izdelavo trirazsežnega modela stavbe. Želeli smo boljše spoznati postopek izdelave večjega modela stavbe, zato smo si izbrali Plečnikovo hišo v Ljubljani, ki izpolnjuje vse želene pogoje, kot so sama velikost objekta, razgibanost objekta in okolica, ki je lahko moteča zaradi slabše vidljivosti pri fotografiranju. Trirazsežni model smo izdelali za stavbni kompleks, ki se nahaja na naslovih Karunova 4 in 6 v Ljubljani. Plečnikova hiša je spomenik državnega pomena in je v registru nepremične kulturne dediščine vpisana pod evidenčno številko dediščine (EŠD) 345 in uradnim imenom Ljubljana – Plečnikova hiša.

Diplomsko delo smo vsebinsko razdelili na uvod, pet vsebinskih poglavij in zaključek. V drugem poglavju diplomske naloge smo predstavili teoretične osnove fotogrametrije. Za izdelavo trirazsežnega modela stavbe moramo poznati vsaj nekaj osnov, da lahko izdelamo kakovosten model in da razumemo ozadje delovanja računalniškega programa, ki smo ga uporabili. V tretjem poglavju smo predstavili postopek načrtovanja in izvedbe fotografiranja ter izmere objekta na terenu. V četrtem poglavju je predstavljen potek obdelave podatkov, ki smo jih pridobili na terenu. Za obdelavo smo uporabili programe PhotoModeler, LisCAD, Geos, AutoCAD. V petem poglavju so predstavljeni postopki izdelave modela in zapleti, ki so se pojavljali pri zajemu modela. Ker za Plečnikovo hišo že obstaja arhitekturni posnetek stanja, ki je nastal na Restavratorskem centru ZVKDS v okviru izdelave Konservatorsko restavratorskega projekta in drugih priprav na obnovo Plečnikove hiše, smo se odločili, da ga uporabimo za izdelavo analiz trirazsežnega modela, kar smo predstavili v šestem poglavju. Za referenco smo uporabili geodetske meritve. Z izmerjenimi dolžinami na izdelanem trirazsežnem modelu in arhitekturnimi meritvami smo njihovo odstopanje predstavili v obliki tabele in slikovno ponazorili.

Posebnost naloge je v tem, da je bil izdelan trirazsežen model dokaj velikega, arhitekturno zanimivega in razgibanega objekta, ki je obdan z ovirami v okolici, ki so vplivale na kvaliteto zajema (ograje, drevesa, živa meja...). Izdelan trirazsežen model prikazuje stavbo s prizidki na Karunovi 4 in stavbo na Karunovi 6, vendar so določeni predeli objekta poenostavljeni, saj so bili za določitev posameznega detajla prezahtevni.

Predvidena je bila izdelava trirazsežnega modela objekta, ki bo prikazoval fasado objekta in določen del objekta, ki bo geometrijsko pravilen, kar pomeni, da lahko pridobimo dolžino določenega dela objekta iz modela, ki bo primerljiv z objektom v naravi.

Glavni cilj naloge je bil izdelati in prikazati trirazsežen model objekta, ki bo imel dodano informacijsko vrednost. Prav tako smo želeli izvesti primerjavo izdelanega 3D modela z že obstoječimi meritvami.

2 TEORETIČNE OSNOVE

Bližnjefotogrametrija je del fotogrametrije, ki se ukvarja s pridobivanjem geometrijskih in semantičnih informacij o objektih (na primer: pozicija, velikost in oblika objekta) iz fotografij ali digitalnih posnetkov (Hanke, 2002).

Kakovost digitalnih slik neposredno vpliva na končen rezultat, še posebej je pomembna dobra ločljivost posnetka. Zato moramo paziti, kateri fotoaparater izberemo. Če uporabimo nekvaliteten fotoaparater, so izdelani modeli uporabni le za 3D prikaz objektov, ne pa za izdelavo geometrijsko pravih modelov objektov (Hanke, 2002).

Ločljivost posnetka lahko razčlenimo na:

- prostorsko ločljivost – prepoznavanje najmanjših predmetov,
- spektralno ločljivost – sposobnost senzorja, da zaznava različne valovne dolžine v različnih spektralnih kanalih,
- radiometrično ločljivost – informacijska vrednost podobe, obseg zaznavanja različnih tonskih (radiometričnih) vrednosti,
- časovno ločljivost – časovna dostopnost podatkov (Kosmatin Fras, 2009).

Izdelan 3D model ima zelo široko uporabno vrednost, saj lahko z njim vizualno prikažemo različne informacije o samem objektu, kot so:

- oblika objekta in njegovi gabariti,
- fasada objekta,
- dolžina objekta idr.

Natančno in pravilno izdelan 3D model objekta je lahko uporaben za geodete, arhitekte, konservatorje ter za vse, ki jih zanimajo geometrijske informacije o objektu.

Priporočila za izdelavo enostavnih fotogrametričnih modelov stavb s pomočjo nemerskih fotoaparater sta zasnovala Waldhaeusl in Ogleby. Gre za t. i. 3 × 3 pravila: tri geometrijska pravila (zagotovitev merskih informacij, fotografiranje objekta z vsebinskim preklopom, priprava kontrolnih informacij), tri fotografska pravila (izbira dobrega fotoaparata, ohranjanje notranje geometrije fotoaparata in ohranjanje enakomerne osvetlitve digitalne slike) in tri organizacijska pravila (izdelava skic, zapisovanje podatkov v protokol snemanja in izvedba zaključnih del – arhiviranje izdelka) (Hanke, 2002). Ta pravila služijo predvsem strokovnjakom, ki nimajo fotogrametričnega znanja, da objekte, za katere so zadolženi, fotografsko dokumentirajo na tak način, da bi v primeru njihove poškodbe ali

uničenja bilo možno objekt rekonstruirati. Pri fotogrametrični izmeri pa običajno uporabimo druge, strokovno popolnejše postopke (npr. stereoskopsko fotografiranje).

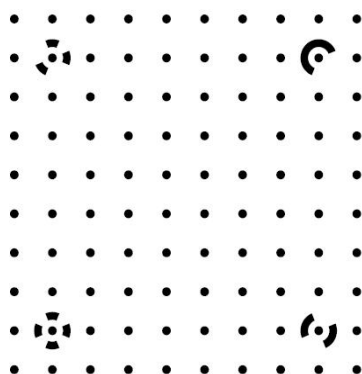
Na odločitev, katero metodo bomo uporabili za izdelavo 3D modela objekta, vplivajo predvsem naslednja dejstva:

- namen uporabe modela,
- dostopnost do objekta in konfiguracija okoliškega terena,
- razpoložljiva tehnologija (fotoaparati, oprema za zajem in obdelavo) idr.

2.1 Določitev parametrov notranje orientacije s kalibracijo fotoaparata

Vsak fotoaparat vsebuje določene napake objektiva in snemalnega sistema, ki se prenašajo na fotografijo oziroma digitalno sliko v času ekspozicije. Zato je potrebno določiti parametre notranje orientacije fotoaparata, ki definirajo merski slikovni koordinatni sistem. S kalibracijo tudi odpravimo sistematične vplive snemalnega sistema, predvsem optično distorzijo objektiva.

Merske fotoaparate običajno kalibrirajo v pooblaščenih laboratorijih s profesionalno opremo za kalibracijo. Nemerske fotoaparate lahko kalibriramo sami z izbranim postopkom kalibracije. Za izvedbo takšne kalibracije potrebujemo: programsko orodje, kalibracijsko mrežo in fotoaparat. V diplomski nalogi smo kalibracijo fotoaparata izvedli v programu PhotoModeler. Za izračun kalibracijskih parametrov fotoaparata je potrebno fotografirati kalibracijsko mrežo (slika 1). V navodilih PhotoModelerja se priporoča fotografiranje kalibracijskega polja z štirih strani in pod kotom 45° tako, da v posnetku zajamemo celotno mrežo (PhotoModeler, 2011).



Slika 1: Kalibracijska mreža (PhotoModeler, 2011).

Na osnovi izvedenega postopka kalibracije pridobimo kalibracijsko poročilo, ki vsebuje naslednje podatke:

- koordinate avtokolimacijske (glavne) točke,
- konstanto kamere (c),
- parametre optične distorzije (Kraus, 2007).

Geometrijo digitalne slike, ki nastane v času ekspozicije, običajno podamo v pikselnem koordinatnem sistemu, ki ga definira smer vrstic in stolpcev v slikovni matriki. S kalibracijo digitalnega fotoaparata torej pridobimo parametre notranje orientacije. Z znanimi parametri notranje orientacije pa lahko odpravimo sistematične pogreške fotografije in vzpostavimo slikovni koordinatni sistem.

Izhodišče slikovnega koordinatnega sistema je v projekcijskem centru posnetka. Projekcijski center je pravokotno oddaljen od glavne točke na slikovni ravnini (posnetku) za konstanto kamere. Smeri x in y osi določajo robne marke (na analognih posnetkih) oziroma smeri poteka vrstic in stolpcev v digitalni sliki. Z os je obrnjena tako, da dobimo desnosučni kartezični koordinatni sistem (Kosmatin Fras, 2009).

2.2 Zunanja orientacija

Z zunanjo orientacijo določimo prostorski položaj posnetka v času ekspozicije. Za določitev prostorskega položaja slike je potrebno poznavanje šestih parametrov zunanje orientacije, ki jih ustrezen program izračuna z izravnavo iz vhodnih podatkov (slikovne in prostorske koordinate oslonilnih točk).

Šest parametrov zunanje orientacije sestavljajo:

- koordinate projekcijskega centra (X , Y in Z koordinata),
- zasuki slikovnega koordinatnega sistema glede na objektni koordinatni sistem (zasuki φ , λ in κ so opredeljeni v obliki rotacijske matrike) (Kosmatin Fras, 2009).

Zunanjo orientacijo v programu PhotoModeler običajno definiramo v objektnem koordinatnem sistemu, ki je lokalno izbran. Na digitalni sliki je potrebno definirati vsaj šest veznih točk (uporabimo lahko tarče, ki smo jih namestili na objekt). Posamezna vezna točka se mora pojaviti na najmanj dveh slikah. Skozi vezne točke tvori program prostorske snope, ki potekajo iz projekcijskega centra. V točki, kjer se sekajo homologni snopi iste slikovne točke (vezne točke), je definirana modelna točka, ki se nahaja v modelnem koordinatnem sistemu.

2.3 Večslikovni zajem

Najbolj pogosti način fotogrametričnega zajema podatkov je dvoslikovni zajem v stereotehniki, saj sta interpretacija vsebine posnetka in merjenje v tem načinu najboljša. Za zajem v stereotehniki potrebujemo ustrezno fotogrametrično opremo, ki omogoča stereoskopsko gledanje in merjenje. Poleg tega fotogrametrično snemanje zahteva upoštevanje določenih pravil za izdelavo stereoposnetkov, ki jih je včasih na terenu težko zagotoviti.

Alternativa je večslikovni način zajema, ki se izvaja točkovno na posamičnih posnetkih. Detajl na objektu mora biti dobro viden in določljiv na vseh posnetkih iz katerih ga merimo, teoretično sta potrebna najmanj dva posnetka, zaradi zagotavljanja dobre geometrije preseka slikovnih žarkov pa so priporočljivi vsaj trije posnetki. Postopek fotogrametričnega snemanja za ta način zajema je bolj preprost in fleksibilen kot v primeru stereo snemanja, za fotogrametrični zajem pa ne potrebujemo opreme za stereoskopsko gledanje. Postopek izračuna objektnih koordinat je tako le numeričen, pri čemer se objektna točka z ustreznim algoritmom izračuna kot najverjetnejši prostorski presek homolognih žarkov. Natančnost določitve objektnih koordinat je v veliki meri odvisna od natančnosti določitve orientacije posnetkov in kota med preseki žarkov (idealni je pravi kot preseka žarkov). Večslikovni zajem se v glavnem uporablja v različnih netopografskih fotogrametričnih aplikacijah. Tudi v primeru naše naloge smo uporabili večslikovno metodo.

Za večslikovni zajem je potrebno skrbno načrtovati razpored fotografiranja za izdelavo modela. Iz zahtevane natančnosti koordinat (modela) lahko določimo, od kod je najbolje fotografirati objekt (prav tako velja za stereozajem), s kakšno oddaljenosti je objekt še merljiv in kakšna velikost slike je za fotografiranje potrebna. Pri načrtovanju razporeda fotografiranja moramo upoštevati, katerim preprekam se je potrebno izogniti, da še ohranimo dobro vidno polje fotografije. Pri načrtovanju optimalne oddaljenosti od objekta za fotografiranje je pomembno, da ohranimo globinsko ostrino na posnetku (Kraus, 2007).

Večslikovni zajem lahko izvedemo z uporabo merskega ali nemerskega fotoaparata (Kraus, 2007).

Večslikovni zajem ima določene prednosti pred drugimi načini zajema:

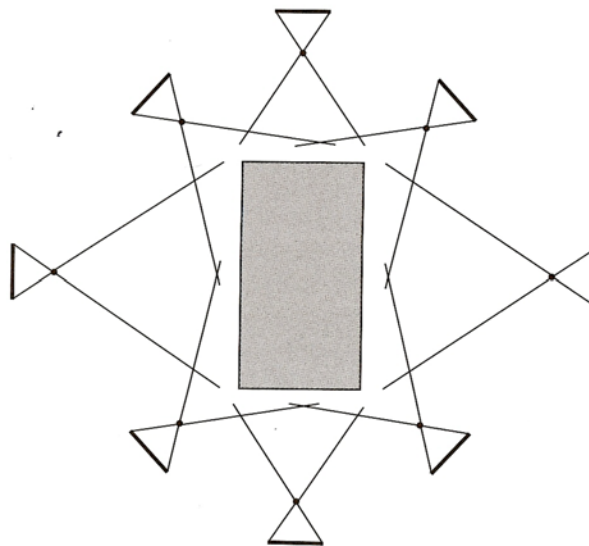
- fotografiranje je manj zahtevno kot v stereo načinu in zato poteka hitro,
- sistematične napake notranje in zunanje orientacije lahko hitro odkrijemo med obdelavo s pomočjo oslonilnih točk,
- za fotografiranje objekta lahko koristimo nestabilne platforme, kot so: lestve, postavljanje fotoaparata na tla, držanje fotoaparata v rokah in fotografiranje iz dvižnih ploščadi (Kraus, 2007).

Za večslikovni zajem je pomembno, da se zagotovi dobro presečišče homolognih žarkov (Kraus, 2007).

Večslikovni zajem lahko uporabimo tudi za fotografiranje kompleksnih, razgibanih in obsežnih objektov. Če gre za manjšo zgradbo, lahko za zajem zadostujejo že štiri fotografije, ki so posnete iz vogalov, tako da sta na vsakem posnetku vidni dve fasadi zgradbe. V takšnem primeru se posamezna objektna točka pojavi na dveh posnetkih, kar je tudi teoretični pogoj za metodo. Kot je že bilo omenjeno, pa je za kakovosten zajem podatkov zaželeno, da so posamezni deli objekta upodobljeni na vsaj treh posnetkih.

Na sliki 2 je predstavljen primer dobrega zajema enostavnega objekta z osmimi fotografijami. Prednosti takšne razporeditve posnetkov so:

- slike na vogalih služijo za stabilizacijo modela,
- vsaka točka objekta je zajeta na vsaj treh fotografijah, kar lahko daje rezultate visoke natančnosti in zanesljivosti,
- slike, ki so fotografirane vzporedno s fasado so primerne za izdelavo orto fotografij (Kraus, 2007).



Slika 2: Primerna razporeditev fotografij okoli objekta za večslikovno metodo (Kraus, 2007).

Ko imamo v konkretnem primeru slike medsebojno orientirane, lahko pričnemo določevati posamezne točke na sliki, ki bodo definirale posamezne detajle na modelu. S preseki premic slikovnih točk se tvorijo t. i. modelne točke v modelnem koordinatnem sistemu. Slikovne točke nato povezujemo med seboj in tvorimo linije, ki predstavljajo posamezen del objekta, ki ga prikazujemo v modelnem

koordinatnem sistemu. Z linijami tako tvorimo t. i. žični model. Slabost žičnega modela je, da ne omogoča dobrega prikaza objekta. Zato med linijami določimo površine, ki skupaj tvorijo ploskovni model. Ploskovni model je lahko prikazan v izbranih barvah ali pa ga oblepimo z digitalnimi slikami, ki smo jih uporabili pri izdelavi modela.

2.4 Absolutna orientacija modela stavbe

Izdelan model v modelnem koordinatnem sistemu ne prikazuje objekta v pravilnem merilu, ki je zastopan v naravi (objektni koordinatni sistem). Kadar želimo geometrijsko pravilen model, ga moramo transformirati v objektni koordinatni sistem. Program opravi absolutno orientacijo na osnovi sedem parametrične transformacije. Poznati moramo koordinate vsaj treh oslonilnih točk v obeh koordinatnih sistemih (modelne koordinate in objektno koordinate). V praksi je bolje, da poznamo vsaj štiri ali več oslonilnih točk s koordinatami, saj nam lahko služijo za kontrolo. Sedem parametrična transformacija se izvede, kadar želimo nek koordinatni sistem transformirati v drug koordinatni sistem.

V programu PhotoModeler lahko izvedemo absolutno orientacijo na dva načina:

- z definiranjem treh točk (znane koordinate v objektnem koordinatnem sistemu),
- z definiranjem znane dolžine in določitvijo x in y ter z osi.

3 PRIPRAVA ZA IZVEDBO PRAKTIČNEGA DELA IN UPORABLJENA OPREMA

Leta 2008 je Restavratorski center ZVKDS izdelal konservatorsko restavratorski projekt za obnovo Plečnikove hiše - stavbe s prizidki in inventarjem na naslovu Karunova 4, katerega del je bilo tudi dokumentiranje stanja stavbe in inventarja. Namen projekta je bil pripraviti natančne izvedbene popise potrebnih restavratorskih in obnovitvenih del ter postopkov. Cilj vseh priprav na dejansko obnovo, ki potekajo tudi danes, je v največji meri ohraniti materiale in izvedbo na stavbi in na inventarju, ki je zapuščina arhitekta Jožeta Plečnika. V kompleksu stavb na obeh naslovih deluje muzej v katerem je predstavljena Plečnikova zbirka.

Glavna naloga diplomske naloge je bila izdelava trirazsežnega modela stavbe na naslovu Karunova 4. Obravnavali smo tudi sosednjo stavbo na Karunovi 6, ki nadaljuje ulični niz vzhodne fasade Plečnikove hiše in je del spomenika.

Postopek od terenskega zajema do izdelave modela je obsegal naslednje naloge:

- pregled že obstoječe dokumentacije (geodetski načrt, arhitekturni načrti...),
- ogled terena in predhodno fotografiranje,
- načrtovanje terenskega dela (programska oprema, potreben instrumentarij, število posnetkov, število in razporeditev oslonilnih točk, število in razporeditev stojišč za terestrično metodo izmere, določitev zahtevane natančnosti modela...),
- izvedba terenskega dela (kalibracija fotoaparata, nameščanje točk, postavitev stojišč in geodetska meritev, slikanje objekta),
- obdelava podatkov (izračun geodetskih meritev, selekcija fotografij, orientacija fotografij, georeferenciranje, povezovanje točk v linije, tvorjenje ploskev na modelu),
- analiza geodetskih meritev, arhitekturnega posnetka stanja in 3D modela.

3.1 Kulturna dediščina

Pod kulturno dediščino uvrščamo območja in objekte, ki so vpisani v Register nepremične kulturne dediščine, ki ga vodi INDOK center Direktorata za kulturno dediščino na Ministrstvu za kulturo. Z vpisom v register pridobi kulturna dediščina svojo evidenčno številko – EŠD (ZVKDS, 2011).

Kulturno dediščino lahko ločimo glede na njen pomen:

- »Kulturna dediščina obsega območja in objekte kulturne dediščine, ki so vpisani v Register nepremične kulturne dediščine, ki ga vodi INDOK Center na Ministrstvu za kulturo. Vsaka vpisana enota ima svojo evidenčno številko – EŠD. Stavbna dediščina predstavlja blizu 71% vseh vpisanih enot. V register niso posebej vpisane vse tradicionalne stavbe v območjih

naselbinske dediščine, ki kot nepogrešljiv del te dediščine tvorijo vzorec zavarovanega tradicionalnega okolja.

- Kulturni spomeniki lokalnega pomena so območja ali objekti, ki imajo izjemno kulturno vrednost, predstavljajo vrhunske dosežke ustvarjalnosti oziroma ključne ali redko ohranjene dokumente nekega razvojnega obdobja na lokalnem nivoju. Vpisani so v Register nepremične kulturne dediščine in razglašeni z akti o razglasitvi, ki jih sprejme pristojni organ lokalne skupnosti in so objavljeni v Uradnem listu RS ali glasilu lokalne skupnosti.
- Kulturni spomeniki državnega pomena so najpomembnejši spomeniki v Sloveniji in imajo nacionalni pomen, z aktom o razglasitvi pa dobijo status spomenikov državnega pomena. Vpisani so v Register nepremične kulturne dediščine in razglašeni z akti o razglasitvi, ki jih sprejme Vlada Republike Slovenije in so objavljeni v Uradnem listu RS.« (ZVKDS, 2011)

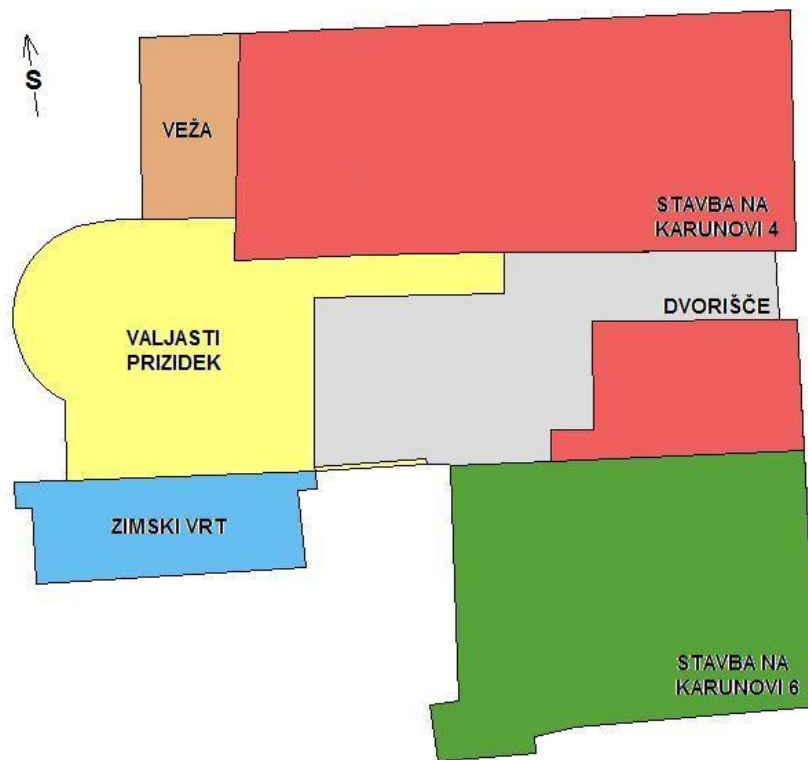
3.2 Lokacija in značilnosti Plečnikove hiše v Ljubljani

Plečnikova hiša se nahaja na parcelah številka 170/1, 170/2, 172/1, 172/2 in 173 v k. o. Trnovsko predmestje na Karunovi 4 in 6 v Ljubljani. Je kulturni spomenik državnega pomena (EŠD: 345), ki je bil razglašen z odlokom. V tej hiši iz poznega 19. stoletja je od leta 1921 – 1957 živel in ustvarjal arhitekt Jože Plečnik. Brat Jožeta Plečnika je leta 1915 kupil hišo na Karunovi 4. Leta 1928 je Jože Plečnik dokupil sosednjo stavbo na Karunovi 6. V nekajletnem obdobju je arhitekt svoj dom nenehno preoblikoval in dopolnjeval. Njegov arhitekturni prispevek predstavljajo med drugim valjast nadstropni prizidek, veža, zimski vrt kot tudi izvedba fasad na starem delu Karunove 4 (severna in vzhodna fasada) (Potočnik, 2009).

