

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 Geodezija

Kandidatka:

Nedeljka Mataija Valh

Izdelava 3R modela jadrnice s fotogrametrično metodo

Diplomska naloga št.: 750

Mentor:

doc. dr. Mojca Kosmatin Fras

Somentor:

asist. dr. Dejan Grigillo

Ljubljana, 23. 4. 2008

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana **NEDELJKA MATAIJA VALH** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom: »**IZDELAVA 3R MODELA JADRNICI S FOTOGRAMETRIČNO METODO**«.

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL, Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 01. 04. 2008

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji geodetske smeri UL, FGG:

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Mojci Kosmatin Fras in somentorju asist. mag. Dejanu Grigillu za vso pomoč in potrpljenje, ki sta mi ga izkazala tekom nastajanja tega dela. Posebna zahvala gre možu Marku, ki mi je pomagal pri terenskem delu in mi vedno stal ob strani. Zahvaljujem se Geodetskemu Uredu Mataija, ki mi je omogočil neomejeno uporabo potrebnega inštrumentarija. Zahvala tudi ACI Marini Umag, ki mi je omogočila nemoteno snemanje izbrane jadrnice.

To delo bi rada posvetila družini, ki me je vsa leta šolanja podpirala in vzpodbujala.

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

- UDK:** 528.7:771(043.2)
- Avtor:** Nedeljka Mataija Valh
- Mentor:** doc. dr. Mojca Kosmatin Fras
- Somentor:** asist. mag. Dejan Grigillo
- Naslov:** Izdelava 3R modela jadrnice s fotogrametrično metodo
- Obseg in oprema:** 54 str., 5 pregl., 25 sl., 10 en., 9 pril.
- Ključne besede:** 3R model, fotogrametrična metoda, stereoskopsko opazovanje, digitalni fotoaparati

Izvleček:

Želja po preizkusu možnosti uporabe amaterskega (nemetričnega) digitalnega fotoaparata in fotogrametrične metode dvoslikovnega izvrednotenja za izdelavo 3R modela jadrnice je privedla do konkretnega rezultata - 3R modela lupine izbrane jadrnice First 40.7. Za takšno nalogo je bilo potrebno poznati elemente notranje orientacije fotoaparata, ki jih pridobimo s postopkom kalibracije. 3R model jadrnice sem izdelala na podlagi fotogrametrične metode, ki temelji na stereoskopskem opazovanju. Potrebovala sem stereopare jadrnice, ki sem jih naredila na podlagi vnaprej pripravljenega plana snemanja. Na terenu sem s klasičnimi geodetskimi meritvami z elektronskim tahimetrom izmerila tudi potrebne oslonilne in kontrolne točke ter dodatne vzdolžne profile, ki so služili za analizo kakovosti fotogrametričnih opazovanj. Za pridobitev 3R podatkov, potrebnih za izdelavo 3R modela jadrnice, sem delo nadaljevala na digitalni fotogrametrični postaji, ki je omogočala orientacijo stereopara posnetkov, 3R opazovanje in izvajanje meritev na stereomodelu. Izmerila sem vzdolžne in prečne profile, ki so bili osnova za žični 3R model. Z obdelavo vzdolžnih in prečnih profilov žičnega 3R modela lupine jadrnice s CAD programskim orodjem sem realizirala osnovo za izdelavo ploskovnega 3R modela, ki predstavlja moj končni izdelek. Z izdelanim 3R modelom sem dokazala, da je s pomočjo dvoslikovnega izvrednotenja in amaterskega fotoaparata mogoče pridobiti 3R podatke zadovoljive kakovosti (centimeterska natančnost) ter jih uporabiti za izdelavo 3R modela v ustreznem CAD programskem orodju.

Izdelan 3R model je mogoče uporabiti za testiranje zmogljivosti jadrnice, uporabi pa se lahko tudi v različnih simulacijah, animacijah ali vizualizacijah.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 528.7:771(043.2)

Author: Nedeljka Mataija Valh

Supervisor: Assist. Prof. Mojca Kosmatin Fras, Ph.D.

Co-supervisor: Assist. Dejan Grigillo, M.Sc.

Title: Construction of a 3D model of a sailer using a photogrammetric method

Notes: 54 p., 5 tab., 25 fig., 10 eq., 9 ann.

Key words: 3D model, photogrammetric method, stereoscopic observation, digital camera

Abstract:

The wish to test the possibility of using an amateur (non-metrical) digital camera and a photogrammetric method of stereo-image restitution to construct a 3D model of the sailer has led to a concrete result - a 3D model of the hull of the chosen sailer First 40.7.

Knowing the camera's internal orientation elements which were acquired through the process of calibration was necessary. The 3D model of the sailer was made using a photogrammetric method which is based on stereoscopic observation. I needed the stereo-pairs of the sailer, and I made them based upon a plan that I had prepared beforehand. With an electronic tachymeter with classical geodetic measurements I measured the control points and check points as well as additional longitudinal profiles used for the analysis of photogrammetric observation quality. In order to acquire the 3D data to make a 3D model of the sailer I continued the work on a digital photogrammetric station which enabled stereo-pair orientation, 3D observation and measurements of the stereomodel. I measured the longitudinal and transverse profiles which were the basis of a 3D wire-frame model. By processing longitudinal and transverse profiles of the 3D wire-frame model of the sailer's hull with CAD software I realized the basis for the making of the surface 3D model, which represents my final product. With the making of the 3D model I demonstrated that with the help of stereo-image restitution and an amateur camera 3D data of satisfactory quality (centimetre precision) can be acquired and used for the making

of a 3D model in a corresponding CAD software. The 3D model made can be used for testing the capacity of the sailer, it can also be used for various simulations, animations or visualizations.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
2	TEORETIČNE OSNOVE	3
2.1	Centralna projekcija	3
2.1.1	Rotacijska matrika	5
2.2	Notranja orientacija	6
2.2.1	Kalibracija fotoaparata	7
2.2.1.1	Metoda kalibracije z ravninskim testnim poljem.....	7
2.3	Dvoslikovno izvrednotenje	10
2.3.1	Oslonilne in kontrolne točke	11
2.3.2	Dvostopenjski postopek orientacije stereopara	12
2.3.2.1	Relativna orientacija	12
2.3.2.2	Absolutna orientacija	14
2.4	3R modeli	16
2.4.1	Žični model	16
2.4.2	Ploskovni model.....	17
3	PRAKTIČNA IZVEDBA IN MERITVE.....	18
3.1	Uvod	18
3.2	Fotoaparat Nikon D80	18
3.3	Kalibracija fotoaparata	18
3.3.1	Programski paket Modifoto	20
3.4	Plan merjenja	21
3.4.1	Objekt snemanja.....	21
3.4.2	Vzpostavitev geodetske mreže.....	22
3.4.3	Določitev položaja oslonilnih in kontrolnih točk.....	23
3.4.4	Določitev števila stereoparov.....	24
3.5	Izvedba terenskih meritev	26
3.5.1	Vzpostavitev geodetske mreže z girusno metodo.....	26
3.5.2	Detajlna izmera	27
3.6	Obdelava pridobljenih podatkov	29
3.6.1	Obdelava stereoparov na fotogrametrični postaji.....	30
3.6.1.1	Transformacije koordinatnih sistemov.....	31
3.6.1.2	Orientacija stereoparov.....	31
3.7	Zajemanje na fotogrametrični postaji	35
3.7.1	Določitev koordinat oslonilnih in kontrolnih točk.....	36
3.7.2	Vektorizacija značilnih linij jadrnice.....	37
4	IZDELAVA 3R MODELA.....	39
4.1	3R model jadrnice.....	39
4.2	Grafična orodja CAD	39
4.2.1	Program AutoCad	39
4.2.2	Žični model	40
4.2.3	Ploskovni model.....	42

5	REZULTATI IN ANALIZA	43
5.1	Primerjava rezultatov	43
5.1.1	Primerjava meritev na kontrolnih točkah	43
5.1.2	Primerjava meritev značilnih linij jadrnice	44
5.2	3R model jadrnice First 40.7	46
5.3	Uporaba metode	47
5.4	Napotki za optimalno pripravo ukrivljenega objekta snemanja	49
6	ZAKLJUČEK	52
	VIRI	53

KAZALO SLIK

Slika 1:	Centralna projekcija.....	3
Slika 2:	Razmerje med slikovnim in objektnim koordinatnim sistemom	4
Slika 3:	Rotacija v ravnini yz.....	6
Slika 4:	Princip stereopara	10
Slika 5:	Relativna orientacija stereopara	13
Slika 6:	Idealna razporeditev točk po Von Gruberju.....	14
Slika 7:	Absolutna orientacija stereopara	15
Slika 8:	Jadrnica First 40.7	22
Slika 9:	Posnete karakteristične linije jadrnice	23
Slika 10:	Primer tarče	24
Slika 11:	Skica snemanja na terenu.....	25
Slika 12:	Primer skice.....	29
Slika 13:	Princip polarizacijske metode	31
Slika 14:	Točke relativne orientacije stereopara št. 4.....	32
Slika 15:	Odstopanja oslonilnih točk.....	33
Slika 16:	Točke relativne orientacije stereopara št. 1.....	34
Slika 17:	Točke relativne orientacije stereopara št. 7.....	34
Slika 18:	Zajeta vsebina na DVP postaji	37
Slika 19:	Iskanje presečišča dveh prostorskih polilinj	41
Slika 20:	Žični 3R model lupine jadrnice	41
Slika 21:	Renderiran žični 3R model lupine jadrnice.....	42
Slika 22:	Grafična primerjava meritev, pridobljenih z dvema različnima metodama – tlorisni prikaz – ravnina XY	45
Slika 23:	Grafična primerjava meritev, pridobljenih z dvema različnima metodama – ravnina YZ.....	46
Slika 24:	Grafična primerjava meritev, pridobljenih z dvema različnima metodama – ravnina YZ.....	46
Slika 25:	Končni izdelek – 3R model lupine jadrnice.....	47

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Specifikacije digitalnega fotoaparata Nikon D80 ter uporabljene nastavitve v času snemanja	18
Preglednica 2: Izravnane koordinate točk geodetske mreže	27
Preglednica 3: Vrednosti standardnih deviacij v postopku absolutne orientacije po vseh koordinatnih oseh.....	35
Preglednica 4: Primerjava dolžin med parom oslonilnih točk, določenih s terestrično in fotogrametrično metodo	36
Preglednica 5: Primerjava objektnih koordinat kontrolnih točk, določenih s terestrično in fotogrametrično metodo	43

KAZALO PRILOG

Priloga A: Posneti stereopari

Priloga B: Poročili o opravljeni kalibraciji pred in po snemanju

Priloga C: Skice objekta merjenja (označeni položaji oslonilnih in kontrolnih točk)

Priloga D: Koordinate oslonilnih in kontrolnih točk v objektne koordinatnem sistemu

Priloga E: Poročila o opravljeni orientaciji stereoparov na DVP

Priloga F: Izravnane koordinate položajne mreže

Priloga G: Različni prikazi zajete vsebine na DVP

Priloga H: Različni prikazi izdelanega žičnega 3R modela lupine jadrnice

Priloga I: Različni prikazi izdelanega ploskovnega 3R modela lupine jadrnice

1 UVOD

Najbolj znane naloge bližnjelikovne fotogrametrije so povezane z arhitekturno fotogrametrijo, to je npr. izdelava 3R modelov stavb ali fasad ter spomenikov kulturne dediščine za namene dokumentacije ali rekonstrukcije. Zato je zanimivo raziskovati, v katerih ostalih panogah so se fotogrametrija oziroma fotogrametrični postopki uveljavili. Najdemo lahko različne uporabe fotogrametričnih metod v strojništvu, gradbeništvu, arheologiji, industriji, medicini itd.

V ta namen sem preizkusila možnost uporabe fotogrametrične metode dvoslikovnega izvrednotenja za izdelavo 3R modela jadrnice, ki bi se lahko uporabil v ladjedelništvu oziroma pri izvajanju raznih simulacij za testiranje jadrnic. Za doseganje podatkov visoke kakovosti in natančnosti je potrebno razpolagati z ustrežno fotogrametrično opremo. Profesionalni fotogrametrični fotoaparati so zelo dragi, zato je njihova uporaba omejena. Z večanjem kakovosti nizkocenovne opreme pa je kljub temu mogoče izvajati nekatere fotogrametrične naloge v določenem obsegu natančnosti.

Cilj, ki sem si ga zastavila, je izdelava 3R modela lupine izbrane jadrnice First 40.7 z nizkocenovnim digitalnim fotoaparatom. Za takšno nalogo je potrebno poznati elemente notranje orientacije fotoaparata. Postopek, s katerim pridobimo te elemente, imenujemo kalibracija. 3R model jadrnice sem izdelala na podlagi fotogrametrične metode, ki temelji na stereoskopskem opazovanju. Za to sem potrebovala stereopare jadrnice, ki sem jih naredila na podlagi vnaprej pripravljenega plana snemanja. Na terenu sem s klasičnimi geodetskimi meritvami z elektronskim tahimetrom izmerila potrebne točke (oslonilne in kontrolne točke) ter dodatne vzdolžne profile, ki so služili za primerjavo dveh metod. Za pridobitev 3R podatkov (v objektnem koordinatnem sistemu XYZ), potrebnih za izdelavo 3R modela jadrnice, sem delo nadaljevala na digitalni fotogrametrični postaji, ki omogoča orientacijo stereopara posnetkov, 3R opazovanje in izvajanje meritev na stereomodelu. Po opravljenih meritvah na fotogrametrični postaji sem pridobila potrebne vzdolžne in prečne profile za izdelavo 3R modela. Zajete profile sem dodatno uredila v ustreznem grafičnem programu.

