

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Geodezija,
smer Prostorska informatika

Kandidat:

Franci Novšak

Fotogrametrična izdelava 3D modelov stavb

Diplomska naloga št.: 754

Mentor:
doc. dr. Mojca Kosmatin Fras

Ljubljana, 18. 6. 2008

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **FRANCI NOVŠAK** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »**FOTOGRAMETRIČNA IZDELAVA TRIRAZSEŽNIH MODELOV STAVB**«.

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatoteke FGG.

Ljubljana, 20.05.2008

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.74:721(043.2)
Avtor:	Franci Novšak
Mentor:	doc. dr. Mojca Kosmatin Fras
Naslov naloge:	Fotogrametrična izdelava trirazsežnih modelov stavb
Obseg in oprema:	51 str., 5 pregl., 23 sl., 15 en.
Ključne besede:	fotogrametrija, trirazsežno modeliranje, arhitekturna, fotogrametrija, PhotoModeler

Izvleček

Diplomsko delo obravnava izdelavo 3R modelov stavb z metodo bližjeslikovne fotogrametrije na osnovi nizko cenovne opreme (programski paket Photo Modeler 5.0 pro in običajni digitalni fotoaparati). V prvem delu je opisan celoten postopek od zajema fotografij na terenu, do obdelave teh v programu Photo Modeler. Predstavljena so področja fotogrametrije s poudarkom na bližjeslikovni fotogrametriji. Izdelani so 3R modeli izbranih objektov, posnetimi z običajnim digitalnim fotoaparatom. Drugi del naloge prikazuje izvedbo testiranja geometrijske natančnosti izdelanih modelov objektov glede na dejansko stanje v naravi. Omenjeno testiranje je prikazano v preglednicah s pripadajočimi odstopanji. Modeli objektov so prikazani, kot metrični modeli v trirazsežnem fotorealističnem prostoru.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

- UDC:** 528.74:721(043.2)
- Author:** Franci Novšak
- Supervisor:** Assist. Prof. Mojca Kosmatin Fras, Ph.D.
- Title:** Photogrametric production of three-dimensional models of buildings
- Notes:** 51 p., 5 tab., 23 fig., 15 eq.
- Key words:** photogrammetry, modeling, arhitectural photogrametry, PhotoModeler

Abstract

The present work focuses on making a metric 3D model of buildings with close-range photogrammetric method that links a map to one or more photos through a perspective calculation of some calibration points. The photos are taken with common digital camera and further processed with software package PhotoModeler 5.0 pro. First part of this research describes step by step how to design and make 3D metric model of building. Here are presented all fields of photogrammetry with the ephasise on close-range photogrammetry. 3D models of chosen buildings are photographet with common digitall camera. Second part of task presents testing of geometric accuracy of produd models of buildings considering real condition in nature. Mentioned testing is showed in tables with belonging discrepancies. These final models of buildings are displayed as metric models in 3D fotorealistic space.

ZAHVALA

Za pomoč in spodbudne besede pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorici doc. dr. Mojci Kosmatin Fras. Hvala tudi vsem na katedri, ki so mi omogočili prijetno delovno vzdušje skozi celoten študij.

Zahvalil bi se tudi svojima staršema, ki sta mi skozi vsa leta študija nudila pomoč in mi pomagala vsak dan narediti lepši.

Kdor nič ne ve, pa ne ve, da nič ne ve, je neumnež, izogibaj se ga!

Kdor nič ne ve, pa ve, da nič ne ve, je nevednež, pouči ga!

Kdor nekaj ve, pa ne ve, da nekaj ve, spi, zbudi ga!

Kdor nekaj ve, pa ve, da nekaj ve, je modrec, sledi mu!

(Kitajski pregovor)

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Opis problema	1
1.1	Uporabljena oprema	3
2	BLIŽJESLIKOVNA FOTOGRAMETIJA	4
2.1	Področja fotogrametrije	4
2.2	Terminološka obdobja v fotogrametriji	4
2.2.1	Analogna fotogrametrija	5
2.2.2	Analična fotogrametrija	5
2.2.3	Digitalna fotogrametrija	6
2.2.4	Sodobna gibanja v fotogrametriji	6
2.3	Metodologija bližjeslikovne fotogrametrije	7
2.4	Fotogrametrična snemalna oprema	8
2.5	Področja uporabe	10
3	PROGRAM PHOTOMODELER	11
3.1	Splošno o programu PhotoModeler	11
3.2	3R pregledovalnik v PhotoModeler-ju	12
4	POSTOPEK IZDELAVE 3R MODELA	15
4.1	Terenski zajem objektov	15
4.1.1	Ogled terena in fotografiranje objektov	15
4.1.2	Fotografiranje preprostih objektov	16
4.1.3	Fotografiranje zapletenih objektov	16
4.2	Obdelava posnetkov v programu PhotoModeler	18
4.2.1	Izbira fotoaparata v programu	18
4.2.2	Hitra kalibracija fotoaparata	18
4.2.3	Avtomatska kalibracija fotoaparata	19
4.2.4	Vnos podatkov v program	20
4.2.5	Obdelava podatkov	21
4.2.6	Izvoz rezultatov	23
5	PREGLED VPLIVOV NA MERSKO NATANČNOST METODE	25
5.1	Izbira fotoaparata in njegove karakteristike	28
5.2	Človeški vplivi	28
5.3	Vplivi zunanjega sveta	28
5.3.1	Osvetljenost objekta	29
5.3.2	Naravne in umetne ovire	29
5.3.3	Vremenske razmere	29
5.3.4	Kontrastnost objekta z njegovo okolico	29
6	TESTIRANJE MODELA	30
6.1	Natančnost modela istega objekta na podlagi dveh različnih fotoaparatov	31
6.1.1	Oznake linij na obravnavanem objektu	33
6.1.2	Primerjava natančnosti obeh modelov objekta	35
6.1.3	Rezultati primerjave natančnosti modela kapelice posnetega z fotoaparatom Sony Ericsson K750i in Fuji Film S5700	37
6.2	Natančnost modela objekta na podlagi koordinat znanih točk na objektu	37
6.2.1	Opredelitev znanih koordinat točk na objektu	37
6.2.2	Primerjava natančnosti obeh modelov objekta	39

6.2.3	Rezultati primerjave natančnosti modela objekta posnetega z fotoaparatom Fuji Film S5700.....	40
6.2.4	Izgled 3R modela kapelice.....	41
6.3	Natančnost 3R modela objekta glede na naraščajočo oddaljenost med slikovno ravnino in objektom.....	43
6.3.1	Oznake linij na obravnavanem objektu.....	44
6.3.2	Razlika v pozicijski natančnosti 3R modela vežice glede na naraščajočo oddaljenost objektiva od objekta.....	45
6.3.3	Rezultati primerjave natančnosti modela objekta posnetega z fotoaparatom Fuji Film S5700 glede na različno razdaljo Z_0.....	46
7	TERMINOLOGIJA.....	48
8	ZAKLJUČEK.....	49
9	VIRI.....	51

KAZALO SLIK

Slika 1: Objekti uporabljeni v diplomski nalogi.....	2
Slika 2: Izgled glavnega okna programa PhotoModeler	11
Slika 3: Izgled 3R pregledovalnika v PhotoModeler-ju	13
Slika 4: Prikaz faz v delovnem procesu.....	15
Slika 5: Primer fotografiranja preprostega objekta.....	16
Slika 6: Primer fotografiranja zapletenega objekta	17
Slika 7: Postopek hitre kalibracije fotoaparata	18
Slika 8: Kalibracijska mreža.....	19
Slika 9: Pozicije slikanja kalibracijske merže	20
Slika 10: Vnos posnetkov v program	21
Slika 11: Iskanje identičnih točk na objektu.....	22
Slika 12: Pogled žičnega modela v 3R pregledovalniku	23
Slika 13: Geometrijski prikaz merila fotografije	31
Slika 14: Objekt uporabljen pri prvem testiranju	32
Slika 15: Položaj fotoaparata pri fotografiranju kapelice	32
Sliki 16 in 17: Položaj linij uporabljenih v modelu objekta	34
Slika 18: Opredelitev uporabljene linije in treh znanih lokalnih koordinat objekta.....	38
Slika 19: 3R model kapelice – žični model	41
Slika 20: 3R model kapelice – ploskovni model z osenčenjem	42
Slika 21: 3R model kapelice – ploskovni model s ploskvami prevzetih s posnetkov	42
Slika 22: Mrliška vežica	43
Slika 23: Oznake linij na objektu vežica	44

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Primerjava uporabljenih fotoaparatorov Sony Ericsson K750i in Fuji Film S5700	33
Preglednica 2: Primerjava natančnosti razdalj modela istega objekta posnetega z fotoaparatom Sony Ericsson K750i in Fuji Film S5700	36
Preglednica 3: Lokalne koordinate uporabljenih točk	38
Preglednica 4: Primerjava natančnosti modela objekta posnetega z fotoaparatom Fuji Film S5700	39
Preglednica 5: Natančnost modela glede na oddaljenost od gorišča	45

1 UVOD

1.1 Opis problema

Ljudje še vedno večino svojih informacij o prostoru pridobivamo z vidom. Zato je zelo pomembno kakšno metodo o predstavitvi prostora izberemo, da zadovoljimo potrebe uporabnikov. Preproste skice so nadomestile dvodimenzionalne karte ter načrti v določenem merilu in koordinatnem sistemu. Vemo, da je tlorisna predstavitev zadovoljiva za večino uporabnikov, vendar se težnja o realni predstavitvi okolja povečuje. Trirazsežnostna (3R) predstavitev okolja s časovno komponento je poglavje prihodnosti pri evidentiranju prostora.

Obstaja mnogo geodetskih metod in postopkov za zajemanje 3R podatkov, od klasičnih geodetskih meritev, laserskega skeniranja do različnih fotogrametričnih metod. Že v času študija sem spremljal področje bližjeslikovne fotogrametrije, saj me to področje zanima. Tehnologija, ki je pod komercialnim imenom znana kot toposkopija, na osnovi večslikovnega zajemanja detajlov na poljubni vrsti objekta omogoča izračun 3R koordinat za izdelavo žičnega ali ploskovnega modela tega objekta.

V nalogi sem opisal ter preverjal praktično izdelavo 3R modela stavb s programskim paketom PhotoModeler verzije 5.0 pro. Predstavil sem metodo bližjeslikovne fotogrametrije in uporabo programa PhotoModeler. V praktičnem delu sem uporabil objekte manjših in srednjih velikosti na območju občine Trebnje v naselju Dobrnič (slika1). Preveril sem predvsem geometrijsko natančnost modela glede na dejansko stanje objekta v naravi na osnovi fotografij posnetih s preprostim digitalnim fotoaparatom.



Slika 1: Objekti uporabljeni v diplomski nalogi

Na podobno temo je imel diplomsko nalogo tudi Luka Dobričič leta 2005 z naslovom: »Uporaba programa Photomodeler za izdelavo metričnih modelov stavb« (Dobričič, 2005). Za izvedbo 3R modela je uporabil program PhotoModeler verzijo 5.0. V svoji diplomski je opisal predvsem strukturo uporabljenega programa ter postopek, kako izdelati 3R model poljubnega objekta. V nalogi ni obravnaval kakovosti 3R modela na osnovi uporabljenega inštrumentarija. Moje diplomsko delo predstavlja nadaljevanje te diplomske naloge v smislu preizkušanja tehnologije večslikovnega zajemanja in preverjanja metričnosti na enostavnih zgradbah.

Začetek prvih idej o fotogrametriji sega več kot 160 let nazaj. Prve osnutke o osnovah fotogrametrije je publiciral Although J.H. Lambert že pred odkritjem fotografije leta 1839.

Prvi, za današnji čas pomemben preskok se je začel z razvojem elektronike in prvih računalnikov. To je bila doba analitične fotogrametrije. Z razmahom osebnih računalnikov v devetdesetih letih se je začel hiter razvoj digitalne fotogrametrije in s tem tudi bližjeslikovne fotogrametrije. Na začetku je glavni problem predstavljala predvsem ustrezna programska oprema. Po letu 1990 tudi to več ni bil problem, saj je že večina specializiranih programskih podjetij razvijala programske pakete za podporo bližjeslikovni fotogrametriji. (Edited by Atkinson, K.B., 1996)

Obstaja vedno več področij, kjer se uporablja bližjeslikovna fotogrametrija. Naj bo to v geodeziji, policiji, medicini, arhitekturi, gradbeništvu ter drugje, vedno pa je pomemben prikaz rezultatov. Ko sem se odločil za izdelavo 3R modela stavb, me je skrbelo, da bo delo zapleteno, vendar sem ugotovil, da je današnja programska oprema prijazna do uporabnika.

1.1 Uporabljena oprema

Pri projektu sem uporabil naslednjo opremo:

- digitalni fotoaparati Fuji film S5700 (7.1 Mp),
- digitalni fotoaparati v mobilnem telefonu Sony Ericsson k750i (2 Mp),
- programski paket PhotoModeler kanadskega podjetja EOS Systems – verzija 5.0 Pro,
- ročni merski trak,
- elektronski tahimeter Sokia 2000,
- osebni računalnik.

2 BLIŽJESLIKOVNA FOTOGRAMETIJA

2.1 Področja fotogrametrije

Fotogrametrija je znanost, tehnologija in spretnost določanja prostorske lokacije in oblike objektov ter njihovo prepoznavanje iz fotografij oz. slik, ki jih na različne nosilce slike zapiše sevanje elektromagnetne energije in drugi pojavi (Kraus K., 1993). Delitev fotogrametrije na področja je različna. Najobsežnejše področje je topografska fotogrametrija, katere glavni cilj je izdelava topografskih načrtov in kart. S pojmom netopografska fotogrametrija označujemo vse ostale aplikacije, ki jih stroka imenuje tudi bližjeslikovna fotogrametrija (angl. close range photogrammetry). S terminom arhitekturna fotogrametrija označujemo fotogrametrične metode za metrično iz vrednotenje arhitekturnih objektov. Postopki in metode, ki jih na tem področju uporabljamo, so v osnovi enaki ostalim področjem, vendar obstaja določena specifika.

Osnovni namen izdelave arhitekturnih fotogrametričnih posnetkov je, da se s fotogrametričnimi in geodetskimi meritvami dopolnijo, obnovijo ali izdelajo načrti obstoječih zgradb, ruševin, poslikav, ipd. Končni izdelki v kakršnikoli metrični obliki so namenjeni različnim uporabnikom. Fotogrametri se moramo z rezultati čim bolj približati zahtevam uporabnikov, po drugi strani pa morajo tudi uporabniki poznati različne možnosti, ki jih nudi fotogrametrija. Za uporabnika je seveda pomembna tudi cena izdelka, ki je v veliki meri odvisna od postopka in kvalitete končnega izdelka. Želje uporabnikov so različne, zato je pomembna komunikacija med uporabnikom in izvajalci (Fras M., 1996).

2.2 Terminološka obdobja v fotogrametriji

V razvoju fotogrametrije ločimo tri glavna tehnološka obdobja: analogno (1900-1960), analitično (1960-1980) in digitalno (1980-...), pri čemer so navedeni časovni mejniki samo približni.

Arhitekturna fotogrametrija se je uveljavila praktično od samega začetka fotogrametrije, kot nove stroke. Njen začetek sega v leto 1858, ko je nemški arhitekt in gradbeni mojster Albrecht

Meydenbauer realiziral svojo idejo izmere fasad arhitekturnih objektov s pomočjo fotografij. Za očeta fotogrametrije pa velja francoski oficir Aime Laussedat, ki je leta 1851 prvič uporabil fotografije za topografsko izmero terena.

2.2.1 Analogna fotogrametrija

Za obdobje analogne fotogrametrije so značilni analogni inštrumenti za izvedenotenje, ki konstrukcijsko temeljijo na analogni (mehanski) rekonstrukciji modela. Prostorsko pomanjšan model se v teh inštrumentih ustvari z mehanskimi palicami, svetlobnimi žarki, ipd. Vodilno vlogo v tem obdobju so imele topografske aplikacije. Za izdelavo topografskih načrtov in kart so služili predvsem letalski posnetki. Produkcija je bila masovna in je pripomogla k veliki popularizaciji fotogrametrije kot ene izmed glavnih metod pridobivanja topografskih podatkov.

2.2.2 Analitična fotogrametrija

S pojavom računalnikov se je začelo obdobje analitične fotogrametrije, v katerem je nastala prava poplava netopografskih aplikacij, podprtih z najrazličnejšo strojno in programsko opremo.

Analitični inštrumenti temeljijo na merjenju slikovnih koordinat. Prostorske koordinate merjenih točk se računajo v mikroprocesorju po enačbah analitične fotogrametrije, in sicer v realnem času. Matematično se lahko upoštevajo različni parametri, s katerimi zmanjšamo sistematične pogoške (distorzija objektiva, atmosferska refrakcija, itd.). Samo opazovanje stereoskopskega modela ali posameznega posnetka pa še vedno poteka prek optičnega merskega sistema.