Objekt je bil izhodiščna točka arhitektovega urbanističnega urejanja Ljubljane. Varovani elementi spomenika so:

- stavba v celoti, njena zunanost in notranost, z vso Plečnikovo avtorsko oblikovano notranjo opremo in originalnim inventarjem, zbranim do leta 1957,
- funkcija objekta,
- vrt in na njem shranjene spoliije, vključno z elementi s Tromostovja in Čevljarskega mostu (Odlok o razglasitvi del arhitekta Jožeta Plečnika v Ljubljani za kulturne spomenike državnega pomena, 2009).

Na sliki 3 je prikazan tloris Plečnikove hiše, ki je bil izdelan na osnovi arhitekturnega posnetka stanja objekta. Hiša je sestavljena iz stavbe na Karunovi 4 (v katero sodijo tudi veža, valjast prizidek, zimski vrt in dvorišče s posameznimi deli) in Karunovi 6 (na sliki 3 v zeleni barvi).



Slika 3: Prikaz tlorisa hiše s posameznimi deli.

3.3 Konservatorsko restavratorski projekt za Plečnikovo hišo v Ljubljani

Konservatorsko restavratorski projekt so izdelali leta 2008 na Zavodu za varstvo kulturne dediščine, Restavratorski center, pod vodstvom višje konservatorke Irene Potočnik.

Projekt so izvedli z namenom, da se opravi pregled stanja objekta in napravi načrt obnove stare stavbe na Karunovi 4 in njenih prizidkov.

Projekt so razdelili v tri sklope:

- nujni konservatorsko restavratorski posegi na objektu, opremi in inventarju,
- izdelava arhitekturnih posnetkov stanja,
- popis konservatorsko restavratorskih del in ocena stroškov za njihovo izvedbo (Potočnik, 2009).

3.4 Uporabljen programski paket in instrumentarij

3.4.1 Program PhotoModeler

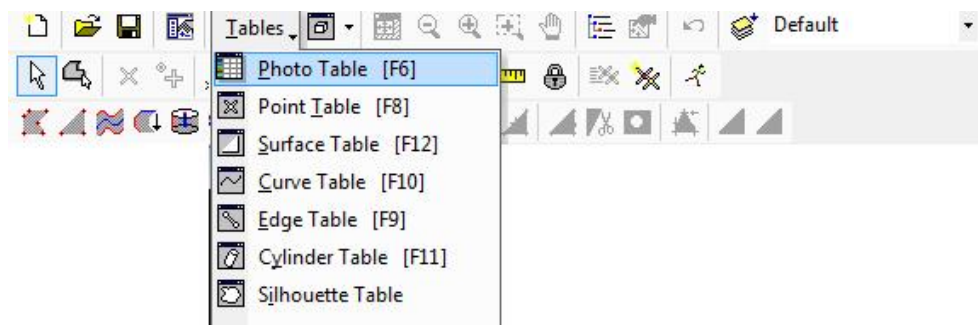
Program PhotoModeler je razvil Eos Systems. Je program za izdelavo 3D modelov različnih objektov na osnovi fotografij.

PhotoModeler omogoča:

- izdelavo modelov arhitekturnih objektov,
- prikaz prizorišč nesreče,
- izdelavo 3D dokumentacije arheoloških najdišč,
- 3D meritve različnih objektov in naprav v industrijskih aplikacijah (PhotoModeler, 2011).

Program PhotoModeler nam omogoča tudi pregled podatkov (v obliki tabele, slika 4) o:

- uporabljenih fotografijah – analiza prikaza kvalitete fotografije, osnovni podatki fotografije itd.,
- izmerjenih točkah – osnovni podatki, kvaliteta posamezne točke,
- izdelanih ploskvah, krivuljah,
- robovih,
- cilindrih,
- silhuetah.



Slika 4: Možnost izbire tabel v programu PhotoModeler za prikaz osnovnih podatkov.

Program omogoča enostavno kalibracijo fotoaparata, saj nas sam vodi čez celoten postopek. Omogoča izdelavo določenega projekta in nudi možnost združevanja projektov (na primer: za en objekt izdelamo več manjših projektov in jih združimo na osnovi treh znanih koordinat, ki se nahajajo v vsakem izmed projektov). Tridimenzionalni model izbrane stavbe smo izdelali s postopki, ki so opisani v nadaljevanju.

3.4.2 Zrcalno-refleksni fotoaparati Nikon D3000

Fotoaparati Nikon D3000 spada v skupino DSLR (ang. Digital single – lens reflex camera) fotoaparati. Takšni fotoaparati so primerni za zajem posnetkov za izdelavo trirazsežnega modela. V preglednici so podani osnovni podatki fotoaparata, ki smo ga uporabili za izdelavo 3D modela.

Preglednica 1: Tehnični podatki zrcalno–refleksnega fotoaparata Nikon D3000 (Nikon, 2010).

Vrsta	Zrcalno-refleksni digitalni fotoaparati z enojnim objektivom Nikon D3000
Efektivno število slikovnih točk	10,2 milijona
Slikovni senzor	23,6 × 15,8 mm senzor CCD
Skupno število slikovnih točk	10,75 milijona
Velikost slike	3.872 × 2.592 (Velika) 2.896 × 1.944 (Srednja) 1.936 × 1.296 (Majhna)
Format datotek	Raw, jpeg
Občutljivost ISO	ISO 100–1600
Nastavitev beline	Samodejna, neposredna sončna svetloba, bliskavica, oblačno, senca, ročna pred nastavitvev
Vrsta	AF–S DX Zoom–NIKKOR objektiv tipa G z vgrajeno CPE in bajonetnim nastavkom fotoaparata Nikon
Goriščna razdalja	18–55 mm
Največja zaslonka	f/3,5–5,6
Slikovni kot	76°–28° 50'
Razpon zaslonke	f/3,5–22 pri 18 mm; f/5,6–36 pri 55 mm

3.4.3 Instrument Leica TS06

Instrument Leica TS06 spada v linijo tahimetrov FlexLine. Instrument omogoča natančno merjenje z uporabo reflektorja ali brez.

Preglednica 2: Tehnični podatki instrumenta Leica TS06 (Leica geosystems AG, 2010).

Tehnični podatki	Instrument Leica TS06
Merjenje kotov (Hz, V)	
Standardni odklon (ISO 17123–3)	2'' (0,6 mgon), 3'' (1 mgon), 5'' (1,5 mgon)
Kompensator	Štiri–osna kompenzacija
Merjenje razdalje z reflektorjem	
Merilni doseg z okroglim reflektorjem GPR ¹	3500 m

Merilni doseg na retro tarčo (60 mm × 60 mm)	250 m
Natančnost/čas meritve (Standardni odklon ISO 17123-4)	Standard: 1,5 mm + 2 ppm / tip. 2,4 s Hitro: 3mm + 2 ppm / tip. 0,8 s Sledenje: 3 mm + 2 ppm / tip. < 0,15 s
Merjenje razdalje brez reflektorja	
Merilni doseg (90 % odbojnost)	
FlexPoint	30 m (standardno)
PinPoint-Power	> 400 m
PinPoint-Ultra	> 1000 m
Natančnost / čas meritve	2 mm + 2 ppm ¹ / tip. 3 s
Velikost laserske pike	Pri 30 m: 7 mm × 10 mm, Pri 50 m: 8 mm × 20 mm
Zapis podatkov	GSI / DXF / LandXML / uporabniško določeni ASCII formati

¹ Pri razdaljah > 500 m je natančnost 4 mm + 2 ppm

3.5 Pregled obstoječe dokumentacije

Za Plečnikovo hišo, ki spada v kulturno dediščino, obstaja kar nekaj dokumentacije: arhitekturni posnetek stanja, fotografije in geodetski načrt. Arhitekturni posnetek stanja (slika 5) je nastal v okviru konservatorsko restavratorskega projekta za Plečnikovo hišo pod okriljem višje konservatorke Irene Potočnik. Posnetek, ki vsebuje prikaze stanja okolice in posameznih delov stavb (tlorisi, narisi, prerezi stavbe in detajli) skupaj z obsežno digitalno fotodokumentacijo hrani Restavratorski center ZVKDS.

Na spletni strani Registra nepremične kulturne dediščine (giskds.situla.org/giskd) si lahko pogledamo fotografije Plečnikove hiše iz leta 1957 in Odlok o razglasitvi Plečnikove hiše za spomenik.

Velik del dokumentacije o sami stavbi, vključno s Plečnikovimi izvirnimi načrti zanjo, so shranjeni v Plečnikovi zbirki, dokumentacija pa je shranjena tudi na ZVKDS, v Območni enoti Ljubljana, na Ministrstvu za kulturo RS, na Direktoratu za kulturno dediščino v INDOK centru in drugje. Ta dokumentacija za nalogo ni bila bistvena in zato ni bila podrobno preučena.



Slika 5: Arhitekturni posnetek stanja Plečnikove hiše – severna fasada (Potočnik, 2010).

3.6 Ogled terena in predhodno fotografiranje za nadaljnje načrtovanje izvedbe terenskega dela

Pred samo izvedbo meritev in zajema na terenu je priporočljivo predhodno opraviti ogled terena, s čimer dobimo boljše celostno podobo obravnavanega objekta.

Za lažje načrtovanje projekta smo na ogledu izvedli fotografiranje objekta, kar nam je služilo za nadaljnje načrtovanje izvedbe projekta. Z ogledom Plečnikove hiše smo pridobili podatke o dostopnosti objekta in možnih ovirah okolice (na terenu moteče zelenje, drevesa in živa meja).

Pri samem ogledu smo morali podrobno preučiti podobo obravnavanega objekta in si tako zagotoviti kakovostnejši prikaz modela.

Na podlagi fotografij in ogleda smo določili predvidene lokacije za oslonilne točke, ki so potrebne pri izdelavi modela. Prav tako lahko že na terenu predvidevamo potrebno število stojišč za klasično metodo izmere.

Pri samem fotografiranju na terenu smo pričakovali, da bodo največ težav predstavljala živa meja in bližnja drevesa, ki prekrivajo in zakrivajo posamezne dele zgradbe. Na takih območjih je bilo za lažje definiranje modelne točke potrebno izdelati več fotografij iz različnih zornih kotov.

3.7 Načrtovanje izvedbe terenskega dela

Obstoječe arhitekturne posnetke stanja smo uporabili za načrtovanje izvedbenega dela na terenu (za določitev števila potrebnih posnetkov ali izdelavo 3D modela). V okviru arhitekturnih posnetkov stanja je bil izdelan načrt okolice, ki nam je služil za identificiranje možnih motečih objektov v naravi, kot so ograje, žive meje, drevesa, itd.

Na osnovi obstoječega geodetskega načrta in arhitekturnih posnetkov stanja smo izvedli načrtovanje stojišč za klasično terestrično metodo izmere. Tako smo uporabili fotografije, ki smo jih naredili pri ogledu stavbe, s pomočjo katerih smo lažje načrtovali potek nadaljnjega fotografiranja. S tem so se ohranile informacije o delih objekta, ki so nam služile za celostno izdelavo modela.

Pri načrtovanju terenskega dela in nadaljnje obdelave smo si za zadano nalogo izbrali primeren instrumentarij in programsko opremo.

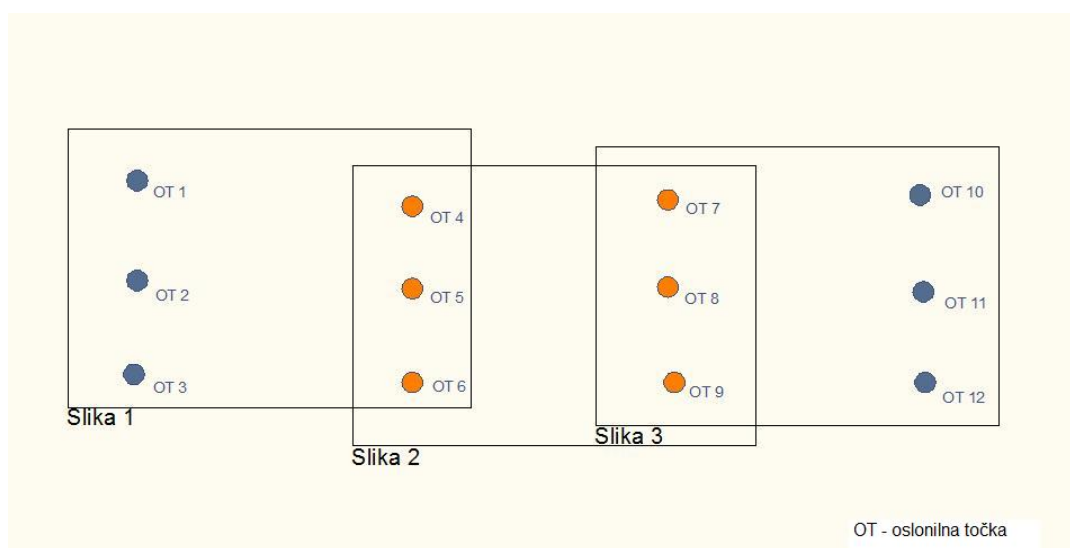
Določili smo:

- število in razporeditev potrebnih oslonilnih točk,
- število in razporeditev posnetkov,
- število in razporeditev stojišč za klasično metodo izmere,
- pričakovano natančnost tridimenzionalnega objekta in ostale potrebne parametre.

3.7.1 Določitev števila oslonilnih in veznih točk

V obravnavanem primeru so bile vezne točke hkrati tudi oslonilne točke, ker je bila vsaka točka na terenu izmerjena s klasično metodo izmere.

Oslonilne točke so bile med samim postopkom fotografiranja in izmere objekta signalizirane na objektu. Zato smo pred samo terensko izvedbo načrtovali približno število in razporeditev oslonilnih točk. Pri načrtovanju smo si izbrali velikost in obliko signalov, ki so bili dobro vidni na slikah. Ocenili smo približno število in razporeditev potrebnih točk za izvedbo zunanje orientacije slik. Posamezna točka se je morala pojaviti na vsaj dveh fotografijah (zaželeno je na treh ali več), kar prikazuje slika 6.



Slika 6: Prikaz razporeditve oslonilnih točk, ki so hkrati vezne točke na objektu.

Na terenu smo točke dobro pritrdili, zato da je njihov položaj med snemanjem ostal nespremenjen. Posamezno točko smo izmerili z instrumentom in ji izračunali koordinate v lokalnem koordinatnem sistemu. Koordinate oslonilnih točk so služile pri nadaljnji obdelavi modela.

3.7.2 Število potrebnih fotografskih posnetkov

Ena najpomembnejših priprav za delo na terenu je bilo načrtovanje števila potrebnih fotografskih posnetkov (digitalnih slik) za izdelavo 3D modela. Načrtovanje je sestavljeno iz karakteristik in dostopnosti objekta, vidljivosti posameznih delov objekta in postavitve oslonilnih točk. Pri fotografiranju objekta smo upoštevali tudi najprimernejšo oddaljenost od stavbe (da ohranimo globinsko ostrino objekta na sliki). Število fotografij bi se lahko zaradi slabega načrtovanja ali moteče okolice spremenilo. V našem primeru je bilo odstopanje od načrtovanega števila fotografij minimalno.

3.7.3 Število stojišč za klasično geodetsko metodo izmere

S pomočjo geodetskega načrta in arhitekturnih posnetkov stanja smo predvidevali število stojišč, ki so potrebna za izvedbo meritev. Pri tem smo upoštevali vidljivost med posameznimi stojišči, primerno dolžino in kot med stojiščema ter obliko samega objekta.

Na obravnavanem primeru Plečnikove hiše smo morali izvesti t. i. slepi poligon, saj okolica na južni strani stavbe ni prehodna.

3.7.4 Zahtevana natančnost trirazsežnega modela

Pred samim načrtovanjem izvedbe terenskega dela in obdelave podatkov smo se glede pričakovane natančnosti posvetovali z uporabnikom izdelka. Oceniti smo morali, kakšna je lahko pričakovana natančnost z izvedeno metodo dela.

Na podlagi izbrane metode dela, velikosti objekta in uporabljenega instrumentarija, lahko podamo vnaprej pričakovano geometrijsko natančnost trirazsežnega modela stavbe.

Vsekakor moramo pred samim začetkom izdelave modela določiti zahtevano natančnost modela, saj na podlagi tega izberemo najprimernejši pristop izdelave modela.

Na geometrijsko natančnost modela vpliva:

- natančnost instrumentarija,
- kakovost fotoaparata,
- natančnost interpretacije in zajema slikovnih detajlov,
- uporabljena fotogrametrična metoda idr.

Pri vsaki meritvi želimo ovrednotiti natančnost posameznih meritev. Pri fotogrametričnih meritvah prav tako obstajajo kriteriji, ki vplivajo na končni rezultat modela. Kriteriji so naslednji:

- uporabljena tehnologija (digitalna, analogna),
- načini meritev (ročni, samodejni ipd.),
- število uporabljenih posnetkov,
- vrsta merjenja,
- merilo slike,
- velikost piksla,
- vrsta točke,
- upoštevanje in odpravljanje sistematičnih pogreškov (Kosmatin Fras, 2002).

Pred izdelavo modela smo načrtovali doseči geometrijsko natančnost modela v velikostnem razredu nekaj centimetrov (do 5 cm). To smo predvideli na osnovi izbrane metode dela, izbranega instrumentarija (Leica TS06) in fotoaparata (zrcalno - refleksni fotoaparati Nikon D3000).

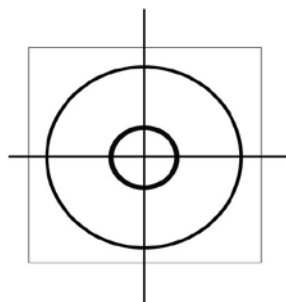
Prav tako smo predvideli, da bodo izmere daljših dolžin na 3D modelu natančnejše od meritev izvedenih z metodo dela, ki je bila uporabljena pri izdelavi arhitekturnega posnetka stanja (v našem primeru večinoma meritve z merskim trakom in laserskim razdaljmerom).

4 OPIS PRAKTIČNEGA PRIMERA

Na terenu smo najprej preverili namestitvev oslonilnih točk s pomočjo fotoaparata in predhodnih priprav za teren. Točke so bile razvrščene po fotogrametričnem načelu Gruberjevih točk – tako se mora na sliki pojaviti vsaj šest enakomerno razporejenih točk. Vsaka točka se je pojavila vsaj dvakrat na različnih slikah. Ko so bili signali za oslonilne točke nameščeni, smo sprva izvedli kalibracijo fotoaparata, nato slikanje objekta, ponovno kalibracijo fotoaparata in na koncu klasično metodo izmere.

Kadar so oslonilne točke označene s signali na objektu, je potrebno v čim hitrejšem času izvesti meritev in slikanje objekta. S tem skušamo ohraniti isto pozicijo točk, saj se točke lahko premaknejo, odpadejo ali pa jih nekdo odstrani. Paziti moramo predvsem zato, ker mora biti izmerjena oslonila točka na terenu identična točki na trirazsežnem modelu. Med izmero in slikanjem je kljub hitri obravnavi prišlo do premika pri določenih točkah, katere smo namestili pred naslednjim fotografiranjem. Hkrati pa smo si označili točke, ki jih posledično ne uporabljamo več pri nadaljnji analizi.

Signal oslonilne točke smo izdelali s pomočjo risarskega orodja v računalniku in ga nato v več izvodih natisnili na papir. Signal smo oblikovali na način, da je bil dobro viden in določljiv iz fotografij. Velikost signala je znašala $7\text{ cm} \times 7\text{ cm}$. Premer velikega kroga je bil 6 cm, premer malega kroga pa 2 cm. Presečišče signala je določevalo središče oslonilne točke. Slika 7 prikazuje izdelan signal, ki smo ga uporabili v našem primeru.



Slika 7: Signal, ki je označeval oslonilno točko.

4.1 Klasična metoda izmere

Klasična metoda izmere je potrebna za pridobitev koordinat posameznih karakterističnih točk. Tako lahko s pomočjo koordinat točk izračunamo dolžino – na primer: dolžino fasade, dimenzije okna, frčade...

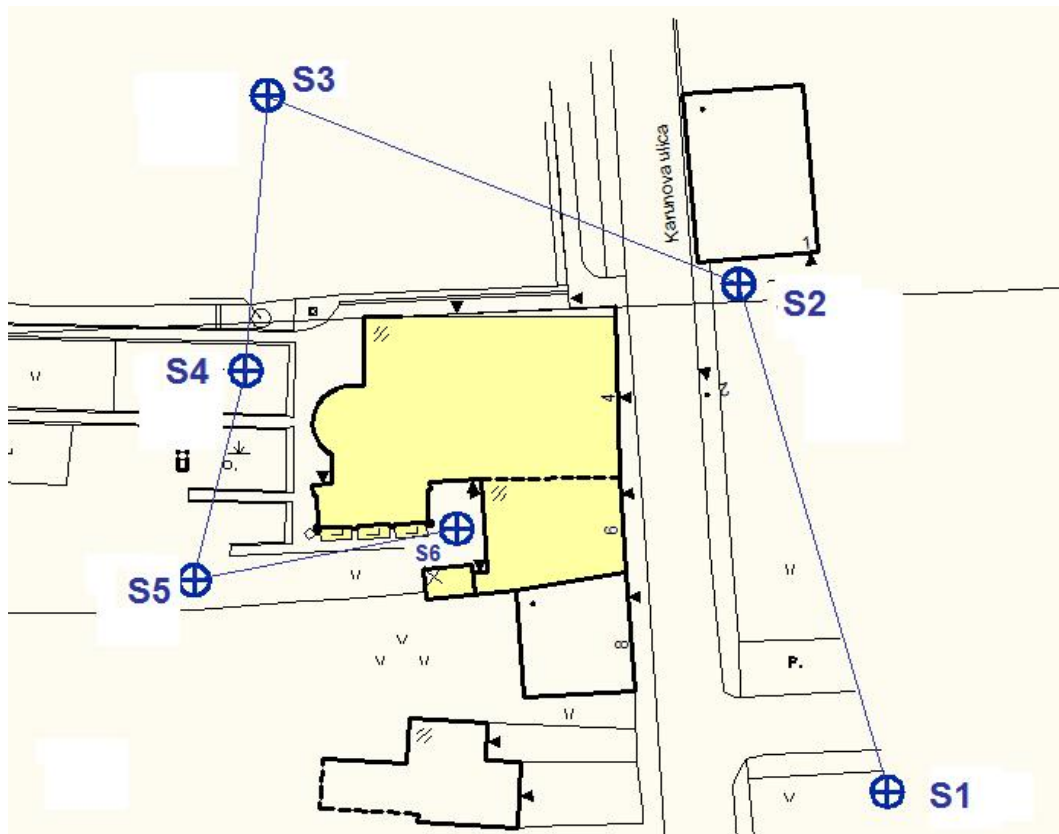
Kot prikazuje slika 8, smo na terenu izvedli slepi poligon. Za podlago skice poligona smo uporabili že obstoječi geodetski načrt.