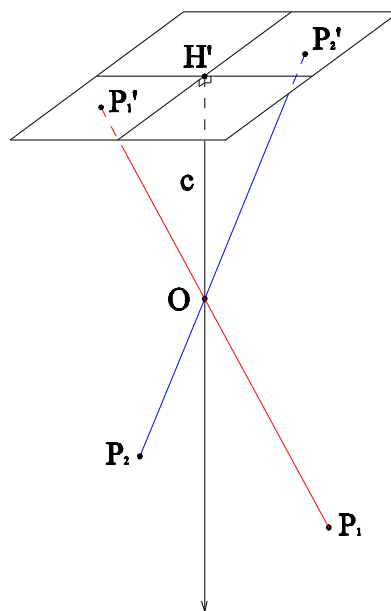
Z izdelavo žičnega 3R modela lupine jadrnice sem realizirala osnovo za izdelavo ploskovnega 3R modela, ki predstavlja moj končni izdelek. Končni 3R model jadrnice prikazuje lupino jadrnice, smernik in kobilico.

Diplomska naloga je razdeljena na 6 poglavij. Za uvodom v poglavju 2 sledi opis teoretičnih osnov, ki jih je potrebno razumeti za izvedbo praktične naloge. Razloženi so pojmi, kot so: kalibracija fotoaparata (notranja orientacija), dvoslikovno izvrednotenje (relativna in absolutna orientacija) ter 3R modeli. V poglavju 3 je opisana in predstavljena praktična izvedba in opravljene meritve. Opisana je uporabljena oprema (uporabljen fotoaparat, programska oprema), izvedba kalibracije fotoaparata, zastavljen plan merjenja ter izvedba terenskih meritev. Opisan je tudi postopek dela na digitalni fotogrametrični postaji. V poglavju 4 je razložena izdelava 3R modela. V poglavju 5 je izdelana ocena ustreznosti uporabljene metode za izdelavo 3R modela lupine jadrnice ter primerjavo rezultatov, pridobljenih na podlagi dveh različnih metod. Poglavje 6 predstavlja zaključek diplomske naloge. V zaključku so predstavljene ugotovitve, do katerih sem prišla tekom izdelave 3R modela.

2 TEORETIČNE OSNOVE

2.1 Centralna projekcija

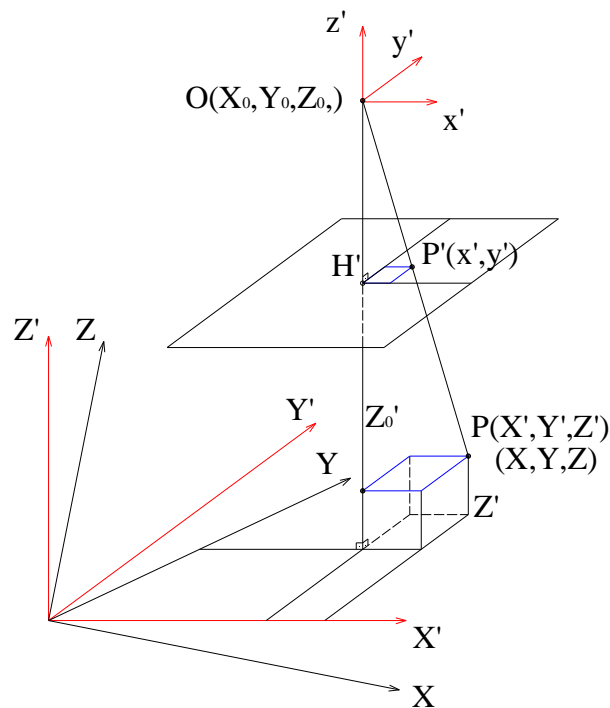
Geometrijski zakoni, na katerih temelji nastanek fotografije, omogočajo določitev položaja detajlnih točk v prostoru na podlagi te fotografije. Centralna projekcija je tisti zakon, ki opisuje odnose med objektom, ki ga slikamo, fotoaparatom in pridobljeno sliko. V takem sistemu svetlobni žarki potujejo od objekta preko projekcijskega centra do slikovne ravnine. Svetlobni žarek si lahko predstavljamo kot premico, ki od točke objekta P preko projekcijskega centra O prebada slikovno ravnino v točki posnetka P' , kot prikazuje slika 1. Položaj glavne točke posnetka H' določa premica, ki poteka skozi projekcijski center O ter prebada slikovno ravnino pod pravim kotom. Glavna točka posnetka H' ima koordinate x_0' , y_0' . Razdaljo med projekcijskim centrom in glavno točko poznamo tudi kot konstanto fotoaparata c (Gorjup, 2001).



Slika 1: Centralna projekcija

Prostorski slikovni pravokotni koordinatni sistem tvorijo osi x' , y' , z' . V tem sistemu ima vsaka detajlna točka P' koordinati x'_i , y'_i , medtem ko je višinska koordinata za vse točke enaka ($z'_i = 0$). Glavna točka H' tvori center projekcije O , ki ima v tem koordinatnem sistemu naslednje koordinate: x_0' , y_0' (kjer je $z_0' = 0$).

V objektvem koordinatnem sistemu XYZ imajo vse točke objekta P_i koordinate X_i , Y_i , Z_i .



Slika 2: Razmerje med slikovnim in objektvem koordinatnim sistemom

Povezava med slikovnimi koordinatami točke P' (x', y') in prostorskimi koordinatami točke P (X, Y, Z), ki jo prikazuje slika 2, je podana z naslednjimi izrazi (Gorjup, 2001):

$$\begin{aligned} x' &= x_0' - c \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} \\ y' &= y_0' - c \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} \end{aligned} \quad (1)$$

In obratno:

$$\begin{aligned} X &= X_0 + (Z - Z_0) \frac{r_{11}(x' - x_0') + r_{12}(y' - y_0') - r_{13}c}{r_{31}(x' - x_0') + r_{32}(y' - y_0') - r_{33}c} \\ Y &= Y_0 + (Z - Z_0) \frac{r_{21}(x' - x_0') + r_{22}(y' - y_0') - r_{23}c}{r_{31}(x' - x_0') + r_{32}(y' - y_0') - r_{33}c} \end{aligned} \quad (2)$$

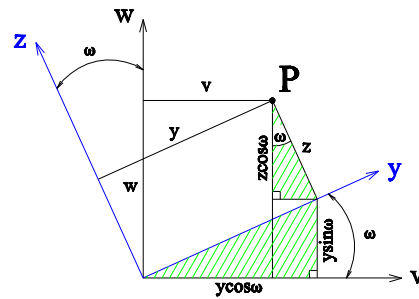
x_0 , y_0 in c predstavljajo elemente notranje orientacije fotoaparata. Elemente notranje orientacije določamo s postopkom kalibracije. Parametri r_{ij} predstavljajo elemente prostorske rotacijske matrike R med objektnim koordinatnim sistemom in prostorskim koordinatnim sistemom, ki je vzporeden slikovnemu koordinatnemu sistemu.

Iz enačb (1) izhaja, da za vsako objektno točko P obstaja samo ena slikovna točka P' . Obratno velja, kar izhaja iz enačb (2), da za vsako slikovno točko obstaja neskončno število točk v objektnem prostoru. Posledično lahko sklepamo, da je iz enega samega posnetka nemogoče rekonstruirati določen objekt v prostoru. Da bi objekt lahko rekonstruirali, potrebujemo dodatno informacijo, ki jo lahko pridobimo z drugim posnetkom istega objekta (tako da tvorimo stereopar) ali pa s poznavanjem ene od objektnih koordinat - dodatne informacije o koordinati Z (Gorjup, 2001).

2.1.1 Rotacijska matrika

Rotacijska matrika R opisuje rotacije slikovne ravnine okoli osi prostorskega koordinatnega sistema, kjer je (Gorjup, 2001):

- kot ω ... rotacija okrog x osi
- kot φ ... rotacija okrog y osi
- kot κ ... rotacija okrog z osi



Slika 3: Rotacija v ravnini yz

Slika 3 predstavlja rotacijo okrog x osi oziroma rotacijo v yz ravnini. Analogno velja za ostali dve rotaciji. Rotacijska matrika je torej definirana kot produkt sekvenčnih rotacij po koordinatnih oseh:

$$R = R_{\omega} \cdot R_{\varphi} \cdot R_{\kappa} \quad (3)$$

$$R = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \kappa & -\cos \varphi \sin \kappa & \sin \varphi \\ \cos \omega \sin \kappa + \sin \omega \sin \varphi \cos \kappa & \cos \omega \cos \kappa - \sin \omega \sin \varphi \sin \kappa & -\sin \omega \cos \varphi \\ \sin \omega \sin \kappa - \cos \omega \sin \varphi \cos \kappa & \sin \omega \cos \kappa + \cos \omega \sin \varphi \sin \kappa & \cos \omega \cos \varphi \end{bmatrix} \quad (4)$$

2.2 Notranja orientacija

S postopkom notranje orientacije vzpostavimo slikovni koordinatni sistem, ki je enak za vse posnetke, posnete z istim fotoaparatom in v istem časovnem obdobju.

Običajno posnetek, ki ga uporabimo za metrično iz vrednotenje, pridobimo z metričnim fotoaparatom. Taki fotoaparati imajo fizikalno določene elemente notranje orientacije (goriščno razdaljo, različni merili vzdolž koordinatnih osi, glavno točko ter nepravokotnost koordinatnih osi – vrednosti poda proizvajalec), ki so konstruirani ravno za potrebe fotogrametričnih nalog. Če uporabimo nemetrični fotoaparatom za določeno fotogrametrično nalogo, je potrebno predhodno določiti elemente notranje orientacije z ustreznimi postopki.

2.2.1 Kalibracija fotoaparata

Kadar imamo opravka z metričnimi fotoaparati, so elementi notranje orientacije znani (določi in poda jih proizvajalec) in je zato obdelava posnetkov matematično enostavnejša. Pri uporabi nemetričnega fotoaparata, za potrebe fotogrametrične naloge, moramo elemente notranje orientacije določiti sami. Kalibracija je praktično nasproten postopek od običajnega fotogrametričnega postopka merjenja koordinat točk (Kraus, 2006).

Z uporabo metričnega fotoaparata določamo koordinate objektnih točk na podlagi znanih elementov notranje orientacije, z uporabo amaterskega (nemetričnega) fotoaparata pa lahko s pomočjo znanih prostorskih koordinat točk in izmerjenih slikovnih koordinat teh istih točk določimo elemente notranje orientacije (Kvaternik, 2007).

2.2.1.1 Metoda kalibracije z ravninskim testnim poljem

Za kalibracijo nemetričnih fotoaparatorov je primerna metoda kalibracije z ravninskim testnim poljem. Testno polje predstavlja mreža točk, nanešena na ravninsko podlago, z znanimi koordinatami. Metoda kalibracije z ravninskim testnim poljem temelji na več perspektivno različnih posnetkih istega testnega polja. Prednost metode kalibracije z ravninskim testnim poljem oziroma ravninskega testnega polja je v tem, da je le-to dokaj majhnih dimenzij, zato ga lahko vzamemo s seboj na teren ter določamo elemente notranje orientacije za različne nastavitve fotoaparata. Na podlagi izmerjenih slikovnih koordinat točk in znanih koordinat (prostorskih) točk testnega polja lahko določimo elemente notranje orientacije fotoaparata. Hitro pridobitev rezultatov nam omogoča samodejen postopek merjenja slikovnih koordinat in izračun kalibracije (Kvaternik, 2007).

Metoda kalibracije z ravninskim testnim poljem, ki jo je predlagal Zhang (1998), temelji na vzpostavljeni zvezi med posameznimi prostorskimi koordinatami testnega polja in slikovnimi koordinatami istega polja. V vzpostavljeni zvezi so vsebovani iskani elementi notranje orientacije.

Metoda je zasnovana z uporabo projektivnih (homogenih; angl. homogeneous coordinates) koordinat. Slikovno točko (x,y) zapišemo v projektivnih koordinatah (x',y',w) , kjer je w poljuben od ničle različen skalar (Kvaternik, 2007):

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ w \end{bmatrix} \quad (5)$$

Matematični model fotografske preslikave predstavlja centralna projekcija. V projektivnih koordinatah jo prikažemo na naslednji način: Center projekcije O leži v izhodišču prostorskega koordinatnega sistema, slikovna ravnina pa je vzporedna ravnini XY in od nje oddaljena za vrednost goriščne razdalje f . Koordinatna os Z seka slikovno ravnino v glavni točki posnetka H . Objektna točka P se iz prostora preslika v slikovno točko P' .

Vsaka točka na posnetku predstavlja projekcijski žarek (vsaka prostorska točka se na tem žarku preslika v isto slikovno točko). Smer žarka lahko predstavimo s slikovnimi koordinatami ali s koordinatami katerekoli prostorske točke, ki leži na tem žarku. Če slikovna ravnina leži na oddaljenosti $Z=1=f$, lahko projekcijski žarek skozi slikovno točko P' predstavimo (za katerokoli oddaljenost $Z \neq 0$) (Kvaternik, 2007):

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \sim \begin{bmatrix} Zx \\ Zy \\ Z \end{bmatrix} \quad (6)$$

Znak \sim predstavlja projektivno enakost.

V tako definirani centralni projekciji vzpostavimo povezavo med slikovno točko P' (x,y) ter pripadajočo prostorsko točko P (X,Y,Z) , ki ima, zapisana v projektivnih koordinatah (goriščna razdalja $f=1$), naslednjo obliko (Kvaternik, 2007):

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \sim \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Z enačbo (7) se prostorska točka P preslika v točko na slikovni ravnini, ki jo sedaj označimo s koordinatami (x_c, y_c) . Zaradi same konstrukcije fotoaparata, ki imajo tovarniško določene fizične lastnosti (kot smo opisali v poglavju 2.2), ki vplivajo na položaj slikovne točke, je potrebno pridobljene koordinate ustrezno popraviti. Z ustreznimi popravki (goriščna razdalja, različni merili vzdolž koordinatnih osi, glavna točka, nepravokotnost koordinatnih osi) pridobimo prave slikovne koordinate (x, y) .