Zajete podatke lahko obdelujemo najprej v poljubnem CAD (kratica za computer aided desing), GIS (kratica za geografski informacijski sistem) ali drugem orodju, saj analitični inštrument praktično predstavlja 3R digitalnik. Izbira računalniškega orodja za zajem podatkov je odvisna predvsem od namena projekta, možna pa je uporaba vseh uveljavljenih

orodij. Poleg analitičnih univerzalnih inštrumentov se uporabljajo še analitični monokomparatorji ali stereokomparatorji.

2.2.3 Digitalna fotogrametrija

Pojem »digitalna fotogrametrija« je nastal na začetku sedemdesetih let, ko so iz satelitov za daljinsko zaznavanje na Zemljo pričeli prihajati slikovni podatki o njenem površju. Pojem »digitalen« se nanaša na naravo slikovnih podatkov, ki nastajajo s pretvarjanjem intenzitete svetlobe v elektronske signale. Digitalna slika, ki nastane s kvantizacijo signalov v diskretne sive vrednosti (angl. grey value), tvori matriko slikovnih elementov, ki jo lahko obdelujemo v računalniku. O digitalni fotogrametriji govorimo torej takrat, ko je celotna vsebina slike/posnetka v računalniško čitljivi obliki (Fras M., 1996).

Vzporedno s tehničnim razvojem digitalne tehnologije se razvijajo tudi algoritmi za slikovno interpretacijo. Metode in algoritme za digitalno obdelavo slik lahko vključimo tudi v reševanje fotogrametričnih nalog. Ena od nalog je merjenje točk na posameznem posnetku. Drugo težišče nalog pa je rešitev korenspondence, t.j. položaja homolognih točk na več posnetkih. To nalogo v splošnem označujemo kot slikovno prireditvev (angl. image matching). Glavne prednosti digitalnih fotogrametričnih sistemov so v njihovih visokih avtomatizacijskih zmožnostih in veliki fleksibilnosti.

2.2.4 Sodobna gibanja v fotogrametriji

Splošna gibanja razvoja fotogrametrične stroke so na področju digitalne fotogrametrije. Različni klasični postopki so vedno bolj avtomatizirani (avtomatsko prepoznavanje vzorcev, ekstrakcija značilnosti objektov, matching, itg.). Glavni problemi pri obdelavi digitalnih slik so v veliki količini podatkov, ki zahteva premišljeno strukturo in obdelavo.

Na področju varstva kulturne dediščine je tudi v svetovnem merilu le majhen odstotek objektov kulturnega pomena ustrezno dokumentiranih. Po drugi strani pa obstaja veliko običajnih fotografij, ki so narejene slučajno in za druge namene. Stroka se mora zato soočiti z uporabo navadnih fotografij za metrične namene. Cenovno zmeraj bolj dostopne in hkrati

natančnejše so CCD kamere (fotoaparati ali videokamere), ki omogočajo takojšen vnos podatkov v digitalno obdelavo brez predhodne analogno/digitalne pretvorbe.

Smeri razvoja fotogrametričnih sistemov za uporabo v arhitekturni fotogrametriji lahko strnemo v naslednje točke (Atkinson, 2000):

- uporaba običajnih fotoaparatorov ali videokamer (film ali CCD),
- izboljšava in avtomatizacija fotogrametričnega zajema in procesiranja podatkov,
- trirazsežno prikazovanje objektov,
- fotorealistična vizualizacija prostorskih modelov.

2.3 Metodologija bližjeslikovne fotogrametrije

Osnova vsakega fotogrametričnega dela je fotografski posnetek (slika), na katerem lahko merimo vidne objekte in njihove zunanje značilnosti. Kvaliteta posnetkov je pomembna, ker vpliva na kvaliteto izmerjenih podatkov. Vendar se merila kvalitete fotogrametričnih posnetkov v splošnem razlikujejo od meril umetniške arhitekturne fotografije. Matematična osnova za vse fotogrametrične postopke je centralna perspektiva fotografije.

Osnova za pridobitev trirazsežnih podatkov obravnavanega objekta so geodetske in fotogrametrične meritve. Z geodetskimi meritvami na objektu običajno izmerimo le omejeno količino točk in kontrolnih mer (razdalje, koti, ...), ki služijo za opredelitev osnovnih prostorskih gabaritov objekta oz. za izvedbo absolutne orientacije fotogrametričnih modelov. Z fotogrametričnimi meritvami pa lahko opredelimo detajlne točke, linije in ploskve na objektu, odvisno od končnega cilja modela. Tehnologija se razlikuje glede na terminološko obdobje fotogrametrije, razpoložljivo opremo in metodologijo v posameznem obdobju.

Fotogrametrijo lahko razvrstimo na podlagi naslednjih kriterijev:

- oddaljenost senzorja od objekta:
 - mikroskopska; bližnje-slikovna; aero in satelitska fotogrametrija,
- področje uporabe:
 - topografska; arhitekturna; industrijska; medicinska,
- število uporabljenih posnetkov:
 - eno-slikovna; dvo-slikovna; več-slikovna,

- uporaba različnih postopkov, nosilcev slik in inštrumentov:
 - analogna; analitična; digitalna,

Nekatere kriterije lahko med seboj združimo, da dobimo natančnejši opis uporabljene metode (npr. aero, topografska, več-slikovna in digitalna fotogrametrija). Komercialno imenovana metoda toposkopija je hkrati bližjeslikovna, digitalna in večslikovna fotogrametrija. Ime toposkopija se pojavlja v tujini pod imenom toposcopy (Groneman-van der Hoeven, 2003).

Večslikovna fotogrametrija se od enoslikovne ter stereoskopske fotogrametrije razlikuje predvsem po številu uporabljenih posnetkov. Uporabimo lahko minimalno dva posnetka, vendar je zaradi kakovosti modela priporočljivo uporabiti več posnetkov. Število le teh pa je odvisno tudi od mrtvih kotov objekta ter naravnih ovir v bližini objekta. Pri večslikovni fotogrametriji ni treba biti pozoren na to ali je snemalna ravnina vzporedna s fotografiranim objektom, da bi dobili upodobitev na posnetku pravilno metrično, saj zato uporabimo preseke slikovnih ravnin večjega števila posnetkov. To je predvsem pomembno pri enoslikovni in stereoskopski fotogrametriji pri fotografiranju ravninskih objektov. Važno je predvsem to, da je del objekta na vsaj dveh fotografijah. Presek snemalnih žarkov med fotografijami naj bi bil pravokoten, za dosego boljše metrične natančnosti modela. Uporabnost bližjeslikovne fotogrametrije se izkaže predvsem v hitri obdelavi digitalnih podatkov v ustreznem programu (v mojem primeru program Photomodeler).

2.4 Fotogrametrična snemalna oprema

Objekt lahko posnamemo z različnimi fotoaparati, ki jih glede na definiranost slikovnega koordinatnega sistema delimo na nemetrične, delnometrične in metrični fotoaparati. Glede na obliko medija jih delimo na analogni fotoaparati (slika nastane na filmu) in digitalni fotoaparati (slika se zapiše v digitalni obliki).

Nemetrični fotoaparati

V to skupino spadajo vsi običajni fotoaparati. Parametri notranje orientacije (položaj glavne točke in konstanta fotoaparata) so nestabilni in težko določljivi. Izbira fotoaparata je velika, vendar za fotogrametrično fotografiranje izberemo takšne z boljšimi karakteristikami (vsaj srednjeformatne fotoaparate, kvalitetna optika,...). Parametre notranje orientacije določamo

posredno prek oslonilnih točk na objektu, vendar jih potrebujemo večje število kot pri metričnih fotoaparatih. Oslonilne točke pa morajo biti čim bolj prostorsko razporejene (v različnih ravninah). Največji problem predstavlja neravnost filma v trenutku fotografiranja, ki je analitično ni možno odpraviti. Največja prednost nemetričnih fotoaparatoev je v njihovi fleksibilnosti (priročne in lahke).

Delno metrični fotoaparati

So modificirani nemetrični fotoaparati s stabilnejšo notranjo orientacijo, kvalitetnimi objektivimi in možnostjo analitičnega upoštevanja neravnosti filma. Največkrat imajo ti fotoaparati vgrajeno reseau ploščo. To je steklena plošča z mrežo vgraviranih točk, katerih medsebojne geometrijske odnose natančno poznamo. Plošča je nameščena pred filmom. Pri fotografiranju se poleg objekta na filmu upodobijo tudi točke mreže.

Metrični fotoaparati

So konstruirani posebej za fotogrametrična snemanja. So robustni, stabilni in imajo kalibrirane vrednosti parametrov notranje orientacije. Za uporabo v bližjeslikovni fotogrametriji je pomembno, da je fokusiranje možno na končne razdalje. Ker so parametri fotoaparata znani, je obdelava posnetkov matematično enostavnejša (Fras M., 1996).

Digitalni fotoaparati

Uvrščajo se lahko med nemetrične in metrične fotoaparate. Glavna značilnost je zapis slike v digitalni obliki.

2.5 Področja uporabe

Področja, kjer se toposkopija, uporablja niso zaokrožena, saj se tehnologija še izpopolnjuje, po drugi strani pa je možna uporaba zelo široka. Države kot so Danska, Norveška, Švedska, Švica in mnoge druge to tehnologijo uporabljajo že vrsto let (<http://www.toposcopy.com>).

Uporablja se predvsem:

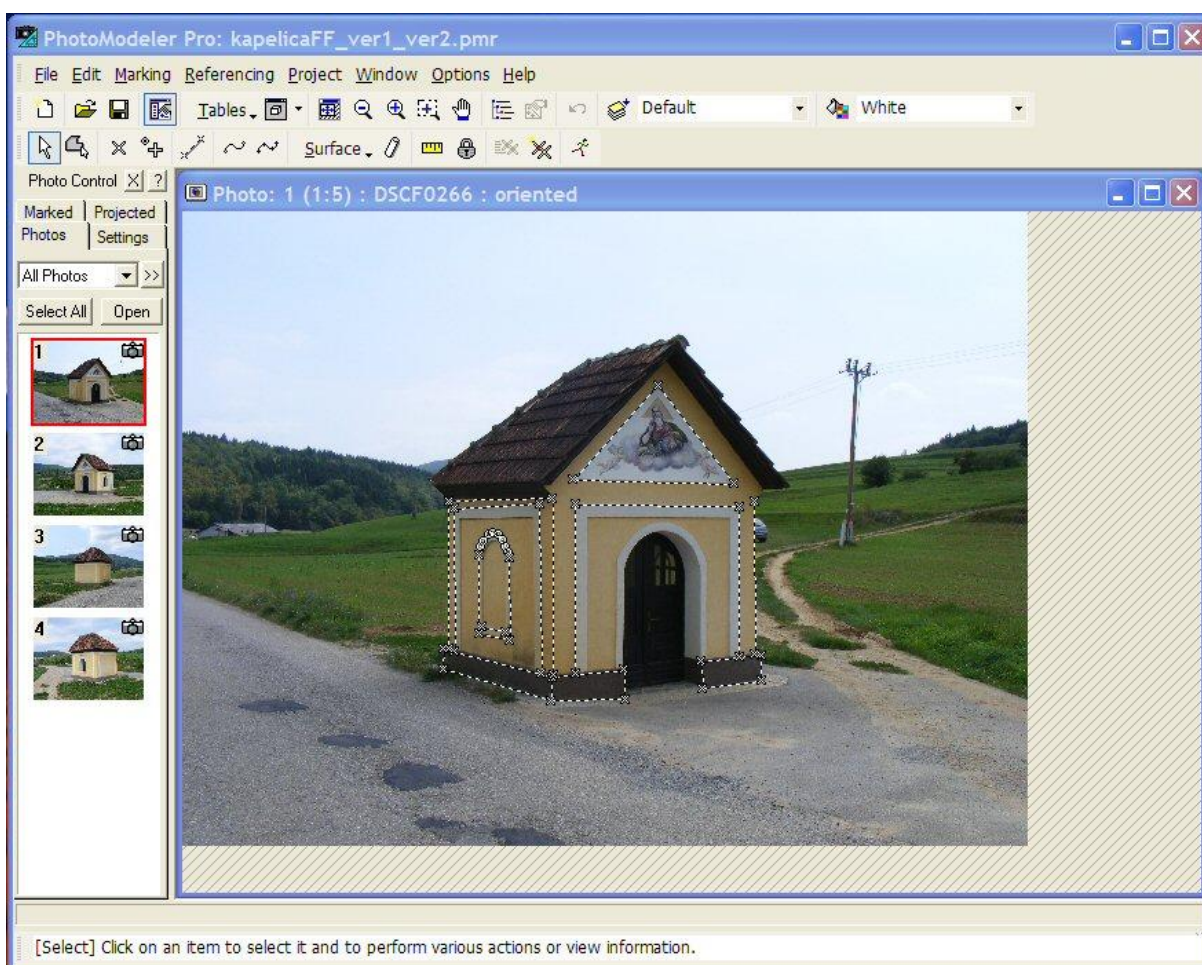
- pri arhitekturnem načrtovanju,
- pri urbanem in ruralnem razvoju,
- za izdelavo natančnih 2D CAD risb fasad,
- za izdelavo 3R virtualnih modelov stavb in okolice,
- za izdelavo 3R maket starih mestnih trgov,
- za izdelavo 360 stopinjskih panoram,
- za izdelavo virtualnih svetov za promocijo v medmrežju,
- za rekonstrukcijo prometnih nesreč,
- kot dopolnilo klasičnim geodetskim meritvam.

3 PROGRAM PHOTOMODELER

3.1 Splošno o programu PhotoModeler

Pri praktični izdelavi 3R modelov stavb sem uporabil program PhotoModeler, zato ga v nadaljevanju na kratko opisujem.

PhotoModeler je računalniški program za 3R modeliranje in merjenje realnega sveta. Izdelalo ga je podjetje Eos Systems Inc. (več podatkov dobimo na internetnem naslovu <http://www.photomodeler.com>). Z njim izdelujemo 3R rekonstrukcije arhitekturnih objektov, arheoloških najdišč, video panorame, animacije. Uporablja se tudi za rekonstruiranje prometnih nesreč ter v forenzičnem ter strojnem iženiringu. Omogoča analizo vnesenih podatkov in povezavo modela s kartami ter drugimi prostorskimi podatki.



Slika 2: Izgled glavnega okna programa PhotoModeler

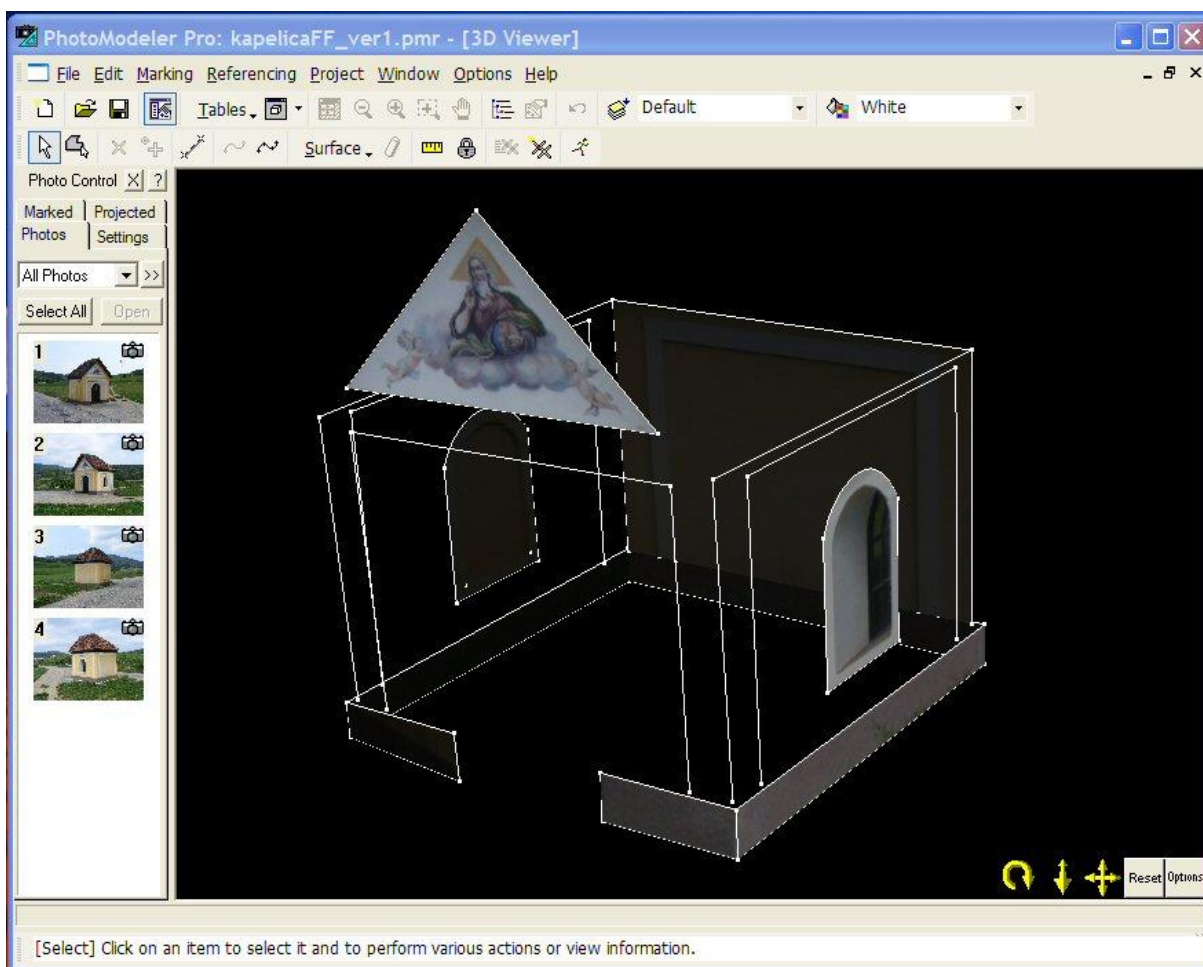
Tipične aplikacije izdelane z PhotoModeler-jem so:

- izdelava natančnih 2D CAD risb fasad,
- izdelava 3R modelov stavb in okolice ,
- izdelava 3R maket starih mestnih trgov,
- video rekonstrukcije prometnih nesreč,
- izdelava 3R modelov arheoloških najdišč.