Pri sami postavitvi stojišč smo morali paziti, da se stojišča nahajajo na območju, kjer je bilo vidnih čim več značilnosti stavbe. Za izmero objekta smo tvorili šest stojišč. Med stojišči so bili približno enaki koti meritve in dolžine. Meritev smo izvajali z reflektorjem med stojišči, za izmero točk na objektu pa smo izvedli meritve brez reflektorja.

Na prvem stojišču (S1) smo s pomočjo instrumenta prisilno centriral podnožje ter nanj namestili prizmo. Na drugem (S2) in tretjem (S3) stojišču smo prav tako prisilno centriral podnožje in ga pripravili za nadaljnje meritve. Na tretjem stojišču smo namestili prizmo. Na drugem stojišču smo namestili instrument in opazovali v dveh girusih v obeh krožnih legah. Najprej smo vizirali na stojišče ena (S1) ter nato na stojišče tri (S3). Iz stojišča dva smo nato vizirali na posamezne točke na objektu, pri tem pa smo vodili skico. Osnovo skice so nam predstavljali posamezni načrti arhitekturnega posnetka stanja, ki so detajlno prikazovali objekt – tako smo lažje določevali katere točke oziroma karakteristike objekta je potrebno izmeriti. Z enakim postopkom smo tako nadaljevali izmero vse do konca (stojišče šest).

S klasično izmero smo najlažje izmerili osnovne dimenzije objekta in določili lokalne koordinate oslonilnih točk, ki smo jih nadalje upoštevali pri izdelavi modela.

Uporabljena fotogrametrična metoda omogoča, da za definiranje objekta v pravilnem merilu uporabimo najmanj eno izmerjeno dolžino v naravi, ki jo lahko izmerimo z merskim trakom. Vendar pri takšni izmeri lahko pride do slabše natančnosti izmere, kar posledično vpliva na končno izdelavo geometrijskega modela stavbe.



Slika 8: Prikaz slepega poligona na podlagi geodetskega načrta.

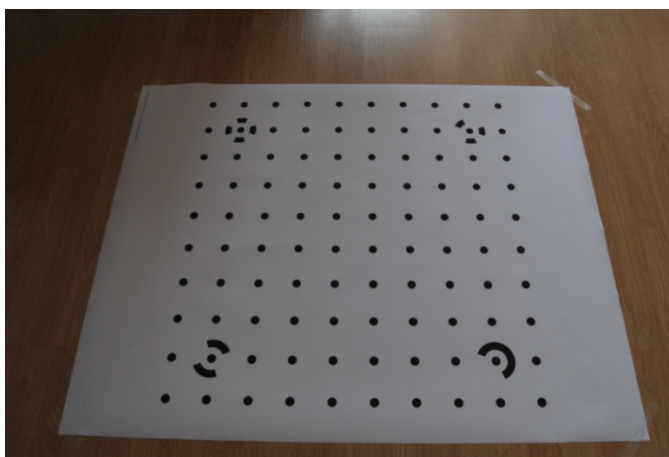
4.2 Kalibracija fotoaparata

Kalibracijo fotoaparata smo izvedli s pomočjo programa PhotoModeler. Za uspešno izvedbo kalibracije smo potrebovali kalibracijsko mrežo in primeren fotoaparata.

Fotoaparata (Nikon D3000) smo kalibrirali pred samim pričetkom fotografiranja in po končanem fotografiranju. Na fotoaparatu smo morali pred pričetkom kalibriranja in nadaljnimi izvedbami fotografiranja izključiti vse avtomatske funkcije. Pri uporabi fotoaparata smo lahko spreminjali čas osvetlitve, zaslonko in občutljivost senzorja ISO. Za kalibracijo smo izdelali osem fotografij, ki smo jih posneli pod kotom 45° , tako da smo zajeli vso kalibracijsko mrežo. Mrežo je bilo potrebno fotografirati osemkrat. Štiri slike so bile ležečega formata, štiri slike pa pokončnega formata.

Pri kalibraciji smo imeli težave, kadar mreža ni bila dovolj osvetljena, zato smo morali podaljšati čas osvetlitve.

Slika 9 prikazuje pravilno pozicijo fotoaparata za fotografiranje kalibracijske mreže.



Slika 9: Pozicija fotoaparata v času fotografiranja.

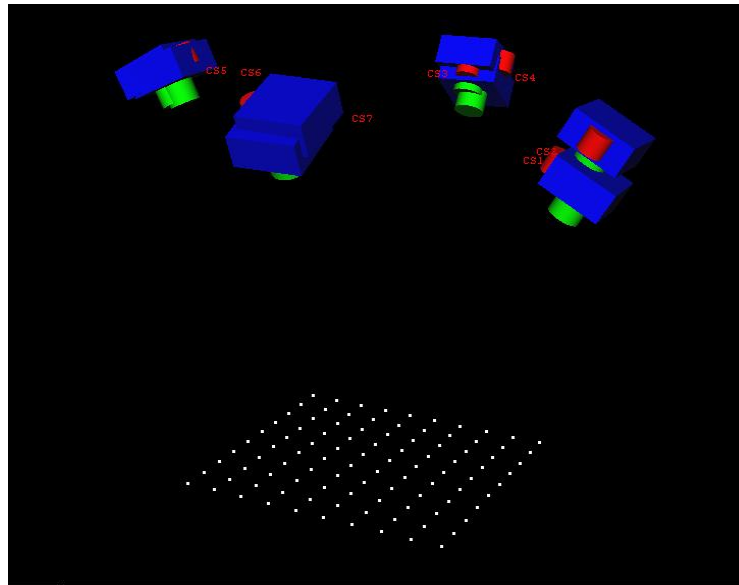
Ker smo v našem primeru fotografiranje objekta večkrat ponovili, imamo več setov kalibracij, ki jih bomo upoštevali za določene digitalne slike.

Preglednica 3: Prikaz dveh kalibracijskih poročil.

Podatki kalibracije:	Kalibracija 1	Kalibracija 2
Goriščna razdalja	18,850 mm	18,824 mm
Koordinate glavne točke		
X_p	12,193 mm	12,177 mm
Y_p	7,984 mm	8,000 mm
Koeficient radialne distorzije		
K_1	0,0003095	0,0003112
K_2	-0,0000003158	-0,0000002625
K_3	0,000	0,000
Elementi tangencialne distorzije		
P_1	-0,00001906	-0,000009832
P_2	-0,000002868	-0,000003426

Kot vidimo v primeru dveh kalibracij v tabeli, se posamezni rezultati razlikujejo med seboj. Zato moramo pred vsakim fotografiranjem objekta kalibrirati fotoaparata, saj se merski sistem zelo spreminja že ob samem prenosu in obračanju fotoaparata.

Slika 10 prikazuje položaje fotoaparata v času slikanja kalibracijske mreže.



Slika 10: Prikaz pozicij fotoaparata ob trenutku fotografiranja kalibracijske mreže.

4.3 Fotografiranje stavbe

Najprimernejši čas za fotografiranje je ob oblačnem vremenu, saj s tem dosežemo enakomerno osvetljenost stavbe. Tako si olajšamo delo pri samem zajemu in izboljšamo vizualno predstavitev modela. Na posameznih fotografijah se tako ne pojavijo sence, ki bi lahko zmotile uporabnika ali zajemalca.

Zaradi neprimernih pogojev pri fotografiranju celotnega objekta v istem času dneva (smer sonca), smo stavbo fotografirali v več serijah, ker so bili nekateri deli slik zatemnjeni ali presvetljeni. Nekateri deli stavbe so bili nevidni zaradi senc ali pa presvetli zaradi prevelike osončenosti. Takšnih fotografij nismo uporabili pri izdelavi modela ali pa smo poenostavili posamezne predele. Na nekaterih slikah so bile oslonilne točke slabše vidne.

Po prvem delu smo ugotovili, da bi bilo bolje, če bi povečali občutljivost slike iz ISO 200 na ISO 400. Šum slike se s tem nekoliko poveča, vendar za naš namen uporabe zanemarljivo, precej pa se izboljša vidnost in določljivost posameznih točk na objektu.

Za boljšo globino slike smo določili velikost zaslonke $f/8$, čas osvetljenosti pa smo prilagajali glede na osvetljenost objekta. Z osvetljenostjo smo dodajali ali odzimali kontrast slik. Predvsem na južnem delu stavbe smo morali skrajšati čas osvetljenosti, ker je bil ta del najbolj osončen. Nasprotno smo morali storiti na severni strani stavbe, kjer smo podaljšali čas osvetljenosti.

Globinsko ostrino fotografije je potrebno zagotoviti zaradi ostre upodobitve objektov za in pred samim objektom fotografiranja. Objekti se upodobijo ostro, če je slikovna ravnina v gorišču optičnega snemalnega sistema (Kosmatin Fras, 2009).

Nekaj primerov fotografij (slika 11, 12 in 13), ki smo jih izdelali v različnem času:



Zaslonka: f/8
Čas osvetlitve 1/20 s
ISO 200

Slika 11: Prikaz 1. slikanja.



Zaslonka: f/8
Čas osvetlitve: 1/250 s
ISO 400

Slika 12: Prikaz 2. slikanja.



Zaslonka: f/8
Čas osvetlitve: 1/800 s
ISO 400

Slika 13: Prikaz 3. slikanja.

5 OBDELAVA PODATKOV

Podatke, ki smo jih pridobili s terenskih meritev, smo razdelili na dva dela. Obravnavali smo geodetske meritve in fotogrametrične meritve (fotografije objekta in kalibracija fotoaparata).

5.1 Obdelava geodetskih meritev

Za izračun smo uporabili program LisCad. Najprej smo izračunali slepi poligon. Za izračun poligona smo morali določiti koordinate dveh stojišč (S1 in S2) kot znane koordinate, ki pa smo si jih lokalno opredelili. Na osnovi podanih koordinat nam je program izvedel izravnavo poligona in ostalim stojiščem dodelil izravnane koordinate. Na osnovi dodeljenih koordinat smo izračunali posamezne točke, ki so bile izmerjene iz stojišč.

Tako smo pridobili koordinate posameznih točk, na podlagi katerih lahko izračunamo dolžine med njimi, in jih uporabili za analizo ter primerjavo z modelom.

Z izravnavo meritev smo pridobili naslednje natančnosti. Tabeli prikazujeta dobljene rezultate z izravnavo.

Preglednica 4: Višinska izravnavna poligona.

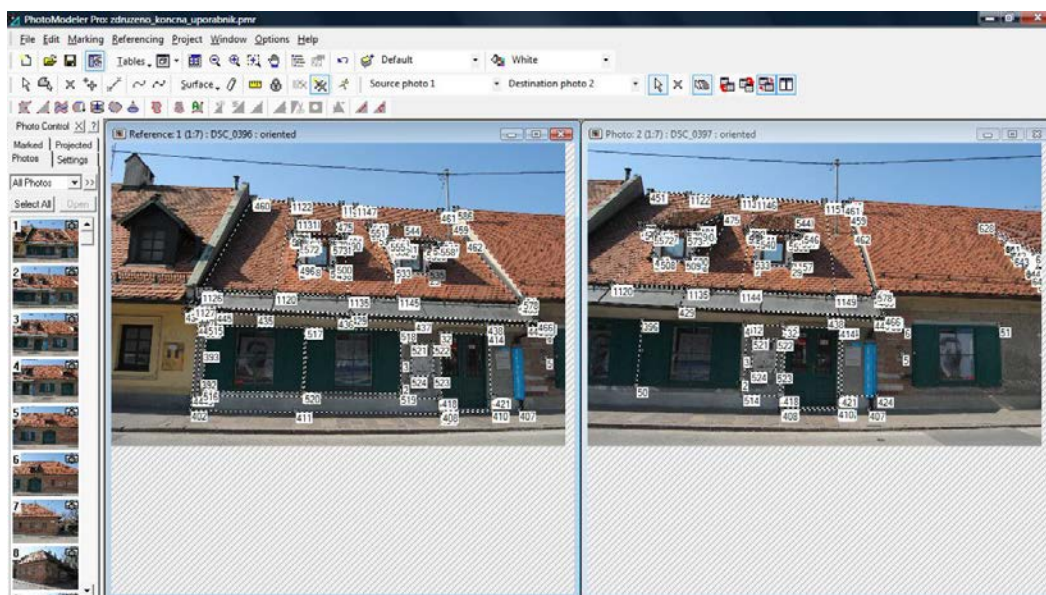
Točka poligona	Višina točke (m)	Standardna deviacija
Dana točka:		
S2	250,00	0
Nove izravnane točke:		
S1	249,872	± 0,001
S3	250,684	± 0,001
S4	249,876	± 0,001
S5	250,013	± 0,002
S6	249,854	± 0,002

Preglednica 5: Položajna izravnava poligona.

Točka poligona	Y koordinata	X koordinata	Standardna deviacija	Standardne elipse pogreškov (95 % zaupanje)	
				Velika polos	Mala polos
Dani točki:					
S1	1054,220	1000,000	/	/	/
S2	1000,000	1000,000	/	/	/
Nove izravnane točke:					
S3	971,092	985,236	± 5''	0,0006	0,0004
S4	986,209	960,520	± 5''	0,0008	0,0006
S5	1007,022	951,922	± 5''	0,0011	0,0008
S6	1010,347	967,493	± 5''	0,0012	0,0010

5.2 Izdelava modela v programu PhotoModeler

Za izdelavo modela smo uporabili program PhotoModeler Pro 5.0, ki omogoča izvedbo večslikovnega zajema in izdelavo 3D modela stavbe. PhotoModeler omogoča enostaven način izdelave modela, saj že na začetku vodi uporabnika pri vnosu slik in izvedbi kalibracije. Omogoča tudi različno dodajanje in odvzemanje slik iz različnih serij, pri čemer moramo biti pozorni, da vsaki sliki dodelimo pravi set kalibracije fotoaparata. Tudi nadaljnja obdelava ni zelo zahtevna.



Slika 14: Osrednji del v programu PhotoModeler.

Na sliki 14 je prikazano glavno okno programa PhotoModeler, v katerem smo izdelali trirazsežen model.

5.2.1 Zunanja orientacija

Ko smo izbrali fotografije, izračunali geodetske meritve in pripravili kalibracijo, smo se lotili izdelave modela. Najprej smo vnesli parametre kalibracije fotoaparata, nato pa želene fotografije. Ker smo uporabili fotografije iz več serij, smo morali biti pozorni, da smo posamezni sliki dodelili pravilno kalibracijo (pri vsaki seriji je bil fotoaparatus kalibriran). S pomočjo kalibracije smo dobili zagotovljeno notranjo orientacijo, na podlagi katere lahko izvedemo zunanjo orientacijo.

Program PhotoModeler omogoča, da lahko v tabeli spremljamo podatke kalibracije za posamezno fotografijo. Del tabele s podatki o kalibraciji prikazuje slika 15.

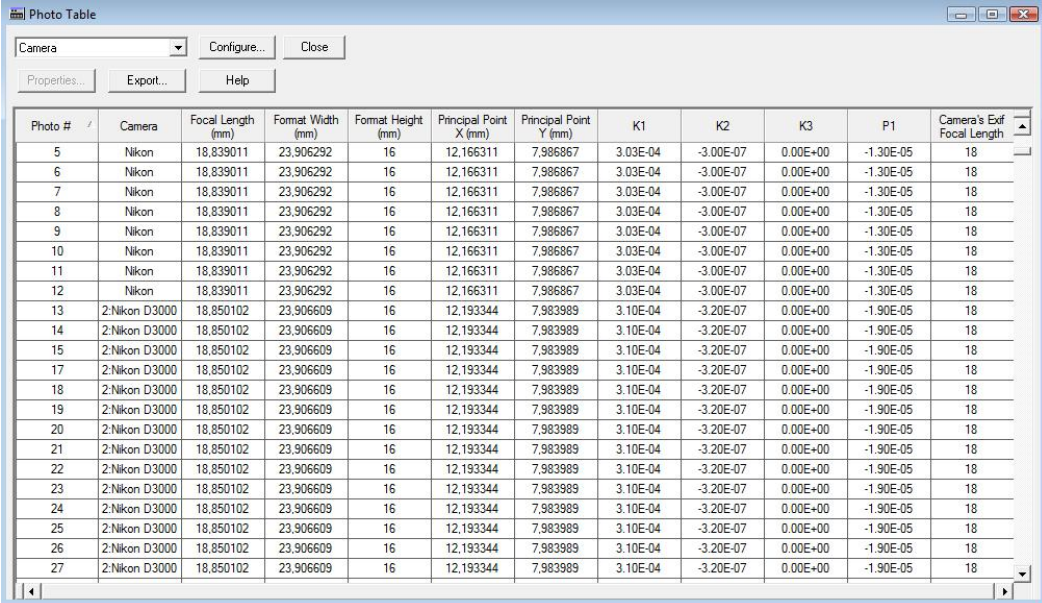


Photo #	Camera	Focal Length (mm)	Format Width (mm)	Format Height (mm)	Principal Point X (mm)	Principal Point Y (mm)	K1	K2	K3	P1	Camera's Exif Focal Length
5	Nikon	18.839011	23.906292	16	12.166311	7.986867	3.03E-04	-3.00E-07	0.00E+00	-1.30E-05	18
6	Nikon	18.839011	23.906292	16	12.166311	7.986867	3.03E-04	-3.00E-07	0.00E+00	-1.30E-05	18
7	Nikon	18.839011	23.906292	16	12.166311	7.986867	3.03E-04	-3.00E-07	0.00E+00	-1.30E-05	18
8	Nikon	18.839011	23.906292	16	12.166311	7.986867	3.03E-04	-3.00E-07	0.00E+00	-1.30E-05	18
9	Nikon	18.839011	23.906292	16	12.166311	7.986867	3.03E-04	-3.00E-07	0.00E+00	-1.30E-05	18
10	Nikon	18.839011	23.906292	16	12.166311	7.986867	3.03E-04	-3.00E-07	0.00E+00	-1.30E-05	18
11	Nikon	18.839011	23.906292	16	12.166311	7.986867	3.03E-04	-3.00E-07	0.00E+00	-1.30E-05	18
12	Nikon	18.839011	23.906292	16	12.166311	7.986867	3.03E-04	-3.00E-07	0.00E+00	-1.30E-05	18
13	2:Nikon D3000	18.850102	23.906609	16	12.193344	7.983989	3.10E-04	-3.20E-07	0.00E+00	-1.90E-05	18
14	2:Nikon D3000	18.850102	23.906609	16	12.193344	7.983989	3.10E-04	-3.20E-07	0.00E+00	-1.90E-05	18
15	2:Nikon D3000	18.850102	23.906609	16	12.193344	7.983989	3.10E-04	-3.20E-07	0.00E+00	-1.90E-05	18
17	2:Nikon D3000	18.850102	23.906609	16	12.193344	7.983989	3.10E-04	-3.20E-07	0.00E+00	-1.90E-05	18
18	2:Nikon D3000	18.850102	23.906609	16	12.193344	7.983989	3.10E-04	-3.20E-07	0.00E+00	-1.90E-05	18
19	2:Nikon D3000	18.850102	23.906609	16	12.193344	7.983989	3.10E-04	-3.20E-07	0.00E+00	-1.90E-05	18
20	2:Nikon D3000	18.850102	23.906609	16	12.193344	7.983989	3.10E-04	-3.20E-07	0.00E+00	-1.90E-05	18
21	2:Nikon D3000	18.850102	23.906609	16	12.193344	7.983989	3.10E-04	-3.20E-07	0.00E+00	-1.90E-05	18
22	2:Nikon D3000	18.850102	23.906609	16	12.193344	7.983989	3.10E-04	-3.20E-07	0.00E+00	-1.90E-05	18
23	2:Nikon D3000	18.850102	23.906609	16	12.193344	7.983989	3.10E-04	-3.20E-07	0.00E+00	-1.90E-05	18
24	2:Nikon D3000	18.850102	23.906609	16	12.193344	7.983989	3.10E-04	-3.20E-07	0.00E+00	-1.90E-05	18
25	2:Nikon D3000	18.850102	23.906609	16	12.193344	7.983989	3.10E-04	-3.20E-07	0.00E+00	-1.90E-05	18
26	2:Nikon D3000	18.850102	23.906609	16	12.193344	7.983989	3.10E-04	-3.20E-07	0.00E+00	-1.90E-05	18
27	2:Nikon D3000	18.850102	23.906609	16	12.193344	7.983989	3.10E-04	-3.20E-07	0.00E+00	-1.90E-05	18

Slika 15: Podatki kalibracije fotoaparata za vsako posamezno fotografijo.

5.2.2 Orientacija fotografij s pomočjo definiranih oslonilnih točk

Orientacijo smo opravili tako, da iste točke, kot na primer oslonilne točke na terenu, določimo na vsaj dveh slikah. S pomočjo teh točk (njihovimi preseki premic in vodenja statistike) program opravi t. i. zunanjo orientacijo posnetkov.

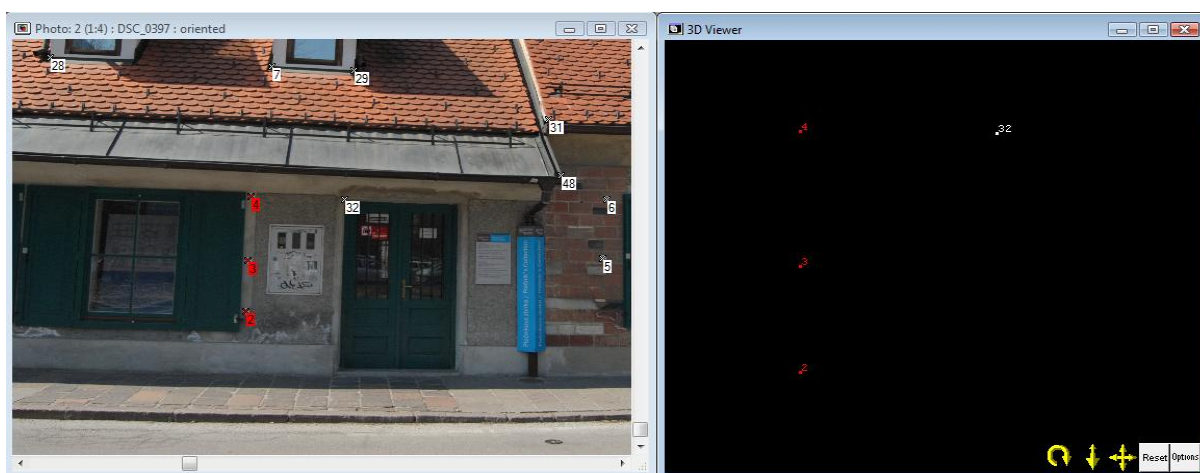
Na sliki 16 je prikazan način določevanja oslonilnih točk, ki smo jih potrebovali za orientacijo fotografij.



Slika 16: Določitev oslonilnih točk v programu PhotoModeler.

Z zunanjo orientacijo dosežemo, da so posnetki pravilno orientirani v izbranem lokalnem koordinatnem sistemu. S tem pa tudi dosežemo, da so slike medsebojno pravilno orientirane. Za orientacijo posameznega posnetka smo morali definirati vsaj šest točk. Pri nekaterih slikah je bilo potrebno definirati več točk. To je bilo potrebno predvsem pri vogalih stavbe in pri tistih delih objekta, kjer je bila vidljivost stavbe na fotografijah slabša (deli stavbe so prekriti z drevjem in grmičevjem).