Vse opravljene transformacije zapišemo v projektivnih koordinatah na naslednji način:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \sim \begin{bmatrix} \alpha_x & s & x_0 \\ 0 & \alpha_y & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ 1 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

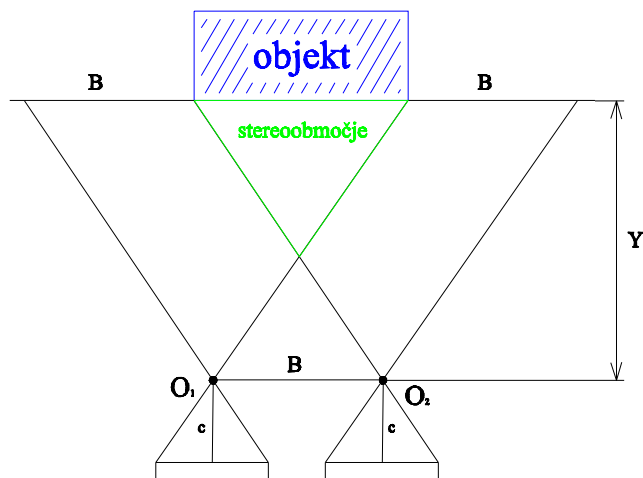
Oznaki α_x in α_y predstavljata goriščno razdaljo v smeri x in y osi. Oznaka s predstavlja vrednost, ki ponazarja nepravokotnost koordinatnih osi, oznaki x_0 in y_0 pa predstavljata koordinati glavne točke. Matrika K torej predstavlja kalibracijsko matriko in vsebuje vse parametre notranje orientacije. Lahko uvedemo še matriko E , ki vsebuje šest elementov zunanje orientacije (prostorski položaj projekcijskega centra ter nagibe fotoaparata v prostoru) in zapišemo:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \sim K \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} E \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Pridobljena enačba (9) predstavlja osnovo za nadaljnji postopek kalibracije (Kvaternik, 2007).

2.3 Dvoslikovno izvrednotenje

S pomočjo stereoizvrednotenja je mogoče na podlagi dveh perspektivno različnih posnetkov fotografiranega objekta rekonstruirati le-tega po položaju in obliki. To pomeni, da lahko na podlagi stereopara (slika 4) določimo prostorski položaj točk določenega objekta v objektne koordinatnem sistemu. Torej temeljijo postopki, s katerimi določamo prostorski položaj na podlagi posnetkov, na rekonstrukciji snopa žarkov vsakega posameznega posnetka (Kraus, 2006).



Slika 4: Princip stereopara

Snop žarkov lahko rekonstruiramo na podlagi znanih elementov notranje orientacije (kalibracija fotoaparata), vendar ne poznamo njegovega položaja v prostoru. Slednjega določimo z metodo stereoizvrednotenja na podlagi prostorskih koordinat projekcijskega centra (X_0, Y_0, Z_0) ter rotacij posnetka okrog osi prostorskega koordinatnega sistema $(\omega, \varphi, \kappa)$. Ravno te vrednosti predstavljajo elemente zunanje orientacije posnetka $(X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \kappa)$. Vseh šest elementov zunanje orientacije lahko pridobimo na različne načine. Eden izmed načinov določitve elementov zunanje orientacije je neposredno med samim snemanjem. To nam omogočata dva sistema, in sicer GPS (globalni sistem za določanje položaja; angl. Global Positioning System) ter INS (inercialni navigacijski sistem; angl. Inertial Navigation System). Sistema omogočata, za vsak posamezen posnetek, določitev položaja projekcijskih

centrov ter zasukov posnetka okoli koordinatnih osi. Zato v takem primeru privzamemo izračunane elemente zunanje orientacije kot znane (Gorjup, 2001; Kvaternik, 2007). Ta način se zaenkrat uporablja le pri aerosnemanju.

V primeru, ko so elementi zunanje orientacije neznanke, jih določamo posredno (z oslonilnimi točkami) v samem postopku izvedenja. Postopkov določanja imamo več, načeloma pa jih lahko razdelimo na tri skupine. Poznamo orientacijo vsakega posameznega posnetka, kjer se elementi zunanje orientacije določajo ločeno za vsak posnetek. Drugo skupino tvorijo enostopenjski postopki orientacije stereopara, kjer določamo zunanjo orientacijo sočasno za oba posnetka obravnavanega stereopara. Preostanejo še dvostopenjski postopki orientacije stereopara, kjer orientacijo stereopara opravimo v dveh fazah. V prvi fazi postopka oba posnetka privedemo v medsebojni položaj, ki je identičen položaju, vzpostavljenem v času snemanja (tako smo ustvarili model objekta). V drugi fazi pridobljen model prostorsko orientiramo ter mu določimo merilo (Gorjup, 2001).

2.3.1 Oslonilne in kontrolne točke

Izdelke fotogrametričnega izvedenja, kjer v postopku izvedenja niso bili znani elementi zunanje orientacije, umestimo v objektni koordinatni sistem z oslonilnimi točkami. Oslonilne točke so točke, katerih lokacijo imamo podano v objektnem koordinatnem sistemu in jih lahko prepoznamo na posnetkih. Natančnost končnega izdelka je zagotovo odvisna tudi od natančnosti določitve oslonilnih točk. Za natančnost fotogrametričnega izdelka pa je ravno tako pomembna tudi kakovost same identifikacije oslonilne točke na posameznem posnetku. Nezanestljiva identifikacija oslonilnih točk lahko povzroči občutne pogoške in napake ter nepotrebno izgubo časa in povečanje cene samega izdelka (Gorjup, 2001).

Za preverjanja in analiziranje kakovosti (pozicijske natančnosti in zanesljivosti) izvedene absolutne orientacije uporabimo kontrolne točke. Prostorske koordinate kontrolnih točk izmerimo z enako metodo kot oslonilne točke. Kontrolne točke ne uporabimo v postopku absolutne orientacije, zato odstopanja fotogrametrično določenih koordinat od terensko

izmerjenih predstavljajo zunanjo oceno natančnosti 3R modela. S pomočjo kontrolnih točk lahko ocenimo tudi natančnost izmerjenih koordinat ostalih detajlnih točk (Kvaternik, 2007).

2.3.2 Dvostopenjski postopek orientacije stereopara

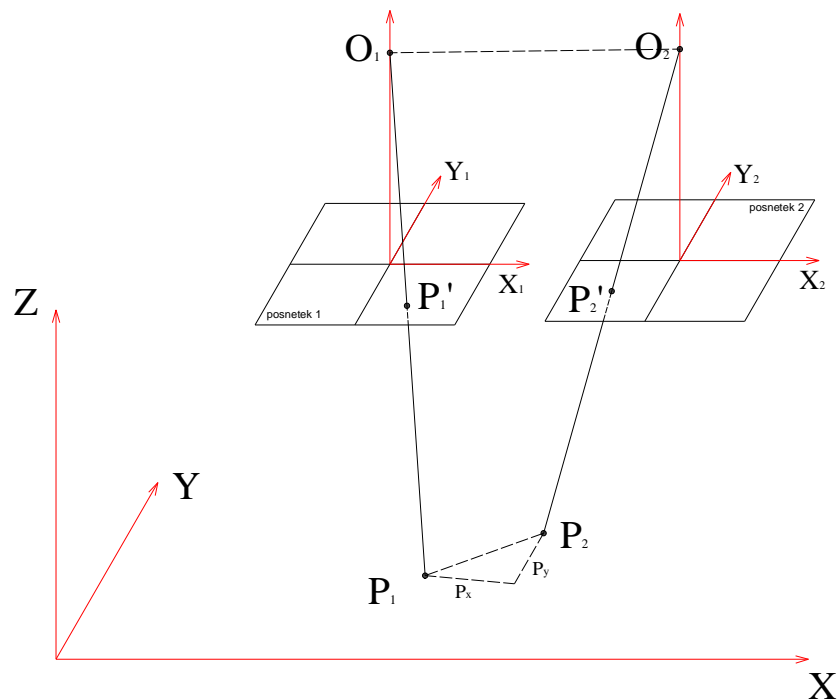
Dvostopenjski postopek orientacije stereopara izvajamo v dveh stopnjah.

Relativna orientacija je prva stopnja orientacije stereopara, za katero ne potrebujemo oslonilnih točk s prostorskimi koordinatami in jo lahko izvedemo po končani notranji orientaciji posnetkov stereopara. Drugo stopnjo postopka predstavlja absolutna orientacija. Oblikovani model objekta (oblikovan z relativno orientacijo) moramo transformirati v objektni koordinatni sistem.

2.3.2.1 Relativna orientacija

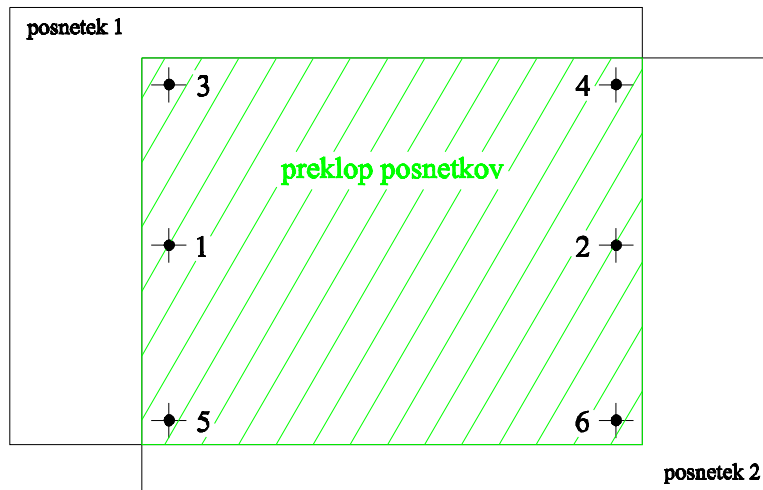
Relativna orientacija je prva stopnja orientacije stereopara. Razmerje med snopoma stereopara, ki ga dosežemo na ta način, je enako razmerju, ki smo ga vzpostavili v trenutku snemanja. Da bi vzpostavili takšno razmerje, izvajamo slikovno merjenje izbranih detajlnih točk. Dejansko pri izvajanju relativne orientacije merimo in odpravljamo vertikalno paralakso (paralakso y). Na splošno se žarka, ki povezujeta objekt na posnetku, oba perspektivna centra in objekt v stereomodelu, pred začetkom relativne orientacije ne sekata in povzročata paralakso y , ki jo skušamo odpraviti (Bric in ostali, 2001).

Z relativno orientacijo oblikujemo presečišča vseh parov homolognih žarkov (par žarkov, ki ga definirata projekcijska centra O_1 in O_2 ter sliki P_1' in P_2' točke P , kakor prikazuje slika 5) stereopara (Gorjup, 2001).



Slika 5: Relativna orientacija stereopara

Paralaksa x , kakor je prikazano na sliki 5, nastane zaradi različnih stojišč, iz katerih sta posneta posnetka (princip stereopara). S premikanjem in/ali rotacijo enega od posnetkov odpravimo paralakso y . Ko je paralaksa y odpravljena na celotni skupni površini stereopara, lahko rečemo, da je relativna orientacija opravljena. Teoretično je dovolj, da paralakso y odpravimo v 5-ih točkah stereopara, praktično pa vsaj v 6-ih, kot je prikazano na sliki 6. Točke, na katerih odpravljamo paralakso, imenujemo po Von Gruberju in so razporejene tako, da so razdalje med njimi čim večje (Bric in ostali, 2001).



Slika 6: Idealna razporeditev točk po Von Gruberju

Če točke merimo v stereomodelu, dobimo modelne koordinate, ki jih kasneje transformiramo iz modelnega v objektni koordinatni sistem.

2.3.2.2 Absolutna orientacija

Kot smo že omenili, drugo stopnjo postopka predstavlja absolutna orientacija (slika 7). Oblikovani model objekta moramo transformirati v objektni koordinatni sistem. Enačba transformacije med modelnim koordinatnim sistemom (xyz) ter objektnim koordinatnim sistemom (XYZ) je:

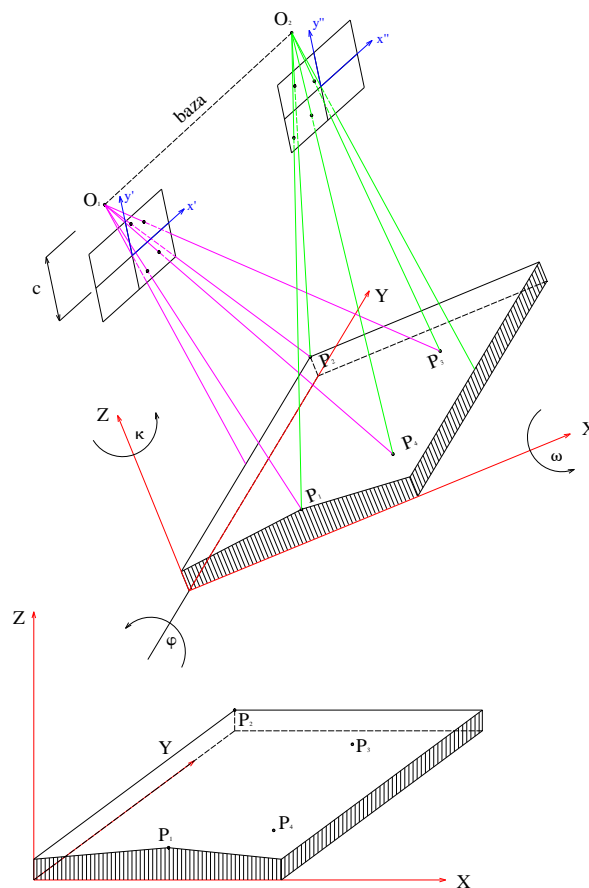
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_u \\ Y_u \\ Z_u \end{bmatrix} + mR \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (10)$$

Kjer so:

- X_u, Y_u, Z_u ... koordinate izhodišča modelnega koordinatnega sistema (xyz) v objektnem koordinatnem sistemu (XYZ)
- m ... modul merila sistema xyz

R ... rotacijska matrika sistema xyz v sistem XYZ, ki vsebuje tri rotacije

Transformacija modelnega v objektni koordinatni sistem je torej sestavljena iz treh translacij, treh rotacij in spremembe merila.