Ključna značilnost in prednost programa PhotoModeler je njegova celovitost in obsežnost, ki podpira širok nabor funkcij za 3R modeliranje. Paket vključuje vodič za hitro inštalacijo in kvalitetno pomoč za uporabo programa. Vgrajeni čarovniki olajšujejo delo uporabnika, saj omogočajo hiter začetek s preprostimi nalogami z stopnjevanjem do nekaterih zahtevnejših nalog. Obstaja velik nabor razširitvenih možnosti, ki program še dodatno prilagodijo različnim aplikacijam. Program teče v okolju Microsoft Windows in različnih drugih operacijskih sistemih. Program je združljiv z drugimi programskimi paketi saj omogoča enostaven izvoz za uporabo v programskih paketih CAD (Computer Aided Desing), GIS (Geografski Informacijski Sistem) in drugih.

3.2 3R pregledovalnik v PhotoModeler-ju

Fleksibilnost , operativnost ter dinamika pri izgradnji žičnega ali ploskovnega modela objekta je osrednja operacija v programu za 3R modeliranje. 3R pregledovalnik v PhotoModeler-ju (angl. 3D Viewer) omogoča predstavitev vmesnih ter končnih rezultatov 3R modela in s tem kontrolo nad celovitostjo modela (PhotoModeler, 2005).



Slika 3: Izgled 3R pregledovalnika v PhotoModeler-ju

3R PhotoModeler pregledovalnik omogoča:

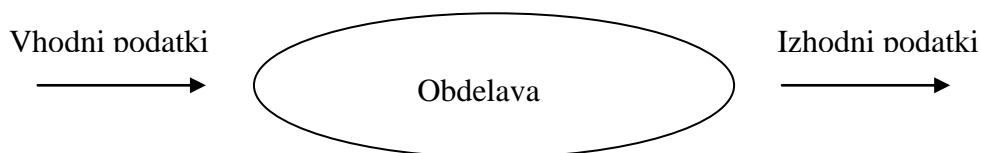
- omogoča izdelavo žičnega ali ploskovnega 3R modela,
- podpira različne 3R analize:
 - določanje višine na poljubni točki modela,
 - izračun površin,
 - merjenje na celem območju modela,
- prikaz podatkov v 3R.

3R PhotoModeler pregledovalnik ima vgrajeno veliko število načinov za interaktivni pogled na model. Omogoča premikanje modela, približevanje in oddaljevanje pogleda, rotacijo modela ter perspektivo pogleda, kot bi gledali realni objekt skozi fotoaparata. Ima možnost izbire vidnega izhoda modela. Lahko izberemo točkovno, linijsko ali ploskovno zgradbo

modela. Omogoča izključevanje krivulj ter ploskev na modelu, tako da lahko v trenutku spreminjamo izgled končnim modela. Neželene elemente (točke, linije in ploskve) lahko v 3R pregledovalniku izbrišemo direktno brez preklapljanja v drugo okno.

4 POSTOPEK IZDELAVE 3R MODELA

Vsako delo se mora izvršiti po nekem vrstnem redu, da je čim manj ponavljanja posameznih faz v procesu (slika 4). Rezultat je odvisen od priprave in pravega zaporedja postopkov.



Slika 4: Prikaz faz v delovnem procesu

Posamezne faze pri izdelavi 3R modela so:

- fotografiranje objektov,
- obdelava posnetkov v programskem paketu.

4.1 Terenski zajem objektov

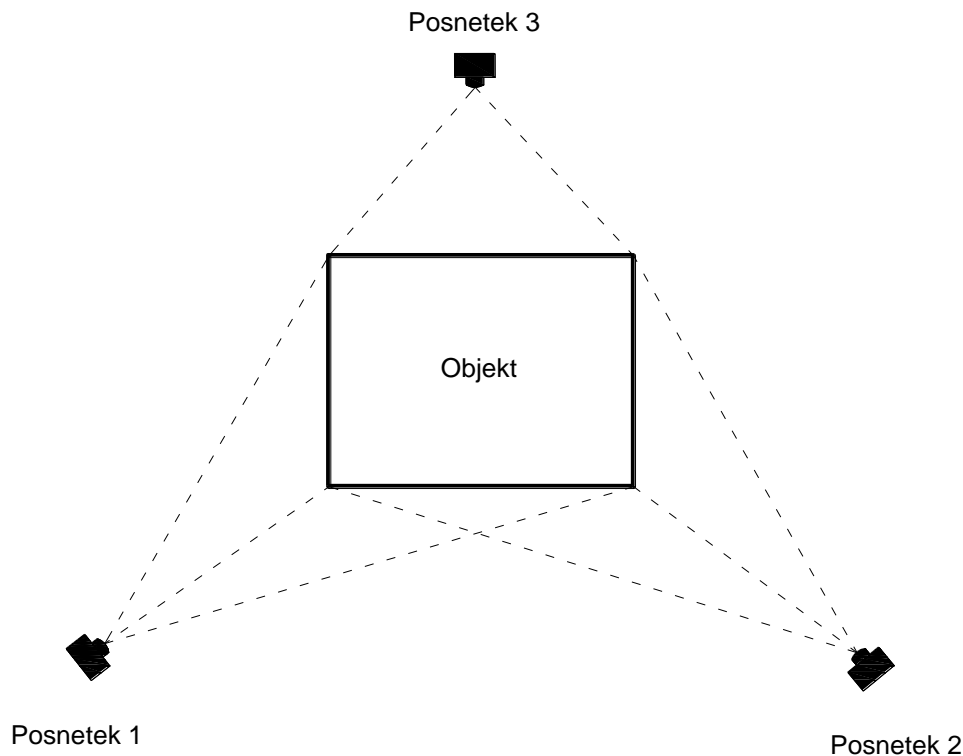
4.1.1 Ogled terena in fotografiranje objektov

Ogled terena oziroma rekognosciranje le tega, je odvisen predvsem od obsega in velikosti objekta ali več objektov zajetih v model. Če je objekt manjši in brez zapletenih lomov, potrebe po predpripravi ni, saj posnetke naredimo v kratkem času. Za večje in zapletene objekte pa je zaželen predhodni ogled terena, vsaj zaradi ovir v vidnem polju fotoaparata ter priprave scenarija fotografiranja objekta. Vse je odvisno tudi od tega kakšno programsko opremo uporabimo ter kaj le ta omogoča.

Pri fotografiranju objekta je treba upoštevati splošna fotografska pravila, ki so danes že večini uporabnikov poznana. Predvsem je treba paziti, da posamezni posnetki pokrivajo čim večjo površino objekta ter, da se identične točke nahajajo vsaj na dveh posnetkih. Postopki fotografiranja objektov se razlikujejo predvsem glede na zapletenost le teh in od tega ali bomo fotografirali objekte z geodetskih točk ali lokalno. Pri fotografiranju z geodetskih točk je edina razlika v tem, da je več predpriprave, saj je do objekta potrebno le te pripeljati. Potek fotografiranja je odvisen tudi od tega, za kaj bomo model uporabili ter kako natančno ga zajeti.

4.1.2 Fotografiranje preprostih objektov

Pri fotografiranju preprostih štirikotnih objektov je dovolj posneti le tri fotografije, da izdelamo model. Tu ni potrebe po nekem natančnem planiranju fotografiranja in ogledih terena. Važno je samo to, da posnetki zajamejo vse želene glavne točke objekta (Slika 5).



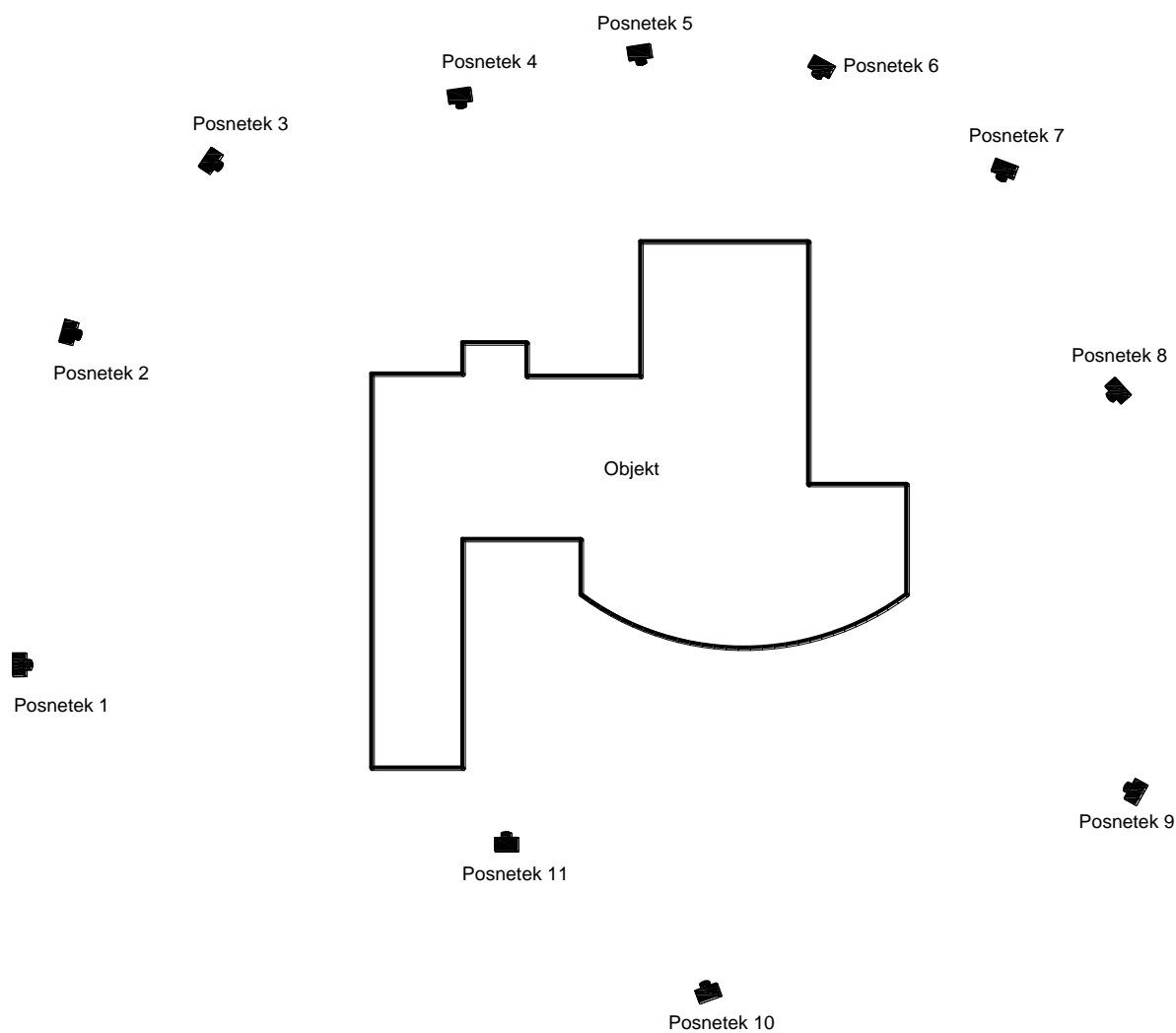
Slika 5: Primer fotografiranja preprostega objekta

4.1.3 Fotografiranje zapletenih objektov

Fotografiranje zapletenih objektov zahteva več časa za organizacijo in izvedbo fotografiranja. Več, ko je detajlnih točk, več je potrebnih tudi posnetkov. Da izgradimo točko v modelu potrebujemo vsaj dva posnetka te točke z različnih pozicij. Šele nato lahko gradimo linije in ploskve (Slika 6).

Problemi se pojavijo, ko v programu gradimo model in ugotovimo, da nekaterih točk nismo poslikali, ali so slike slabše kakovosti oziroma so nam napoti ovire (naravne ali grajene). Če točka ni tako pomembna za model, jo spustimo ali jo določimo približno. Objekt je lahko

zapleten tudi v vertikalni smeri. Rezultat zapletenosti je še več posnetkov s fotoaparatom in daljša obdelava v programu. Vse je odvisno od namena in uporabe končnega modela.



Slika 6: Primer fotografiranja zapletenega objekta

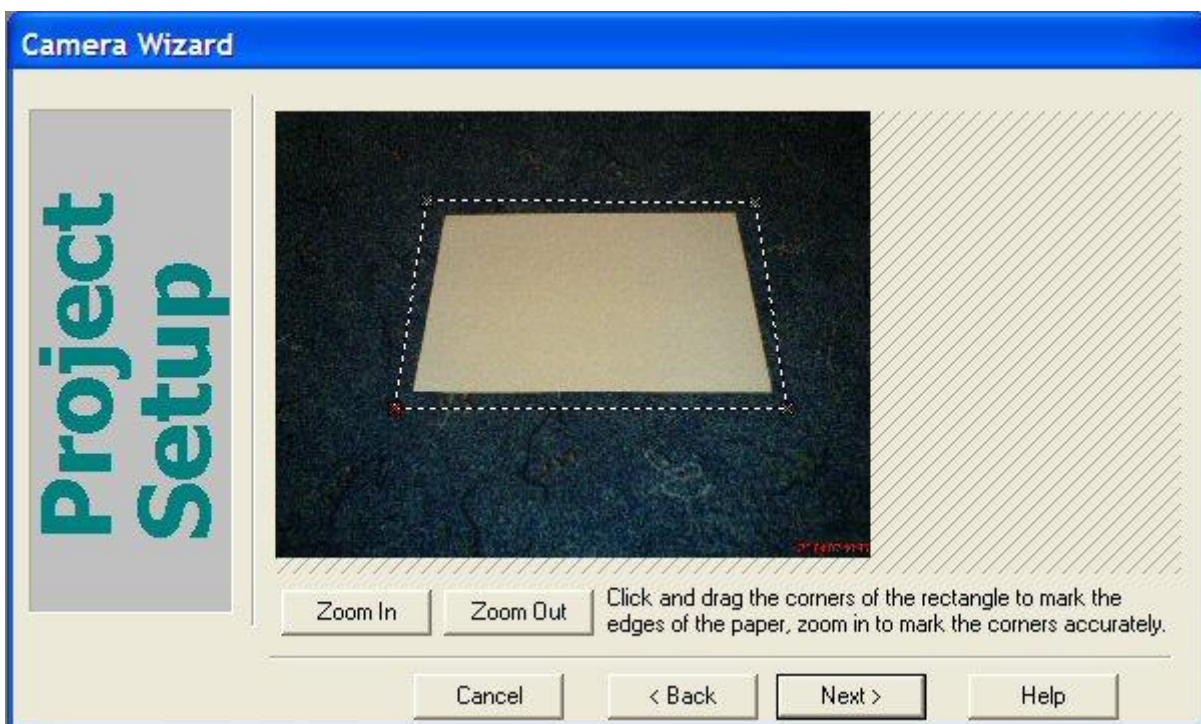
4.2 Obdelava posnetkov v programu PhotoModeler

4.2.1 Izbira fotoaparata v programu

Ko sem v programu odprl novo datoteko sem si moral najprej izbrati tip uporabljenega fotoaparata. Izbran inštrument sem moral nato v programu kalibrirati, da sem dobil mersko in geometrijsko popoln model. Izbiral sem lahko med hitro kalibracijo fotoaparata ter avtomatsko kalibracijo. Za vse modele sem uporabil hitro kalibracijo, kajti z avtomatsko kalibracijo nisem dobil istih karakteristik fotoaparata, kot so podane tovarniško.