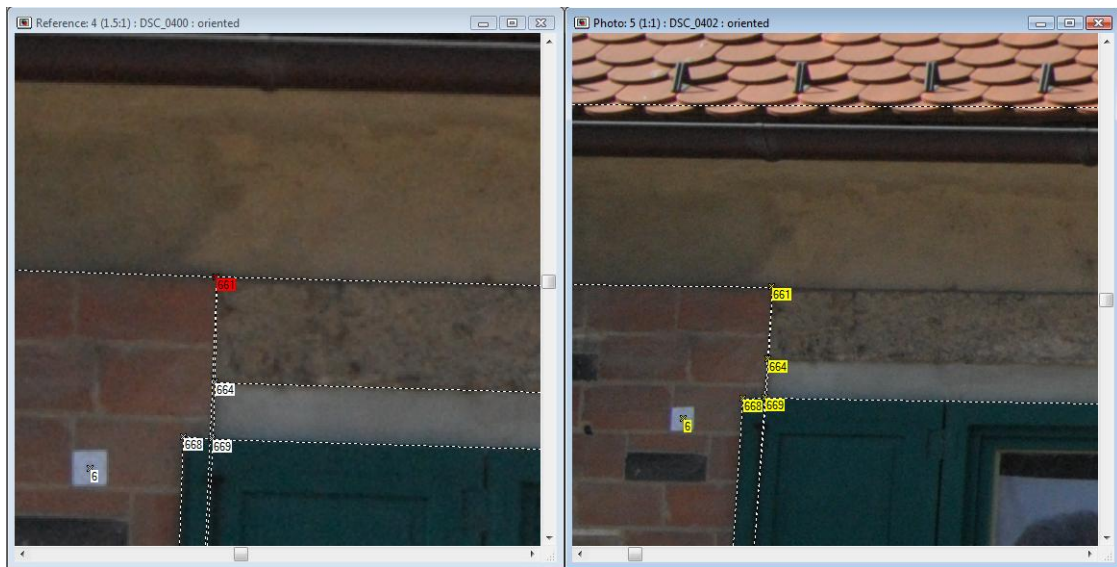
Na sliki 17 je prikazan način prikazovanja oslonilnih točk. Točke tako določamo na sliki in hkrati se nam izrisujejo tudi v 3D prikazovalniku, ki služi za nadaljnjo izdelavo in prikaz modela.



Slika 17: Prikaz oslonilnih točk na sliki in v 3D prikazovalniku, kjer se izrisuje model.

5.2.3 Določanje identičnih točk

Ko so slike med sabo orientirane, lahko nadaljujemo z določanjem karakterističnih točk na objektu (slika 18). Tako je posamezna karakteristična točka dobila svojo zaporedno številko in nakazovala določen del objekta (vogal hiše, vrat, strehe, okna, začetek fasade). Skozi točke (na več fotografijah) z isto zaporedno številko program tvori slikovne premice. Točka, v kateri se premice med seboj sekajo, se nahaja v modelnem koordinatnem sistemu. Če želimo, da je objekt v pravem merilu, ga moramo transformirati v objektni koordinatni sistem.



Slika 18: Določevanje identičnih točk na slikah in povezovanje točk v linije.

Program izračuna natančnost presekov premic s pomočjo statistike. Tako lahko sproti spremljamo, kako dobro so naše točke definirane v modelu. Natančnost točk je zapisana v tabeli točk.

Na določitev točk vpliva:

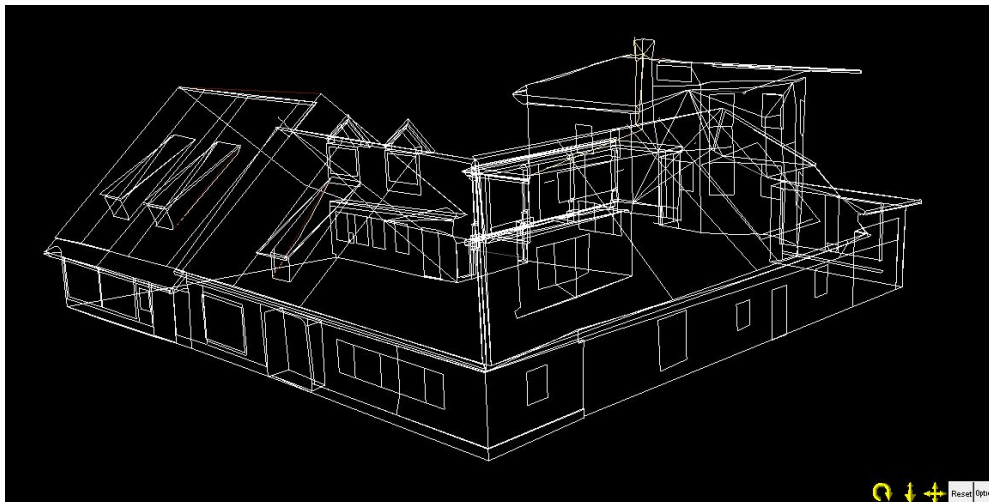
- kakovost fotoaparata (kalibracije, fotografije),
- interpretacija in zajem na fotografijah,
- natančnost izvedbe zunanje orientacije.

5.2.4 Tvorjenje trirazsežnega žičnega modela

Z definiranjem točk modela lahko nadalje tvorimo žični model tako, da med sabo povežujemo določene točke na sliki in s tem ustvarimo žično topologijo modela.

Program omogoča, da lahko v 3D prikazovalniku (v programu Photo Modeler je poimenovan kot, 3D VIEWER) sproti spremljamo izris žičnega modela (slika 19). Seveda lahko pri samem izrisu pride do

težav (npr. določeno točko smo definirali na več mestih – nepravilen položaj). Takšne napake lahko sprti odpravljamo.

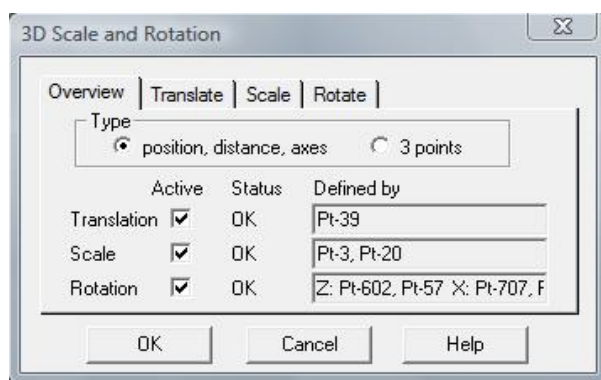


Slika 19: Izris trirazsežnega žičnega modela v oknu »3D VIEWER«.

5.2.5 Absolutna orientacija modela

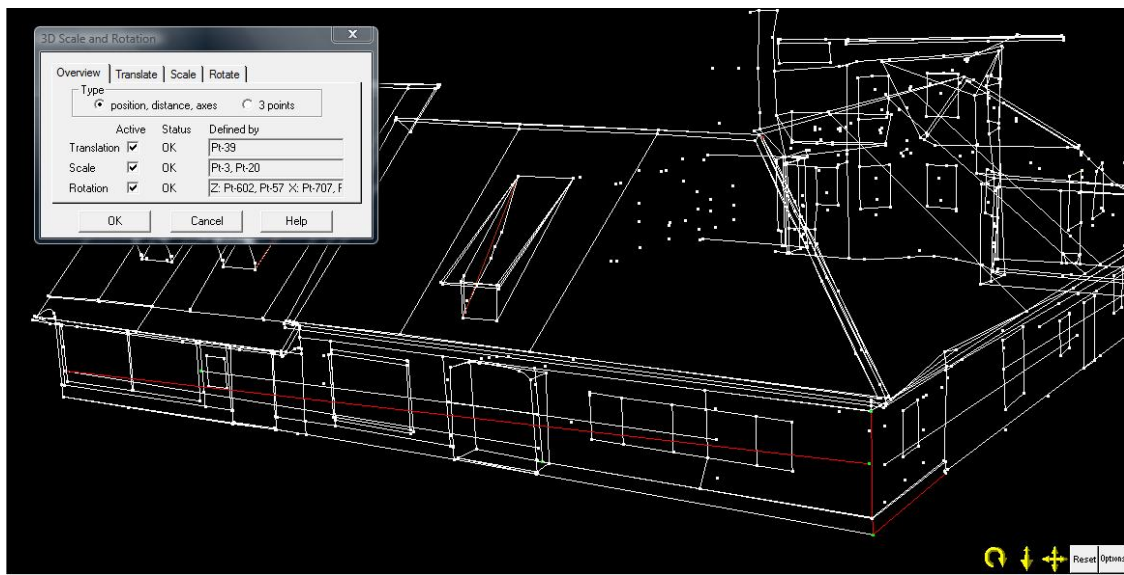
Ker model izdelujemo v modelnem koordinatnem sistemu, ki nima enakega merila kot objekt v naravi, je potrebno definirati koordinatni sistem oziroma izvesti t. i. absolutno orientacijo. V osnovi potrebujemo koordinate vsaj treh točk v obeh koordinatnih sistemih (modelne in objektne koordinate). Absolutna orientacija se v programu PhotoModeler izvede zelo enostavno, saj je potrebno definirati:

- tri točke ali
- izhodišče koordinatnega sistema, najdaljšo dolžino na modelu in dve osi od treh (slika 20).



Slika 20: Določitev koordinatnega sistema in merila za 3D model.

V našem primeru smo uporabili drugi način definiranja koordinatnega sistema (slika 21). Tako moramo na samem modelu izbrati dolžino, ki mora biti čim daljša. Ob tem definiramo dve osi, tretjo pa določi program sam. Na osnovi podane dolžine in osi program izvede prilagoditev modela v primerno merilo in orientacijo. Tako postane model mersko pravilen in lahko na njem merimo.



Slika 21: Absolutna orientacija modela.

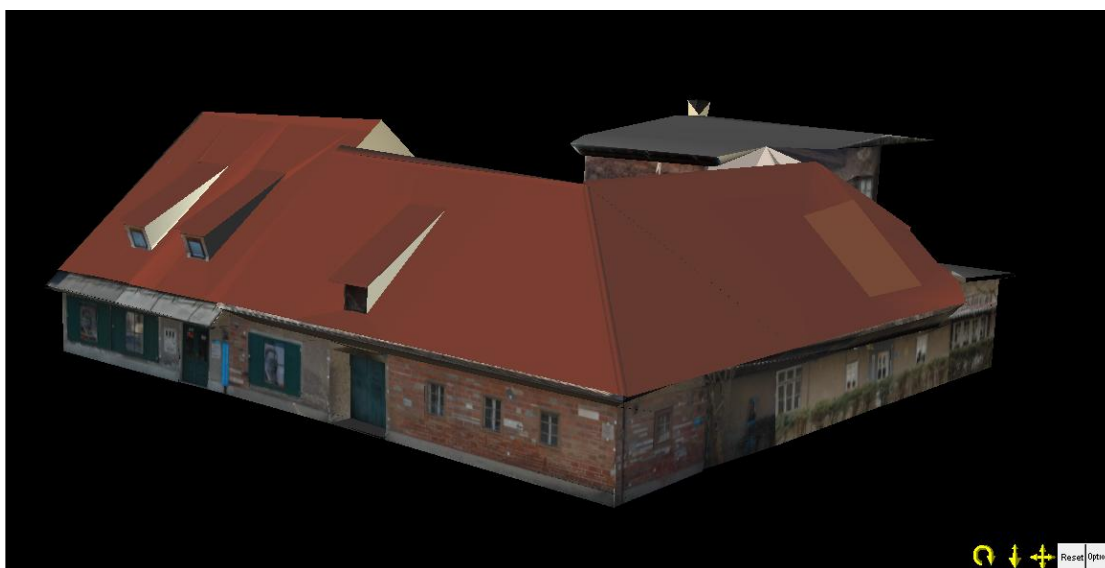
5.2.6 Tvorjenje trirazsežnega ploskovnega modela

Ko imamo izdelan žični model, lahko izdelamo ploskovni model na posameznih površinah objekta. Zato morajo linije tvoriti zaključene ploskve. Za tvorjenje ploskev moramo na modelu definirati dve stranici, posamezne linije ali točke in mu tako nakazati, kje želimo določiti ploskev (slika 22). V programu je ploskve možno obarvati z različnimi barvami. Na ploskve pa je možno prilepiti tudi fotografije ali dele fotografij, s tem dobi model bolj realistično podobo. Glede na željo uporabnika lahko izdelamo različne modele kot so žični model ali pa ploskovni model in jih prikazemo v različnih barvah oziroma šrafurah.



Slika 22: Prikaz izrisa ploskve.

Na sliki 23 je prikazan ploskovni model, ki je oblepljen s fotografijami in barvno površino.



Slika 23: Izris ploskovnega modela v orodju »3D VIEWER«.

5.3 Težave pri izdelavi 3D modela

Kot smo že omenili, je Plečnikova hiša zelo dober primer za prikazovanje težav, s katerimi se lahko soočamo pri zajemu podatkov za izdelavo prostorskega modela z večslikovnim zajemom. Gre za razgibano stavbo. Med drugim je del objekta tudi valjasti prizidek, ki je obraščen z viniko (*Parthenocissus ticuspidata* 'Veitchii'). Za dokumentiranje zgradb, ki so težje dostopne, je večslikovna fotogrametrična metoda lahko učinkovit način za pridobivanje geometrijskih in semantičnih podrobnosti.

V našem primeru so oviro pri definiranju posameznih točk predstavljala drevesa, živa meja, grmičevje in ograja. Zato smo morali določene dele stavbe generalizirati.

Posamezni deli stavbe niso dobro poudarjeni na slikah, ampak so zaobljeni ali pa niso vidno zaključeni. Zato moramo paziti, da posamezno točko na vsaki fotografiji definiramo na istem mestu. Lahko pa pride tudi do napake zajema, ki jo prikazuje slika 24. To lahko opazimo tako, da se na modelu prikaže točka znotraj ali zunaj objekta.



Slika 24: Prikaz napake zajema točke.

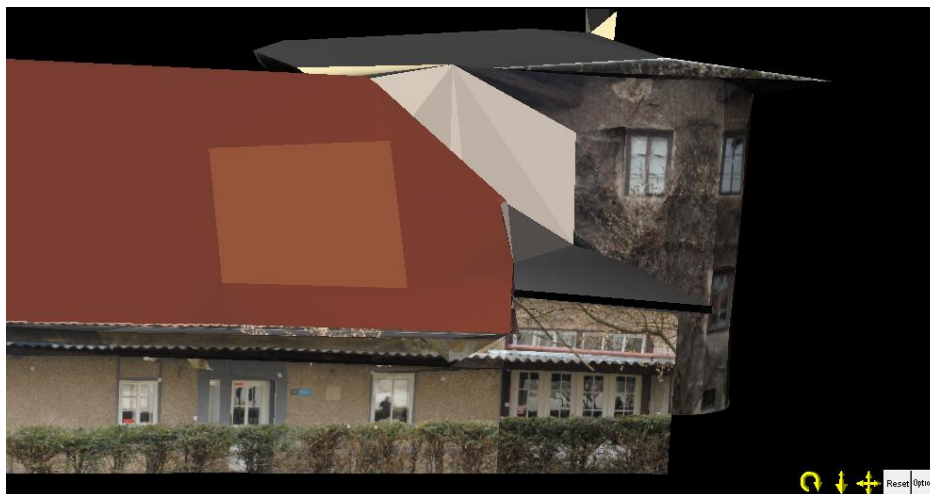
Lažjo izvedbo zajema je predstavljala fasada na vzhodni strani stavbe, ki se nahaja ob Karunovi ulici. Pri tem delu stavbe ni bilo tovrstnih težav s fotografiranjem in zajemom. Paziti smo morali, da smo dobro razporedili fotografije po celotni vzhodni strani stavbe.

Težave pri zajemu so nastale na severnem delu stavbe (slika 25), kjer so nas pri delu ovirala drevesa, grmičevje in živa meja. Zakrivale so del stavbe tako, da je bilo težje določevati posamezne karakteristike objekta. Pri zunanji orientaciji smo si pomagali s pomočjo lažje določljivih točk na samem objektu, saj je program na tistih delih zahteval več kot samo šest točk. Na severnem delu smo imeli nameščenih manj točk na posamezno sliko, ker smo bili omejeni z določenimi deli stavbe.



Slika 25: Severna stran hiše, ki je slabše vidna zaradi dreves.

Določenih delov stavbe v modelu nismo prikazali – to so na primer frčade na severni in južni strani stavbe na Karunovi 4 (slika 26). Da model ne bi izgubil informativne vrednosti, smo se odločili, da frčade nakažemo s ploskvijo na strehi, kar prikazuje slika 26. Tako smo ploskev, ki nakazuje frčadi, obarvali z drugačno barvo kot streho.



Slika 26: Prikaz generaliziranega dela stavbe – frčadi na severnem delu stavbe.

V modelu (slika 27) sta na Karunovi 6 prikazani zahodni stranici frčad, ostali deli frčad niso bili vidni na fotografijah.



Slika 27: Prikaz frčad na južnem delu Karunove 4 in zahodnem delu stavbe na Karunovi 6.

Valjast prizidek, avtorsko delo Jožeta Plečnika, je predstavljal izziv za izdelavo modela zaradi same oblike in obraščenosti s plezalko viniko (slika 28). Zaključni del valja pod streho ima vzdane tramove (slika 29), ki jih nismo mogli zajeti, saj je bila njihova vidljivost na samih fotografijah nedoločljiva. Zato smo ta del poenostavili. Tudi na fasadi tega dela objekta so bile točke slabše določljive. Model

valja smo tvorili tako, da smo najprej definirali zgornji in spodnji rob valja s pomočjo točk. Skozi točke smo določili krivuljo, ki je nakazovala obliko stavbe v obliki valja.



Slika 28: Hiša porasla z viniko in slabša vidljivost na fasado, ki jo zakriva zimzeleno drevo.



Slika 29: Strešni tramovi valjastega prizidka, katere smo v modelu poenostavili.

Stebre, ki so del zimskega vrta, smo poenostavili tako, da smo prikazali samo njihov sprednji del. S slikama 30 in 31 smo prikazali izgled zimskega vrta na terenu in prikaz na modelu.



Slika 30: Prikaz zimskega vrta na terenu.



Slika 31: Prikaz zimskega vrta v modelu.

Nekaj težav smo imeli pri orientiranju slik notranjega dvorišča, saj je preglednost oziroma prehod v notranje dvorišče omejeval zid (slika 32). Zato smo morali slike orientirati s pomočjo zgornjega dela stavbe. Tako smo iz zgornjega dela stavbe lahko prešli na spodnji del stavbe (v notranjem dvorišču), kjer smo del stavbe zaključili.

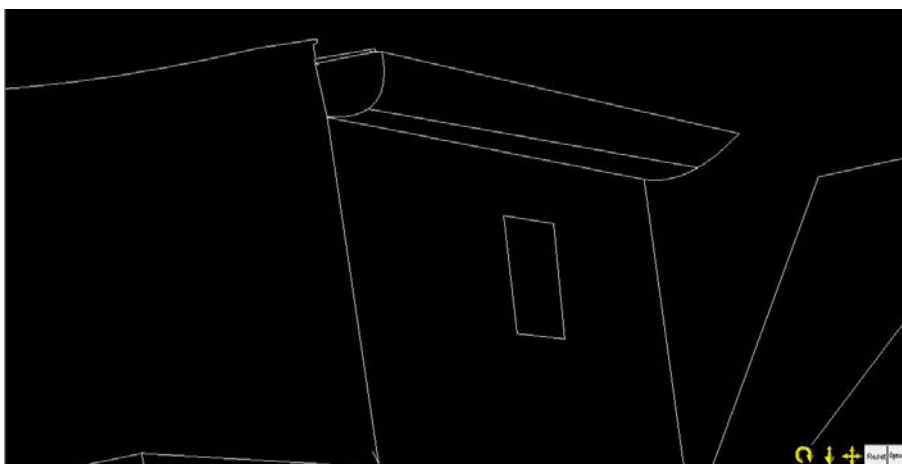


Slika 32: Zid, ki ločuje notranje in zunanje dvorišče.

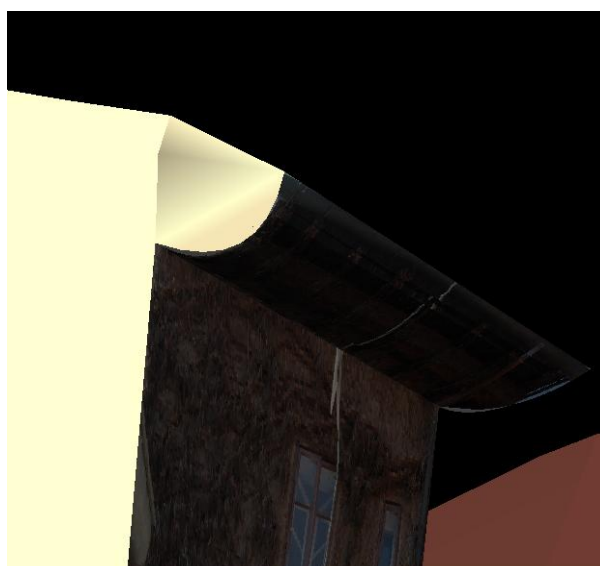
Pod streho valjastega prizidka, kjer so na stavbi močni leseni tramovi, smo se odločili za poenostavitev modela (slika 33), saj zaraščenost z viniko onemogoča natančno definiranje modelne točke. Model smo poenostavili s pomočjo linij in krivulj. Sliki 34 in 35 prikazujeta poenostavitev tega dela v modelu.



Slika 33: Del valjastega dela stavbe, na katerem smo za model poenostavili del tramov.



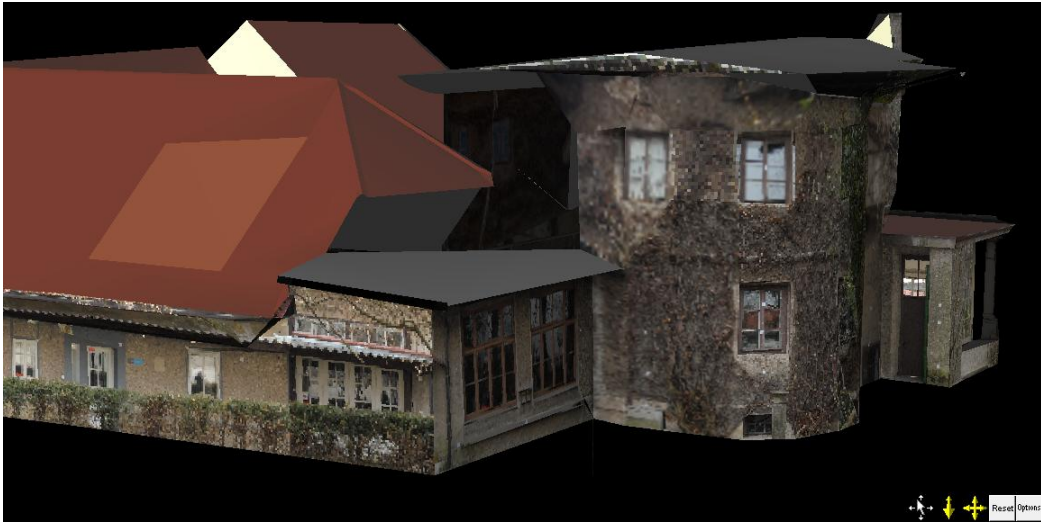
Slika 34: Poenostavljen del prizidka pod streho.