Slika 7: Absolutna orientacija stereopara

Z absolutno orientacijo določamo sedem parametrov oziroma sedem elementov absolutne orientacije. Da bi lahko določili te parametre, glede na enačbo (10), potrebujemo točke, ki imajo dane koordinate v obeh koordinatnih sistemih. Te točke imenujemo oslonilne točke. Zato transformacijo modelnega v objektni koordinatni sistem imenujemo tudi absolutna orientacija. Teoretično potrebujemo za določitev sedmih parametrov absolutne orientacije 3

točke: najmanj dve prostorski točki in eno višinsko ali dve položajni točki in tri višinske (Gorjup, 2001).

2.4 3R modeli

Zaradi samega načina dojetanja trirazsežnega prostora, v katerem živimo, lahko sklepamo, da je želja po ravno taki trirazsežni predstavi objektov povsem naravna (Janežič, 1996).

Določen objekt ali njegov del, njegovo lupino ali vanj vključeno notranjost lahko predstavimo trirazsežno na več različnih načinov (Kosmatin Fras, 1996).

Praktično delimo 3R modele na žične ter ploskovne.

2.4.1 Žični model

Žični model si lahko predstavljamo kot prvo potrebno stopnjo za izdelavo druge vrste 3R modela, vizualizacije ali animacije. Objekt, predstavljen z žičnim modelom, je definiran z množico 3R točk, med sabo povezanih s 3R linijami. Objekt je tako predstavljen, kot da bi bil izdelan z žico (Janežič, 1996).

Praktično z izdelavo žičnega modela ustvarimo osnovno bazo podatkov o objektu. Ta baza je lahko zelo obsežna (odvisno od potreb oziroma naročnika), kar nam lahko kasneje povzroči tudi težave. Kot smo že omenili, potrebujemo za izdelavo ploskovnega modela najprej žični model objekta (prva stopnja). Če imamo opravka z zelo podrobnim žičnim 3R modelom, se splača nepotrebne podatke odstraniti ter tako ustvariti neke vrste generalizirano bazo podatkov. Ravno tako ustvarjeno generalizirano bazo podatkov je boljše uporabiti za izdelavo ploskovnega 3R modela, tako bo kasnejša obdelava veliko hitrejša (Kosmatin Fras, 1996).

2.4.2 Ploskovni model

Ko smo enkrat ustvarili žični model obravnavanega objekta, ga lahko nadgradimo. Ploskovni model si lahko predstavljamo kot objekt, ki je prostorsko definiran s ploskvami. Nadgradnjo žičnega modela smatramo torej kot renderiranje teh ploskev (Kosmatin Fras, 1996).

Renderiranje je računalniški izraz, ki predstavlja barvanje ustvarjenih ploskev, določevanje teksture, različnih materialov, senc itd.

3 PRAKTIČNA IZVEDBA IN MERITVE

3.1 Uvod

Cilj diplomske naloge je izdelava 3R modela lupine izbrane jadrnice, model First 40.7, s fotogrametrično metodo. Na podlagi stereoparov, pridobljenih z nizkocenovnim digitalnim fotoaparatom, bom predstavila celoten postopek izdelave 3R modela.

3.2 Fotoaparat Nikon D80

Za samo izvedbo zastavljenega projekta sem uporabila digitalni zrcalno-refleksni fotoaparat Nikon D80 z objektivom AF-S Nikkor 18-135 mm. V spodaj priloženi preglednici so podane nekatere značilne lastnosti fotoaparata.

Preglednica 1: Specifikacije digitalnega fotoaparata Nikon D80
ter uporabljene nastavitve v času snemanja

Število vseh pikslov	10.75 M
Število efektivnih pikslov	10.2 M
Svetlobno tipalo	CCD
Velikost tipala	23.6 mm x 15.8 mm
Maksimalna ločljivost	3872 x 2592
Občutljivost tipala ISO	100
Zaslonka	7.1
Čas zaklopa	1/100 – 1/320
Goriščna razdalja	18 mm

Za izvedbo zastavljene naloge sem izbrala fotoaparat Nikon D80 zato, ker sem njegova lastnica in ker je njegova zmogljivost zadovoljiva za potrebe naloge. Nikon D80 je nemetrični fotoaparat, katerega največja prednost je priročnost in majhna teža.

3.3 Kalibracija fotoaparata

Uporabljen digitalni fotoaparat Nikon D80 je nemetričen, zato je bilo potrebno izvesti postopek kalibracije, oziroma pridobiti parametre notranje orientacije. Kalibracijo sem

izvajala po napotkih, ki jih je določil Tadej Kvaternik v svoji diplomski nalogi (2007). Za zanesljivo določitev elementov notranje orientacije pri uporabljeni metodi kalibracije (metoda kalibracije z ravninskim testnim poljem) zadostujejo štirje posnetki testnega polja. Posnetki morajo biti perspektivno različni, narejeni z vseh štirih vogalov testnega polja. Pri samem fotografiranju testnega polja je potrebno paziti, da je posnetek čim bolj zapolnjen s samim poljem, da je spodnja stran testnega polja vedno na spodnji strani posnetka in da so posnetki čim bolj simetrično razporejeni (Kvaternik, 2007).

Kalibracijo sem opravila pred in po snemanju jadrnice. Vrednosti pridobljenih parametrov notranje orientacije pred snemanjem in po zaključenem snemanju se ne razlikujejo veliko. Pridobljeni kalibracijski matriki K_{pred} in K_{po} sta:

$$K_{pred} = \begin{bmatrix} \alpha_x & s & x_0 \\ 0 & \alpha_y & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3018.307 & 0.235 & 1310.894 \\ 0 & 3019.910 & 1935.083 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$K_{po} = \begin{bmatrix} \alpha_x & s & x_0 \\ 0 & \alpha_y & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3004.693 & 0.496 & 1303.806 \\ 0 & 3003.207 & 1939.765 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Kakor sem že pojasnila v poglavju 2.2.1.1., predstavljata vrednosti α_x in α_y goriščno razdaljo v smeri x in y osi, količina s predstavlja nepravilnost koordinatnih osi, x_0 in y_0 predstavljata koordinati glavne točke. Ostale rezultate postopka kalibracije si lahko ogledamo v priloženih poročilih o kalibraciji (glej prilogo B).

Glede na to, da manjše spremembe vrednosti parametrov notranje orientacije praktično ne vplivajo na končni rezultat (Kvaternik, 2007), sem za prevzorčenje mojih stereoparov uporabila parametre, pridobljene na podlagi posnetkov testnega polja, ki sem jih opravila pred začetkom snemanja objekta. To pomeni, da sem s samim fotoaparatom med snemanjem ravnala karseda previdno in ga nisem izpostavljala nepotrebnim zunanjim vplivom, ki bi lahko kakorkoli vplivali na notranjo geometrijo fotoaparata.

Kalibracijo sem opravila v programskem paketu Modifoto – MOnoslikovna DIgitalna FOTOgrametrija (avtor: Grigillo D., Ver 1.0, 2002), ki temelji na metodi kalibracije z ravninskim testnim poljem, ki jo je predstavil Zhang (1998). Uporabila sem testno polje velikosti 42 cm x 59,4 cm (format A2) z enakomerno razporejenimi točkami, ki ga je izdelal Tadej Kvaternik. Na njem je na oddaljenosti 26 mm razporejenih 315 točk v 15 vrsticah in 21 stolpcih. Točke testnega polja predstavljajo črni krogi premera 3 mm. Pridobljena datoteka koordinat testnega polja je bila vhodni podatek postopka kalibracije. Za potrebe določitve parametrov notranje orientacije ter prevzorčenja vseh posnetkov obravnavane jadrnice sem uporabila dva modula programskega paketa Modifoto; modula Fotoanalist in FA_Kalibracija, kjer je prvi namenjen samodejnemu merjenju točk testnega polja na posnetkih, drugi za izračun notranje orientacije in geometrično popravo podob (prevzorčenje).

3.3.1 Programski paket Modifoto

Programski paket Modifoto je ustvarjen za potrebe postopkov obdelave podob v enoslikovni fotogrametriji, tvorijo ga trije moduli: Fotoanalist (meritev), FA_Kalibracija (kalibracija in prevzorčenje podob) in Fotoplan (omogoča izdelavo metričnih fotonačrtov in njihovo mozaičenje za potrebe enoslikovne arhitekturne fotogrametrije).

Delo pričnemo z modulom Fotoanalist. Za določevanje slikovnih koordinat detajlnih točk na digitalni podobi je najprej potrebno definirati koordinatni sistem. Glede na to, da sem posnetke izdelala z digitalnim fotoaparatom, je podoba, ki sem jo ustvarila, sestavljena iz pravokotne mreže pikslov. Določitev koordinatnega sistema je zato enostavna, koordinatni osi nam določajo vrstice in stolpci. Ker modul Fotoanalist določa koordinate v sistemu podobe, ki temelji na matrični razporeditvi pikslov in ker slikovni koordinatni sistem ni enak koordinatnemu sistemu same podobe, je potrebno pridobljene koordinate glavne točke preračunati v slikovni koordinatni sistem.

Merjenje poteka samodejno in temelji na postopku slikovnega ujemanja (slikovna korelacija) delov podob. Da bi lahko izvajali meritve, je potrebno izdelati tarčo, ki je obenem vzorčna podoba izbrane točke testnega polja. Tarčo izdelamo s pomočjo samega modula ter jo

shranimo. Z vmesnikom Meritev izvajamo meritve, in sicer tako, da določimo položaj štirih robnih točk testnega polja, nato pa program izvaja meritve ostalih točk samodejno. Datoteka, ki vsebuje slikovne koordinate testnega polja, je vhodni podatek za izvedbo kalibracije.

Modul FA_Kalibracija določi parametre notranje orientacije fotoaparata in jih zapiše v izhodno datoteko. Modul poda tudi grafično predstavitev radialne distorzije ter možnost prevzorčenja podob na podlagi izračunanih parametrov. Tako pripravljene podobe lahko uporabimo v nadaljnjem postopku naloge.

3.4 Plan merjenja

Predhodna priprava obstoječih podatkov ter izdelava plana bodočega poteka dela na terenu je prav tako pomembna kot sama izvedba meritev oziroma izvedba dela na terenu. Cilj zastavljene naloge je izdelava 3R modela izbrane jadrnice in v ta namen sem si poskusila delo olajšati s čim boljšo pripravo objekta snemanja. Glede na velikost jadrnice sem določila število stereoparov. S klasično geodetsko metodo sem razvila geodetsko mrežo, znotraj katere se nahaja obravnavana jadrnica, za potrebe določitve oslonilnih in kontrolnih točk. Glede na to, da je jadrnica ukrivljen objekt (z vsako spremembo položaja merske markice v fotogrametričnem instrumentu se spremeni tudi trenutna višina merjene točke) določene velikosti, je bilo potrebno čim bolje razporediti oslonilne točke. Problematika objekta snemanja se je kasneje izkazala v zelo majhnem številu dobro razpoznavnih naravnih detajlnih točk.

3.4.1 Objekt snemanja

Objekt snemanja je jadrnica francoskega proizvajalca Beneteau, model First 40.7. Njena dolžina znaša 11.99 m (vrednost je deklarirana v specifikacijah jadrnice – poda jih proizvajalec). Barva jadrnice je (klasična) temno modra v zgornjem delu trupa ter bela v spodnjem delu.



Slika 8: Jadrnica First 40.7

Zaradi same ukrivljenosti jadrnice ter pomanjkanja dobro razpoznavnih naravnih detajlnih točk je bilo na njen trup potrebno nalepiti posebne tarče. Zaradi omenjene barve jadrnice sem tarče natisnila na belo podlago, tako so bile dobro vidne.

Poznavanje ostalih specifikacij in lastnosti jadrnice za potrebe moje naloge ni pomembno.

3.4.2 Vzpostavitev geodetske mreže

Vzpostaviti je bilo potrebno lokalno geodetsko mrežo, znotraj katere se nahaja objekt snemanja. Geodetsko mrežo tvorijo štiri točke, in sicer točke geodetske mreže P1, P2, P3 in P4. Meritve točk geodetske mreže sem opravljala po girusni metodi v dveh girusih v lokalnem koordinatnem sistemu (XYZ). Na podlagi merjenih kotov in dolžin sem določila koordinate točk geodetske mreže ter jih izravnala. Klasične meritve sem izvajala s tahimetrom Leica TCR1201. Tahimeter ima deklarirano kotno natančnost od 1", dolžinsko natančnost ob uporabi prizme 2mm; 2ppm in dolžinsko natančnost od 3mm; 2ppm, če meritve izvajamo z laserjem.

Z izravnavo sem pridobila izravnane položaje (koordinate v objektnem koordinatnem sistemu XYZ) točk geodetske mreže in jih v kasnejši obdelavi prevzela kot dane količine.

Tako sem iz vzpostavljenih točk geodetske mreže lahko posnela vse predhodno določene ter ustrezno označene položaje oslonilnih in kontrolnih točk (signalizirane z izdelanimi tarčami – glej sliko 10). Položaj točk sem določila z detajlno polarno metodo izmere. Na isti način sem posnela tudi vse značilne linije jadrnice, in sicer zgornji rob srebrne linije (nahaja se na modrem delu lupine jadrnice ter je razdeljena na dva dela z oknom) ter zgornji rob sive linije (deli modro od bele barve), ki sta tovarniško nanešeni na obe strani trupa jadrnice. Posneti robovi karakterističnih linij so prikazani na sliki 9 z zelenimi linijami. Na sliki je predstavljen tudi princip postavljanja oslonilnih in kontrolnih točk. Kontrolne točke so označene z zelenimi, oslonilne točke pa z rumenimi krogi.



Slika 9: Posnete karakteristične linije jadrnice

Iz predhodno določenih točk geodetske mreže sem s tahimetrom določila tudi približen položaj fotoaparata na posameznem stojšču, zgolj zaradi dodatne kontrole.