4.2.2 Hitra kalibracija fotoaparata

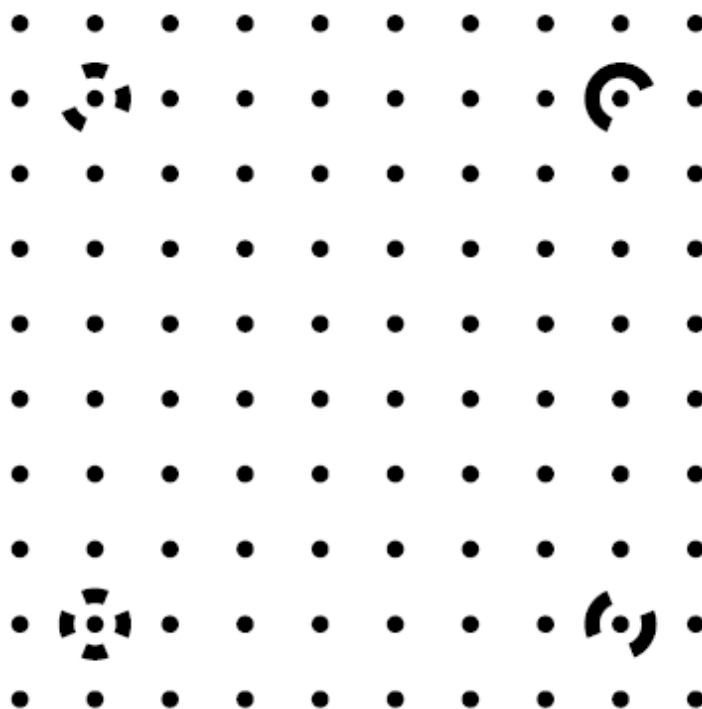
Za hitro kalibracijo rabimo le list belega papirja, katerega mere poznamo. Položimo ga na temno površino in posnamemo z izbranim fotoaparatom pod približno 45 stopinjskim kotom. Nato v programu naložimo že vnaprej nastavljeni okvir na robove fotografiranega lista (Slika 7). Natančnejša položitev okvirja na te robove bo dala boljše rezultate pri izgradnji modela in posledično tudi pri izvozu le tega v druge formate (PhotoModeler, 2005).



Slika 7: Postopek hitre kalibracije fotoaparata

4.2.3 Avtomatska kalibracija fotoaparata

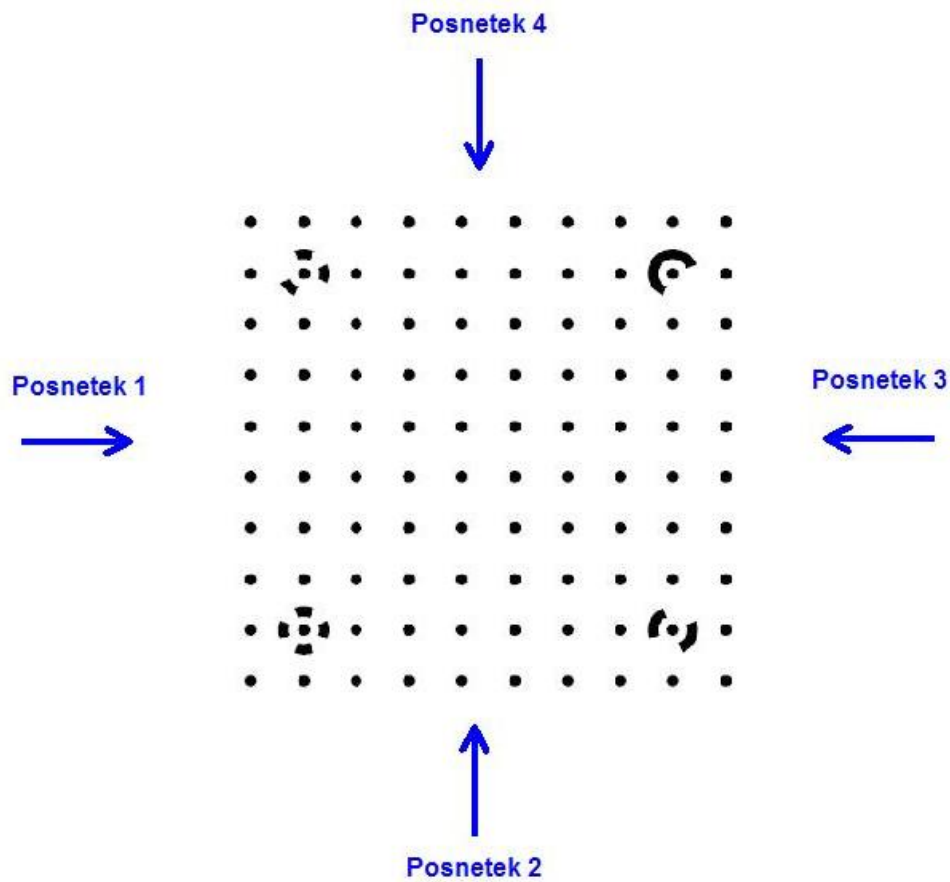
Avtomatska kalibracija zahteva malo več časa ter vsaj 6 do 12 posnetkov vnaprej pripravljene kalibracijske mreže ali grida. Ta je že pripravljena v samem programu ter jo po želji natisnemo na željeno velikost (Slika 8).



Slika 8: Kalibracijska mreža

Postopek slikanja kalibracijske mreže:

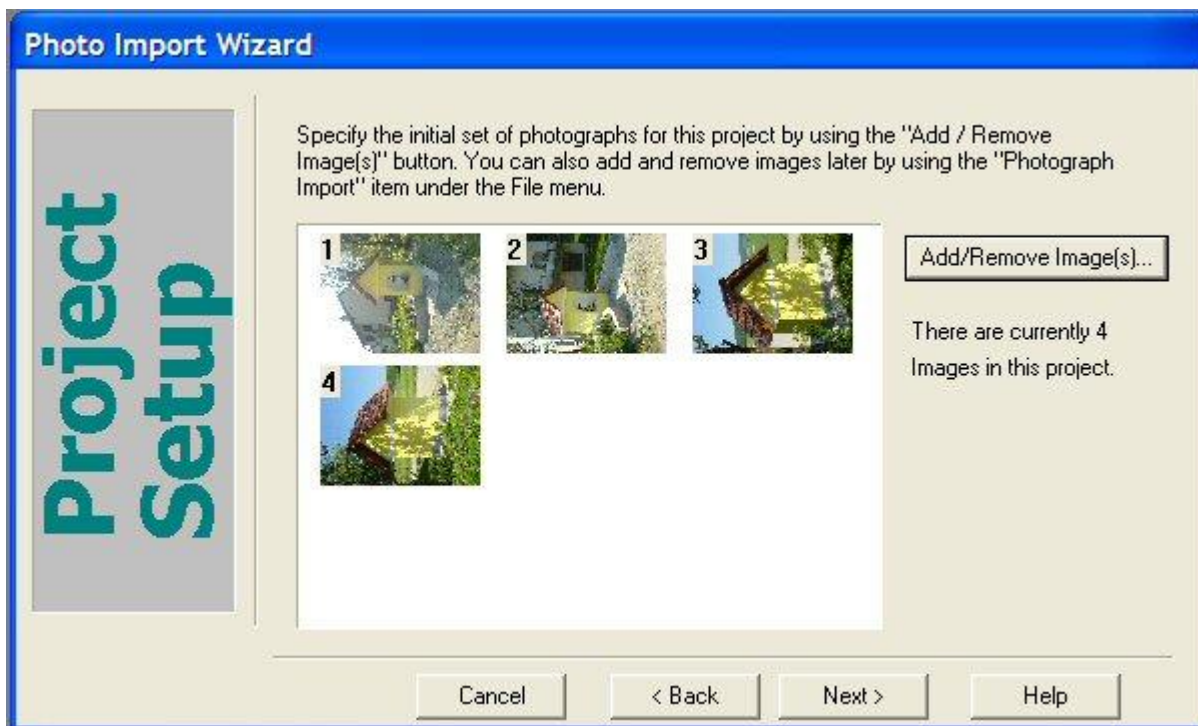
- kalibracijsko mrežo poslikamo pod 45 stopinjskim kotom s štirih strani (Slika 9),
- nato fotoaparat zasukamo za 90 stopinj v desno ter ponovimo fotografiranje v istem zaporedju, kot prej,
- na koncu pa naredimo serijo posnetkov še s 90 stopinjskim zasukom v levo.



Slika 9: Pozicije slikanja kalibracijske merže

4.2.4 Vnos podatkov v program

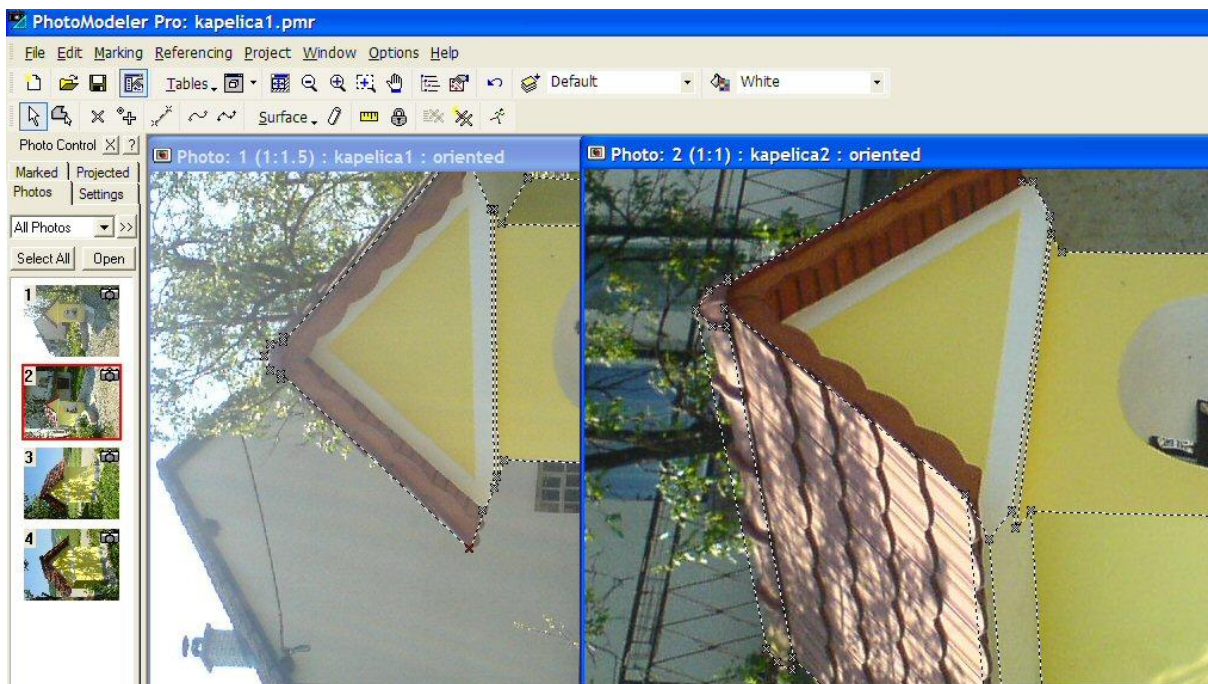
Po opravljeni kalibraciji fotoaparata v program vnesemo želene fotografije posnetega objekta. Če nam katera stran objekta manjka, lahko fotografije vnesemo naknadno (Slika 10).



Slika 10: Vnos posnetkov v program

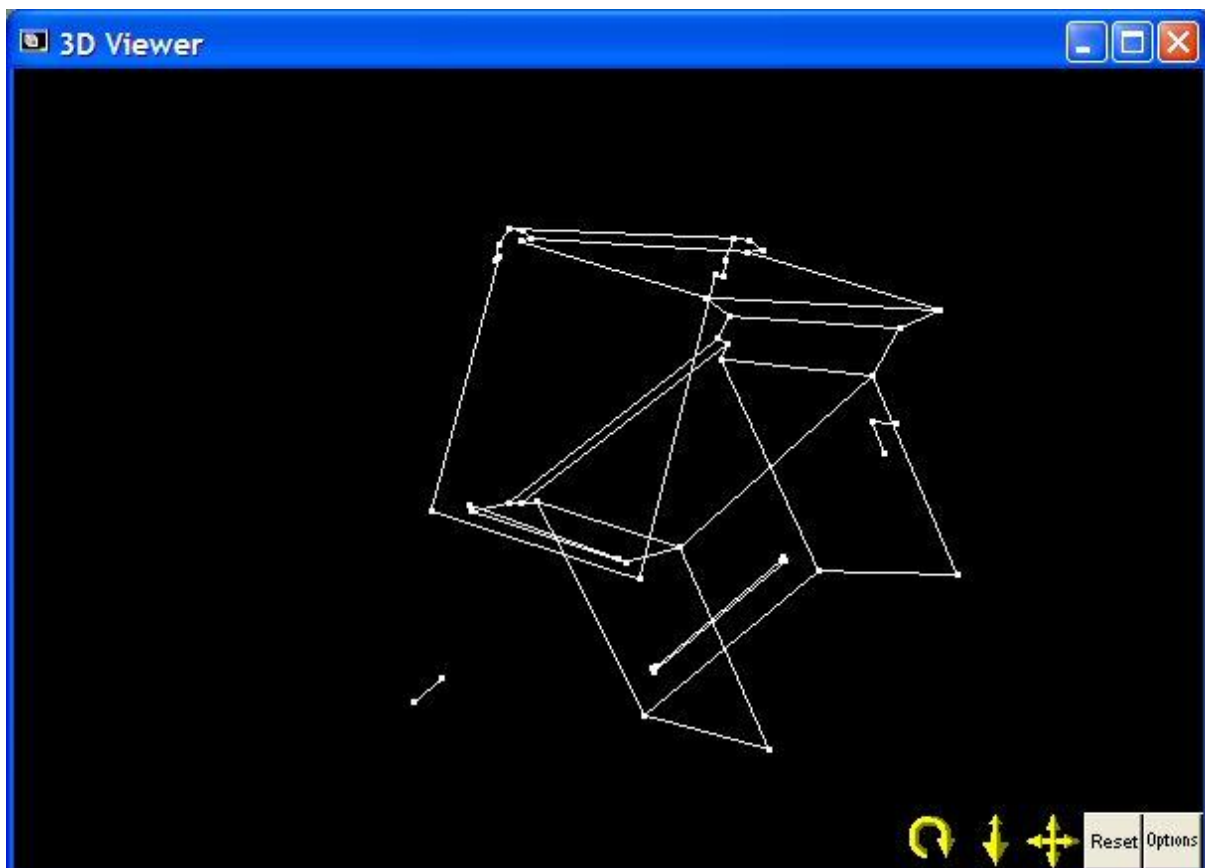
4.2.5 Obdelava podatkov

Sledi procesiranje vnesenih posnetkov, da izdelamo 3R model. Postopek referenciranja (angl. referencing) slik nam omogoča 3R učinek. Na podlagi te obdelave podatkov program PhotoModeler določi pozicije, iz katerih so bili posnetki narejeni. V glavnem gre predvsem za to, da poiščemo identične točke na različnih posnetkih. Ko imamo definirane točke, lahko tvorimo linije in nato ploskve. Važno je, da jih določimo čim bolj natančno (Slika 11).



Slika 11: Iskanje identičnih točk na objektu

Po končani identifikaciji si lahko grobi model ogledamo v 3R pregledovalniku (Slika 12). Ta omogoča premike, rotacijo ter približevanje in oddaljevanje. Če se nam zdi, da kakšna točka manjka, jo lahko naknadno obdelamo, nakar se le ta avtomatsko prenese v 3R model.



Slika 12: Pogled žičnega modela v 3R pregledovalniku

Na koncu moramo grobi model spraviti v pravo merilo. To lahko naredimo na več načinov. Vse je odvisno v kakšnem koordinatnem sistemu potrebujemo 3R model. Če je dovolj le lokalni sistem, potrebujemo podatke o dolžini izbrane stranice objekta. Za model v G.K. koordinatnem sistemu ali katerem drugem, pa potrebujemo koordinate neke znane točke na objektu ali pa koordinatno lokacijo fotoaparata. Model v izbranem merskem sistemu omogoča merjenje dolžin v vseh smereh zgrajenega modela objekta. Tako lahko na podlagi ene znane dolžine objekta, izmerimo vse ostale stranice v modelu.