Slika 35: Tramovi prikazani na modelu (V fasada valjastega dela hiše).

5.4 Prikaz modela

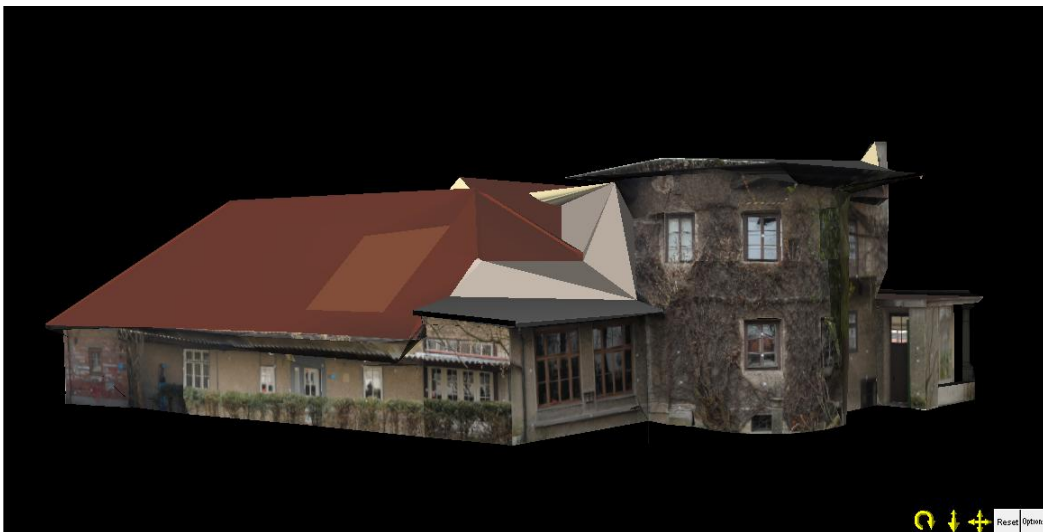
Poleg opisanih težav v prejšnjem poglavju pri zajemu modela, je lahko ovira tudi prikaz trirazsežnega modela uporabniku, ki naj bi z ogledom dobil primerno informacijo o objektu. Soočili smo se tudi z neizogibno posledico velike razgibanosti in nepopolne dostopnosti objekta. Med tvorjenjem ploskev so se pojavili prazni prostori. Sprejeti smo morali odločitev, kako na najbolj enostaven in razumljiv način prikazati model, ne da bi pri tem izgubili informacijo prikaza. Prazni prostori, ki so nastali pri izdelavi modela, so prikazani na sliki 36.



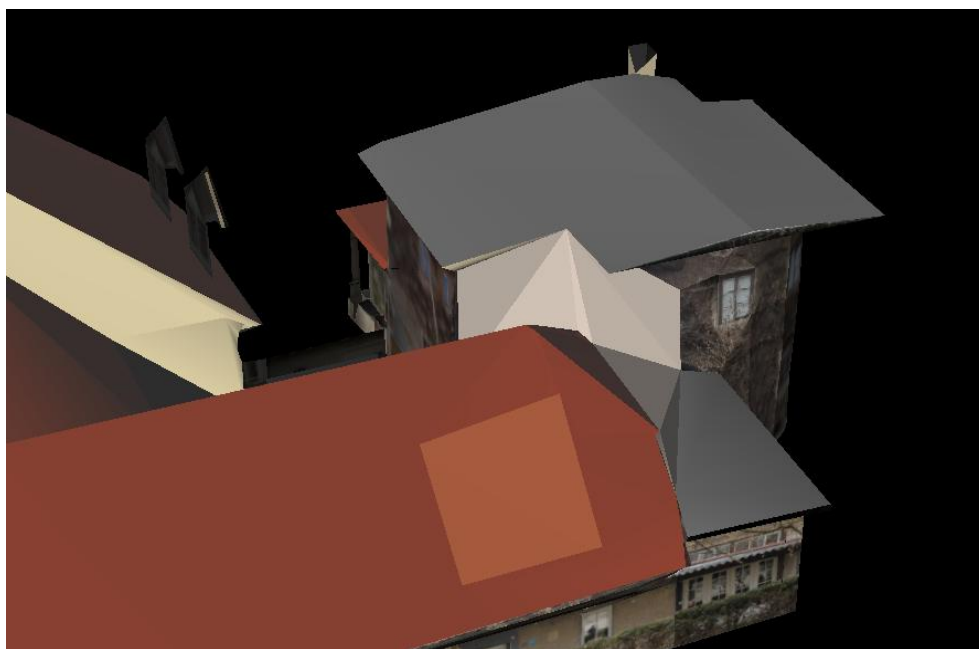
Slika 36: Prikaz praznega prostora na valjastemu prizidku in poenostavitve frčade na strehi.

Do praznih prostorov v modelu je prihajalo zaradi tega, ker posameznih delov stavbe niso bili dovolj dobro vidni. Večjo vidnost bi lahko dosegli s fotografiranjem iz dvigala ali odrov, ki pa jih v našem primeru nismo imeli na razpolago.

Pri prikazu modela smo želeli ohraniti posamezne informacije o objektu, kot so lokacija in obstoj frčad, ki pa so bile za zajem pretežavne. Odločili smo se, da jih bomo prikazali samo ploskovno. Uporabnik je tako opozorjen, da se na tistem mestu na objektu nekaj nahaja in lahko informacijo poišče iz drugih virov (na slikah 37-a in 37-b ponazorjeno s sivo barvo v modelu). Zato smo se odločili, da ta del, ki bi sicer lahko ostal prazen, zapolnimo s sivimi ploskvami. Menimo, da je tako izdelan model primernejši za vizualno celovitost modela.



Slika 37 - a: Prikaz zapolnjenih praznih delov v modelu s sivo barvo (pogled na cel model).



Slika 37 - b: Prikaz zapoljenih praznih delov v modelu s sivo barvo (pogled na del modela).

Poenostavili smo prikaz praznega prostora pod samo stavbo oziroma pod modelom tako, da smo tvorili ploskev po celotnem obsegu modela. Na sliki 38 je prikazan model brez ploskve, kjer smo zapolnili prazen prostor s tem, da smo ga zaključili kot celoto.



Slika 38: Prikaz praznega prostora pod stavbo.

6 ANALIZA TRIRAZSEŽNEGA MODELA

V tem poglavju smo strnili vse tri metode izmere objekta v eno celoto. Želeli smo prikazati, kolikšna so posamezna odstopanja dolžin, če jih primerjamo med sabo. Odstopanja smo prikazali v obliki tabele in slikovne ponazoritve.

Z analizo smo želeli povzeti končen rezultat izdelanega trirazsežnega modela v primerjavi z ostalima metodama zajema. Tri metode zajema dolžin se med sabo razlikujejo po:

- izvedbi meritev,
- potrebnem instrumentariju in
- natančnosti dolžin.

Fotogrametrične meritve smo izvedli iz izdelanega trirazsežnega modela. Pri tem moramo poudariti, da smo izdelali mersko pravilen model vzhodne in severne fasade, ki sta del stavbe na Karunovi 6 in Karunovi 4. Ostali deli stavbe so, zaradi prej opisanih težav, lahko uporabni za vizualizacijo in podajanje informativne vrednosti objekta, kjer lahko posamezne dele stavbe dodatno predstavimo z opisi.

Pričakovali smo, da bomo s fotogrametrično metodo dosegli geometrijsko natančnost modela velikosti nekaj centimetrov, saj smo za dolžine, ki smo jih uporabili za določitev merila modela, uporabili podatke iz terenskih meritev.

Geodetske meritve so nam služile kot referenca za fotogrametrične meritve. Meritve, ki so jih izvedli na ZVKDS RC na primeru Plečnikove hiše, so bile opravljene z laserskim razadaljmerom in merskim trakom. Te meritve so bile združene in prikazane v arhitekturnem posnetku stanja (2008 – 2010).

Iz naših meritev je razvidno, da s fotogrametrično metodo lahko dosežemo zelo dobro geometrijsko natančnost modela. V želji, da bi dosegli čim boljše natančnost modela oziroma njegovega dela, kot na primer dela fasade, bi lahko fotogrametričen zajem razdrobili na več manjših zajemov. Saj se lahko z dodajanjem slik natančnost celote posledično slabša.

Za slikovni prikaz analize, ki služi za lažje razumevanje, smo uporabili arhitekturni posnetek stanja in ortofoto (izdelane s pomočjo trirazsežnega modela), ki se med sabo prekrivajo.

Za analizo modela smo izbrali tri dele fasade, ki so vključeni v konservatorsko restavratorski projekt. Pričakovali smo, da bo pri fotogrametričnih meritvah natančnost slabša pri dolžinah, ki so bolj

oddaljene od osnovne fasade (na primer slemena strehe), saj se merilo na posnetku pri strehi povečuje in s tem je natančnost zajema slabša.

Predvidevali smo tudi, da bodo krajše in dostopne dolžine izmerjene z merskim trakom in laserskim razdaljemerom (arhitekturni posnetek stanja) bolj natančne od fotogrametričnih in da bodo daljše dolžine in višinske kote bolj nenatančne, saj se meritve na primer na strehi zaradi nedostopnosti niso izvajale.

6.1 Analiza vzhodnega dela stavb na Karunovi 4 in Karunovi 6

Na sliki 39 so prikazane daljše dolžine objekta, ki smo jih izmerili s tremi metodami izmere. Razvidno je, da je pri meritvah prišlo do nekaj centimetrskih razlik. Kot kontrolo oziroma referenco smo uporabili geodetske meritve.



Slika 39: Primerjava dolžin objekta na V fasadi (ortofoto in arhitekturni posnetek stanja).

Preglednica 6: Pregled vseh treh meritev za posamezne dolžine.

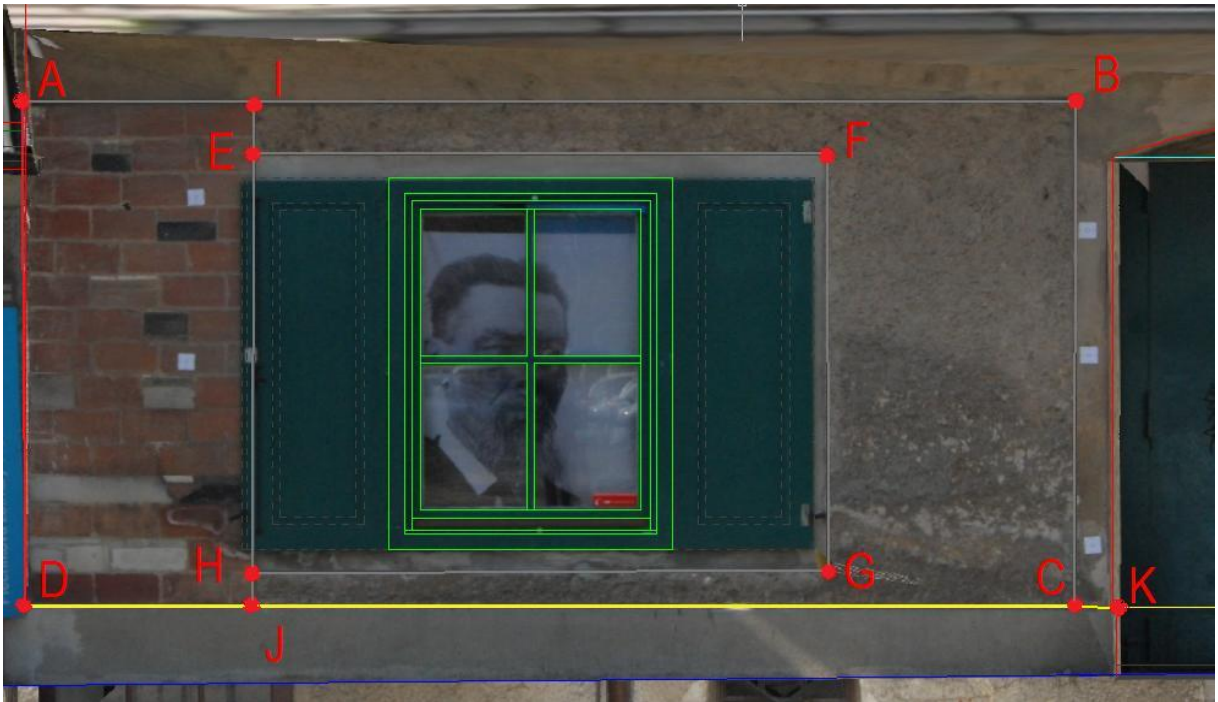
DOLŽINA MED TOČKAMI	ROČNE MERITVE (m) (merski trak in laserski razdaljemer)	FOTOGRAMETRIČNE MERITVE (m)	GEODETSKE MERITVE (m)
A-B	8,71	8,83	8,78
C-D	10,77	11,03	11,03
E-F	8,71	8,77	8,84
F-G	15,68	15,77	15,71
E-G	24,39	24,59	24,55

Če primerjamo posamezne dolžine, lahko opazimo, da niso identične. Pri tem moramo vedeti, da meritve z merskim trakom in laserskim razdaljemerom na strehi niso bile dejansko izvedene, ampak so bile geometrijsko določene iz ostalih meritev celotnega objekta. V spodnjem delu stavbe so bile meritve prilagojene izrisu, da je načrt obstoječega stanja, ki je interpretacija in grafična predstavitev objekta, zaključena celota.

Iz preglednice 6 je razvidno, da so v tem primeru fotogrametrične meritve dolžin boljše natančnosti, saj manj odstopajo od geodetskih meritev.

6.2 Analiza vzhodnega dela fasade na Karunovi 4 (levi del fasade)

Na sliki 40 sta prikazana združena ortofoto in načrt fasade.



Slika 40: Združena ortofoto in vektorski načrt vzhodne fasade (Karunova 4 – levi del).

Preglednica 7: Primerjava dolžin vzhodne fasade hiše na Karunovi 4 (levi del fasade), pridobljenih z merskim trakom in laserskim razdaljemerom ter fotogrametričnimi meritvami.

DOLŽINA MED TOČKAMI	ROČNE MERITVE (m) (merski trak in laserski razdaljemer)	FOTOGRAMETRIČNE MERITVE (m)	ODSTOPANJE (m)
A–B	4,59	4,561	±0,029
B–C	2,24	2,265	±0,025
C–D	4,59	4,638	±0,048
D–A	2,24	2,236	±0,004
E–F	2,5	2,456	±0,044
F–G	1,85	1,800	±0,05
G–H	2,50	2,464	±0,036
H–E	1,85	1,859	±0,009
A–I	1,00	0,984	±0,016
I–B	3,59	3,577	±0,013
D–J	1,00	1,003	±0,003
J–C	3,59	3,636	±0,046
D–K	4,75	4,767	±0,017
I–J	2,24	2,234	±0,006

Iz preglednice so razvidna majhna odstopanja, ta znašajo ± 2 cm. Majhna odstopanja so na tistih delih fasade, kjer smo lahko točko dobro definirali. Najboljša natančnost dolžine je med točkama D – A, saj znaša samo ± 4 mm. Razlog za tako majhno odstopanje je v tem, da sta bili točki na fotografijah zelo dobro vidni. Največje odstopanje znaša ± 5 cm pri dolžini C – D, kjer sta točki na fasadi zaradi stanja ometa slabše razvidni.

Iz tabele je razvidno, da so bile izmere delov fasad z ročnimi meritvami poenostavljene, fasada ima povsod enako dolžino. Pri fotogrametričnih meritvah tega ni bilo mogoče storiti, saj smo točko določili približno tam, kjer se je nahajala. Zato lahko zaključimo, da so meritve fasad v trirazsežnem modelu objekta (fotogrametrične meritve) bolj natančne, kot arhitekturni posnetek stanja, ki je interpretacija ročnih meritev na terenu.

6.3 Analiza vzhodnega dela fasade na Karunovi 4 (desni del fasade)

Na sliki 41 sta prikazana združena ortofoto in načrt desnega dela vzhodne fasade, razvidno je njuno medsebojno odstopanje.



Slika 41: Združena ortofoto in vektorski načrt vzhodne fasade (Karunova 4 – desni del).

Preglednica 8: Primerjava dolžin vzhodne fasade hiše na Karunovi 4 (desni del fasade), pridobljenih z merskim trakom in laserskim razdaljemerom ter fotogrametričnimi meritvami.

DOLŽINA MED TOČKAMI	ROČNE MERITVE (m) (merski trak in laserski razdaljemer)	FOTOGAMETRIČNE MERITVE (m)	ODSTOPANJE (m)
A–B	8,35	8,43	±0,08
B–C	2,51	2,671	±0,161
C–D	8,54	8,607	±0,067
D–E	0,28	0,290	±0,01
E–F	0,19	0,160	±0,03
F–A	2,24	2,300	±0,06
H–I	0,87	0,862	±0,008
I–J	1,11	1,11	±0
J–K	0,87	0,875	±0,005
K–H	1,11	1,112	±0,002
F–G	8,35	8,41	±0,06
G–C	0,28	0,36	±0,08
G–B	2,24	2,31	±0,07

Pri tem delu fasade je prišlo do največjih odstopanj dolžin, čeprav smo zaradi dobre vidljivosti delov fasade pri tem delu pričakovali ravno nasproten rezultat. Predvidevali smo, da bomo s primerjavo meritev dosegli zelo majhna odstopanja – približno ± 1 cm. Povprečje odstopanj med dolžinami znaša ± 4 cm. Iz slike 39 je razvidno, da del ortofota odstopa od vektorskega načrta. Razlog je v poenostavitvi posameznih delov fasade pri čemer niso bili upoštevani nakloni dolžine – na primer med točkama A – B. Dolžina A – B je bila izmerjena tudi z geodetsko metodo, ki je znašala 8,38 m. Če primerjamo meritve z vsemi tremi metodami, lahko ugotovimo, da v tem primeru dolžina izmerjena s fotogrametrično metodo najbolj odstopa od geodetske izmere. Na osnovi dobljenih rezultatov lahko sklepamo, da na natančnost lahko vplivata tako orientacija fotografij kot slaba vidljivost posameznih delov na fotografiji. Če primerjamo ostale dolžine, ki so bile prav tako izmerjene s tremi metodami, dobimo rezultate, ki so prikazani v preglednici številka 9.

Preglednica 9: Primerjava dolžin vzhodne fasade hiše na Karunovi 4 (desni del fasade), pridobljene s tremi metodami izmere.

DOLŽINA MED TOČKAMI	ROČNE MERITVE (m) (merski trak in laserski razdaljemer)	FOTOGRAMETRIČNE MERITVE (m)	GEODETSKE MERITVE (m)
G–B	2,24	2,31	2,31
F–G	8,35	8,41	8,39
C–D	8,54	8,61	8,47
G–C	0,28	0,36	0,37

Kot referenco smo uporabili geodetske meritve, ki so najbolj natančne. Iz podanih dolžin v preglednici je razvidno, da je prišlo do nekaj centimetrskih odstopanj na posameznih delih objekta. Najbolj odstopa dolžina med točkama C – D. Po natančnosti se geodetskim meritvam najbolj približajo meritve z merilnim trakom in laserskim razdaljemerom, kjer znaša odstopanje ± 7 cm. Dolžina izmerjena na osnovi fotogrametričnih meritev znaša 8,61 m in odstopa od geodetskih meritev za kar ± 14 cm. Menimo, da je prišlo do tako velikega odstopanja zaradi napake zajema 3D modela, saj se je ta del točk nahajal v senčnih delih stavbe, kar ima na zajem zaradi vidljivosti velik vpliv. Do večje napake pri ročnih meritvah na tem delu stavbe je prišlo med točkama G – C, kjer se dolžina od geodetskih meritev razlikuje za ± 9 cm. Razlog za takšno odstopanje je v posplošitvi prikaza dela stavbe.

Pri posameznih delih stavbe oziroma delih fasad se geodetskim meritvam v nekaterih točkah najbolj približajo fotogrametrične meritve, druge pa ročne meritve. Za kakšno metodo dela se bomo odločili,

je tako odvisno od zahtevnosti, razgibanosti, dostopnosti ter velikosti objekta in ne nazadnje od sredstev, ki so nam na voljo.

6.4 Analiza severnega dela fasade

Slika 42 prikazuje združena ortofoto in načrt skrajnega levega dela severne fasade na Karunovi 4.



Slika 42: Združena ortofoto in vektorski načrt severne fasade (skrajni levi del severne fasade na Karunovi 4).

Preglednica 10: Primerjava dolžin severne fasade hiše na Karunovi 4, pridobljenih z merskim trakom in laserskim razdaljemerom ter fotogrametričnimi meritvami.

DOLŽINA MED TOČKAMI	ROČNE MERITVE (m) (merski trak in laserski razdaljemer)	FOTOGRAMETRIČNE MERITVE (m)	ODSTOPANJE (m)
A-B	4,20	4,21	±0,01
B-C	2,51	2,543	±0,033
C-D	4,20	4,227	±0,027
D-A	2,51	2,671	±0,161
B-F	2,24	2,253	±0,013
F-C	0,28	0,29	±0,01
D-E	0,28	0,36	±0,08
E-A	2,24	2,311	±0,071
E-F	4,20	4,210	±0,01

Na tem delu fasade je največje odstopanje med točkama D – A. Ta primer smo že obravnavali pri analizi vzhodnega dela fasade desnega dela. Najmanjše odstopanje je bilo med točkami A – B, F – C in E – F saj so primerljive z geodetskimi meritvami.

7 ZAKLJUČEK

Bližnjelikovna fotogrametrija je uporabna za pridobitev geometrijskih informacij o objektu. Omogoča enostaven in natančen zajem podatkov brez fizičnega stika z objektom. Za izvedbo večslikovnega zajema potrebujemo kvaliteten fotoaparater in dostopen, po možnosti čim boljši programski paket. Metoda je odvisna od velikosti in zahtevnosti objekta. S fotogrametrično metodo je možno pridobiti bolj natančne metrične modele, kot na primer z ročno metodo izmere objekta. Prednost te metode je tudi v tem, da so podatki fotografirani v skoraj istem času. Zato je primerno vse podatke, ki smo jih pridobili s terenskih meritev in narejene fototeke, skrbno arhivirati. Kadar pride do uničenja objekta, lahko z arhiviranimi podatki in fototekami ponovno zajamemo podatke.

S fotogrametrično metodo lahko pridobimo merske podatke o nedostopnih mestih objekta, kot je na primer streha, frčade, tramovi, kar je prednost te metode. Pri tem moramo poznati osnove fotogrametrije in imeti dober fotoaparater, računalniški program in primeren objekt. Primeren objekt je takšen, ki je dobro dostopen, nima v bližini motečih dreves in ostalih objektov, ki bi onemogočili fotografiranje in vidljivost nanj.

Pri samem fotografiranju objekta smo morali biti pozorni na vremenske razmere. Fotografirati smo morali celoten objekt in pri tem skrbeti, da se fotografije med sabo prekrivajo. Plečnikovo hišo smo fotografirali z nemerskim fotoaparatom Nikon D3000. Objekt smo izmerili s tahimetrom Leica TS06 in tako pridobili geometrijske podatke o objektu.

Model smo izdelali v programu PhotoModeler, ki je enostaven program za izdelavo modela.

V diplomskem delu smo predstavili, kateri postopki so potrebni za izdelavo trirazsežnega geometrijskega modela objekta. Ti so: priprava na teren in terenska izvedba, kalibracija fotoaparata (notranja orientacija), zunanja orientacija in absolutna orientacija, zajem podatkov in izdelava 3D modela.