3.4.3 Določitev števila oslonilnih in kontrolnih točk

Da bi lahko izvedli absolutno orientacijo stereopara, potrebujemo oslonilne točke (točke s podanim položajem v objektnem koordinatnem sistemu XYZ). Postavljene oslonilne ter kontrolne točke se morajo zaradi stereoizvrednotenja nahajati na obeh posnetkih stereopara.

Za vsak stereopar sem predvidela šest oslonilnih točk ter približno dve kontrolni točki. Da bi ugotovila natančnost uporabljene fotogrametrične metode, sem za primerjavo na fotogrametrični postaji izmerila vse karakteristične linije jadrnice, ki sem jih izmerila tudi s tahimetrom na terenu. Položaj oslonilnih točk sem določila tako, da sem jih skušala čim bolje prostorsko razporediti po celotnem objektu. Razporeditev oslonilnih točk igra pomembno vlogo pri absolutni orientaciji stereopara. Kljub temu da sem oslonilne točke kar najbolje razporedila po sami lupini jadrnice, razporeditev ni bila idealna, saj so velikost, oblika, višina, na kateri je bila jadrnica postavljena in oddaljenost stojišč snemanja vplivali na zapolnitev posnetka s samo jadrnico. Ravno zaradi prej navedenih razlogov, četudi sem jih dobro razporedila po lupini jadrnice, oslonilne točke niso bile idealno razporejene po celotnem posnetku. Dolžina njene kobilice je igrala veliko vlogo v postavitvi stojišč snemanja stereoparov, saj je precej dolga in sem se zaradi nje morala dodatno oddaljiti od objekta.

Jadrnica je prostorsko razgiban objekt in nima dovolj ustreznih detajlov, ki bi jih lahko uporabili kot naravne oslonilne točke, zato je bilo potrebno izdelati tarče in jih prilepiti na njo. Tudi kontrolne točke sem označila s pripravljenimi tarčami.



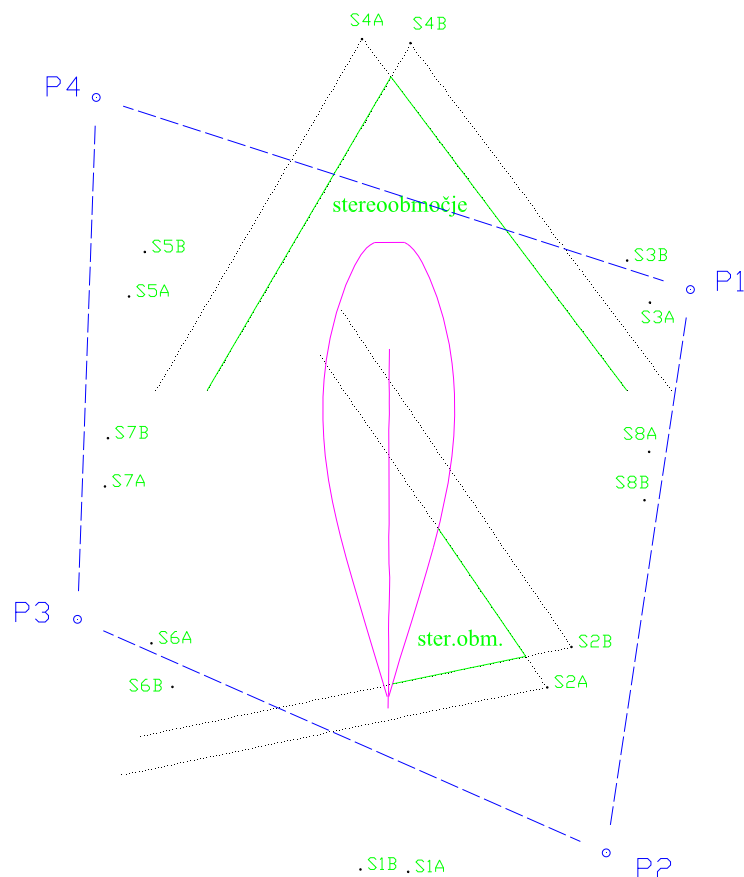
Slika 10: Primer tarče

3.4.4 Določitev števila stereoparov

Glede na to, da je jadrnica dolga približno 12 m, sem se odločila za postavitev treh stereoparov iz vsake strani jadrnice ter enega spredaj in enega zadaj. Stojišča so bila postavljena na približno 5 m oddaljenosti od osi jadrnice. Zaradi njene dolžine, velikosti kobilice in smernika ter višine, na kateri je bila postavljena, je bila oddaljenost približno 5 m najbolj optimalna. Zaradi ostrega zaključka prednjega dela jadrnice se je pod vprašaj postavila pomembnost prednjega stereopara (številka 1). Če bi imela kljun jadrnice posnet iz stranskih

stereoparov (stereopara številki 2 in 6), bi lahko na fotogrametrični postaji zajela zgornji rob lupine jadrnice iz le-teh. Tako zajet rob iz obeh strani (robova se zaključita v isti točki) bi mi podal prednji del jadrnice brez potrebe po dodatnem prednjem stereoparu.

Nomenklatura stojišč, iz katerih so narejeni posnetki, je naslednja: prednji stereopar tvorita stojišči 1A ter 1B, stereopar zadnjega dela jadrnice stojišči 4A in 4B. Iz vsake strani sem postavila po tri stereopare. Stojišči 2A in 2B, 3A in 3B ter 8A in 8B iz desne strani, stojišči 4A in 4B, 5A in 5B ter 7A in 7B iz leve strani (glej sliko 11). Odločila sem se torej za postavitev treh stereoparov iz vsake strani, čeprav bi že dva zadostovala za celoten zajem jadrnice. Tri stereopare z vsake strani sem postavila ravno z namenom doseganja čim večje natančnosti pri izdelavi 3R modela. Med posameznimi stojišči stereoparov A in B je dolžina baze znašala 1.20 m.



Slika 11: Skica snemanja na terenu

Na podlagi merjenj, ki jih izvajamo na fotogrametričnem instrumentu (merimo slikovne koordinate), lahko pridobimo prostorske koordinate detajlnih točk s transformacijo. Za tako pridobitev prostorskih koordinat potrebujemo stereopar. Stereopar tvorita dva posnetka enakega objekta iz dveh različnih stojišč A in B. Za pridobitev stereoeфекta je potrebno paziti, da se posnetka med sabo prekrivata z vsaj 50 % iste vsebine. Skušala sem zagotoviti 70 % preklap posnetkov, kar zagotavlja, da se točke, katerih prostorske koordinate želimo določiti, nahajajo na obeh posnetkih.

3.5 Izvedba terenskih meritev

Zaradi majhnih dimenzij geodetske mreže in sorazmerno majhnega objekta snemanja lahko rečemo, da meteorološki vplivi oziroma vremenske razmere ne vplivajo na rezultate opazovanj terestrične izmere.

Trenutek izvajanja terenskih meritev sem tako popolnoma prilagodila najbolj ugodnemu časovnemu obdobju oziroma vremenskim razmeram za izvajanje fotografij, ki so zelo podobne optimalnim pogojem za opravljanje terestričnih opazovanj.

3.5.1 Vzpostavitev geodetske mreže z girusno metodo

Mrežo tvorijo štiri točke geodetske mreže. Točke geodetske mreže sem na terenu predhodno ustrezno stabilizirala z žebli za beton ter signalizirala z barvnim sprejem. Tako vzpostavljene točke sem posnela z girusno metodo. Meritve sem izvajala v dveh girusih. Pridobljene količine (kote in dolžine) sem izravnala z metodo najmanjših kvadratov ter tako pridobila izravnane koordinate točk geodetske mreže. Izravnavo položajne mreže sem opravila s pomočjo programa RamWin (avtorja: Tomaž Ambrožič & Goran Turk, ver. 4.0. Dec 2002), medtem ko sem izravnavo višinske mreže naredila s kalkulatorjem. Višinsko mrežo sem prav tako izravnala po metodi najmanjših kvadratov.

Preglednica 2: Izravnane koordinate točk geodetske mreže

Oznaka točke geod. mreže	X [m]	Y [m]	Z [m]
P1	1015.907	999.491	10.000
P2	1017.826	985.097	10.006
P3	1003.229	987.083	10.021
P4	1000.000	1000.000	10.060

3.5.2 Detajlna izmera

Po opravljeni izravnavi sem pridobila izravnane prostorske koordinate točk geodetske mreže. Tako pridobljene koordinate točk geodetske mreže sem v nadaljnjem postopku obravnavala kot znane točke in jih v instrument vnesla kot dane količine (angl. fixed points). Ko sem se postavila na eno točko geodetske mreže, sem se orientirala na najbolj oddaljeno drugo točko mreže ter začela meriti detajlne točke. Detajlne točke sem merila s polarno metodo brez reflektorja. Izmerila sem vse karakteristične linije na jadrnici, in sicer njeno os, srebrno linijo (zgornji rob), ki se nahaja na modri površini ter sivo linijo (zgornji rob), ki deli modro od bele površine trupa jadrnice. Izmerjene karakteristične linije sem uporabila za primerjavo fotogrametrične metode s klasično geodetsko metodo. Izmerila sem tudi vse oslonilne točke ter kontrolne točke, ki sem jih predhodno označila s posebnimi tarčami. Na terenu sem se trudila voditi dobre skice, saj so le-te pomemben del terenskega dela. Kvalitetna skica je osnova učinkovitega dela na fotogrametričnem instrumentu.

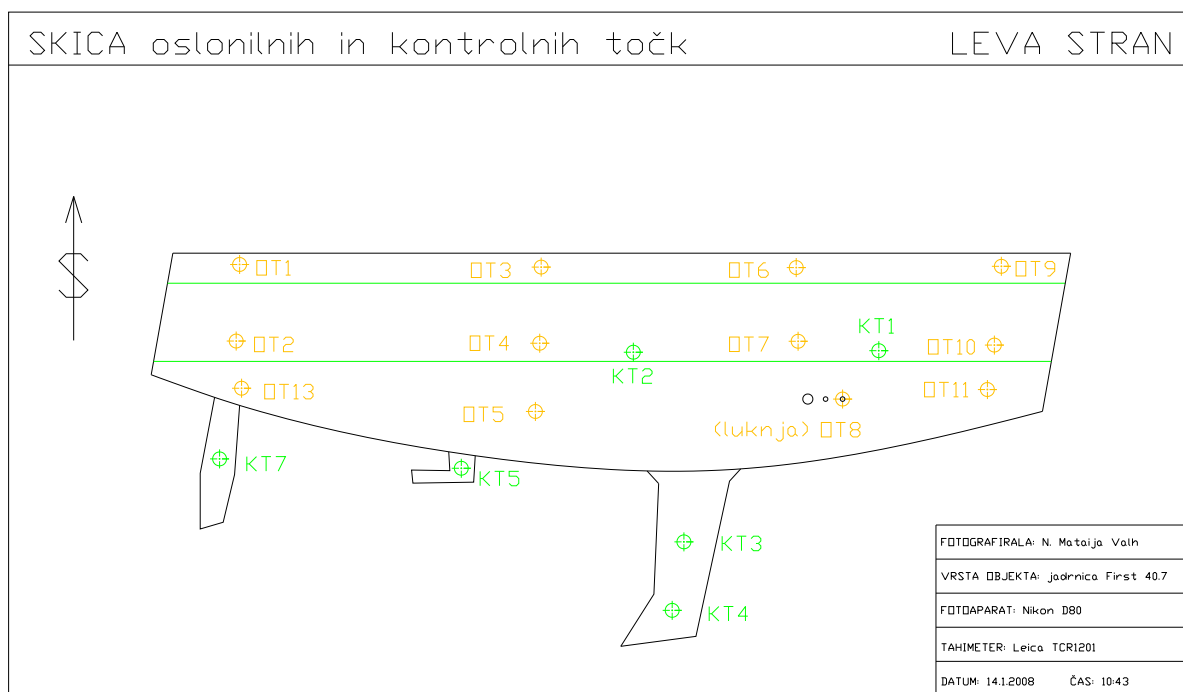
Pri fotografiranju objekta sem se držala pravil 3x3 – za izdelavo fotogrametrične arhitekturne dokumentacije (Kosmatin Fras, 2003). Ta pravila so bila moje vodilo v opravljanju terenskega dela, četudi moj projekt ni neposredno povezan s samo dokumentacijo kulturne dediščine, samo terensko delo se namreč ne razlikuje veliko. Pravila 3x3 vsebujejo 3 geometrijska pravila, 3 fotografska ter 3 organizacijska pravila.

Prvo geometrijsko pravilo, ki sem ga upoštevala, je zagotovitev merske informacije. Le-to sem zagotovila s terestričnimi meritvami. Drugo pravilo zahteva, da je objekt fotografiran z vsebinskim preklopom. Okoli jadrnice sem naredila "krog" posnetkov. Med sosednjimi fotografijami je približno toliko vsebinskega preklopa, da je vsak del objekta viden na najmanj dveh fotografijah (na enem stereoparu). Tretje in zadnje geometrijsko pravilo se

nanaša na snemanje stereofotografij. Smer snemanja stereoparov sem izbrala približno pravokotno na jadrnico. Bazo med posameznimi stojišči stereoparov sem skušala imeti približno enako, ravno tako sem postavila vsa stojišča na približno 5 m oddaljenosti od objekta snemanja.

Prav tako pomembna pravila za čim boljše opravljen terenski del naloge so fotografska pravila. Prvo fotografsko pravilo zahteva optimalno izbiro fotoaparata. Izbrala sem najboljši fotoaparati, ki sem ga imela na razpolago. Nikon D80 je zrcalno-refleksni digitalni fotoaparati z "zoom" objektivom, zato sem nastavila goriščno razdaljo na določeno vrednost ter jo tako nastavljen fiksiral s pomočjo lepilnega traku. Drugo pravilo opozarja na ohranitev notranje geometrije samega fotoaparata. Avtomatsko ostrenje sem izklopila ter sliko izostrila ročno. Ravno tako, ročno, sem nastavila vse ostale nastavitve (čas zaklopa, vrednost zaslonke, ISO). Tretje fotografsko pravilo opozarja na enakomerno osvetlitev posnetkov. Da bi pravilu zadostila, sem snemanje planirala zjutraj, ko je svetloba najbolj enakomerna. Dan, ki sem ga izbrala za opravljanje terenskega dela, je bil oblačen, kar mi je pomagalo pri izogibanju temnim sencam na posnetkih. Kljub temu pa so zadnji posnetki narejeni v sončnem vremenu, zato so nekatere sence prisotne.