4.2.6 Izvoz rezultatov

Da je neka tehnologija uporabna, je pomembna transparentnost prenosov podatkov med drugimi sistemi ter različnimi programskimi paketi. Saj, če tega ni, potem je tehnologija namenjena le sama sebi ter tako ozko usmerjena. Seveda je vse odvisno tudi od ponudnika programskih paketov za posamezno tehnologijo.

Program PhotoModeler omogoča izvoz v naslednje formate:

- DXF,
- VRML,
- 3R studio,
- Maya script,
- RAW,
- ...

Izvožene podatke lahko naknadno obdelujemo, prirejamo ter analiziramo glede na potrebe naročnikov oziroma uporabnikov.

5 PREGLED VPLIVOV NA MERSKO NATANČNOST METODE

Natančnost ali točnost izraža, kako zanesljivo lahko določene meritve predstavljajo merjeno količino. Natančnost se nanaša na odnos med opazovanji in dejanskim fizičnim pojavom v stvarnem okolju (pravo vrednostjo). V praktičnem pomenu natančnost lahko opredelimo kot razliko med trenutno vrednostjo izbranega podatka in neko primerljivo bolj natančno vrednostjo istega podatka, ki je navadno ocenjena sredina merjenih vrednosti (Kvamme et al. 1997).

Mnogokrat se natančnost enači s kakovostjo, vendar pa je natančnost zgolj eden od elementov ali pokazateljev kvalitete. V primeru prostorskih podatkov tvori kakovost več različnih oblik natančnosti. Opredelitev natančnosti izhaja iz pojmovnega načela podatka o modelnem pojavu in sicer kot: objekt => atribut => vrednost. Objekt ali pojav je poenostavljen ustrezen stvarni pojav, ki je formalno opredeljen, kot objektni tip ali razred. Atribut je izbrana in opazovana lastnost objekta (pojava). Vrednost je kvantitativni ali kvalitativni podatek v atributu določenega pojava (Šumrada R., 2006).

Položajna natančnost

Položajna natančnost podaja zanesljivost lokacijskih sestavin v podatkovnem nizu. Odstopanje se lahko poda za različne parametre razsežnosti kot so denimo: x, y, z, horizontalna, vertikalna, skupna itd. Za podajanje odstopanj in položajne natančnosti se uporabljajo tradicionalne statistične mere (standardni odklon, srednji pogrešek itd.). Verjetno lego "dejanske" točke se lahko ponazori s pomočjo elipse odstopanj.

Za linijske in območne objekte je podajanje položajne natančnosti bolj zapleteno, ker poleg napak v lomnih ali mejnih točkah (vozliščih), lahko nastopa tudi napaka posploševanja ali izravnave pri izvrednotenju denimo krivulje. Za linijske elemente se podaja tako imenovani "epsilon" pas okoli obravnavane črte, ki podaja območje, kjer predvidoma leži tudi "dejanska" linija.

Časovna natančnost

Časovna natančnost podaja skladnost med uporabljenim in "dejanskimi" časovnimi koordinatami prostorskega pojava, oziroma ponazarja razliko med stvarnim in zabeleženim dogodkom. Časovne koordinate so v prostorskih podatkovnih nizih pogosto zgolj naznačene, kjer lahko časovni podatek podaja samo obstojnost ali veljavnost pojava v določenem trenutku. Bolj realen je podatek o obstojnosti prostorskega objekta, kjer časovne koordinate podajajo časovni točki od in do, oziroma začetek in konec intervala, na katerem objekt obstaja.

Tematska natančnost

Tematska natančnost podaja natančnost opisnih atributnih vrednosti v podatkovnem nizu objekta. Uporabljene mere za podajanje opisne natančnosti so odvisne od domene vrednosti oziroma podatkovnega tipa tematskega atributa. Domena opredeljuje obseg možnih vrednosti atributa oziroma njegovo definicijsko območje. Kvantitativni opisni podatki se lahko obravnavajo denimo kot skalar in ocenjujejo s standardnimi statističnimi merami. Kvalitativni opisni podatki se navadno ocenijo z vzorčenjem ali primerjaje z bolj natančnim podatkovnim virom.

Preciznost

Preciznost se nanaša na razpoznavo detajlov, ki jih je moč prepoznati v lokacijskih, časovnih ali opisnih podatkovnih vrednostih. Pri kvantitativnih atributih je preciznost stopnjačnosti numerične predstavitve, oziroma jo ponazarja število podanih decimal. Preciznost posredno izraža ponovljivost izvedenih meritev in je pogojena z uporabljenimi merskimi instrumenti in metodami. Preciznost je vedno končna in gospodarno pogojena, ker nobena merska metoda, orodje ali merski sistem ni neskončno precizen.

Ločljivost

Ločljivost podatkov je poseben vidik preciznosti, ki opredeljuje najmanjši prostorski pojav, ki ga je mogoče samostojno zaznati ali pa ločiti kot del sestavljenega pojava.

Glede na tri osnovne vidike prostorskih podatkov ločimo:

- prostorsko ločljivost,
- časovno ločljivost,
- ter opisno ali tematsko ločljivost.

Prostorska ločljivost

Prostorska ločljivost je najlažje opredeliti za rastrsko organizacijo podatkov, kjer podaja velikost gridne celice. Ločljivost rastrskih podatkov podaja razmerje med velikostjo mrežne (gridne) celice v bazi podatkov in velikostjo celice v naravi. Pri vektorski organizaciji podatkov se ločljivost lahko opredeli kot najmanjša kartografska (grafična) ločljivost detajla. Prostorska ločljivost se razlikuje od frekvenca prostorskega vzorčenja. Frekvenca prostorskega vzorčenja podaja razdaljo med vzorci, medtem ko prostorska ločljivost določa velikost vzorcev. Če je frekvenca prostorskega vzorčenja večja od prostorske ločljivosti, se vzorčne enote prekrivajo. Če je frekvenca vzorčenja manjša od prostorske ločljivosti, potem obstajajo praznine med vzorčnimi enotami (Šumrada R., 2006).

Časovna ločljivost

Časovna ločljivost podaja dolžino osnovnega (enote) časovnega intervala. Časovna ločljivost se razlikuje od frekvenca časovnega vzorčenja. Pomeni dolžino vzorčnega intervala, medtem ko frekvenca vzorčenja podaja časovno pogostnost vzorčenja. Časovna ločljivost vpliva na minimalno časovno razpoznavnost dogodkov. Če je trajanje dogodka krajše od časovne ločljivosti, potem je takšen dogodek nezaznaven.

Tematska ločljivost

Tematska ločljivost se nanaša na preciznost meritev ali ustreznost kategorizacije opisnih atributov v prostorskem podatkovnem nizu. Za kategorično ali kvalitativno domeno vrednosti pomeni tematska ločljivost primernost razrednih opredelitev oziroma klasifikacije. Za kvantitativne domene vrednosti opisnih atributov pa se tematska ločljivost lahko obravnava kot prostorska ločljivost skalarnih podatkov.

Potrebna geometrijska natančnost modela je odvisna od namena uporabe podatkov. Na geometrijo modela vpliva potrebno strokovno znanje, metoda dela, izbor inštrumentarija in čas izdelave izdelka. V primeru izvrednotenja fasade je največkrat zahtevana natančnost 1 cm. To pomeni, da morajo biti oslonilne točke določene z natančnostjo nekaj mm, za kar potrebujemo natančno geodetsko opremo, za izvrednotenje z natančnostjo 1 cm pa natančno fotogrametrično opremo.

Če smo pri zajemanju podatkov pazili na natančnost in kvaliteto, lahko pozneje uporabimo te podatke za meritve z maksimalno možno natančnostjo (uporaba profesionalne opreme). Lahko uporabimo tudi cenejše metode izvedenja (uporaba neprofesionalne opreme). Če ne potrebujemo velike natančnosti, lahko tudi uporaba neprofesionalne opreme, tako geodetske kot fotogrametrične opreme daje zadovoljive rezultate. Primer: objekt poslikamo z digitalnim fotoaparatom, z merskim trakom izmerimo razdaljo na objektu in nato v programu izvednotimo objekt in dobimo 3R model.

Pri izdelavi 3R modela sem opazil značilnosti, ki bi lahko vplivale na njegovo natančnost:

- izbira fotoaparata in njegove karakteristike,
- človeški vplivi,
- vplivi zunanjega sveta.

5.1 Izbira fotoaparata in njegove karakteristike

Že v podglavju 2.4 sem opisal katere vrste fotoaparatorov poznamo. Obstaja razlika med geometrijsko natančnostjo modela zgrajenega z metričnimi profesionalnimi fotoaparati ter nemetričnimi neprofesionalnimi fotoaparati. V diplomski nalogi sem v praktičnem delu za izgradnjo 3R modelov stavb uporabil nemetrična digitalna fotoaparata znamke Sony Ericsson in Fuji Film.

5.2 Človeški vplivi

Človeški faktor pri izgradnji modela se pokaže šele pri obdelavi v programskem paketu PhotoModeler. V ospredje pride pri iskanju identičnih točk modela ter pri postavljanju modela v merilo. Za iskanje identičnih točk moramo biti natančni, da ne pride do popačenj pri izgradnji modela. Največja napaka, ki jo lahko naredimo, je tako imenovana češka napaka. Na primer, pri postavljanju modela stavbe v pravo merilo namesto dolžine 2,32 m, vstavimo 2,23 m.

5.3 Vplivi zunanjega sveta

Vplivi zunanjega sveta so lahko:

- osvetljenost objekta,
- naravne in umetne ovire,
- vremenske razmere,
- kontrastnost objekta z njegovo okolico.

5.3.1 Osvetljenost objekta

Če fotografiramo v slabem vremenu, je objekt slabo osvetljen, zato niso dobro vidni robovi objekta. V primeru premočne osvetljenosti pa pride do bleščanja ter odboja svetlobe, kar ima za slabo vidnost kontur objekta. Zato si moramo izbrati ravno pravi trenutek ter pozicijo za fotografiranje.

5.3.2 Naravne in umetne ovire

Vegetacija in sosednji objekti, ki zakrivajo ali omejujejo vidno polje našega objekta ne moremo odstraniti. Naše pozicije posnetkov si zato prilagodimo stanju na terenu. Paziti moramo na to, da so preseki posnetkov čimbolj pravokotni, da bo model dosegel ustrezno natančnost.

5.3.3 Vremenske razmere

Vremenske razmere zelo vplivajo na kvaliteto posnete fotografije in tako posredno na natančnost metode. V slabem vremenu bodo slike temnejše in s tem obrisi objekta slabo vidni. Taki posnetki so neuporabni, saj je onemogočena kvalitetna bodoča obdelava.

5.3.4 Kontrastnost objekta z njegovo okolico

Večja, ko je kontrastnost objekta z okolico, boljša in lažja je določljivost robov objekta. Rezultat dobre opredelitve obrisov objekta je kasnejša boljše metrična natančnost modela. Objekt, ki ima za ozadje gozd ali zelene površine in ima svetlo fasado, bo tako zelo dobro kontrasten.

6 TESTIRANJE MODELA

Pri testiranju vsakega od spodaj navedenih modelov stavb sem se osredotočil predvsem na lokacijsko natančnost modela stavbe glede na dejansko lego objekta v naravi. Geometrija objekta, preciznost njegove zgradbe ter kontrastnost objekta z okolico ima velik vpliv na izdelavo 3R modela stavbe v programu. To sem ugotovil med samo izdelavo posameznega objekta.

Pri primerjavi vseh modelov sem se opiral predvsem na merilo posnetka narejenega za vsak model posebej. To pomeni, da sem upošteval dimenzijo fotografiranih objektov in razdaljo med goriščem fotoaparata ter slikovno ravnino. Merilo fotografije se izračuna po naslednji formuli: (Kraus K., 1993).

$$m = \frac{Z_0}{c}$$

m - merilo fotografije

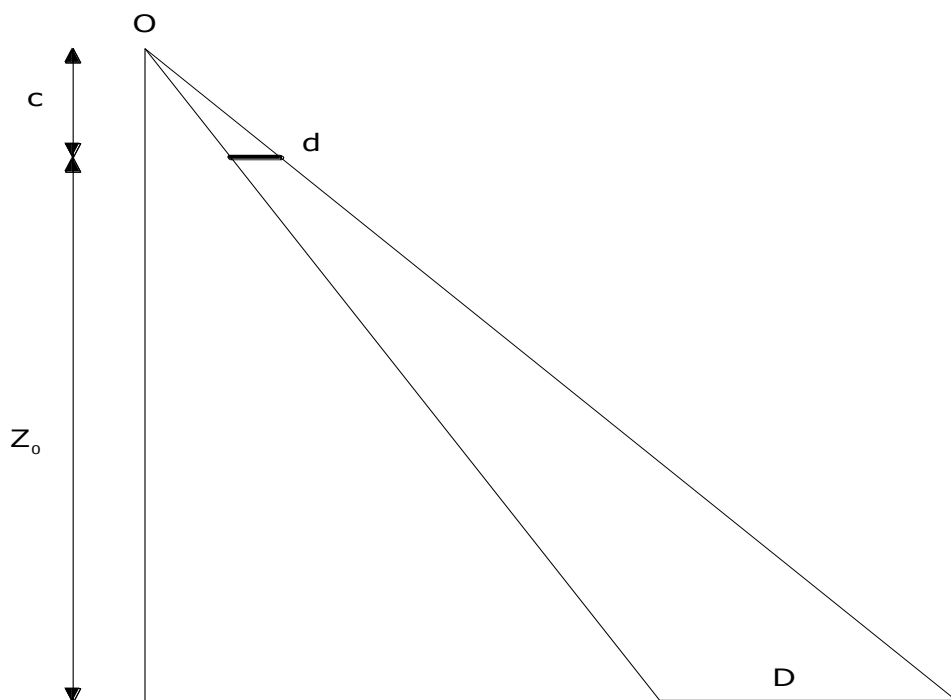
Z_0 - razdalja med slikovno ravnino in objektom snemanja

c - fokusna razdalja oziroma razdalja med goriščem fotoaparata in slikovno ravnino

O - gorišče snemalnih žarkov

Zgoraj navedeno enačbo pa lahko predstavimo tudi v geometrijskem smislu:

$$\frac{d}{D} = \frac{c}{Z_0} = \text{konstanti} = \frac{1}{m}$$



Slika 13: Geometrijski prikaz merila fotografije

Z obema fotoaparatomata sem slikal na oddaljenosti cca 10 m. Po zgornji enačbi tako dobimo merilo fotografij za oba fotoaparata:

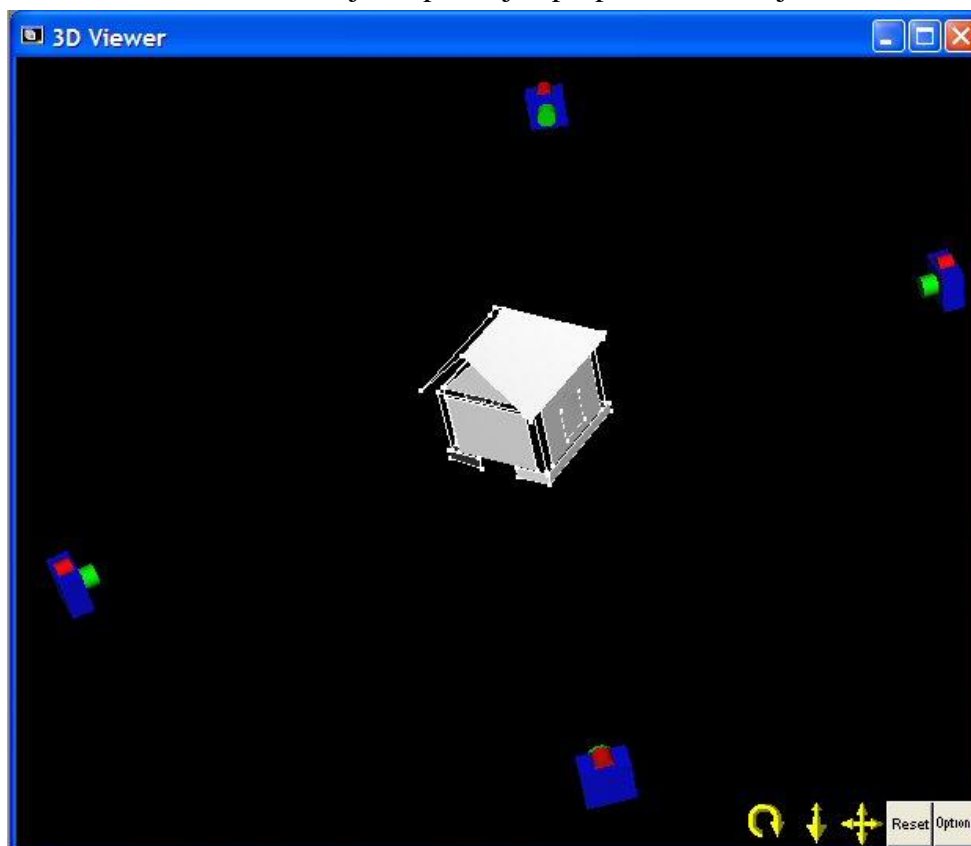
- Sony Ericsson K750i $m = \frac{6,12 \text{ mm}}{1000 \text{ mm}} = 0,00612 \Rightarrow \text{merilo } 1:163$
- Fuji Film S5700 $m = \frac{6,33 \text{ mm}}{1000 \text{ mm}} = 0,00633 \Rightarrow \text{merilo } 1:158$

6.1 Natančnost modela istega objekta na podlagi dveh različnih fotoaparatorov

Prvi objekt, ki sem ga izbral za testiranje, je manjše tlorisne površine. Izbral sem ga zato, ker ima dobro kontrastnost z okolico. Ima rumeno fasado v ozadju pa so travniki in njive. Za primerjavo merske natančnosti sem si izbral dva digitalna fotoaparata, ki se po namembnosti zelo razlikujeta. Prvi je primeren za preproste fotografije in prenašanje le teh preko prenosnega telefona. To je vgrajen fotoaparator v mobilnem telefonu znamke Sony Ericsson K750i. Drugi pa je digitalni fotoaparator srednjega cenovnega razreda znamke Fuji Film S5700. Kapelico sem fotografiral iz šestih položajev, tako da sem zajel vsak vogal vsaj dvakrat. Uporabil sem štiri najboljše fotografije, ki so zajele cel objekt.