Z notranjo orientacijo pridobimo podatke o snemalnem sistemu v času ekspozicije. Kalibracijsko poročilo vsebuje: koordinate avtokolimacijske točke, konstanto kamere in podatke o optični distorziji.

Z zunanjo orientacijo določimo prostorski položaj digitalne slike v času ekspozicije. Tako je potrebno na posamezni fotografiji določiti vsaj šest točk, ki se pojavljajo na ostalih fotografijah. S pomočjo presekov premic, ki potujejo skozi točke, in na osnovi statistike program določi skupno točko, ki se nahaja v modelnem koordinatnem sistemu.

Ko smo imeli slike med sabo orientirane, smo lahko izvedli zajem točk in iz točk tvorili linije, iz linij pa ploskve. Nato je bilo potrebno modelu prilagoditi merilo prikaza, da je postal merljiv. To smo izvedli s pomočjo ene znane dolžine, ki smo jo geodetsko izmerili na terenu. Tako izdelan 3D model objekta lahko prikažemo kot žični ali ploskovni model.

Žični model je dovolj dober za prikaz posameznih dimenzij in dolžin objekta. Takšen prikaz modela je namenjen za uporabnika, ki zna interpretirati vsebino, saj se ne da opredeliti vidnosti linij.

Nadgradnja žičnega modela v ploskovni model poveča njegovo uporabnost. Na njem lahko lažje interpretiramo različne vsebine: določimo vrste materialov na delih objekta, poudarimo njegovo arhitekturno vrednost, izpostavimo dele objekta, opredelimo hierarhijo med posameznimi deli objekta (npr. čas nastanka posameznih faz objekta in podobno), razgibanost objekta idr.

Pri izdelavi modela v programu PhotoModeler smo imeli nekaj težav. Ker se nekateri deli objekta na fotografijah niso videli dovolj dobro, smo morali posamezne dele poenostaviti. Deli objekta, ki smo jih poenostavili, so:

- frčade,
- tramovi na valjastem prizidku,
- del strehe na notranjem dvorišču,
- stebri, ki so del zimskega vrta.

Ker smo izdelali geometrijski model, smo ga želeli primerjati po natančnosti dolžin z arhitekturnim posnetkom stanja. Kot referenco za meritve smo uporabili geodetske meritve.

Predvidevali smo, da bodo krajše dolžine bolj natančno določene z arhitekturnimi meritvami in daljše dolžine bolj natančno določene s fotogrametričnimi meritvami.

Izkazalo se je, da so dolžine izmerjene s fotogrametrično metodo primerljive z geodetsko metodo izmer. Seveda je prišlo tudi do odstopanj med dolžinami fotogrametričnih in geodetskih meritev. Vzrok je lahko pri fotogrametričnem zajemu modela ali kalibraciji fotoaparata. Če bi želeli imeti bolj geometrijsko natančen tridimenzionalni model, bi se morali odločiti za stereoskopski zajem, saj je pri tej metodi lažja določitev pozicije posamezne točke.

Z izdelavo diplomskega dela sem spoznala enega izmed postopkov izvedbe in izdelave trirazsežnega modela. Sam objekt mi je predstavljal velik izziv, saj je zaradi svoje razgibanosti in arhitekture nekaj posebnega, predvsem pa je bila izdelava 3D modela tehnično veliko bolj zahtevna, kot v primeru

enostavne stavbe s štirimi fasadami. Za izdelavo modela sem morala poznati osnove fotogrametrije in poznavanje programa PhotoModeler. Program je sicer enostaven za uporabo, vendar pa zahteva osnovno predznanje delovanja fotogrametrične metode. Menim, da bi lahko v Sloveniji večslikovni fotogrametrični zajem predstavljal učinkovito in cenovno ugodno rešitev za dokumentiranje manj obsežnih in razgibanih enot stavbne dediščine, saj vemo, da nekateri spomeniki propadajo a niso ustrezno tehnično dokumentirani.

8 VIRI

Uporabljeni viri

Kraus, K. 2007. *Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans* (2nd ed.). Berlin, New York, Walter de Gruyter: 459 str.

Kraus, K., Waldhäusl, P. 1990. *Fotogrametrija, Knjiga 1, Osnove i standardni postopci*. Beograd, Iro Naučna knjiga: 346 str.

Kosmatin Fras, M. 2009. *Fotogrametrija (predavanja)*.

Potočnik, I., Bulc, J., Dobrina, D. 2010. *Arhitekturni posnetek stanja. Ljubljana – Plečnikova hiša, EŠD: 345*. Ljubljana. ZVKDS Restavratorski center.

Rozman, V. 2008. *Geodetski načrt*. Ljubljana, GEO2.

Potočnik, I. 2009. *Konservatorsko restavratorski projekt za Plečnikovo hišo v Ljubljani. Gradbenik: revija za gradnjo, sanacije in gradbene materiale. Priloga Obnove & sanacije (jul. 2009), str. 39–43*.

Potočnik, I. et al. 2008. *Konservatorsko restavratorski projekt: Ljubljana – Plečnikova hiša; EŠD: 345*. Ljubljana. ZVKDS Restavratorski center.

Nikon Copuration, 2009. *Digitalni fotoaparati D3000 (navodila za uporabo)*.

ODLOK o razglasitvi del arhitekta Jožeta Plečnika v Ljubljani za kulturne spomenike državnega pomena. UL RS št. 51/2009: 6945.

PRAVILNIK o konservatorskem načrtu. UL RS št. 66/2009: 9337.

Leica geosystems AG, 2010. *Leica FlexLine TS06 Total Station*. Heerbrugg, Switzerland.
<http://www.geoservis.si/instrumenti/leica/FlexLine.htm> (pridobljeno 15. 2. 2011).

PhotoModeler, 2011. *PhotoModeler Tutorials*.
<http://www.photomodeler.com/tutorial-vids/online-tutorials.htm#calm> (pridobljeno 15. 2. 2011).

Zavec, S. 2011. Izdelava trirazsežnega modela stavbe na primeru Plečnikove hiše v Ljubljani. Dipl. nal. - VSŠ. Ljubljana, UL FGG, Odd. za geodezijo, Geodezija v inženirstvu.

Hanke, K., Grussenmeyer, P. ARCHITECTURAL PHOTOGRAMMETRY: Basic theory, Procedures, Tools, ISPRS, 2002.

http://74.125.155.132/scholar?q=cache:qRC_H1SLa4kJ:scholar.google.com/+ARCHITECTURAL+PHOTOGRAMMETRY:+Basic+theory,+Procedures,+Tools&hl=sl&as_sdt=0&as_vis=1, (pridobljeno 7. 3. 2011)

Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije (ZVKDS), Kulturna dediščina. 2011.

<http://www.zvkds.si/sl/nasveti-za-lastnike/kulturna-dediscina/> (pridobljeno 5. 4. 2011).

Ostali viri

Kosmatin Fras, M., Grobovšek, J., Ribnikar, B. 1996. Fotogrametrija kot metoda dokumentiranja kulturne dediščine. Ljubljana, Uprava RS za kulturno dediščino: 18 str.

Krečič, P., Krečič A., Zelenik, A., Požar, C. 2002. 30 let Arhitekturnega muzeja Ljubljana. Ljubljana, Arhitekturni muzej Ljubljana: 67 str.

Dobričič, L. 2005. Uporaba programa PhotoModeler za izdelavo matričnih modelov stavb. Diplomaska naloga. Ljubljana, UL FGG: 106 f.

Kmetič, N. 2008. Fotogrametrični zajem in obdelava podatkov za izdelavo 3D modela prizorišča prometne nesreče. Diplomaska naloga. Ljubljana, UL FGG: 59 f.

Mataija Valh, N. 2008. Izdelava 3Rmodela jadrnice s fotogrametrično metodo. Diplomaska naloga. Ljubljana, UL FGG: 54 f.

Novšak, F. 2008. Fotogrametrična izdelava trirazsežnih modelov stavb. Diplomaska naloga. Ljubljana, UL FGG: 51 f.

Pucelj, B. 2004. Kalibracija digitalnega fotoaparata visoke ločljivosti in analiza uporabnosti za fotogrametrične namene. Diplomaska naloga. Ljubljana, UL FGG: 90 f.

Grigillo, D. 2003. Uporaba nemetričnih digitalnih fotoaparatorov v fotogrametriji. Geodetski vestnik 47, 3: 240–250.

Potočnik, I. 2005. Preventivno snemanje ostenja križnega hodnika v Cistercijanskem samostanu v Stični. Geodetski vestnik 49, 2: 220–230.

PRILOGA A: UPORABLJENE FOTOGRAFIJE

Dokumentirano dne 9. 3. 2011, fotoaparati Nikon D300, velikost slike: 3.872×2.592 .



DSC_348



DSC_354



DSC_393



DSC_394



DSC_395



DSC_396



DSC_397



DSC_399



DSC_400



DSC_402



DSC_406



DSC_408



DSC_409



DSC_410



DSC_419



DSC_420



DSC_421



DSC_589



DSC_610



DSC_611



DSC_613



DSC_614



DSC_615



DSC_616



DSC_621



DSC_622



DSC_624



DSC_625



DSC_626



DSC_627



DSC_628



DSC_630



DSC_631



DSC_632



DSC_633



DSC_634

Dokumentirano dne 10. 3. 2011, fotoaparar Nikon D3000, velikost slike 3.872 × 2.592.



DSC_684



DSC_688



DSC_690



DSC_694



DSC_700



DSC_701



DSC_703



DSC_704



DSC_705



DSC_711



DSC_712



DSC_713



DSC_715



DSC_716



DSC_717



DSC_721



DSC_722



DSC_724



DSC_727



DSC_728



DSC_729



DSC_731



DSC_732



DSC_734



DSC_735



DSC_736



DSC_737



DSC_739



DSC_740



DSC_746



DSC_751



DSC_752



DSC_755



DSC_756



DSC_760



DSC_762



DSC_763



DSC_764



DSC_765



DSC_773



DSC_774



DSC_775



DSC_776



DSC_777



DSC_778



DSC_779



DSC_786



DSC_787



DSC_788



DSC_789



DSC_791



DSC_793



DSC_794



DSC_795



DSC_796



DSC_797



DSC_801



DSC_802



DSC_803



DSC_804



DSC_805



DSC_809



DSC_810



DSC_812



DSC_813



DSC_822



DSC_823



DSC_826



DSC_827



DSC_828



DSC_829



DSC_834



DSC_836



DSC_837



DSC_838



DSC_842



DSC_843



DSC_844



DSC_846



DSC_848



DSC_849



DSC_853



DSC_854



DSC_863



DSC_864



DSC_873



DSC_1221



DSC_1224



DSC_1228



DSC_1229



DSC_1231



DSC_1232



DSC_1233



DSC_1236



DSC_1246



DSC_1248



DSC_1275



DSC_1277



DSC_1279

PRILOGA B: KALIBRACIJI FOTOAPARATA

Kalibracija fotoaparata, 9. 3. 2011.

Problems and Suggestions (0)

Project Problems (0)

Problems related to most recent processing (0)

Information from most recent processing

Last Processing Attempt: Wed Mar 09 11:36:50 2011

PhotoModeler Version: 5.2.3

Status: successful

Processing Options

Orientation: off

Global Optimization: on

Calibration: on (full calibration)

Constraints: off

Total Error

Number of Processing Iterations: 2

Number of Processing Stages: 2

First Error: 0.927

Last Error: 0.927

Precisions / Standard Deviations

Camera Calibration Standard Deviations

Camera1: Nikon

Focal Length

Value: 18.839011 mm

Deviation: Focal: 0.002 mm

Xp - principal point x

Value: 12.166311 mm

Deviation: Xp: 0.002 mm

Yp - principal point y

Value: 7.986867 mm

Deviation: Yp: 0.001 mm

Fw - format width

Value: 23.906292 mm

Deviation: Fw: 5.5e-004 mm

Fh - format height

Value: 16.000000 mm

K1 - radial distortion 1

Value: 3.034e-004

Deviation: K1: 1.4e-006

K2 - radial distortion 2

Value: -2.961e-007

Deviation: K2: 1.3e-008

K3 - radial distortion 3

Value: 0.000e+000

P1 - decentering distortion 1

Value: -1.299e-005

Deviation: P1: 1.3e-006

P2 - decentering distortion 2

Value: 0.000e+000

Quality

Photographs

Total Number: 8

Bad Photos: 0

Weak Photos: 0

OK Photos: 8

Number Oriented: 8

Number with inverse camera flags set: 0

Cameras

Camera1: Nikon

Calibration: yes

Number of photos using camera: 8

Point Marking Residuals

Overall RMS: 0.114 pixels

Maximum: 0.829 pixels

Point 17 on Photo 1

Minimum: 0.051 pixels

Point 74 on Photo 4

Maximum RMS: 0.379 pixels

Point 17

Minimum RMS: 0.035 pixels

Point 74

Point Tightness

Maximum: 0.00065 m

Point 17

Minimum: 5.5e-005 m

Point 78

Point Precisions

Overall RMS Vector Length: 5.34e-005 m

Maximum Vector Length: 7.13e-005 m

Point 89

Minimum Vector Length: 5.15e-005 m

Point 7

Maximum X: 3.78e-005 m

Maximum Y: 3.17e-005 m

Maximum Z: 5.15e-005 m

Minimum X: 2.26e-005 m

Minimum Y: 2.26e-005 m

Minimum Z: 4.03e-005 m

Kalibracija fotoaparata, 10. 3. 2011.

Problems and Suggestions (0)

Project Problems (0)

Problems related to most recent processing (0)

Information from most recent processing

Last Processing Attempt: Thu Mar 10 12:04:50 2011

PhotoModeler Version: 5.2.3

Status: successful

Processing Options

Orientation: off

Global Optimization: on

Calibration: on (full calibration)