Prvo od treh organizacijskih pravil je osnova vseh terenskih del in to je narediti dobre skice. Naredila sem pregledno tlorisno skico, na kateri je prikazana jadrnica (kot objekt snemanja), geodetska mreža, vsa stojišča snemanja in njihove identifikacijske številke, smeri fotografiranja, datum, čas, označba proti severu itd. Izdelala sem tudi skice za vsako stran jadrnice (levo, desno, spredaj in zadaj). Vsaki od teh skic je bilo, glede na to, da je jadrnica simetrična, potrebno podati oznako strani (leva ali desna) (slika 12).



Slika 12: Primer skice

Ker lupina jadrnice nima posebnih detajlov, ni bilo potrebe po izdelavi dopolnilnih skic. Naslednje pravilo zahteva izpolnitev protokola. V protokolu je potrebno opisati kraj, datum in čas fotografiranja. Opisati je potrebno uporabljen fotoaparatus, uporabljen objektiv, zapisati vse nastavitve. Konkretno protokola nisem izpolnila, sem pa vse potrebne informacije zapisala v skicah. Potrebno je bilo opisati objekt snemanja in po potrebi tudi ostalo. Tretje organizacijsko pravilo zajema zaključna dela, kar pomeni pregled posnetih stereoparov s strani mojih mentorjev.

3.6 Obdelava pridobljenih podatkov

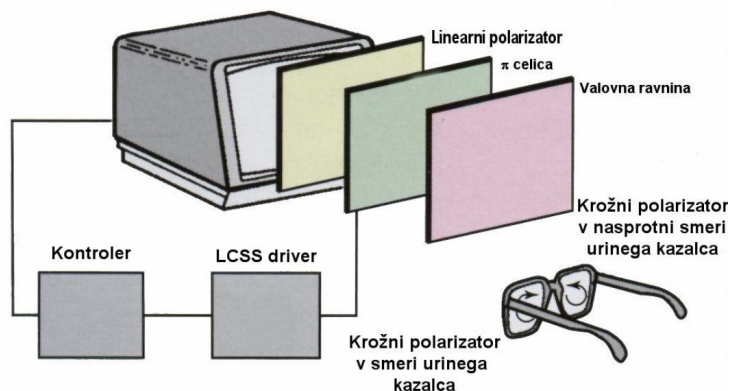
Po uspešno opravljenem terenskem delu sledi obdelava podatkov. Izdelane stereopare sem morala najprej ustrezno pripraviti, da bi lahko začela s samim postopkom izvedenja. Po določitvi parametrov notranje orientacije fotoaparata sem vse posnetke ustrezno prevzorčila po postopku, opisanem v poglavju 3.3.1 ter tako pridobila vhodne podatke za začetek stereoizvedenja.

3.6.1 Obdelava stereoparov na fotogrametrični postaji

Obdelava izdelanih stereoparov je potekala na digitalni fotogrametrični delovni DVP postaji. Ena izmed prednosti digitalnih fotogrametričnih postaj (če jih primerjamo z analitičnimi instrumenti) je v opazovanju digitalnih podob, kar ne zahteva posebnih mehanskih delov (pri analitičnih instrumentih opazujemo analogne posnetke, kar pogojuje potrebo po mehanskih delih kot so servo motorji za premikanje posnetkov, nosilci posnetkov idr.) (Kosmatin Fras M., 2003). Samo stereoskopsko opazovanje je lahko rešeno na več načinov, z aktivnimi ali pasivnimi očali. Delo na digitalni postaji ima prednosti ter slabosti. Kot eno izmed večjih prednosti ji pripisujemo združitev vseh postopkov v eni napravi. DVP postaja je fotogrametrični instrument in ima vgrajene algoritme za obdelavo podob, zagotavlja konstantno geometrijo in radiometrijo slike, omogoča izbiro velikosti in oblike merske marke (ki je digitalno projicirana v podobo) ter omogoča simultano obdelavo velikega števila slik. Kot eno izmed slabosti lahko omenimo veliko količino digitalnih podatkov, s katerimi operiramo, za kar je potreben daljši čas obdelave, vendar za današnje zmogljivosti računalnikov to ni več problem.

Bistvo naprave za 3R opazovanje (v mojem primeru bistvo digitalne fotogrametrične postaje) je v tem, da mora vsako oko ločeno zaznavati levi oziroma desni posnetek (simulacija stereoskopskega gledanja).

Digitalna fotogrametrična delovna postaja, na kateri sem obdelovala svoje stereopare, temelji na polarizacijski metodi. Operater potrebuje pasivna polarizacijska očala, ki v kombinaciji s posebnim zaslonom omogočajo 3R zaznavanje.



Slika 13: Princip polarizacijske metode

3.6.1.1 Transformacije koordinatnih sistemov

V poglavju 3.4.2 sem opisala koordinatni sistem, v katerem sem opravila terenske meritve. Ta koordinatni sistem je bilo treba za potrebe obdelave stereoparov na digitalni fotogrametrični postaji transformirati. Transformacijo je bilo potrebno opraviti, ker je fotogrametrična postaja v osnovi namenjena aerofotogrametriji. Zato sem objektni koordinatni sistem (lokalni koordinatni sistem XYZ) prilagodila tako, kot da bi meritve bile opravljene z aerofotogrametrijo. Koordinata X je nespremenjena, koordinato Y sem zamenjala s koordinato Z ter Z s koordinato Y in dodala negativen predznak ($X = X$, $Y = Z$, $Z = -Y$). S tako opravljeno transformacijo sem pridobila nove vrednosti vseh posnetih točk na terenu. Tako pridobljene koordinate sem uporabila v nadaljnjem postopku obdelave stereoparov na fotogrametrični postaji.

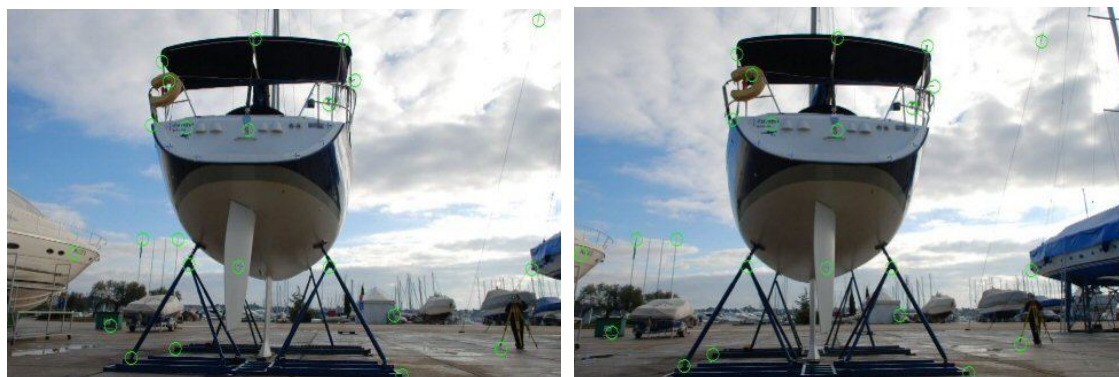
3.6.1.2 Orientacija stereoparov

Dvostopenjski postopek orientacije stereopara, kot nakazuje že samo ime, izvajamo v dveh stopnjah (glej poglavje 2.3.2).

Da bi lahko pričela s postopkom zajemanja 3R podatkov, je potrebno najprej tvoriti stereomodele oziroma opraviti orientacijo stereoparov. Prvi korak je pridobitev stereomodela

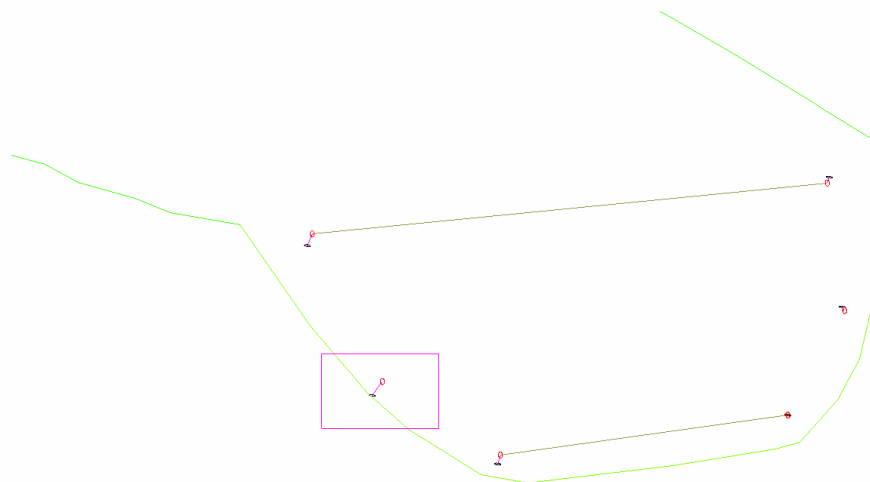
z relativno orientacijo (glej poglavje 2.3.2.1). Relativno orientacijo je bilo potrebno opraviti za vsak stereopar posebej oziroma vzpostaviti podoben relativni odnos med posnetkoma, kot je bil vzpostavljen v času same ekspozicije (odpravljamo paralakso y). Točke, na katerih odpravljamo paralakso (najmanj 5 točk), imenujemo po Von Gruberju in bi naj bile razporejene tako, da so razdalje med njimi čim večje.

Prvi in četrti stereopar sta težavna ne samo zaradi manjše zapolnjenosti posnetka z objektom snemanja, ampak predvsem zaradi pomanjkanja stabilnih detajlov, ki bi jih lahko uporabili pri izbiri točk za relativno orientacijo. Zato je bila izvedba njune relativne orientacije slaba. Četrti stereopar je v primerjavi s stereoparom številka 1 (pogled jadrnice od zadaj) predstavljal manj težav. Izkazalo se je, da je četrti stereopar (kljub preveliki površini neba v ozadju posnetkov) imel ravno dovolj točk za odpravljanje paralakse.



Slika 14: Točke relativne orientacije stereopara št. 4

Na sliki 14 so točke, na katerih sem odpravljala paralakso, označene z zelenim krogom. Iz slike je razvidno, da v levem zgornjem vogalu posnetkov ni nobene točke, ki bi jo lahko uporabili, kar ne zadostuje postavitvi točk za odpravljanje paralakse po Von Gruberju. Relativna orientacija sicer ni bila najboljša, je pa bila izvedljiva in tako sem lahko uspešno opravila tudi absolutno orientacijo ter začela z vektorizacijo. Zaradi slabše relativne orientacije je bilo potrebno vektorizirano vsebino v AutoCadu dodatno obdelati (sprememba merila). Odstopanja med merjenimi (meritve, opravljene s tahimetrom na terenu) in vektoriziranimi oslonilnimi točkami so znašala do 6 cm, kar je zadostovalo za uspešno zaključitev lupine jadrnice iz zadnje strani.



Slika 15: Odstopanja oslonilnih točk

Slika 15 prikazuje odstopanja koordinat izmerjenih oslonilnih točk z dvema različnima metodama. Odstopanje je prikazano s prostorskimi linijami, ponazorjenimi z roza barvo. Z rdečimi krogi so predstavljene oslonilne točke, merjene na DVP postaji, s črnimi pa oslonilne točke, merjene s tahimetrom. Oslonilna točka z največjim koordinatnim odstopanjem je točka OT19, vsebovana znotraj roza pravokotnika (odstopanje znaša 6 cm).

Stereopar številka 1 mi je povzročil velike težave. Zaradi nemogoče izvedbe relativne orientacije ter posledično absolutne orientacije nisem uspela zajeti kljuna jadrnice. To ne bi bilo tako pomembno, če bi kljun jadrnice lahko zajela iz stranskih stereoparov, vendar le-ti na kljunu niso imeli zadostnega preklopa (kljun jadrnice ni bil viden na obeh posnetkih stereopara, kar je osnova za stereoizvrednotenje). Problemi pri opravljanju relativne orientacije stereopara številka 1 so povzročili pomanjkanje detajla na robovih posnetkov, kjer se v mojem primeru nahajajo oblaki. Posnetka prvega stereopara nista imela nobene stabilne detajlne točke v zgornjem predelu posnetka (v levem in desnem zgornjem vogalu), kjer kraljujejo oblaki in zato je bila relativna orientacija neuspešna (glej sliko 16).



Slika 16: Točke relativne orientacije stereopara št. 1

Kot primer dobre relativne orientacije lahko podam kateri koli stranski stereopar. Vsi stranski stereopari so imeli lepo zapolnjena posnetka z objektom snemanja ter zadosti detajlov v ozadju, kar prikazuje slika 17:



Slika 17: Točke relativne orientacije stereopara št. 7

V praksi se za primere, ko je velik del posnetka pokrit z nebom ali vodno površino (npr. morje, jezero), poskušajo "umetno" ustvariti točke za odpravljanje paralakse. Situaciji, ki se pojavila na stereoparih 4 in 1, bi se lahko izognila, če bi postavila npr. lestev ali kakšno drugo konstrukcijo tako, da bi zapolnila zgornje vogale posnetkov. Zaradi pomanjkanja izkušenj na področju fotogrametrije sem se ujela v zanko in prvega stereopara nisem mogla uporabiti za zajem podatkov na osnovi fotogrametrične metode. Glede na to, da naknadne meritve jadrnice niso bile izvedljive zaradi tehničnih problemov (jadrnica so odpeljali), sem, da bi zaključila svoj 3R model jadrnice, uporabila opravljene klasične meritve, ki so bile prvotno namenjene le za opravljanje kontrole oziroma primerjave z zajetimi linijami na fotogrametrični postaji. Konstruiran del jadrnice, izdelan s pomočjo klasičnih geodetskih meritev, sem nato

predstavila z drugim odtenkom barve: svetlo modra in bela, medtem ko je ostanek lupine jadrnice (pridobljen iz fotogrametričnih meritev) predstavljen s temno modro in svetlo sivo (kar odgovarja barvam jadrnice v naravi).