Slika 14: Objekt uporabljen pri prvem testiranju



Slika 15: Položaj fotoaparata pri fotografiranju kapelice

Karakteristike fotoaparata	Vrsta fotoaparata	
		Sony Ericsson K750i
Efektivni piksli [Mega piksli]	2	7.1
Velikost posnetka [piksli]	Max: 1632 x 1224	Max: 3072 x 2304
Leča [mm]	6.12	6.33 – 63.3
Fokus	Avtomatski	Avtomatski, Neprekinjeni, Ročni

Preglednica 1: Primerjava uporabljenih fotoaparata Sony Ericsson K750i in Fuji Film S5700

6.1.1 Oznake linij na obravnavanem objektu

Objekt, zajet v prvem 3R modelu, je kapelica velikosti (širina: 2.8 m, dolžina: 2.74 m in višina: 3 m), ki se nahaja med naseljema Dobrnich in Artmanja vas na Dolenjskem. Linije od a do s so opredeljene v preglednici 2, kot prikazujeta sliki 16 in 17. Linije so hkrati zunanji obod objekta. Izmerjene so bile z merskim trakom z razteznostnim koeficientom 0.09×10^{-5} ($^{\circ}\text{C}^{-1}$) pri stalni temperaturi 20 stopinj celzija.

$$L = L_0 + \Delta L = L_0 \left(1 + \alpha \Delta T \right)$$

Pri temperaturni razliki 10 $^{\circ}\text{C}$ se dolžina merskega traku spremeni za +/- 0.009 mm. Ker je bila temperatura med merjenjem razdalj na objektu enaka lahko vpliv temperaturnega raztezka zanemarimo.



Sliki 16 in 17: Položaj linij uporabljenih v modelu objekta

6.1.2 Primerjava natančnosti obeh modelov objekta

Absolutna natančnost je zgolj slučajna, zato ima vsaka meritev pogrešek ne glede na okoliščine, v katerih je bila narejena. Absolutni merilni pogrešek je razlika med izmerkom (vrednostjo, dobljeno z merilnim instrumentom) in pravo (dogovorjeno) vrednostjo merjene veličine (dobljeno s točnejšim merilnim instrumentom) (Gojkošek S., 2004).

$$e = x_m - x_r$$

Pri tem pomeni :

- e – absolutni merilni pogrešek,
- x_m – dejansko izmerjeno vrednost,
- x_r – pravo oz. imensko vrednost, dobljeno s točnejšim merilom.

Pogrešek je pozitiven, če je izmerek večji od prave vrednosti merjene veličine in negativen, če je izmerek manjši. Merilni pogrešek je mogoče skoraj popolnoma izravnati (kompenzirati) z ustreznim popravkom. Popravljeni (korigirani) izmerek je potem:

$$x_c = x_m - e.$$

Če opravimo več meritev pri istih razmerah, moramo namesto izmerka x_m uporabiti aritmetično srednjo vrednost izmerkov.

Primer: Če je pri primerjavi dveh različnih dolžin iste stranice na objektu $x_r = 220,0$ cm ter $x_m = 220,5$ cm, je absolutni pogrešek torej:

$$e = x_m - x_r = 220,5 \text{ cm} - 220,0 \text{ cm} = + 0.5 \text{ cm}.$$

V praksi zaradi primerjanja točnosti različnih meritev uporabljamo tudi relativni merilni pogrešek e_{rel} , ki predstavlja razmerje med absolutno vrednostjo merilnega pogreška in pravo

vrednostjo merjene veličine. $e_{rel} = \frac{e}{x_r} = \frac{x_m - x_r}{x_r}$

Relativni merilni pogrešek pogosto izražamo v %. $e_{rel} = \frac{e}{x_r} \cdot 100\% = \frac{x_m - x_r}{x_r} \cdot 100\%$

Dejanska razdalja v preglednici predstavlja razdalje linij a do s na obodu objekta zmerjenega z merskim trakom z natančnostjo +/- 0,1 cm. Vse ostale dolžine stranic pa so bile izračunane z navideznega modela objekta v programu PhotoModeler.

Oznaka linije	d [cm]	Sony Ericsson K750i			Fuji Film S5700		
		d _M [cm]	e [cm]	e _{rel} [%]	d _M [cm]	e [cm]	e _{rel} [%]
a	213,0	213,1	+ 0,1	0,047	213,4	+ 0,4	0,188
b	219,0	219,0	0	0,000	219	0	0,000
c	30,0	29,6	- 0,4	-1,333	29,5	- 0,5	-1,667
d	88,0	88,1	+ 0,1	0,114	87,9	- 0,1	-0,114
e	88,5	90,0	+ 1,5	1,695	86,8	- 1,7	-1,921
f	173,0	172,9	- 0,1	-0,058	174,2	+ 1,2	0,694
g	82,0	81,9	- 0,1	-0,122	82,1	+ 0,1	0,122
h	89,5	89,2	- 0,3	-0,335	90	+ 0,5	0,559
i	286,5	285,5	- 1,0	-0,349	285,3	- 1,7	-0,419
j	189,0	188,3	- 0,7	-0,370	192,6	+ 3,6	1,905
k	280,5	277,8	-2,2	-0,963	284	+ 3,5	1,248
l	179,0	178,6	- 0,4	-0,223	181,4	+ 2,4	1,341
m	65,8	66,5	+ 0,7	1,064	65,3	- 0,5	-0,760
n	82,8	84,2	+ 1,3	1,691	83,3	+ 0,5	0,604
o	287,5	286,5	- 1,0	-0,348	287,8	+ 0,3	0,104
p	175,7	175,7	0	0,000	177	+ 1,3	0,740
r	173,0	172,2	- 0,8	-0,462	174	+ 1,0	0,578
s	225,5	224,7	- 0,8	-0,355	225,2	- 0,3	-0,133

Preglednica 2: Primerjava natančnosti razdalj modela istega objekta posnetega z fotoaparatom Sony Ericsson K750i in Fuji Film S5700

Obrazložitev simbolov v preglednici:

- d ... razdalja, izmerjena z merskim trakom,
- d_M ... razdalja, izmerjena z 3R modela,
- e = d_M – d (absolutni oz. merilni pogrešek),

$$e_{rel} = \frac{e}{d} \cdot 100\% = \frac{d_M - d}{d} \cdot 100\% .$$

6.1.3 Rezultati primerjave natančnosti modela kapelice posnetega z fotoaparatom Sony Ericsson K750i in Fuji Film S5700

Večji ko je absolutni oz. relativni pogrešek pri meritvah slabša je celotna zgradba 3R modela oz. njegova geometrijska natančnost. Pri obeh modelih je razvidno, da je prednji del kapelice natančnejši od preostalih strani objekta. To pa predvsem zato, ker je bila stranica s tega dela objekta (stranica b), kot osnova za celotno ogrodje objekta. Rezultati obeh modelov kažejo, da se pojavljajo največje napake predvsem na zadnji strani modela objekta (linije j, k in l), ker ni fiksiran z dodatnimi opredelitvami dolžin. Možno je naknadno popravljati posamezne dolžine na modelu, vendar s tem ne spremenimo osnovne natančnosti ostalih stranic. Boljša rešitev glede natančnosti bi bila opredelitev koordinat posameznih vogalov ali položajev samih posnetkov. V podpoglavju 6.2 bom preizkušal natančnost modela na osnovi znanih koordinat točk na objektu.

Primerjava je pokazala, da lahko že z preprostim digitalnim fotoaparatom dosežemo zadovoljive rezultate. Iz tega sledi, da glavni doprinos k natančnosti modela objekta ni samo izbira fotoaparata, temveč predvsem kontrastnost objekta ter vpliv človeškega faktorja.

Slabša natančnost modela je vidna tam kjer so bili robovi objekta slabo določljivi. Vzrok je lahko ista barvna podlaga in s tem nerazločnost senc, oziroma slaba kontrastnost objekta z okolico.

6.2 Natančnost modela objekta na podlagi koordinat znanih točk na objektu

V tem poglavju primerjam natančnost modela kapelice opredeljene v podpoglavju 6.1, vendar na osnovi dveh različnih opredelitev geometrije modela. Oba modela sta bila narejena na osnovi posnetkov s fotoaparatom Fuji Film S5700. Prvi model ima za osnovo stranico b ter znano lokalno koordinato ene točke na objektu. Drugi model pa ima za osnovo znane lokalne koordinate treh točk na objektu. Linije pri primerjavi so enake kot v podpoglavju 6.1. Lokalne koordinate sem določil s sekundnim elektronskim tahimetrom znamke Sokia 2000.

6.2.1 Opredelitev znanih koordinat točk na objektu

Lokalne tri koordinate zunanjih robov oziroma karakterističnih oglišč na objektu ter stranica b so prikazane na spodnji sliki. Dolžina stranice b je bila izmerjena z merskim trakom, koordinate točk pa s elektronskim tahimetrom znamke Sokia 2000 s sekundno natančnostjo.



Slika 18: Opredelitev uporabljene linije in treh znanih lokalnih koordinat objekta

Točka	Y [m]	X [m]	Z [m]
K1	1003.47	994.31	102.47
K2	1001.03	994.92	100.73
K3	1000.44	992.42	102.47

Preglednica 3: Lokalne koordinate uporabljenih točk

6.2.2 Primerjava natančnosti obeh modelov objekta

Dejanska razdalja v preglednici predstavlja razdalje linij a do s na obodu objekta zmerjenega z merskim trakom z natančnostjo +/- 0,1 cm . Vse ostale dolžine stranic pa so bile izračunane z navideznega modela objekta v programu PhotoModeler.

Oznaka linije	d [cm]	Znana ena razdalja in koordinata ene točke objekta			Znane tri koordinate točk objekta		
		d _M [cm]	e [cm]	e _{rel} [%]	d _M [cm]	e [cm]	e _{rel} [%]
a	213,0	213,6	+ 0,6	0,282	214,9	+ 1,9	0,892
b	219,0	219,0	0,0	0,000	220,4	+ 1,4	0,639
c	30,0	29,6	- 0,4	-1,333	29,7	- 0,3	-1,000
d	88,0	88,0	0,0	0,000	88,5	+ 0,5	0,568
e	88,5	86,8	- 1,7	-1,921	87,4	- 1,1	-1,243
f	173,0	174,0	+ 1,0	0,578	175,3	+ 2,3	1,329
g	82,0	82,1	+ 0,1	0,122	82,7	+ 0,7	0,854
h	89,5	90,0	+ 0,5	0,559	90,6	+ 1,1	1,229
i	286,5	285,3	- 1,2	-0,419	287,1	+ 0,6	0,209
j	189,0	192,6	+ 3,6	1,905	193,9	+ 4,9	2,593
k	280,5	284,3	+ 3,8	1,355	286,1	+ 5,6	1,996
l	179,0	181,4	+ 2,4	1,341	182,5	+ 3,5	1,955
m	65,8	65,3	- 0,5	-0,760	65,7	- 0,1	-0,152
n	82,8	83,3	+ 1,3	0,604	83,8	+ 1,8	1,208
o	287,5	287,8	+ 0,3	0,104	289,6	+ 2,1	0,730
p	175,7	177,2	+ 1,5	0,854	178,3	+ 2,6	1,480
r	173,0	174,0	+ 1,0	0,578	175,1	+ 2,1	1,214
s	225,5	225,2	- 0,3	-0,133	226,6	+1,1	0,488

Preglednica 4: Primerjava natančnosti modela objekta posnetega z fotoaparatom Fuji Film S5700

Obrazložitev simbolov v preglednici:

- d ... razdalja, izmerjena z merskim trakom,
- d_M ... razdalja, izmerjena z 3R modela,
- e = d_M – d (absolutni oz. merilni pogrešek),

$$e_{rel} = \frac{e}{d} \cdot 100\% = \frac{d_M - d}{d} \cdot 100\% .$$

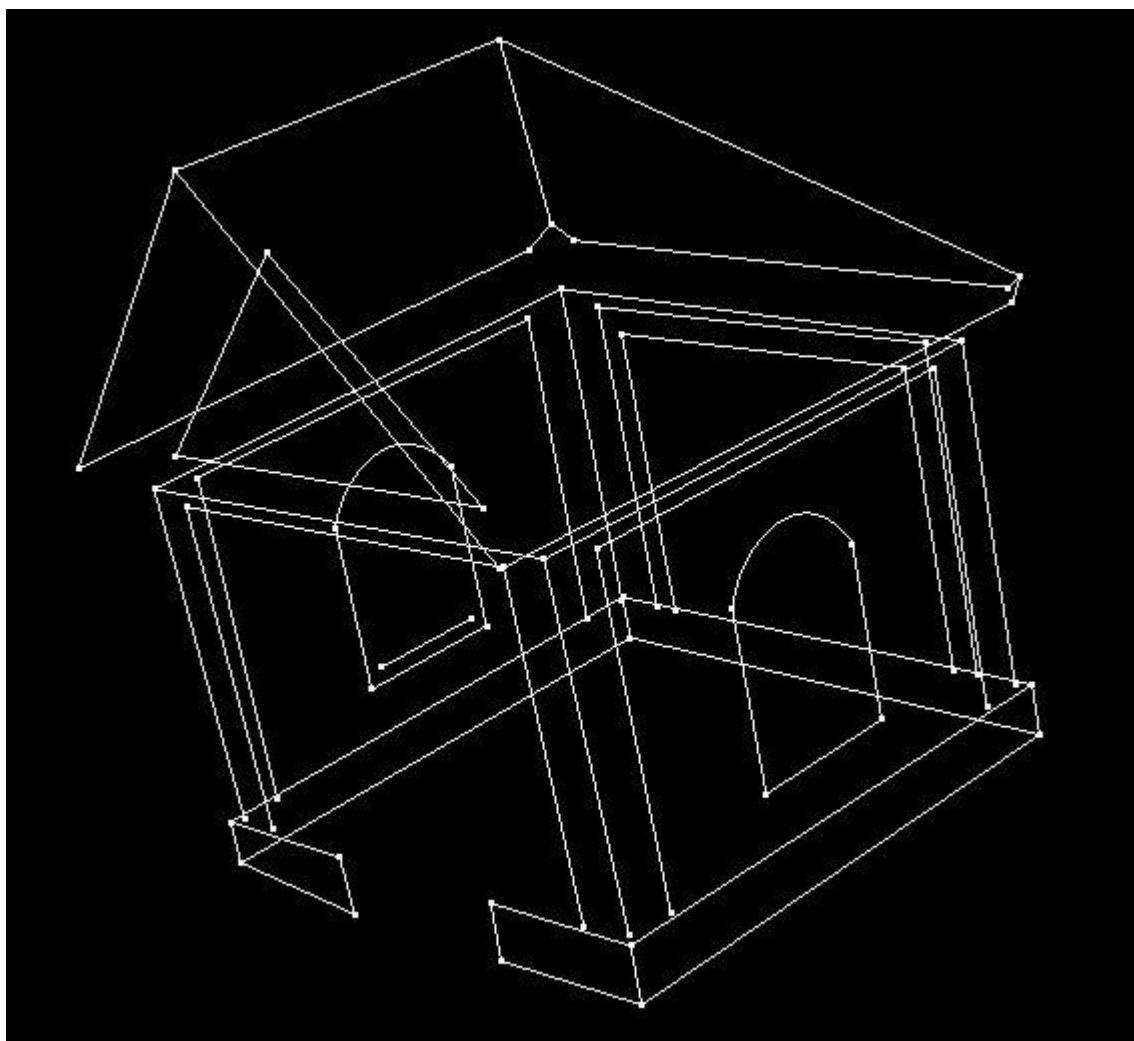
6.2.3 Rezultati primerjave natančnosti modela objekta posnetega z fotoaparatom Fuji Film S5700

Iz preglednice 4 je razvidno, da je na podlagi znane dolžine ter znane koordinate poljubne točke na objektu dosežena mnogo boljša natančnost celotnega modela kot pri znanih treh poljubnih koordinatah objekta.