Constraints: off

Total Error

Number of Processing Iterations: 2

Number of Processing Stages: 2

First Error: 0.645

Last Error: 0.643

Precisions / Standard Deviations

Camera Calibration Standard Deviations

Camera1: Nikon D3000

Focal Length

Value: 18.850102 mm

Deviation: Focal: 0.001 mm

Xp - principal point x

Value: 12.193344 mm

Deviation: Xp: 0.001 mm

Yp - principal point y

Value: 7.983989 mm

Deviation: Yp: 0.001 mm

Fw - format width

Value: 23.906609 mm

Deviation: Fw: 3.3e-004 mm

Fh - format height

Value: 16.000000 mm

K1 - radial distortion 1

Value: 3.095e-004

Deviation: K1: 1.2e-006

K2 - radial distortion 2

Value: -3.158e-007

Deviation: K2: 9.9e-009

K3 - radial distortion 3

Value: 0.000e+000

P1 - decentering distortion 1

Value: -1.906e-005

Deviation: P1: 1.0e-006

P2 - decentering distortion 2

Value: -2.868e-006

Deviation: P2: 1.1e-006

Quality

Photographs

Total Number: 8

Bad Photos: 0

Weak Photos: 0

OK Photos: 8

Number Oriented: 8

Number with inverse camera flags set: 0

Cameras

Camera1: Nikon D3000

Calibration: yes

Number of photos using camera: 8

Point Marking Residuals

Overall RMS: 0.079 pixels

Maximum: 0.254 pixels

Point 88 on Photo 3

Minimum: 0.054 pixels

Point 5 on Photo 8

Maximum RMS: 0.154 pixels

Point 88

Minimum RMS: 0.036 pixels

Point 5

Point Tightness

Maximum: 0.00024 m

Point 88

Minimum: 6.4e-005 m

Point 5

Point Precisions

Overall RMS Vector Length: 3.89e-005 m

Maximum Vector Length: 4.6e-005 m

Point 11

Minimum Vector Length: 3.73e-005 m

Point 40

Maximum X: 2.11e-005 m

Maximum Y: 2.28e-005 m

Maximum Z: 3.52e-005 m

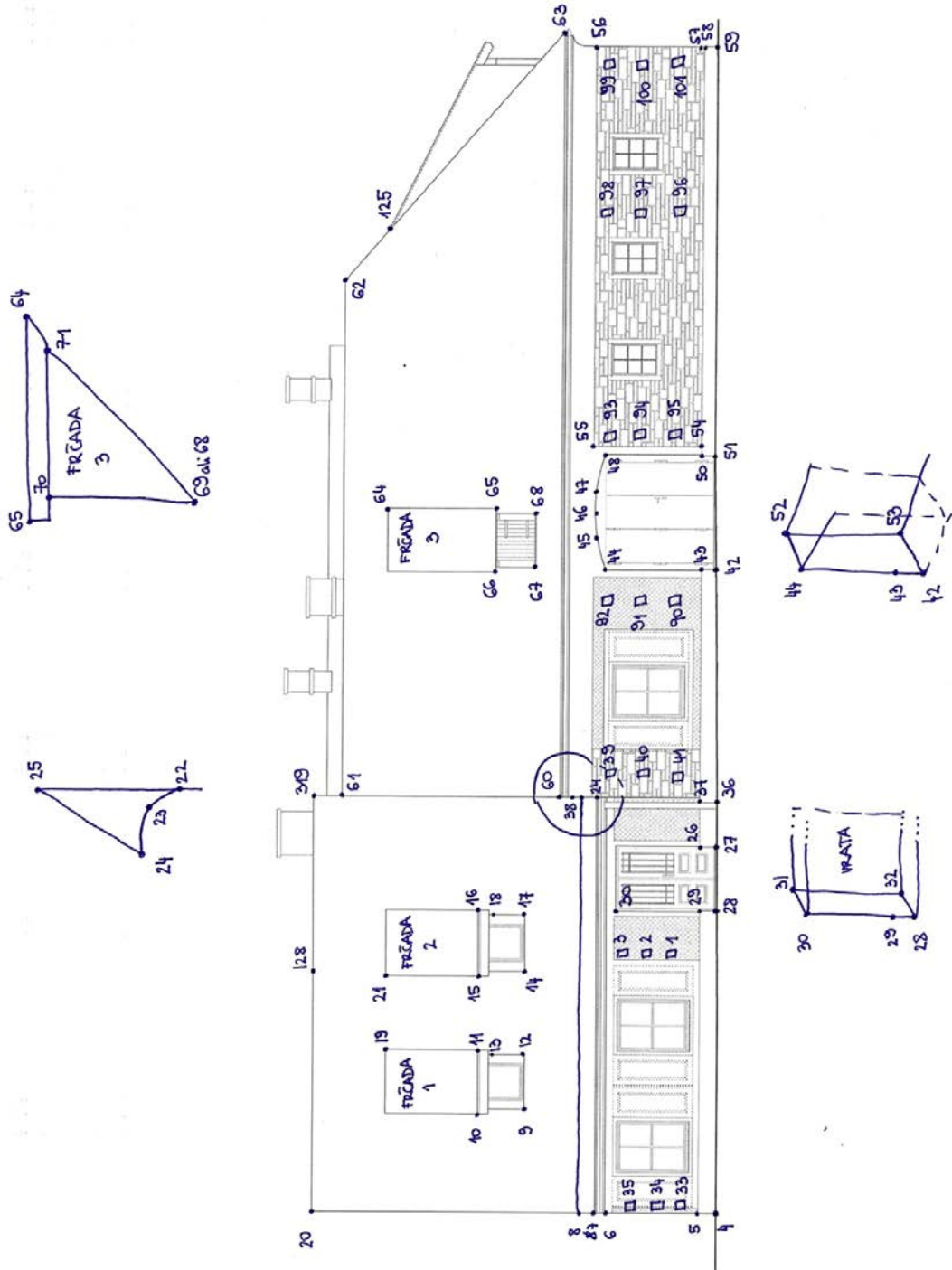
Minimum X: 1.58e-005 m

Minimum Y: 1.61e-005 m

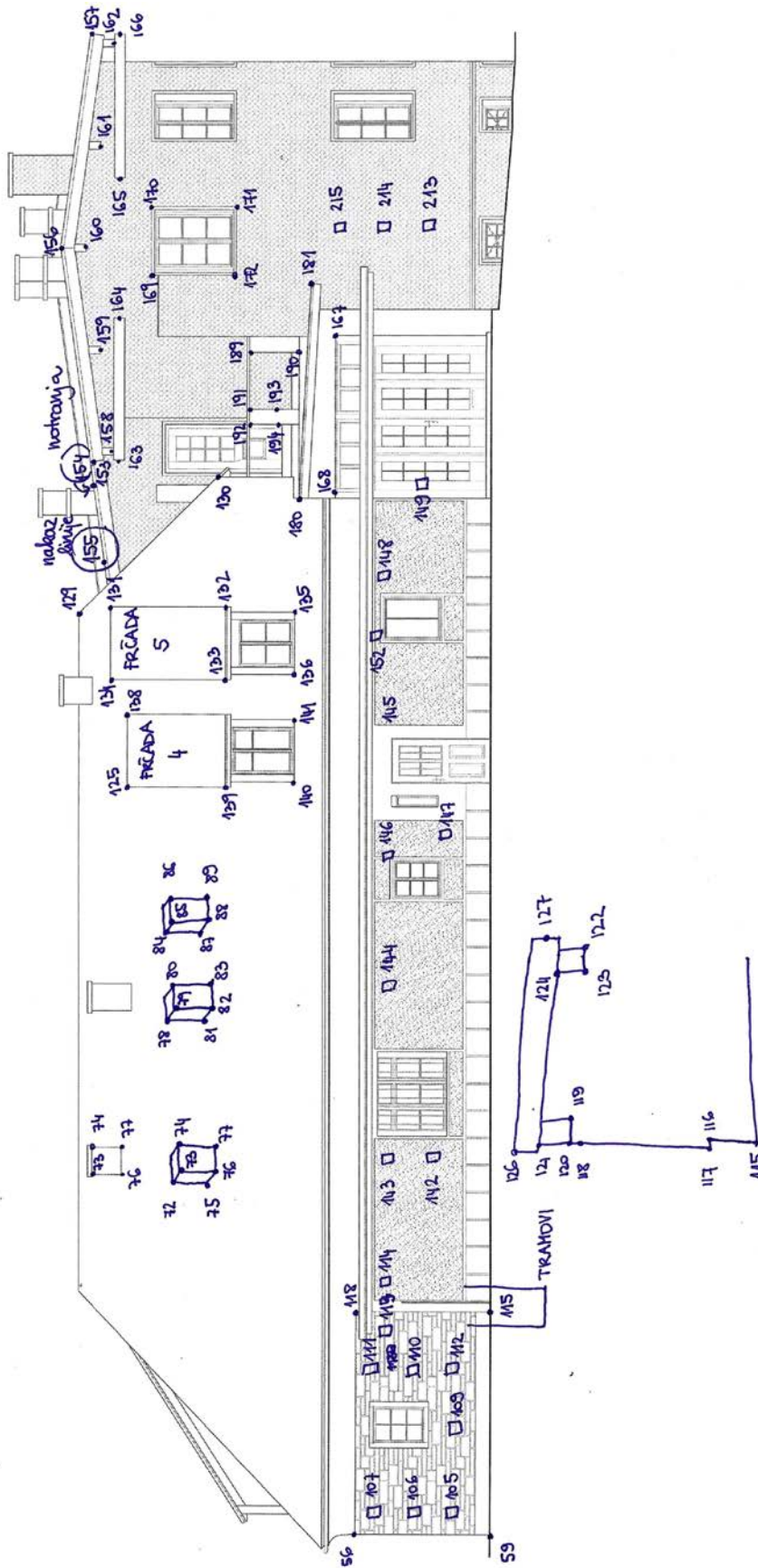
Minimum Z: 2.93e-005 m

PRILOGA C: SKICE KLASIČNE METODE IZMERE OBJEKTA

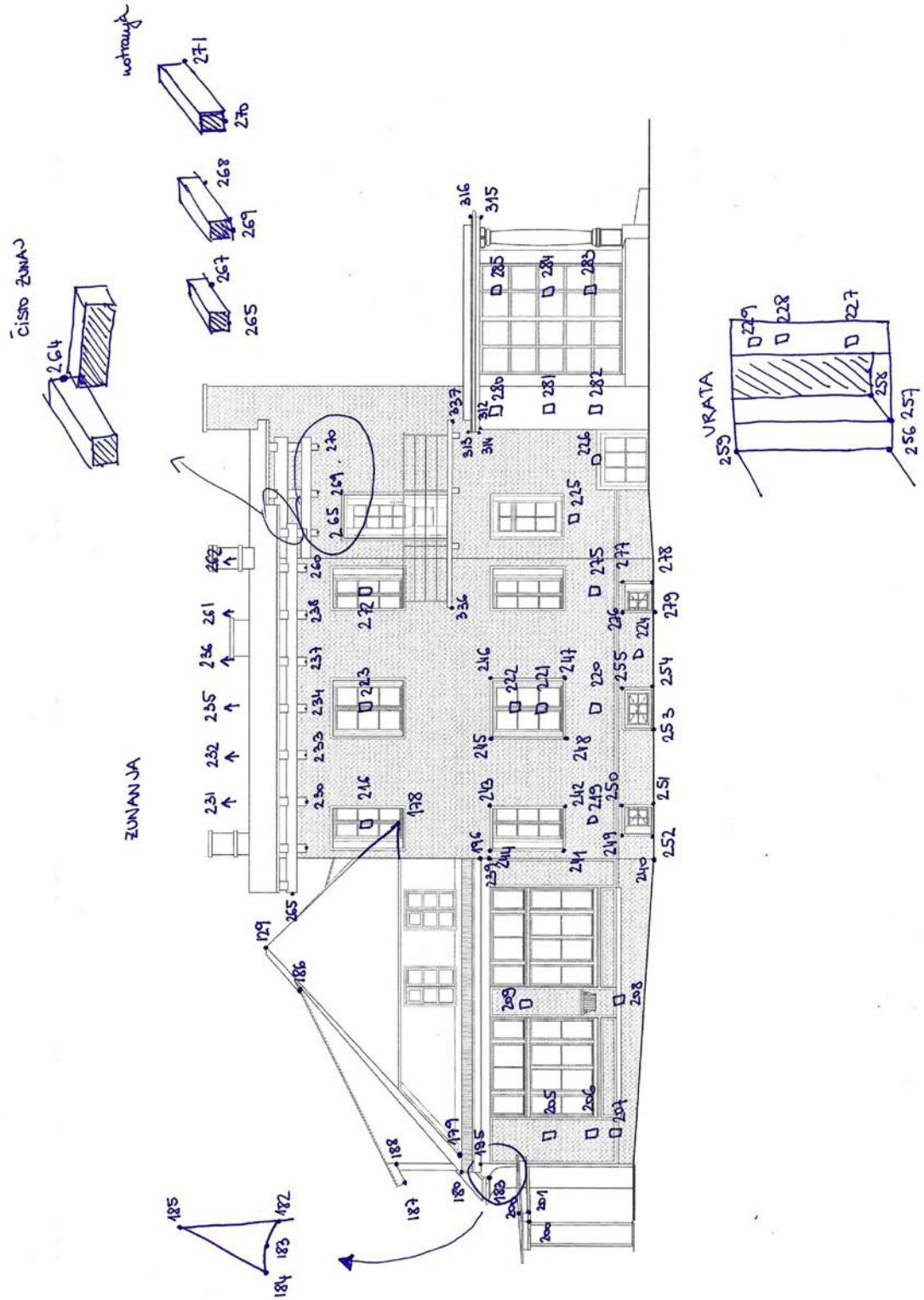
Za podlago skic smo uporabili načrte iz arhitekturnega posnetka stanja.



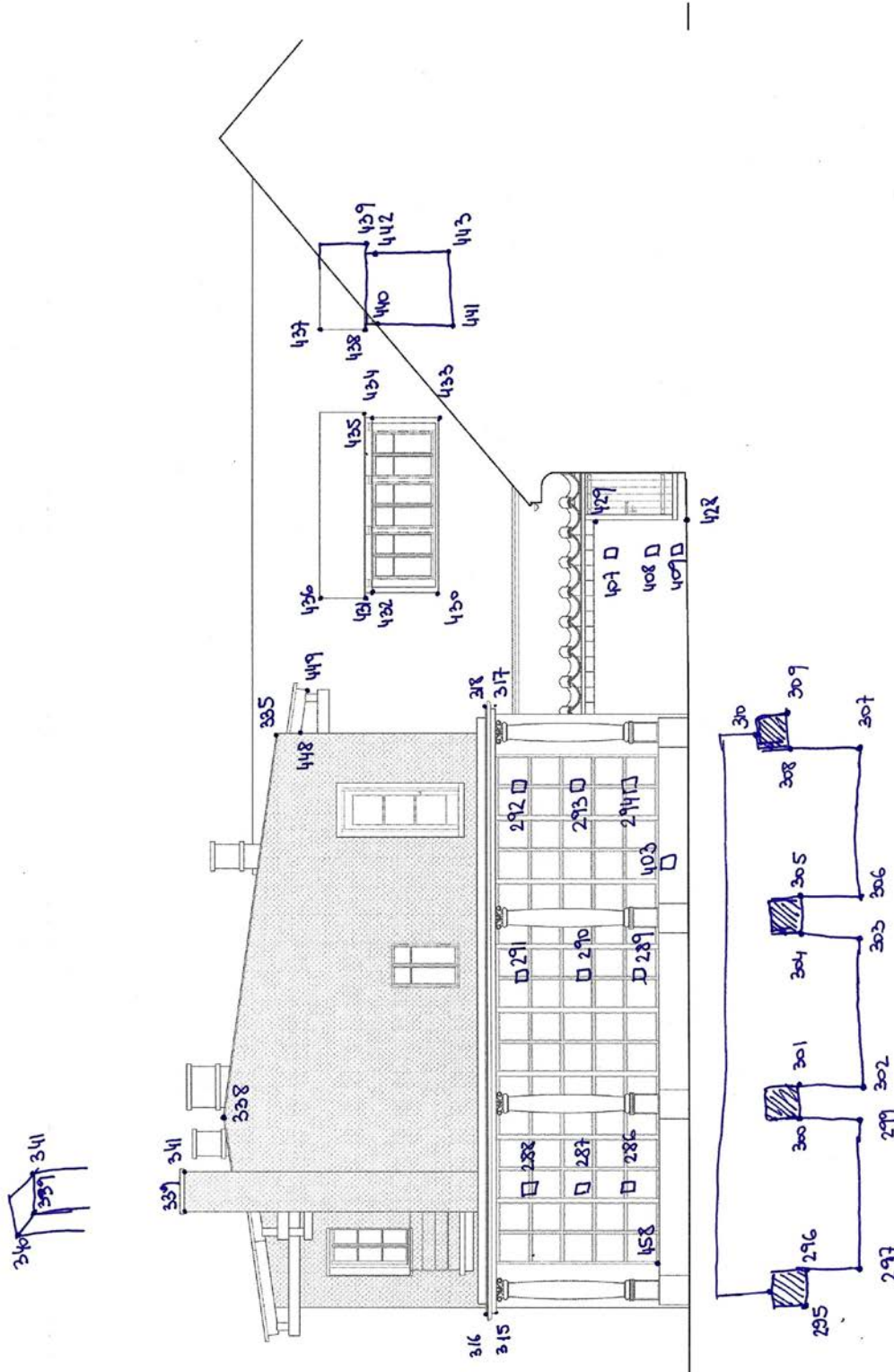
Vzhodni fasadi



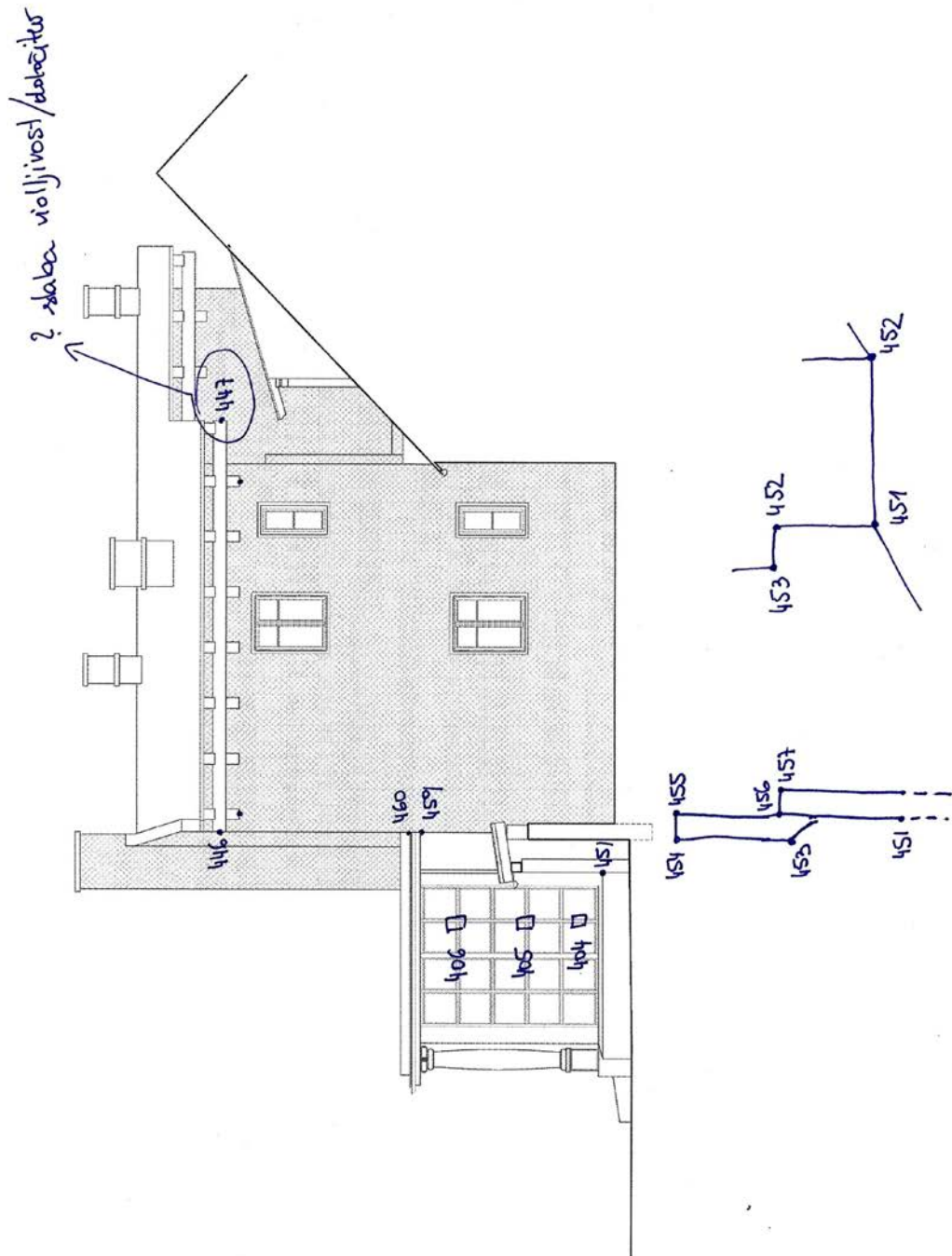
Severna fasada



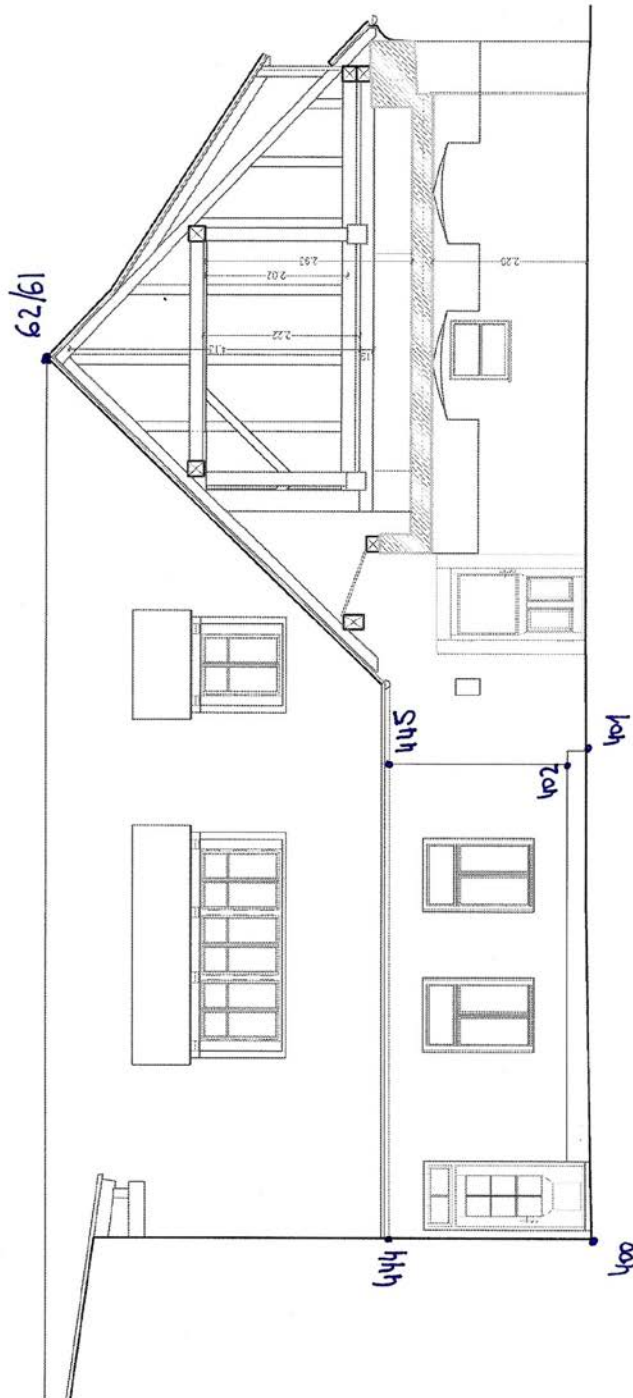
Zahodna fasada



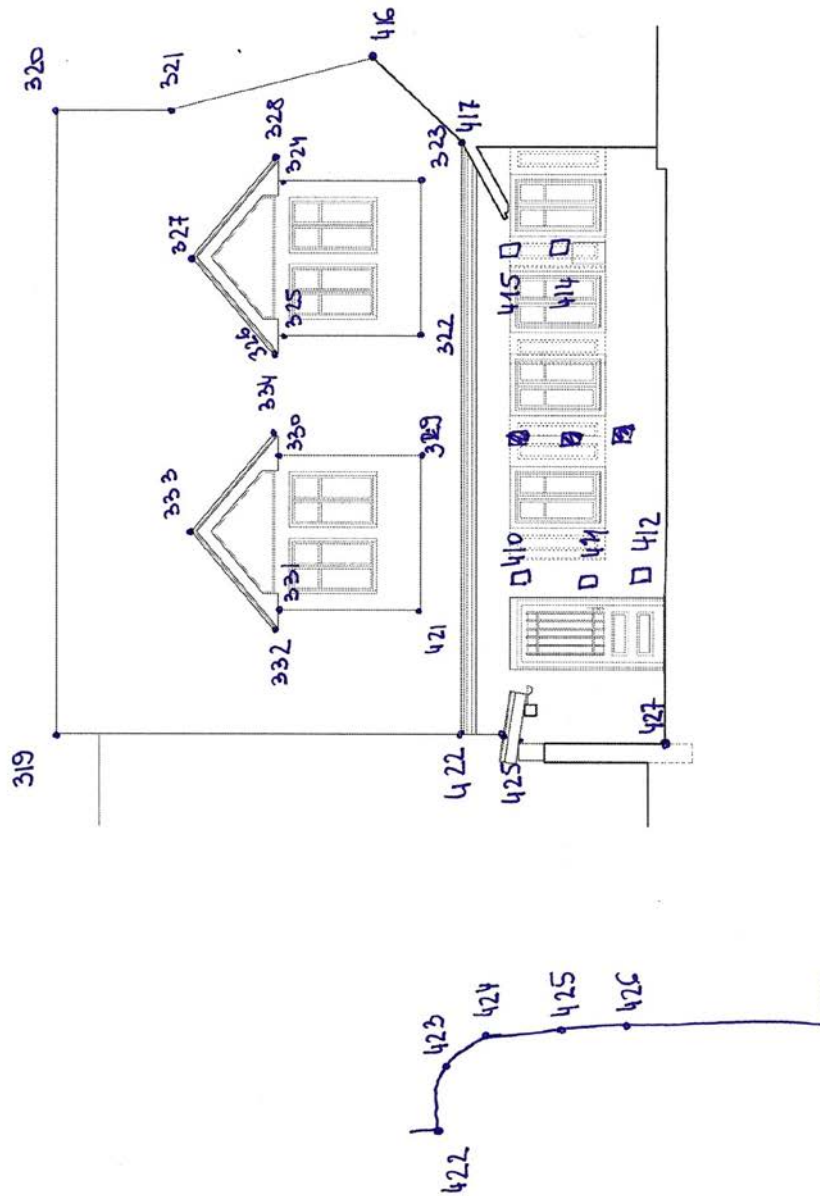
Južna fasada



Vzhodna dvoriščna fasada



Južna dvoriščna fasada in prerez (E – E)



Zahodna dvoriščna fasada

PRILOGA D: KOORDINATE DETAJLNIH TOČK OBJEKTA

Izpis iz programa LisCAD.

	Y	X	Z	osi
1	1016.514	983.117	250.802	
2	1016.513	983.118	251.400	
3	1016.517	983.113	252.168	
4	1021.434	981.025	250.073	
5	1021.447	981.013	250.429	
6	1021.427	981.013	252.392	
7	1021.668	981.689	252.581	
8	1021.413	981.206	253.077	
9	1018.717	981.039	254.050	
10	1018.978	981.388	254.998	
11	1017.740	981.882	255.033	
12	1017.717	981.462	254.071	
13	1017.712	981.464	254.868	
14	1016.021	982.135	254.057	
15	1016.250	982.495	255.028	
16	1015.039	982.971	255.010	
17	1015.018	982.547	254.057	
18	1014.997	982.555	254.865	
19	1016.198	978.600	256.791	
20	1018.796	975.449	258.421	
21	1015.047	978.960	256.862	
22	1013.320	984.500	252.321	
23	1013.362	984.591	252.380	
24	1013.583	985.026	252.381	
25	1013.327	984.503	252.895	
26	1014.231	984.153	250.432	
27	1014.238	984.167	250.078	
28	1015.595	983.565	250.076	
29	1015.602	983.557	250.421	
30	1015.539	983.537	252.169	
31	1015.449	983.396	252.152	
32	1015.445	983.411	250.130	
33	1021.277	981.053	250.845	
34	1021.271	981.056	251.537	
35	1021.272	981.055	252.155	
36	1013.306	984.554	250.084	
37	1013.308	984.538	250.426	
38	1013.290	984.503	252.859	
39	1012.642	984.836	252.258	
40	1012.684	984.809	251.522	
41	1012.701	984.804	250.806	
42	1009.058	986.623	250.110	
43	1009.048	986.621	250.409	
44	1009.086	986.562	252.406	
45	1008.378	986.894	252.618	
46	1007.830	987.140	252.654	
47	1007.160	987.502	252.566	

48	1006.835	987.666	252.410
49	1006.775	987.747	250.419
50	1006.854	987.709	250.398
51	1006.834	987.756	250.098
52	1008.660	985.938	252.406
53	1008.645	985.907	250.175
54	1006.725	987.736	250.410
55	1006.729	987.747	252.700
56	999.189	991.414	252.737
57	999.201	991.427	250.431
58	999.204	991.457	250.419
59	999.199	991.450	250.053
60	1013.456	984.894	253.136
61	1011.434	980.554	257.750
62	1001.587	985.540	257.660
63	998.915	991.970	253.235
64	1005.824	984.538	256.644
65	1007.738	987.524	254.523
66	1009.107	986.839	254.474
67	1008.676	986.466	253.668
68	1007.727	986.943	253.698
69	1007.679	986.858	253.792
70	1007.625	986.814	254.639
71	1006.680	984.844	256.012
72	1000.163	983.815	257.558
73	999.770	984.011	257.556
74	999.542	983.560	257.575
75	1000.168	983.836	257.139
76	999.745	984.081	256.699
77	999.562	983.625	256.796
78	998.595	980.910	257.593
79	998.157	981.113	257.613
80	997.975	980.655	257.583
81	998.600	980.914	256.992
82	998.145	981.066	256.593
83	997.965	980.696	256.571
84	996.526	975.296	257.745
85	996.080	975.497	257.755
86	995.932	975.082	257.741
87	996.543	975.297	257.466
88	996.111	975.479	257.079
89	995.947	975.053	257.098
90	1009.121	986.569	250.696
91	1009.125	986.551	251.539
92	1009.129	986.548	252.096
93	1006.776	987.701	252.290
94	1006.771	987.694	251.579
95	1006.770	987.694	250.750
96	1002.508	989.807	250.730
97	1002.500	989.805	251.614
98	1002.492	989.809	252.319
99	999.238	991.409	252.331
100	999.251	991.406	251.602
101	999.256	991.403	250.679

102	998.848	990.765	252.589
103	997.798	988.377	252.408
104	997.611	987.967	252.408
105	998.914	990.798	250.536
106	998.918	990.811	251.384
107	998.900	990.780	252.231
108	998.508	989.903	251.521
109	998.440	989.747	250.681
110	997.996	988.780	251.517
111	998.006	988.796	252.292
112	997.994	988.754	250.753
113	997.552	987.788	252.216
114	997.377	987.361	252.323
115	997.439	987.603	250.108
116	997.439	987.588	250.389
117	997.455	987.543	250.398
118	997.465	987.601	252.645
119	997.511	987.927	252.656
120	997.600	987.890	252.680
121	997.570	987.888	252.823
122	996.109	988.529	252.632
123	996.196	988.493	252.647
124	996.176	988.478	252.779
125	996.330	977.646	256.346
126	997.559	987.841	252.917
127	995.760	988.693	252.806
128	1014.176	977.293	258.430
129	995.974	973.597	257.656
130	992.625	972.458	255.392
131	994.684	973.951	256.501
132	991.690	975.401	255.203
133	992.356	976.960	255.211
134	995.408	975.519	256.486
135	992.314	975.468	253.969
136	992.651	976.595	253.752
137	985.340	979.928	254.246
138	995.253	975.951	256.192
139	993.373	978.687	255.372
140	993.624	978.660	253.795
141	993.188	977.292	254.183
142	996.026	984.453	251.714
143	996.022	984.450	252.243
144	994.907	982.105	252.163
145	992.885	977.782	252.083
146	993.892	979.918	251.969
147	993.587	979.280	251.214
148	991.493	974.834	252.027
149	990.930	973.620	251.505
150	989.511	970.783	251.338
151	989.501	970.778	252.037
152	992.116	976.120	252.148
153	995.804	970.434	257.960
154	998.461	969.229	257.915
155	999.200	970.663	257.724