Kot sem že opisala v poglavju 2.3.2.2, potrebujemo za izvedbo absolutne orientacije stereopara oslonilne točke. Transformacijo modelnega v objektni koordinatni sistem (absolutno orientacijo) sem izvajala po opravljeni relativni orientaciji. Teoretično za absolutno orientacijo zadostujejo 3 točke. Uporabila in izmerila sem vse vidne oslonilne točke na določenem stereoparu (približno 7 točk na stereopar). Natančnost absolutne orientacije, ki sem jo dosegla, ni bila nikoli slabša od enega cm (pri stranskih stereoparih). Zaradi prej navedenih razlogov moramo posebej obravnavati prvi in četrti stereopar. Za stereopar številka 1 absolutne orientacije nisem mogla opraviti (neuspešna relativna orientacija), za stereopar številka 4 je bila natančnost znatno slabša v primerjavi z enim od stranskih stereoparov, kar je razvidno iz priložene preglednice:

Preglednica 3: Vrednosti standardnih deviacij v postopku absolutne orientacije po vseh koordinatnih oseh

Številka stereopara	Mx [m]	My [m]	Mz [m]
1	-	-	-
2	0.005	0.001	0.004
3	0.007	0.005	0.006
4	0.075	0.085	0.426
5	0.007	0.002	0.004
6	0.004	0.002	0.006
7	0.002	0.002	0.005
8	0.002	0.002	0.002

3.7 Zajemanje na fotogrametrični postaji

Po opravljeni relativni in absolutni orientaciji sem lahko začela s postopkom zajemanja 3R podatkov. Na voljo sem imela več načinov za zajem različnih elementov: točke (za zajem oslonilnih in kontrolnih točk), linije, areali, polilinije (profili), krožni loki ... Vsakemu elementu se ob zajemu lahko pripišejo osnovni atributi (koda, barva, debelina, tip linije). Sledila je vektorizacija, ki sem jo realizirala v DVP modulu Vektorization.

3.7.1 Določitev koordinat oslonilnih in kontrolnih točk

Oslonilne in kontrolne točke sem vektorizirala z načinom za vektorizacijo točk. Zajela sem jih na začetku vektorizacije vsakega posameznega stereopara. Oslonilne točke sem med sabo dodatno povezala z linijo, saj bi tako hitreje ugotovila, če je prišlo do nepravilnosti – s primerjanjem dolžine med oslonilnimi točkami, merjenimi na fotogrametrični postaji ter dolžino, določeno na podlagi izmerjenih oslonilnih točk na terenu z geodetsko metodo. V preglednici 4 so pari oslonilnih točk razvrščeni tako, da imajo pred imenom točk podano dodatno oznako (L, D ali Z), ki predstavlja stran lupine jadrnice (na kateri se par točk nahaja). Oznaka L pomeni levo stran lupine jadrnice, oznaka D predstavlja desno stran in oznaka Z zadnji del lupine jadrnice.

Preglednica 4: Primerjava dolžin med parom oslonilnih točk, določenih s terestrično in fotogrametrično metodo

Dolžine med OT	$d_{\text{terestrična}}$ [m]	$d_{\text{fotogrametrična}}$ [m]	odstopanje [m]
L 1-2	0.531	0.523	0.008
L 1-3	3.234	3.237	-0.003
L 1-15	1.068	1.057	0.011
L 2-13	0.544	0.536	0.008
L 3-4	0.576	0.573	0.003
L 3-6	2.622	2.619	0.003
L 4-5	0.569	0.568	0.001
L 6-7	0.581	0.581	0.000
L 6-9	2.761	2.761	0.000
L 9-10	0.604	0.606	-0.002
L 10-11	0.603	0.600	0.003
D 20-26	2.010	2.022	-0.012
D 21-22	0.568	0.566	0.002
D 21-26	2.092	2.096	-0.004
D 21-27	2.685	2.676	0.009
D 22-23	0.625	0.625	0.000
D 24-25	0.656	0.649	0.007
D 25-26	0.359	0.353	0.006
D 27-28	0.556	0.554	0.002
D 27-30	3.115	3.118	-0.003
D 28-29	0.678	0.678	0.000
D 30-31	0.620	0.617	0.003
D 31-32	0.645	0.642	0.003
Z 15-16	0.441	0.444	-0.003

»se nadaljuje...«

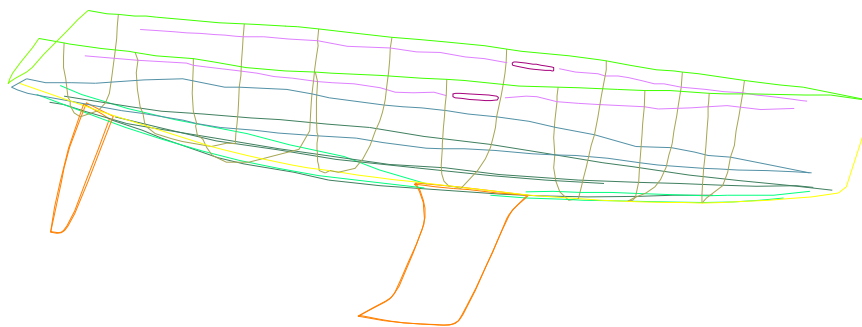
»...nadaljevanje«

Z 16-17	0.499	0.494	0.005
Z 17-18	1.285	1.282	0.003
Z 18-19	0.513	0.512	0.001
Z 19-20	0.528	0.530	-0.002

Vrednosti v preglednici so podane v metrih. Maksimalno predstavljeno odstopanje znaša približno 1 cm (odstopanje dolžin med oslonilnimi točkami številka 20 in 26 znaša 12 mm). Iz zgoraj podanih vrednosti izhajajo tudi srednje odstopanje, ki je 4 mm. Iz pridobljenih izkušenj lahko sklepam, da bi odstopanja bila manjša, če bi meritve oslonilnih točk na fotogrametrični postaji opravil bolj izkušen operater. Pridobljena odstopanja so precej majhna, je pa mogoče opaziti, da pri opravljanju meritev oslonilnih točk merska markica včasih ni bila najbolje nastavljena po višini. Pogreški, ki se pojavijo pri merjenju oslonilnih točk, so slučajne narave, zato so tudi odstopanja slučajno porazdeljena.

3.7.2 Vektorizacija značilnih linij jadrnice

Vektorizacijo lupine jadrnice sem pretežno opravila s polilinijami. Vse značilne profile lupine jadrnice sem zajemala s tem načinom zajema ter skušala linije med seboj sproti povezovati, saj bi kasnejše urejanje topologije vzelo veliko dodatnega časa. Ostalih oblik (npr. areali, linije, krožni loki ...) nisem uporabila, saj zato ni bilo potrebe. Rezultat zajem prikazuje slika 18.



Slika 18: Zajeta vsebina na DVP postaji

Zaradi pomanjkanja izkušenj pri delu na digitalni fotogrametrični DVP postaji ter s 3R gledanjem sem prvi zajem izvedla poizkusno. Zajete polilinije so bile zelo slabo zajete po višini. Položajno merske markice ni bilo težko nastaviti, po višini pa sem (ob pomanjkanju predhodnih izkušenj) odstopala tudi do 1 m. Potrebno je bilo torej pridobiti občutek za 3R gledanje in zajemanje.

Kot prve linije sem zajemala vzdolžne profile lupine jadrnice. Najprej sem zajela levi (na levi strani lupine jadrnice) in desni (na desni strani lupine jadrnice) zgornji rob srebrne črte, ki je razdeljena na dva segmenta – deli jih okno. Kot zadnje sem zajemala prečne profile, ki so že na oko znatno bolj zajeti in po višini ne odstopajo veliko. Sklepam lahko, da bi izkušen operater vsebino zajel bolj kvalitetno, pridobljeni podatki bi bili še boljši, model pa ustrezno bolj natančen. Kot sem že omenila v poglavju 3.4.1, je bilo zajemanje jadrnice precej težavno in to ne samo zaradi neizkušenosti, ampak tudi zaradi pomanjkanja detajlov, ki bi mi olajšali 3R percepcijo. Na beli in temno modri podlagi brez kakršnih koli dodatnih detajlnih točk za pomoč sem zelo težko pridobila oziroma videla 3R sliko ter posledično pravilno nastavila mersko markico.

4 IZDELAVA 3R MODELA

4.1 3R model jadrnice

Izdelava žičnega modela je ključnega pomena za kasnejšo izdelavo ploskovnega modela obravnavanega objekta.

Zelo pomembno je razlikovati žični model od ploskovnega modela. Žični model predstavlja le geometrično osnovo objekta, ploskovni model pa lahko vizualiziramo tako, da mu podamo zunanji izgled. S tem, ko sem iz fotogrametrično zajetih trirazsežnih podatkov izdelala objektni model, sem zaključila fotogrametrični del naloge. Vedeti je potrebno, da v praksi obstajata dve različni stopnji predstavitve samega objekta: najprej je potreben zajem podatkov ter izdelava objektnega modela, zatem sledita (kot opsijska nadgradnja) vizualizacija in animacija. Priznati je potrebno, da ko občudujemo fotorealistične vizualizacije objektov, ponavadi pozabimo na prvo fazo (zajem in objektni model), kar ni pravično (Janežič, 1996).

4.2 Grafična orodja CAD

Ekspanzivni razvoj računalniških grafičnih orodij CAD (angl. Computer Aided Design) nam omogoča vedno lažje in tudi enostavnejše modeliranje trirazsežnih podatkov, pridobljenih na različne načine (Janežič, 1996).

Za izdelavo modela sem uporabila program AutoCad (proizvajalec: Autodesk, verzija 2005), ne samo zaradi njegove splošne razširjenosti, temveč zato, ker program že poznam. 3R model, ki sem ga izdelala, zajema lupino jadrnice, kobilico (na sredini), ki jadrnici daje stabilnost v vodi ter smernik (zadaj), s katerim določamo smer plovbe – del oziroma vsebina jadrnice, pomembna za plovne lastnosti.

4.2.1 Program AutoCad

Program AutoCad omogoča različne poglede na model (zgoraj, spodaj, spredaj, zadaj, iz obeh strani, različne izometrične poglede). Zelo zanimivo je model obračati po lastni želji s

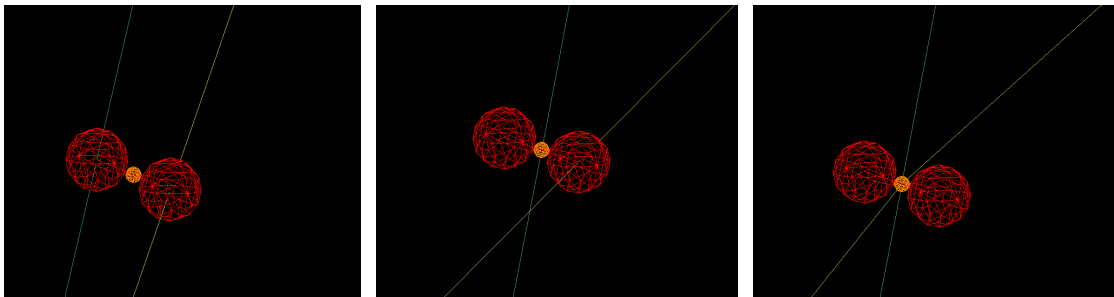
pomočjo *3D orbite* in si tako omogočiti lažjo predstavo o prostoru. Program nam omogoča delo po slojih (angl. layers), kar je velika prednost zlasti pri vklapljanju in izklapljanju nepotrebne vsebine.

Dobra lastnost AutoCad-a je tudi v tem, da ga je mogoče nadgrajevati. Lahko po želji programiramo določen programski modul, ga vključimo v AutoCad in si tako olajšamo nadaljnje delo. Za potrebe moje naloge sem uporabila le osnovne AutoCad-ove funkcije. Dejstvo je, da bi s kakšnim dodatnim programskim modulom, ki je ustvarjen ravno za potrebe 3R modeliranja, prihranila nekaj časa ter prišla do rezultata na hitrejši način (npr. programski paket 3D – razvili so ga na Inštitutu za geodezijo in fotogrametrijo, 3D Studio – Autodesk), a sem uporabila orodje, ki sem ga imela na razpolago.

4.2.2 Žični model

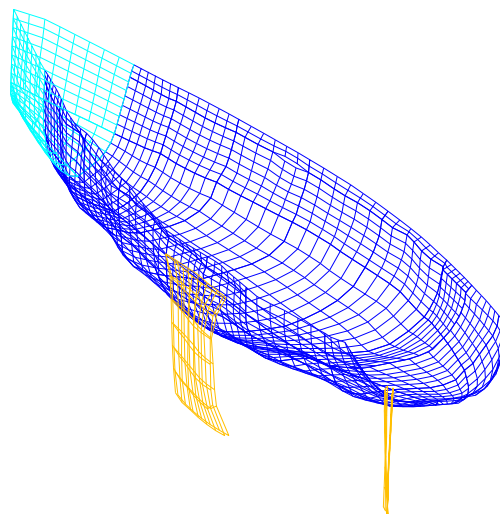
Zajem podatkov sem opravila na delovni fotogrametrični postaji, kjer sem praktično z zajemom prečnih ter vzdolžnih profilov jadrnice prišla do žičnega modela. Zajete linije sem uvozila v AutoCad, kjer je bilo potrebno urediti topologijo. Urejanja ni bilo veliko, saj sem že med samim zajemom pazila na topologijo ter linije med seboj povezovala z vozlišči.