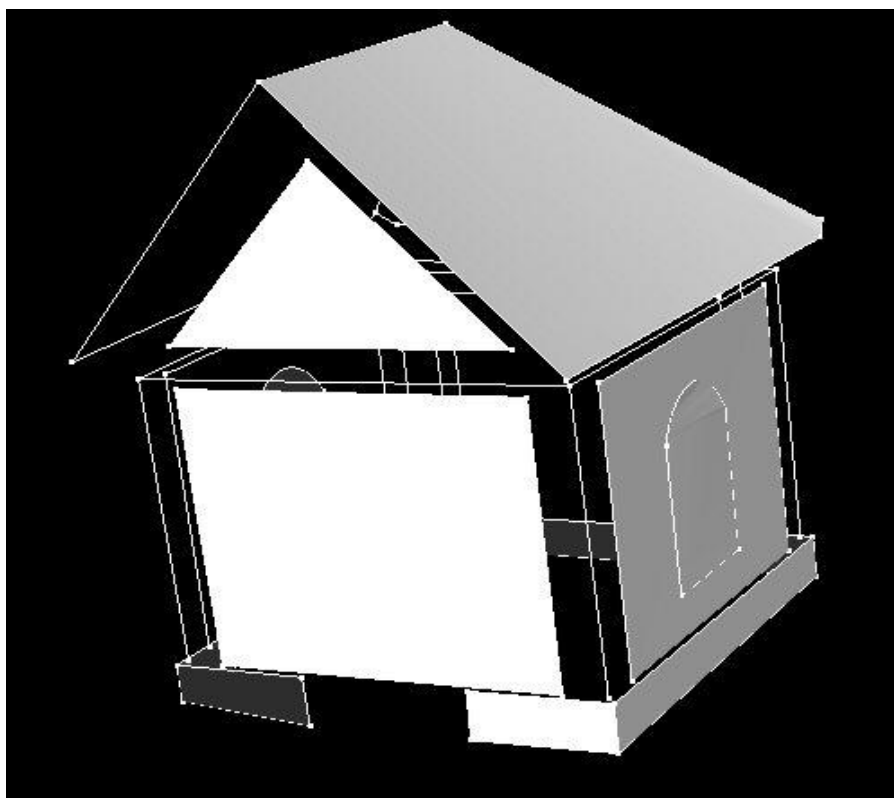
Če primerjamo model istega objekta iz podpoglavja 6.1, ugotovimo, da je tudi pri modelu iz podpoglavja 6.2 dosežena nekoliko boljša natančnost celotnega ogrodja objekta. Nekateri odseki in linije so očitno boljše natančnosti, nekateri pa primerljivi z modelom iz podpoglavja 6.1. Prednji del modela z linijami a, b, c, d, e in f je geometrijsko bolj pravilno opredeljen, kot pa zadnja ploskev modela z linijami j, k in l. To je predvsem zato, ker je bila kot osnova za izdelavo uporabljena stranica b in lokalne koordinate v bližini sprednje ploskve na modelu.

Pri vseh treh objektih posnetih z istim fotoaparatom, pa se še vedno pojavlja napaka v modelu na zadnji strani le tega. Kot sem že navedel v podpoglavju 6.1.3 se napaka v metriki modela pojavlja predvsem zaradi slabe kontrastnosti in določljivosti določenih točk objekta.

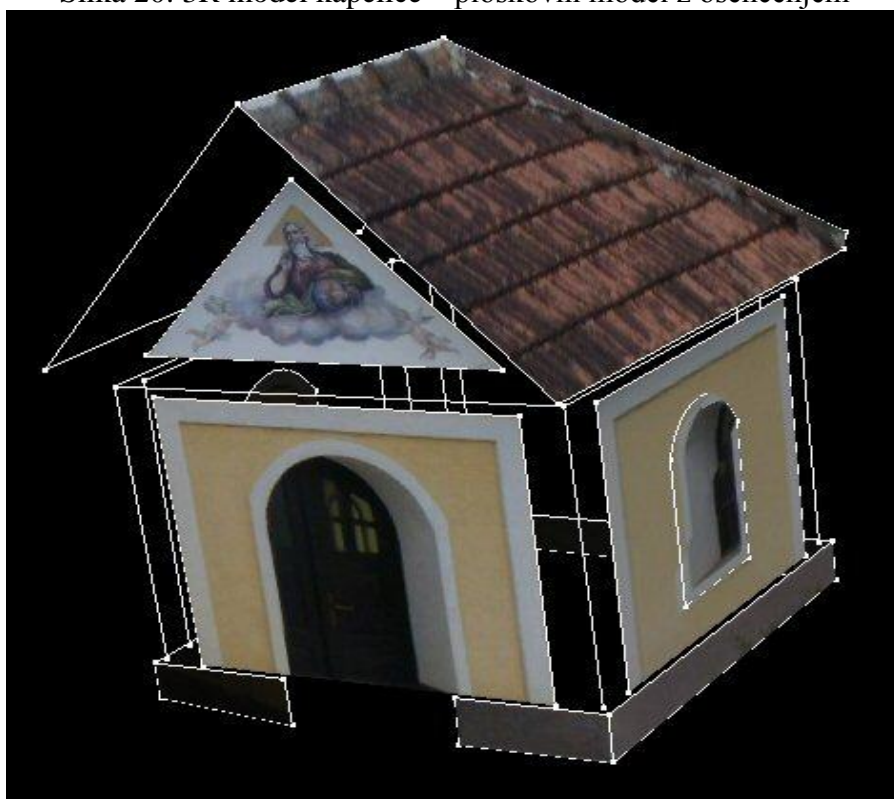
6.2.4 Izgled 3R modela kapelice



Slika 19: 3R model kapelice – žični model



Slika 20: 3R model kapelice – ploskovni model z osenčenjem



Slika 21: 3R model kapelice – ploskovni model s ploskvami prevzetih s posnetkov

6.3 Natančnost 3R modela objekta glede na naraščajočo oddaljenost med slikovno ravnino in objektom

Metoda bližjeslikovne fotogrametrije je uporabna pri krajših oddaljenostih od objekta oziroma pri manjših razdaljah med slikovno ravnino in objektom. Z naraščanjem oddaljenosti slikovne ravnine od objekta bom spremljal lokacijsko natančnost modela in njegovo popolnost glede na dejanske gabarite objekta v naravi. Za primer sem si izbral vežico v naselju Dobrnič. Okoli objekta je dosti prostora, da sem lahko fotografiral na večjih oddaljenostih od objekta. Za fotografiranje sem uporabil fotoaparati Fuji Film S5700 z zgoraj že opisanimi karakteristikami. Fotografiral sem na treh različnih oddaljenostih od objekta (12.41m, 25.08 m in 38.92m).



Slika 22: Mrliška vežica

6.3.1 Oznake linij na obravnavanem objektu

Objekt zajet v drugem 3R modelu je mrliška vežica velikosti (širina: 5.4 m, dolžina: 12 m in višina: 6 m), ki se nahaja v naselju Dobrnič na Dolenjskem. Linije od a do r so opredeljene v preglednici 5, kot prikazuje spodnja slika. Linije so hkrati zunanji obod objekta. Izmerjene so bile z merskim trakom z razteznostnim koeficientom $0.09 \times 10^{-5} \text{ (}^\circ\text{C}^{-1}\text{)}$ pri stalni temperaturi 10 stopinj celzija (temperaturno razteznost merskega traku sem zanemaril).



Slika 23: Oznake linij na objektu vežica

6.3.2 Razlika v pozicijski natančnosti 3R modela vežice glede na naraščajočo oddaljenost objektiva od objekta

Dejanska razdalja v preglednici predstavlja razdalje linij a do r na obodu objekta zmerjenega z merskim trakom z natančnostjo +/- 0,1 cm. Vse ostale dolžine stranic pa so bile izračunane z navideznega modela objekta v programu PhotoModeler. Kot osnovo za izračun ostalih stranic na modelu predstavlja stranica a, ki znaša 252 cm.

		Razdalja med objektivom in objektom [m]					
		12.41		25.08		38.92	
Oznaka linije	d [cm]	d _M [cm]	e _{rel} [%]	d _M [cm]	e _{rel} [%]	d _M [cm]	e _{rel} [%]
a	252,0	252,0	0,000	252	0,000	252	0,000
b	20,0	19,0	-5,000	19,1	-4,500	nevidno	/
c	31,0	30,8	-0,645	30,2	-2,581	nevidno	/
d	8,0	8,3	3,750	8	0,000	nevidno	/
e	279,0	279,0	0,000	280,3	0,466	278,8	-0,072
f	57,5	59,5	3,478	58,1	1,043	57,2	-0,522
g	57,0	58,9	3,333	58,4	2,456	57,3	0,526
h	56,5	58,1	2,832	57,6	1,947	57	0,885
i	58,0	58,1	0,172	58,1	0,172	57,7	-0,517
j	58,0	58,6	1,034	58,3	0,517	57,7	-0,517
k	58,0	58,6	1,034	58,5	0,862	57,9	-0,172
l	58,0	58,9	1,552	58,4	0,690	58,5	0,862
m	58,0	58,2	0,345	58,1	0,172	58,3	0,517
n	58,0	58,2	0,345	58,2	0,345	58,1	0,172
o	539,5	550,6	2,057	nevidno	/	nevidno	/
p	252,5	250,2	-0,911	nevidno	/	nevidno	/
r	20,0	19,3	-3,500	19,8	-1,000	19,4	-3,000

Preglednica 5: Natančnost modela glede na oddaljenost od gorišča

Obrazložitev simbolov v preglednici:

- d ... razdalja, izmerjena z merskim trakom,
- d_M ... razdalja, izmerjena z 3R modela,

$$e_{rel} = \frac{e}{d} \cdot 100\% = \frac{d_M - d}{d} \cdot 100\% .$$

6.3.3 Rezultati primerjave natančnosti modela objekta posnetega z fotoaparatom Fuji Film S5700 glede na različno razdaljo Z_0

Zaradi malo prostega prostora okoli objekta sem za primerjavo izbral le eno ploskev objekta. Naredil sem tri serije posnetkov istega objekta na različnih oddaljenostih ter tri 3R modele tega objekta. Geometrijska natančnost tako celotnega modela objekta, kot samih detajlov na njem je razvidna iz preglednice 5. Pri opazovanjih relativne natančnosti samih detajlnih linij od a do r z povečevanjem oddaljenosti od gorišča fotoaparata do objekta ni velikih odstopanj od modela 1 do modela 3.

Sama geometrijska natančnost 3R modela vežice je boljša, kot 3R model kapelice opredeljene pri prvem testiranju (vežica je novogradnja ter ima zato stranice pravokotne, kapelica pa ne). Še vedno sem mnenja, da na natančnost samega modela vpliva kontrastnost objekta samega s sabo in njegovo okolico. Pri testiranju vežice sem opazil še eno pomembno značilnost, ki prav tako vpliva na geometrijsko natančnost modela objekta. Pri obeh objektih sem kot osnovo za izračun razdalj celotnega oboda modela uporabil dobro določljivo stranico objekta, razen pri 3R modelu kapelice, kjer sem uporabil tudi lokalne koordinate vogalnih točk objekta. Če pogledamo sliko 23 vidimo, da sem uporabil vertikalno stranico a, kot osnovo za testiranje modela vežice. Pri natančnejšem ogledu preglednice 5, vidimo, da je natančnost detajlnih linij, ki so v vertikalni smeri boljša od detajlnih linij, ki so v horizontalni smeri. Vidi se, da na natančnost detajlnih linij v horizontalni smeri vpliva tudi oddaljenost od osnovne stranice a.

Pri testiranju modela vežice sem dobil tudi odgovor na vprašanje: »Zakaj je natančnost 3R modela kapelice iz podpoglavja 6.1 in 6.2 v ozadju modela slabša?«. Najprej sem mislil, da se je model kapelice umetno napihnil zaradi nepravokotnosti samega objekta, a to ni bil pravi razlog za poslabšanje detajlnih linij j, k in l na modelu kapelice. Upravičeno sem ugotovil, da se je model kapelice napihnil zaradi pogoškov, ki so odraz oddaljevanja teh treh linij od osnovne linije b.

Pri 3R modelu vežice sem hotel dokazati velike razlike v geometrijski natančnosti, vendar sem dobil skoraj enake rezultate pri vseh treh modelih. Ugotovil sem, da se z oddaljevanjem od objekta zmanjšuje natančnost posnetih detajlov na fotografiji ter zaradi fizičnih ovir ne moremo posneti vseh detajlov na objektu. Pri razdaljah daljših od 100 m je fotografija objekta

slabša, saj imamo pri istem objektu posnetem pri razdalji 10 m večje število pikslov na kvadratni meter posnetega objekta. Večje število pikslov vpliva na samo obdelavo modela objekta v programu. Z oddaljevanjem od objekta se detajli objekta zakrivajo in zato niso zajeti v 3R modelu. Večino objektov v Sloveniji zaradi visokih cen zazidljivih parcel nima veliko okoliškega prostora, zato se lahko fotografira objekte na krajših (do nekaj 10 m dolgih) razdaljah. Na krajših razdaljah je model objekta popoln in nimamo manjkajočih detajlov, zato je fotografiranje na daljših razdaljah od objekta nesmiselno.

7 TERMINOLOGIJA

Opisan je besednjak uporabljenih pojmov:

Pojem	Opis	Vir
analiza	Je proces razčlenitve pomenske ali materialne celote na njene sestavne dele, da bi jih preučili.	Kvamme et al. 1997
fotogrametrija	Fotogrametrija je znanost, tehnologija in spretnost določanja prostorske lokacije in oblike objektov ter njihovo prepoznavanje iz fotografij oz. slik, ki jih na različne nosilce slike zapiše sevanje elektromagnetne energije in drugi pojavi.	(Kraus K., 1993)
geodezija	Je veda o obliki in velikosti Zemlje ter njenem težnostnem polju.	Kvamme et al. 1997
ločljivost ali resolucija	Opredeljuje najmanjši prostorski pojav, ki ga je mogoče zaznati ali ločiti, kot del sestavljenega pojava. Ločljivost rastrskih podatkov je merilo, ki podaja razmerje med velikostjo mrežne (gridne) celice v naravi.	Kvamme et al. 1997
model	Je uporabljeno nadomestilo, ki ga sestavlja opisna in grafična predstavitev izbora ali dela stvarnosti in podaja poenostavljeno preslikavo fizičnega okolja v smiselni interpretirani obliki.	Kvamme et al. 1997
natančnost	Podaja stopnjo odstopanja ocenjene sredine merjenih vrednosti od prave vrednosti. V praktičnem pomenu natančnost lahko opredelimo, kot razliko med trenutno vrednostjo izbranega podatka in neko primerljivo bolj natančno vrednostjo istega podatka.	Kvamme et al. 1997
piksel, slikovni element	(iz angl. Picture Element). Najmanjši element digitalne podobe oz. rastra, navadno kvadratne oblike, ki podaja eno samo tonsko vrednost ali barvo. Njegova velikost je odvisna od ločljivosti snemalne glave.	Rihtaršič in Fras 1991
3R model	Trirazsežni modeli so običajno prikazani v obliki tradicionalnega vektorskega kartografskega podatkovnega modela, ki prevladuje v sodobnih sistemih GIS.	Petrovič 2005

8 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi sem preverjal geometrijsko natančnost 3R modela posameznih objektov z metodo bližjeslikovne fotogrametrije. Z razvojem računalniške tehnologije se področje uporabe fotogrametrije naglo širi. Eno od področij je tudi komercialno imenovana toposkopija, ki sodi v področje bližjeslikovne fotogrametrije. Gre za izdelavo 3R modelov objektov na podlagi digitalnih fotografij. Na podlagi dveh preprostih digitalnih fotoaparatorov sem preizkušal natančnost zgradbe 3R modelov objekta glede na dejansko stanje v naravi. Z gotovostjo so moji praktični primeri dokazali, da že s preprostim inštrumentarijem dosežemo zadovoljivo geometrijsko natančnost modelov objekta (≤ 1 cm).