156	993.934	966.794	258.396
157	992.075	963.149	258.003
158	995.663	970.063	257.579
159	994.808	968.459	257.797
160	993.963	966.776	257.987
161	993.116	965.109	257.798
162	992.288	963.529	257.606
163	996.756	969.675	257.464
164	995.796	967.846	257.500
165	994.223	964.810	257.532
166	993.211	962.859	257.513
167	989.609	971.106	253.000
168	990.933	973.494	252.940
169	994.862	967.000	256.706
170	994.351	965.971	256.699
171	994.345	965.997	255.131
172	994.827	967.050	255.137
173	994.236	964.514	256.680
174	994.596	963.392	256.646
175	994.577	963.410	255.132
176	994.221	964.532	255.121
177	1000.164	972.512	259.143
178	997.194	969.982	256.892
179	991.398	973.103	255.638
180	990.601	973.812	255.548
181	988.811	970.138	255.307
182	990.978	973.709	254.498
183	990.877	973.757	254.626
184	990.744	973.810	254.685
185	990.960	973.677	254.929
186	994.655	974.214	257.958
187	992.061	975.526	256.787
188	992.323	975.400	256.792
189	995.409	968.375	256.456
190	995.428	968.378	255.698
191	995.924	969.338	256.457
192	996.075	969.608	256.465
193	995.936	969.331	255.844
194	996.080	969.613	255.966
195	989.360	970.514	255.096
196	994.589	967.971	255.121
197	989.064	969.897	253.895
198	989.045	969.911	253.791
199	988.976	969.949	253.804
200	987.898	970.450	253.882
201	987.910	970.446	253.763
202	987.829	970.484	253.752
203	990.178	970.201	254.081
204	987.439	970.558	253.899
205	990.121	970.142	253.809
206	990.119	970.144	253.148
207	990.125	970.164	250.576
208	992.408	968.916	250.600
209	992.426	969.054	252.159

210	994.715	967.940	252.206
211	994.729	967.938	251.440
212	994.731	967.914	250.613
213	994.588	966.598	250.584
214	994.587	966.558	251.320
215	994.625	966.625	252.265
216	994.572	963.990	255.975
217	994.565	964.001	252.943
218	994.562	964.009	252.284
219	994.346	963.921	251.399
220	995.624	962.224	251.692
221	996.125	962.178	252.084
222	996.134	962.176	252.903
223	996.140	962.174	256.027
224	996.924	961.637	250.108
225	1000.301	961.751	251.737
226	1001.197	961.283	251.012
227	1001.247	959.549	250.432
228	1001.253	959.548	251.539
229	1001.225	959.545	252.186
230	994.639	963.276	257.369
231	994.151	962.368	257.387
232	995.023	961.917	257.397
233	995.304	962.479	257.367
234	996.090	961.965	257.362
235	995.830	961.512	257.373
236	996.613	961.114	257.371
237	996.907	961.668	257.357
238	997.746	961.584	257.246
239	995.131	967.759	253.450
240	995.113	967.695	250.110
241	994.221	964.504	253.370
242	994.576	963.388	253.371
243	994.584	963.392	251.784
244	994.218	964.523	251.790
245	995.530	962.311	253.359
246	996.569	961.757	253.345
247	996.570	961.760	251.895
248	995.616	962.326	251.782
249	994.222	964.323	250.395
250	994.471	963.554	250.487
251	994.477	963.556	249.944
252	994.232	964.321	249.943
253	995.650	962.167	249.946
254	996.395	961.782	249.941
255	996.370	961.779	250.474
256	1001.828	960.950	249.954
257	1001.803	960.691	249.956
258	1002.354	960.421	249.993
259	1001.825	960.991	253.743
260	997.449	960.698	257.369
261	998.294	960.260	257.351
262	998.292	960.261	257.352
263	999.122	959.830	257.349

264	999.981	961.506	257.354
265	999.499	959.851	257.561
266	999.998	961.401	257.007
267	1000.175	961.772	256.989
268	1001.012	961.391	256.992
269	1000.854	960.948	256.984
270	1001.656	960.562	256.992
271	1001.871	960.979	256.963
272	998.493	961.954	256.231
273	998.483	961.952	252.936
274	998.475	961.951	252.142
275	998.525	961.737	251.511
276	998.169	961.645	250.471
277	998.955	961.864	250.469
278	998.952	961.873	249.921
279	998.167	961.628	249.927
280	1001.617	959.042	252.186
281	1001.590	959.057	251.406
282	1001.574	959.058	250.559
283	1003.974	958.596	250.934
284	1003.974	958.597	251.496
285	1003.981	958.597	252.301
286	1005.311	959.536	252.248
287	1005.304	959.520	251.560
288	1005.311	959.536	250.736
289	1007.185	963.647	250.788
290	1007.193	963.668	251.778
291	1007.185	963.652	252.489
292	1008.626	966.807	252.581
293	1008.616	966.785	251.788
294	1008.616	966.779	250.672
295	1004.983	957.523	249.924
296	1005.163	957.985	249.930
297	1006.027	957.611	249.950
298	1006.033	957.637	250.126
299	1007.257	960.233	249.954
300	1006.409	960.611	249.947
301	1006.625	961.050	249.931
302	1007.472	960.679	249.958
303	1008.655	963.320	249.934
304	1007.831	963.700	249.954
305	1008.064	964.153	249.930
306	1008.890	963.791	249.927
307	1010.081	966.414	249.874
308	1009.253	966.804	249.885
309	1009.464	967.268	249.866
310	1008.826	967.215	249.828
311	1001.130	959.272	249.881
312	1001.150	959.278	253.411
313	1001.060	959.200	253.609
314	1001.061	959.209	253.423
315	1005.024	957.427	253.404
316	1005.025	957.424	253.542
317	1009.523	967.287	253.451

318	1009.523	967.289	253.562
319	1010.627	978.662	258.458
320	1018.757	975.332	258.410
321	1017.936	973.451	256.676
322	1013.123	971.153	253.328
323	1015.053	970.345	253.320
324	1015.087	970.333	255.295
325	1013.117	971.167	255.276
326	1012.473	970.970	255.388
327	1013.959	970.415	256.665
328	1015.361	969.772	255.423
329	1011.458	971.775	253.293
330	1011.488	971.815	255.297
331	1009.542	972.646	255.302
332	1008.893	972.429	255.420
333	1010.389	971.899	256.678
334	1011.753	971.226	255.436
335	1005.918	968.802	257.720
336	998.162	961.593	254.193
337	1001.587	959.877	254.152
338	1002.925	962.217	258.478
339	1002.704	960.539	259.206
340	1002.028	960.889	259.175
341	1003.000	961.100	259.195
400	1000.569	971.617	250.132
401	1003.671	977.904	250.117
402	1003.546	977.723	250.108
403	1007.960	964.759	250.505
404	1006.407	968.036	250.661
405	1006.409	968.035	251.468
406	1006.407	968.031	252.175
407	1007.390	972.394	251.361
408	1007.392	972.413	250.796
409	1007.404	972.440	250.179
410	1009.795	972.373	250.342
411	1009.818	972.360	251.141
412	1009.818	972.352	251.917
413	1014.190	970.365	250.426
414	1014.146	970.380	251.451
415	1014.143	970.381	252.095
416	1016.951	969.291	253.147
417	1014.981	969.159	252.488
418	1015.487	969.798	250.039
419	1015.228	969.906	250.016
420	1015.206	969.895	249.913
421	1009.539	972.620	253.304
422	1007.541	972.642	252.776
423	1007.719	972.734	252.644
424	1007.887	973.108	252.644
425	1007.892	973.200	252.597
426	1007.904	973.228	252.125
427	1007.770	973.265	249.942
428	1007.425	972.477	249.896
429	1007.428	972.482	251.554

430	1000.545	974.708	254.369
431	1000.771	974.268	255.674
432	1000.569	974.701	255.677
433	1001.862	977.464	254.401
434	1001.978	977.345	255.616
435	1002.325	977.510	255.668
436	998.171	975.559	256.672
437	1000.347	980.012	256.689
438	1002.723	978.864	255.765
439	1003.687	980.314	255.697
440	1002.676	979.156	255.678
441	1002.686	979.120	254.395
442	1003.214	980.259	255.678
443	1003.209	980.247	254.592
444	1000.694	971.609	252.946
445	1003.458	977.140	253.044
446	1005.946	969.101	257.174
447	1000.091	972.157	257.070
448	1005.942	968.872	257.530
449	1006.189	969.421	257.503
450	1006.550	968.907	249.893
451	1006.349	968.341	249.882
452	1006.312	968.354	250.550
453	1006.214	968.129	250.582
454	1006.219	968.123	253.386
455	1006.437	968.619	253.404
456	1006.393	968.650	251.676
457	1006.483	968.940	251.634
458	1004.742	958.231	250.569
459	1005.928	968.927	253.417
460	1005.961	968.912	253.629
S1	1054.220	1000.000	249.872
S2	1000.000	1000.000	250.000
S3	971.092	985.236	250.684
S4	986.209	960.520	249.876
S5	1007.022	951.022	250.013
S6	1010.347	967.493	249.854
T1	969.431	965.056	251.676

PRILOGA E: KOORDINATE TOČK 3D MODELA

Izpis iz programa PhotoModeler.

Id (pixels)	Name Tagged	X (m)	Y (m)	Z (m)	X Precision	Y Precision	Z Precision	Photos	RMS Residual (pixels)	Largest Residual
2		963,366716	977,711651	246,044557	0,168465	0,069264	0,177838	1,2,3,4,68,69,70	1,197724	1,785195
3		963,314069	977,587548	246,63003	0,169269	0,058582	0,179991	1,2,3,68,69,70	0,600403	1,097815
4		963,249656	977,443151	247,381453	0,170515	0,047085	0,182299	1,2,3,69,70	0,442995	0,649841
5		967,371812	978,396249	247,256494	0,09271	0,042445	0,099405	1,2,3,4	0,237926	0,347176
6		967,361423	978,26418	247,981917	0,091989	0,028013	0,095251	1,2,3,4,5	1,314299	1,811719
7		962,903422	978,150021	249,413583	n/a	n/a	n/a	1,2,3,4,68,69	1,940519	3,523189
8		964,926474	983,127775	255,079333	0,229771	0,138444	0,396372	1,2	0,040877	0,041347
10		971,343915	979,207131	246,90537	0,068462	0,054141	0,06762	3,4,5,6	1,255613	2,094568
11		971,258372	979,05308	247,731768	0,067554	0,038938	0,068701	3,4,5,6	0,870428	1,228547
12		971,211208	978,945214	248,275585	0,067142	0,030409	0,070095	3,4,5,6	1,166638	1,810888
14		973,89974	979,619729	247,262923	0,095766	0,056501	0,108575	4,5,6	1,951658	2,136649
15		973,828548	979,455873	248,073881	0,094732	0,044303	0,108513	4,5,6	1,531532	1,654993
16		973,769328	979,302444	248,766312	0,093994	0,037204	0,109001	4,5,6	1,370702	1,726287
17		978,605161	980,356577	247,798951	0,169837	0,062711	0,160544	6,7,8	0,127134	0,162183
18		978,535549	980,180481	248,670857	0,168243	0,058449	0,163421	6,7	0,327028	0,327718
19		978,484311	980,044446	249,363796	0,165322	0,057121	0,157111	6,7,8	0,502839	0,604102
20		982,112584	980,720193	249,08216	0,213789	0,069506	0,216089	7,8,9	0,770335	0,978066
21		982,064507	980,579782	249,795214	0,212065	0,071595	0,215051	7,8,9	1,96605	2,766542
22		982,603834	980,087358	250,649289	0,220093	0,082575	0,220992	7,8,9	2,950806	3,555762
23		982,114917	981,616543	248,170895	0,211145	0,068499	0,219213	8,9,10	0,379758	0,510823
24		982,049072	981,434068	248,998777	0,208604	0,065835	0,217903	8,9,10	0,71111	0,967802
25		981,969058	981,299628	249,831336	0,205703	0,066786	0,216833	8,9,10	0,739951	0,999571
26		981,873209	982,698218	248,518805	0,202279	0,063705	0,223	8,9,10	0,442881	0,487196
27		956,293378	981,157381	253,947427	n/a	n/a	n/a	1,2,68,70	1,637262	2,72878
28		960,086762	977,507109	249,045561	n/a	n/a	n/a	1,2,3,68,69,70	1,627893	2,471403
29		963,957874	978,394976	249,549389	n/a	n/a	n/a	1,2,3	1,072759	1,853248
30		963,732526	978,193722	250,367022	0,165481	0,0481	0,186651	1,2,3	0,264349	0,305542
31		966,553675	977,576727	248,717589	n/a	n/a	n/a	1,2,3,4,5	1,630305	2,963174
32		964,28428	977,684585	247,519913	0,148936	0,042525	0,165855	1,2,3	2,12689	2,790014
35		980,306562	980,314153	249,535646	0,190848	0,064677	0,185545	7,8,9	0,464234	0,6533
38		979,556388	980,416824	248,348888	0,184852	0,062333	0,17519	6,7,8,9	1,039257	1,512718
39		982,327534	981,032439	247,577415	0,219008	0,074031	0,21959	7,8,9,10	1,902929	2,566858
40		972,146742	981,503755	253,558579	0,130446	0,062455	0,132065	6,7,8	2,327876	2,857168
43		977,484678	980,106861	248,100167	0,151573	0,058113	0,144964	6,7	0,280732	0,281764
44		981,473583	985,107311	248,39001	0,196593	0,063999	0,237267	8,9,10,11	2,65784	3,965651
47		981,581063	983,106441	250,22812	0,192927	0,055051	0,226111	8,9,10,11	1,046773	1,580881
48		966,756485	977,398253	247,967303	n/a	n/a	n/a	1,2,3,5	0,910776	1,566548
49		965,304098	981,372586	254,055644	n/a	n/a	n/a	1,2,3,4,5,6,68	2,305176	3,925373
50		960,806619	977,195198	245,494281	0,223382	0,085068	0,242413	1,2,68	0,829474	1,040204

... se nadaljuje...

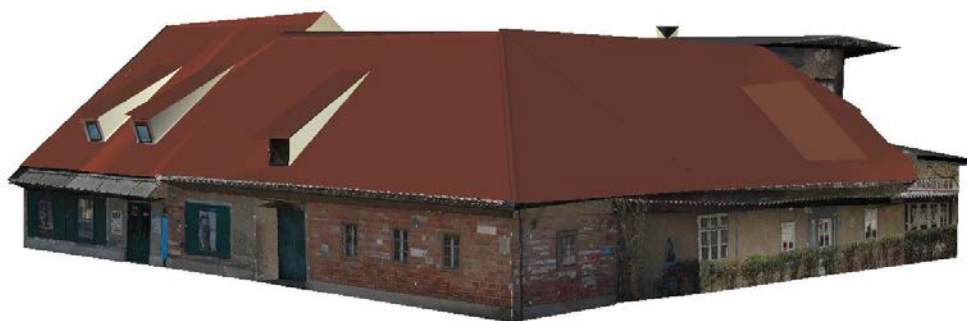
1750		964,482369	992,760526	250,295842	n/a	n/a	n/a	128,129,1300,870204	1,101028	
1751		965,020711	990,744108	250,179161	n/a	n/a	n/a	127,128,1295,863967	9,737446	
1753		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	121,122	n/a	n/a
1754		970,826525	992,923854	249,061764	n/a	n/a	n/a	123,121,122,124	19,568539	28,17981
1755		960,833475	1002,3049	258,058851	n/a	n/a	n/a	59,78,79	9,999168	11,224134
1756		961,292943	1002,802153		255,408267	n/a	n/a	n/a	63,76	0,310865
1757		961,092027	1002,856854		255,032257	n/a	n/a	n/a	76,78,80	6,967402
1758		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	63,65,78,79	n/a	n/a
1759		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	56,57,109	n/a	n/a
1760		957,821633	1005,369412		251,065475	n/a	n/a	n/a	108,109	1,012177
1761		957,919122	1005,003288		251,000362	n/a	n/a	n/a	108,109	0,048851
1762		957,892688	1004,982542		251,000266	n/a	n/a	n/a	108,109	0,039805
1763		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	123,110,111,125	n/a	n/a

PRILOGA F: IZDELAN TRIRAZSEŽNI MODEL PLEČNIKOVE HIŠE V LJUBLJANI

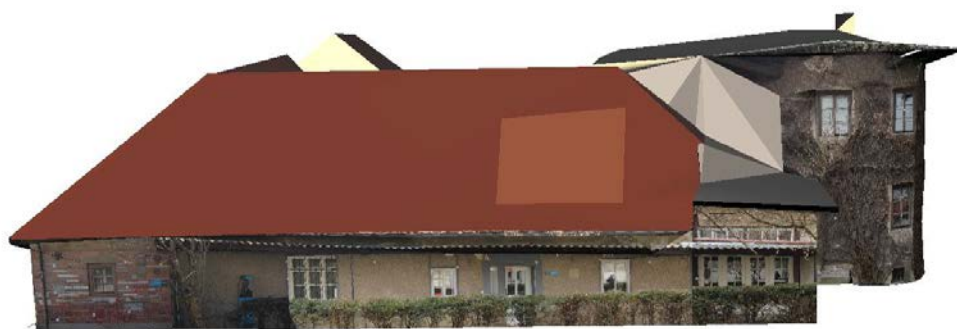
Prikaz modela iz programa PhotoModeler.



Vzhodni fasadi



Vzhodni fasadi in severna fasada



Severna fasada



Severna in zahodna fasada



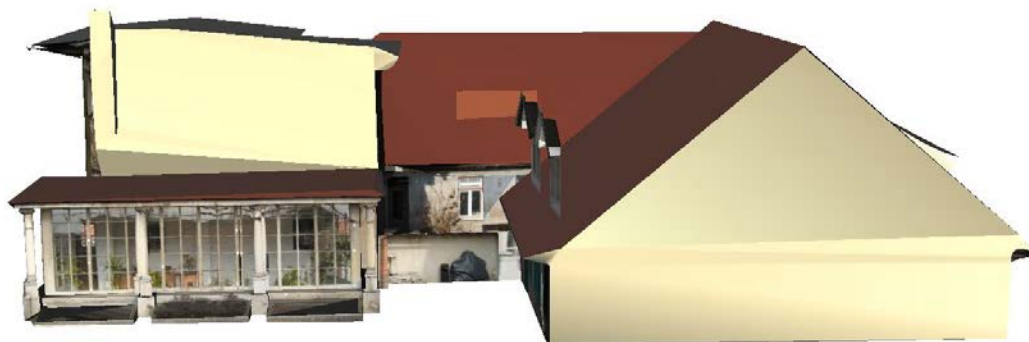
Zahodna fasada



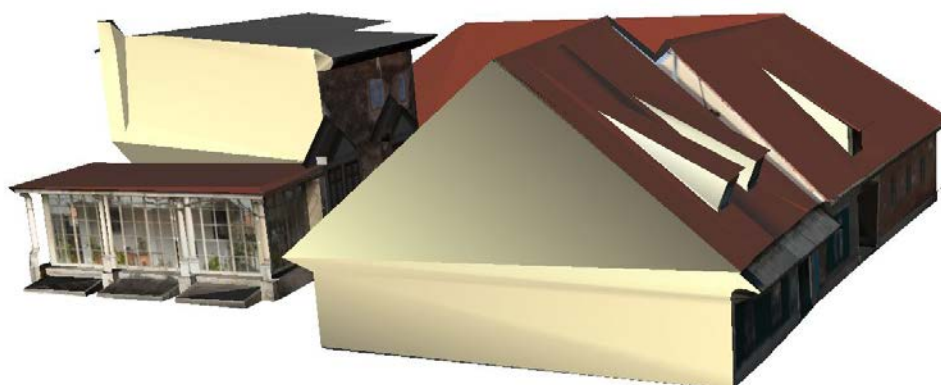
Zahodna in južna fasada



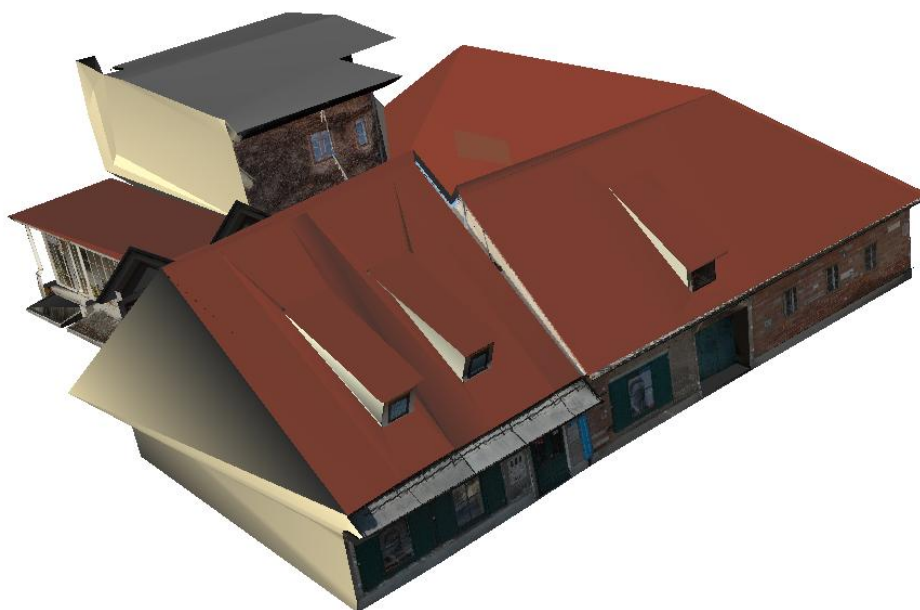
Južna fasada in zahodna dvoriščna fasad



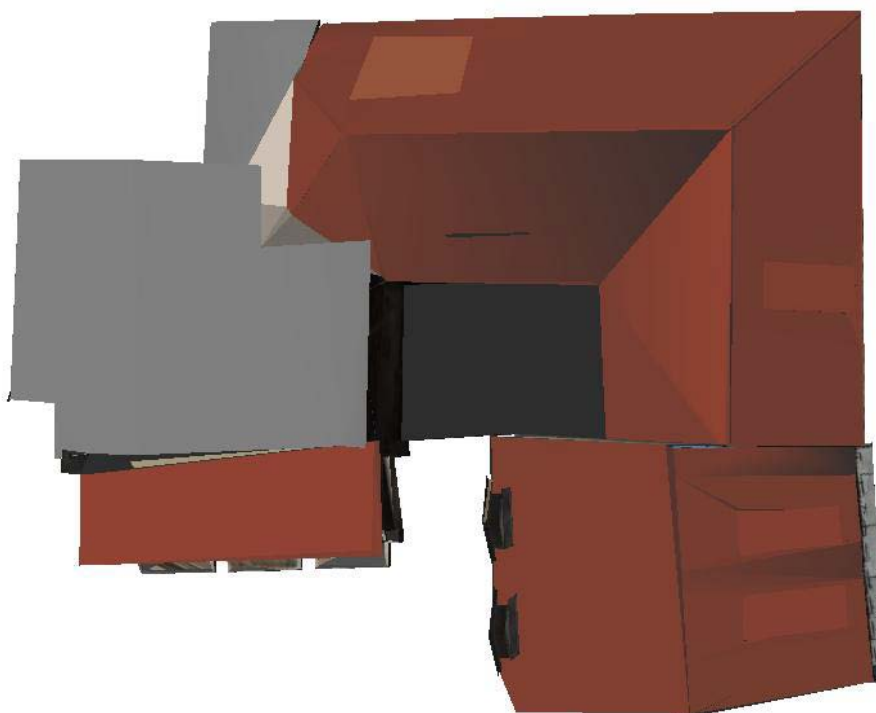
Južna fasada



Južna in vzhodna fasada



Pogled na streho in vzhodno fasado



Pogled na streho