Poudariti velja, da ima vsaka tehnologija določene prednosti in slabosti, tako po natančnosti, potrebnem znanju za zajem, ceni vnosnih podatkov in opreme ter avtomatizaciji zajetih podatkov. Pričakovati je, da se bodo fotogrametrični inštrumenti še izboljšali in pocenili, ter s tem razširila uporaba bližjeslikovne fotogrametrije. V severnih evropskih državah to metodo uporabljajo v urbanizmu, arhitekturi, gradbeništvu, geodeziji, zavarovalništvu ter policiji (za rekonstruiranje prometnih nesreč). Vendar pri tej tehniki ne moremo pričakovati dobrih rezultatov na daljših oddaljenostih od objekta fotografiranja, saj že ime bližjeslikovna fotogrametrija to nakazuje.

Glavni sestavni del kvalitetnega 3R modela objekta so kvalitetne fotogrametrične fotografije. Zaradi drage precizne ter občutljive fotogrametrične opreme sem se odločil za cenovno bolj ugodno komercialno fotografsko opremo. Hotel sem dokazati zmožnost tudi nemetričnih preprostih fotoaparatorov in to tudi dokazal s praktičnimi primeri. Na geometrijsko natančnost modela objekta najbolj vpliva kontrastnost objekta s samim sabo in okolico ter dobra izbira vnosnih metričnih podatkov o objektu za preračun celotnega modela objekta. Priporočljivo je preračunati celotni model na osnovi treh neodvisnih točk z znanimi koordinatami enakomerno porazdeljenimi po objektu. Za določitev dobre natančnosti samo nekega dela objekta (ene ploskve objekta) pa je boljša izbira za osnovo dobro določljiva stranica na tem delu objekta.

V prihodnosti pričakujemo, da se bodo postopki izdelave še izboljšali in poenostavili ter celo do neke mere avtomatizirali. Kljub vsemu pa bodo ostajali še vedno pomembni detajli, ki se

jih nikakor ne da avtomatizirati in jim tudi umetna inteligenca ne more biti kos. Noben algoritem se ne zna in se tudi ne bo znal pravilno odločati pri reševanju vseh problemov, ki se lahko pojavijo pri modeliranju. Zato bo človek vedno prisoten pri izdelavi in reševanju ključnih problemov, ki nastajajo pri izdelavi modelov stavb.

9 VIRI

- Kosmatin Fras M. 2006. Zapiski pri predmetu Fotogrametrija 2. Ljubljana, FGG.
- Groneman-van der Hoeven, A.C. 2003. Toposcopy, A new Close Range Photogrammetric System. *GeoInformatics*, 6, pp 16-19.
- <http://www.toposcopy.nl/introduction.htm> (20.4.2008)
- Atkinson, Keith B. 2000. Close Range Photogrammetry and Machine Vision. Whittles Publishing: 371 str.
- Kraus K. 1993. Photogrammetry I - Fundamental and Standard Processes. 4th edition, Bonn, Dummler Verlag: 397 str.
- Kraus K. 1997. Photogrammetry II – Advanced Methods and Applications. Bonn, Dummler Verlag: 466 str.
- Kosmatin Fras M. 1996. Arhitekturna fotogrametrija v spomeniškem varstvu. Ljubljana, FGG: 19-29 str.
- Šumrada R. 2005. Strukture in analize prostorskih podatkov. Ljubljana, FGG: 284 str.
- Dobričič L. 2005. Uporaba programa PhotoModeler za izdelavo metričnih modelov stavb. Diplomaska naloga. Ljubljana, FGG: 106 str.
- Gorjup Z. 2001. Temelji fotogrametrije in postopki izvedenja. Ljubljana, FGG: 142 str.
- PhotoModeler, 2005. PhotoModeler 5.0 Pro, Eos Systems Canada, Tutorial videos 2007.
- Kogoj D. 2002: Merjenje dolžin z elektronskimi razdaljemerji. Ljubljana, FGG: 159 str.
- Gojkošek S. 2004. Tehnološke meritve, skripta. Ptuj, Šolski center Ptuj: 13 str.

PRILOGA A: Tabela lastnosti slik (primer 1 in primer 2)

Photo Table

Basic [v] Configure... Close
 Properties... Export... Help







Photo #	Image Chip	Description	Processing	Can be Processed	Oriented	Image Width (pixels)	Image Height (pixels)	Camera	Focal Length (mm)	RMS Residual (pixels)	# Marks
1		DSCF0266	Use and adjust	yes	yes	3072	2304	FF S5700	6.3	2.624109	38
2		DSCF0267	Use and adjust	yes	yes	3072	2304	FF S5700	6.3	2.856817	37
3		DSCF0265	Use and adjust	yes	yes	3072	2304	FF S5700	6.3	3.041957	37
4		DSCF0264	Use and adjust	yes	yes	3072	2304	FF S5700	6.3	4.881548	36

Photo Table

Basic [v] Configure... Close
 Properties... Export... Help

Photo #	Image Chip	Description	Processing	Can be Processed	Oriented	Image Width (pixels)	Image Height (pixels)	Camera	Focal Length (mm)	RMS Residual (pixels)	# Marks
1		DSCF0655	Use and adjust	no	no	3072	2304	FF S5700	6.3	n/a	26
2		DSCF0656	Use and adjust	no	no	3072	2304	FF S5700	6.3	n/a	24

PRILOGA B: Tabela lastnosti točk (primer 1)

Id	RMS Residual (pixels)	Largest Residual	Photo Largest Residual	Tightness (m)	Tightness (%)	Angle (deg.)	Photos	X Precision	Y Precision	Z Precision	Use In Processing	Frozen	#Constraints
1	0.652256	0.821172	2	0.004604	0.092072	75.523818	1.3,2	0.006674	0.006519	0.006449	yes	no	0
2	2.349225	3.494579	3	0.017553	0.351069	75.313904	1.3,2	0.006736	0.006444	0.006412	yes	no	0
3	0.352816	0.380801	2	0.002229	0.04458	76.788277	1.2	0.004533	0.005847	0.006727	yes	no	0
4	0.071677	0.077373	2	0.000455	0.009104	77.062898	1.2	0.004613	0.005792	0.006766	yes	no	0
5	1.338014	1.785335	4	0.009989	0.199787	85.030223	1.3,4	0.006441	0.007746	0.008807	yes	no	0
6	1.171868	1.488166	3	0.007786	0.155726	84.758435	1.3,4	0.006397	0.007517	0.008845	yes	no	0
7	0.018941	0.019434	2	0.000119	0.002386	77.819383	1.2	0.004576	0.007052	0.006603	yes	no	0
8	1.291164	1.326656	2	0.008097	0.161937	77.621889	1.2	0.004488	0.007191	0.005574	yes	no	0
9	1.676154	2.181245	2	0.012614	0.252288	77.433387	1.2,4	0.006792	0.006498	0.00665	yes	no	0
10	0.415848	0.564609	2	0.002641	0.052815	77.739586	1.2,4	0.006729	0.008608	0.006448	yes	no	0
11	0.411287	0.596776	2	0.003134	0.062687	75.32532	1.3,2	0.006521	0.006459	0.008184	yes	no	0
12	2.496102	3.298688	3	0.020409	0.40817	75.763889	1.3,2	0.005897	0.007286	0.006576	yes	no	0
13	0.500202	0.553099	2	0.003205	0.064105	75.902283	1.2	0.005901	0.006484	0.007818	yes	no	0
14	0.237449	0.262975	2	0.001541	0.030816	76.368607	1.2	0.00623	0.006633	0.008188	yes	no	0
15	1.574308	1.575241	1	0.010034	0.20068	78.187105	1.2	0.006889	0.007723	0.006331	yes	no	0
16	0.388779	0.38988	1	0.002451	0.048024	77.673537	1.2	0.005828	0.006268	0.006507	yes	no	0
17	0.633694	0.702197	2	0.004118	0.082366	76.088042	1.2	0.006281	0.006676	0.008215	yes	no	0
18	0.271626	0.287998	2	0.001735	0.034691	76.515409	1.2	0.006587	0.005289	0.006494	yes	no	0
19	1.638122	1.643525	2	0.010448	0.208967	77.990862	1.2	0.006973	0.00745	0.006212	yes	no	0
20	1.086464	1.511607	1	0.008032	0.160637	77.441169	1.2,4	0.006575	0.008368	0.006372	yes	no	0
21	1.251658	1.385085	2	0.007512	0.150239	77.959867	1.2,4	0.006444	0.008563	0.006023	yes	no	0
22	0.119916	0.123612	1	0.000789	0.015786	49.248686	1.3	0.006336	0.008092	0.008942	yes	no	0
23	1.077539	1.112164	1	0.007183	0.143654	47.768572	1.3	0.007855	0.007903	0.01045	yes	no	0
24	0.808028	0.909752	3	0.005439	0.108778	48.594613	1.3	0.006204	0.008981	0.008765	yes	no	0
25	0.041732	0.047038	3	0.000278	0.005551	50.250364	1.3	0.007028	0.008577	0.008186	yes	no	0
26	0.267568	0.27327	3	0.001768	0.035369	48.585684	1.3	0.005257	0.007055	0.007691	yes	no	0
27	0.499326	0.539133	3	0.003311	0.066226	48.891777	1.3	0.005444	0.007317	0.007012	yes	no	0
28	0.007744	0.008329	3	0.000052	0.001031	47.853082	3.1	0.00553	0.00779	0.007257	yes	no	0
29	1.919636	1.960262	3	0.012794	0.258377	47.52855	3.1	0.005758	0.007139	0.007932	yes	no	0
30	0.705677	0.724959	3	0.004669	0.093387	48.422009	3.1	0.00521	0.006999	0.007515	yes	no	0
31	0.558695	0.59606	3	0.003707	0.074136	48.656194	3.1	0.005313	0.007222	0.00657	yes	no	0
32	2.633744	3.611303	4	0.018019	0.360386	85.211121	3.1,4	0.007084	0.00742	0.008632	yes	no	0
33	0.46439	0.524485	1	0.001934	0.038689	84.820379	3.1,4	0.006345	0.007335	0.008639	yes	no	0
75	0.119759	0.137364	3	0.000726	0.014523	87.400191	3.4	0.005913	0.00602	0.008543	yes	no	0
76	0.72187	0.826763	3	0.004432	0.088635	87.846219	3.4	0.005109	0.006938	0.009021	yes	no	0
77	0.376217	0.386747	3	0.002234	0.046801	85.851331	3.4	0.006574	0.007492	0.007883	yes	no	0
78	0.84235	0.866891	3	0.005182	0.103644	85.449444	3.4	0.006148	0.007071	0.007817	yes	no	0
79	1.316393	1.364338	3	0.008083	0.161658	85.67894	3.4	0.005909	0.006839	0.007196	yes	no	0
80	0.289788	0.30012	3	0.0018	0.036008	86.186279	3.4	0.006168	0.007318	0.007296	yes	no	0
81	0.327273	0.3723	3	0.00201	0.040207	87.950089	3.4	0.0049	0.006728	0.008338	yes	no	0
82	0.063253	0.072106	3	0.000384	0.00768	87.390652	3.4	0.005678	0.005828	0.007914	yes	no	0
99	1.163283	1.48818	3	0.009949	0.198972	87.472885	3.2,4	0.005839	0.006082	0.009939	yes	no	0
100	1.95498	2.237429	4	0.011424	0.228484	87.14894	3.2,4	0.0058	0.006048	0.008828	yes	no	0
101	0.414354	0.426981	2	0.002528	0.050563	77.409647	2.4	0.006491	0.006552	0.006552	yes	no	0
102	0.162211	0.16756	2	0.001004	0.020078	77.229905	2.4	0.005643	0.006368	0.006473	yes	no	0
103	1.844974	2.146581	2	0.011672	0.23345	80.393961	2.4	0.006189	0.006523	0.009411	yes	no	0

PRILOGA C: Tabela lastnosti točk (primer 2)

Id	RMS Residual (pixels)	Largest Residual	Photo Largest Residual	Tightness (cm)	Tightness (%)	Angle (deg.)	Photos	X Precision	Y Precision	Z Precision	Use In Processing	Frozen	#Constraints
6	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	1	n/a	n/a	n/a	yes	no	0
7	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	1	n/a	n/a	n/a	yes	no	0
8	0.00443	0.004921	2	0.003286	0.00657	75.983116	1.2	0.429221	0.369455	0.589237	yes	no	0
9	0.594809	0.64702	2	0.414203	0.082841	76.987447	1.2	0.476064	0.267791	0.518312	yes	no	0
10	0.647728	0.694116	2	0.472726	0.095455	77.750052	1.2	0.479199	0.339135	0.586319	yes	no	0
11	0.662449	0.746259	1	0.50798	0.101596	71.953941	1.2	0.477567	0.280918	0.389329	yes	no	0
12	1.16426	1.298699	1	0.835685	0.167137	71.675132	1.2	0.717322	0.384586	0.372144	yes	no	0
17	0.690203	0.716084	2	0.500265	0.100053	78.397441	1.2	0.333569	0.266863	0.408265	yes	no	0
18	1.133411	1.172254	2	0.830496	0.166099	78.393796	1.2	0.380088	0.284178	0.471396	yes	no	0
19	0.258492	0.261443	2	0.189907	0.037981	78.276459	1.2	0.385514	0.273438	0.477319	yes	no	0
20	0.298252	0.302625	2	0.216708	0.043342	78.272338	1.2	0.338703	0.259373	0.423904	yes	no	0
21	0.267535	0.273716	1	0.195407	0.039081	77.558565	1.2	0.344457	0.25546	0.438139	yes	no	0
22	0.636242	0.652975	1	0.470045	0.094009	77.563378	1.2	0.387289	0.262318	0.470832	yes	no	0
23	0.210262	0.220384	1	0.156002	0.0312	76.845829	1.2	0.386036	0.260866	0.456565	yes	no	0
24	0.917806	0.959025	1	0.673065	0.134613	76.834138	1.2	0.347206	0.259227	0.436099	yes	no	0
25	0.63831	0.684148	1	0.471111	0.094222	75.579256	1.2	0.360803	0.271757	0.420567	yes	no	0
26	0.037395	0.040164	1	0.027892	0.005578	75.589773	1.2	0.379846	0.265396	0.426251	yes	no	0
27	0.151579	0.165905	1	0.113819	0.022764	74.401383	1.2	0.373048	0.274408	0.400334	yes	no	0
28	0.682668	0.745221	1	0.506515	0.101303	74.423897	1.2	0.354073	0.287766	0.402563	yes	no	0
29	0.935564	1.08498	1	0.725291	0.145058	68.690681	1.2	0.375799	0.312277	0.530359	yes	no	0
30	0.400912	0.465185	1	0.311848	0.06237	68.588304	1.2	0.406509	0.301224	0.558304	yes	no	0
55	0.550742	0.616666	2	0.385993	0.077199	75.768049	1.2	0.379976	0.27363	0.605198	yes	no	0
56	0.229261	0.253445	2	0.169036	0.033807	76.47278	1.2	0.41123	0.353819	0.540595	yes	no	0
59	1.371213	1.577697	1	1.00051	0.200102	68.486036	1.2	0.730067	0.47156	0.377535	yes	no	0
60	0.600727	0.696175	1	0.465819	0.093164	68.729767	1.2	0.376661	0.311308	0.528167	yes	no	0

PRILOGA D: Tabela lastnosti ploskev (primer 1)

Id	3D Position	Surface Type	# Defining Objects	Photos	Material	Layer	Double-sided	Smoothed	Outer Trim	# Holes	Compute 3D shape	# Triangles
3	yes	Defined by p...	4	2.4	SurfaceDefault	Default	no	yes	no	0	yes	32
4	yes	Defined by p...	4	1.3	SurfaceDefault	Default	no	yes	no	0	yes	27
5	no	Defined by p...	4	1.3	SurfaceDefault	Default	no	yes	no	0	yes	n/a
6	yes	Defined by p...	4	1.2	SurfaceDefault	Default	no	yes	no	0	yes	2
7	yes	Defined by p...	3	1.2	SurfaceDefault	Default	no	yes	no	0	yes	2
8	yes	Defined by p...	4	1.3	SurfaceDefault	Default	no	yes	no	0	yes	2
9	yes	Defined by p...	3	3.4	SurfaceDefault	Default	no	yes	no	0	yes	2
10	yes	Defined by p...	3	2.4	SurfaceDefault	Default	no	yes	no	0	yes	2
11	yes	Defined by p...	3	1.2	SurfaceDefault	Default	no	yes	no	0	yes	2
12	yes	Defined by p...	5	2.4	SurfaceDefault	Default	no	yes	no	0	yes	3
14	yes	Defined by p...	3	2.4	SurfaceDefault	Default	no	yes	no	0	yes	2
16	yes	Defined by p...	2	1.2	SurfaceDefault	Default	no	yes	no	0	yes	1