Potrebno je bilo poiskati vsa presečišča med posameznimi prečnimi in vzdolžnimi profili, glede na to, da sem prečne profile zajemala naknadno in jih nisem povezovala z vzdolžnimi profili. Presečišča sem našla tako, da sem poiskala najkrajšo razdaljo (premico) med profiloma (prečnim in vzdolžnim) ter na sredini te premice naredila vozliščno točko. V vozliščno točko sem fizično premaknila lomni točki profilov, ki sta bili najbližje vozliščni točki – postopek prikazuje zaporedje na sliki 19.



Slika 19: Iskanje presečišča dveh prostorskih polilinj

Za izdelavo žičnega modela sem si pomagala z ukazom *edgesurf*, ki ustvari mrežo štirikotnikov znotraj predhodno definiranega območja. Območje, znotraj katerega sem želela ustvariti mrežo, sem opredelila s štirimi 3R polilinjami, ki so potrebne za izvedbo tega ukaza.

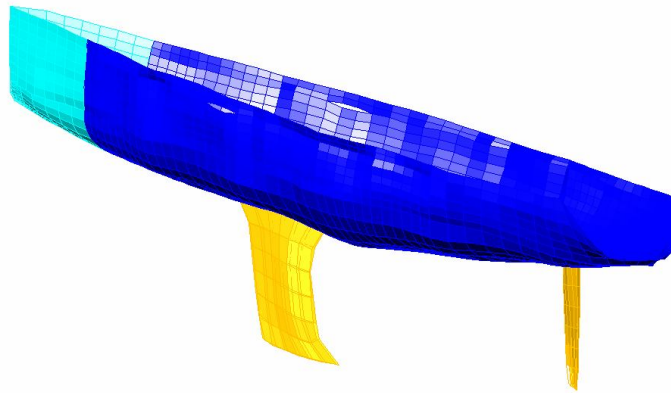


Slika 20: Žični 3R model lupine jadrnice

Število štirikotnikov mreže, ki se ustvari znotraj definiranih območij, je mogoče predhodno nastaviti z ukazoma *surftab1* in *surftab2*. Ponavadi sem izbirala število štirikotnikov na podlagi velikosti območja, ki sem ga želela zapolniti. Tako sem manjša območja zapolnjevala z manjšim številom štirikotnikov, večja območja pa z večjim številom štirikotnikov. Pravilo, ki sem ga skušala upoštevati, je bilo ustvarjanje približno enakih velikih štirikotnikov ter enakomernost njihove razporejenosti po celotnem območju jadrnice.

4.2.3 Ploskovni model

Naslednja stopnja je bila izdelava ploskovnega 3R modela jadrnice. V tem primeru je lupina jadrnice definirana s ploskvami. Ploskve sem tudi dodatno renderirala oziroma jih pobarvala z različnimi barvami. Najprej sem model jadrnice razdelila na 3 različne podatkovne sloje. V rumeni barvi sta prikazana smernik in kobilica jadrnice. S temno modro je prikazan izdelan model na podlagi fotogrametrične metode, medtem ko je s svetlo modro prikazan del modela, izdelan s pomočjo terestričnih meritev. Izdelan model sedaj lahko osvetlimo po lastnem okusu in želji, določeni koti osvetlitve nam podajo boljši plastičen izgled modela.



Slika 21: Renderiran žični 3R model lupine jadrnice

Tako izdelan ploskovni model je bilo potrebno še ustrezno obarvati. Za barvanje lupine jadrnice sem uporabila le dve barvi, taki kot sta v naravi, in sicer modro zgoraj ter belo spodaj, s tem da sem z različnimi odtenki označila del jadrnice, ki ni bil pridobljen na osnovi fotogrametrične metode.

5 REZULTATI IN ANALIZA

5.1 Primerjava rezultatov

Da bi lahko ocenili kvaliteto izdelanega izdelka, konkretno mojega 3R modela lupine jadrnice, je bilo potrebno opraviti nekatere dodatne meritve. Kot sem že opisala v poglavju 3.4.3, sem na trup jadrnice zalepila posebne tarče, ki so mi predstavljale oslonilne in kontrolne točke. Kontrolne točke, neposredno izmerjene na terenu ter tiste, določene na fotogrametrični postaji, podajo informacijo o natančnosti izdelka. Občutek o ustreznosti uporabe fotogrametrične metode dvoslikovnega izvrednotenja za izdelavo take vrste izdelka nam da tudi primerjava med izmerjenimi vzdolžnimi profili jadrnice na terenu in na postaji.

5.1.1 Primerjava meritev na kontrolnih točkah

Kontrolne točke, katerim smo določili slikovne koordinate s pomočjo stereomeritev, nam podajo podatek o natančnosti same orientacije modela (glej poglavje 2.3.1). S pomočjo kontrolnih točk lahko določimo tudi natančnost izmerjenih koordinat ostalih detajlnih točk (Kvaternik, 2007). V spodaj priloženi preglednici so podane koordinate kontrolnih točk, izmerjene s klasično geodetsko metodo in tiste s fotogrametrično metodo dvoslikovnega izvrednotenja.

Preglednica 5: Primerjava objektnih koordinat kontrolnih točk, določenih s klasično geodetsko in fotogrametrično metodo

Oznaka KT	X _{terestrična} [m]	Y _{terestrična} [m]	Z _{terestrična} [m]	X _{fotogrametrična} [m]	Y _{fotogrametrična} [m]	Z _{fotogrametrična} [m]	ΔX [m]	ΔY [m]	ΔZ [m]
1	1009.587	990.063	12.831	1009.585	990.060	12.829	0.002	0.003	0.002
2	1008.248	992.503	12.818	1008.228	992.450	12.815	0.020	0.053	0.003
3	1009.824	992.542	11.482	1009.824	992.536	11.479	0.000	0.006	0.003
4	1009.809	992.609	10.864	1009.795	992.601	10.863	0.014	0.008	0.001
7	1008.478	997.748	11.629	1008.444	997.721	11.636	0.034	0.027	-0.007
8	1008.578	997.882	11.570	1008.575	997.847	11.592	0.003	0.035	-0.022
9	1010.874	995.346	12.811	1010.888	995.363	12.810	-0.014	-0.017	0.001
10	1009.989	992.528	11.542	1010.000	992.531	11.538	-0.011	-0.003	0.004
11	1009.805	993.028	10.692	1009.824	993.032	10.693	-0.019	-0.004	-0.001
12	1011.455	990.196	12.722	1011.475	990.193	12.715	-0.020	0.003	0.007

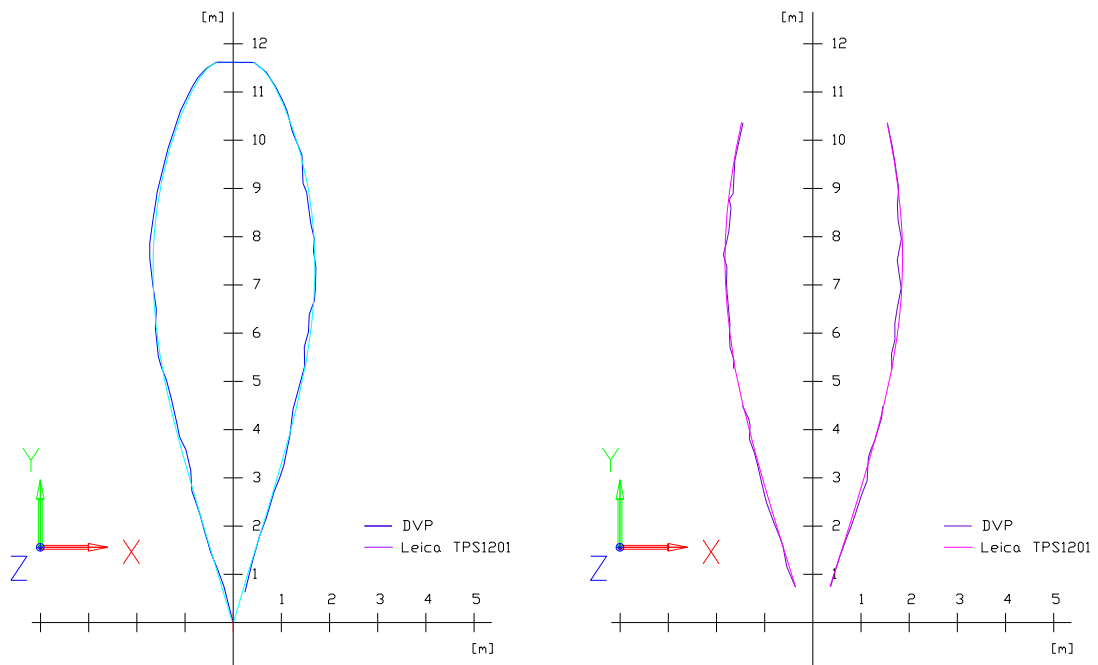
Iz preglednice 5 je razvidno, da posamezne koordinate kontrolnih točk (podane v objektne koordinatnem sistemu), merjene na dva različna načina, ne odstopajo veliko. Maksimalno odstopanje po X, ΔX znaša 3 cm (kontrolna točka številka 7), maksimalni ΔY znaša 5 cm (kontrolna točka številka 2), medtem ko znaša maksimalno odstopanje ΔZ le 2 cm (kontrolna točka številka 8).

Srednje odstopanje po X znaša 0.014 m, srednje odstopanje po Y znaša 0.016 m in srednje odstopanje po Z je 0.005 m. Iz tega je razvidno, da je najmanjše srednje odstopanje po višini, ki znaša 5 mm (mogoče velja dodatno opozoriti, da so zgoraj podane vrednosti predstavljene v objektne koordinatnem sistemu in ne v modelnem koordinatnem sistemu DVP postaje).

5.1.2 Primerjava meritev značilnih linij jadrnice

Na terenu sem s tahimetrom poleg oslonilnih in kontrolnih točk merila tudi določene karakteristične linije jadrnice (glej siko 9). Te meritve sem izvajala z namenom primerjave opravljenih meritev, pridobljenih z dvema različnima metodama. Najbolj nazorna je grafična primerjava istih linij, posnetih na dva različna načina. V poglavju 3.4.2 sem že opisala, na kakšen način in katere značilne linije lupine jadrnice sem posnela (zgornji rob srebne črte ter zgornji rob sive črte). Ti dve liniji sem izbrala zato, ker sta tovarniško nanešeni na obe strani trupa jadrnice in posledično nedvoumno definirani.

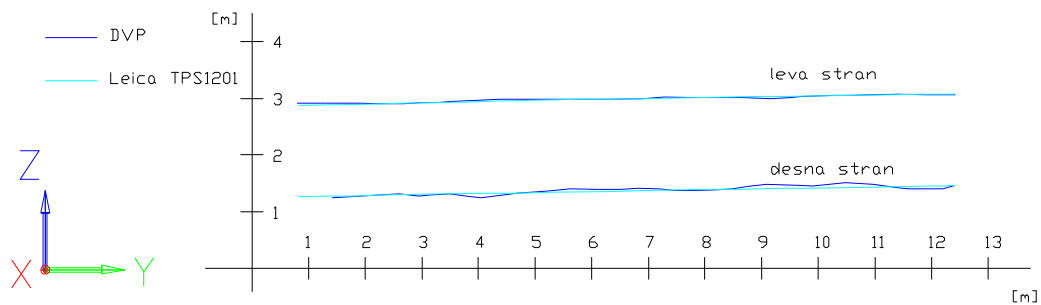
Slika 22 prikazuje grafično odstopanje dveh metod pridobivanja 3R podatkov. Leva slika predstavlja grafično odstopanje izmerjenega zgornjega roba sive linije (ki deli modro od belega dela jadrnice) na obeh straneh lupine jadrnice. Linija, ki je predstavljena s svetlejším odtenkom modre barve, je merjena s tahimetrom, temnejši ton pa predstavlja meritve, pridobljene na digitalni fotogrametrični postaji. Z roza odtenki je prikazan izmerjen zgornji rob srebne linije na obeh straneh lupine jadrnice. Linija, ki je predstavljena z roza barvo, je merjena s tahimetrom, s temnejšim roza odtenkom (vijolična barva) so predstavljene meritve, opravljene na digitalni fotogrametrični postaji.



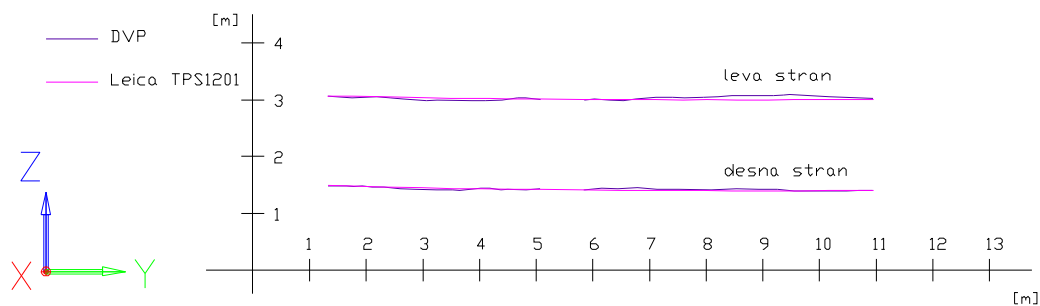
Slika22: Grafična primerjava meritev, pridobljenih z dvema različnima metodama – tlorisni prikaz – ravnina XY

Tlorisni prikaz omogoča spremljanje odstopanj v XY ravnini, kar se lepo vidi na roza linijah, ki sta nekoliko bolj "nazobčani" kot modri liniji (na DVP postaji sta bili zajeti prej, kar pomeni manj izkušeno). Ta dva primera dokazujeta, da je izkušen operater zelo pomemben faktor pri pridobivanju dobrih podatkov s fotogrametričnimi metodami oziroma da vaja dela mojstra.

Stranski risi grafičnih odstopanj istih karakterističnih linij predstavljata naslednji sliki (23 in 24):



Slika 23: Grafična primerjava meritev, pridobljenih z dvema različnima metodama – ravnina YZ



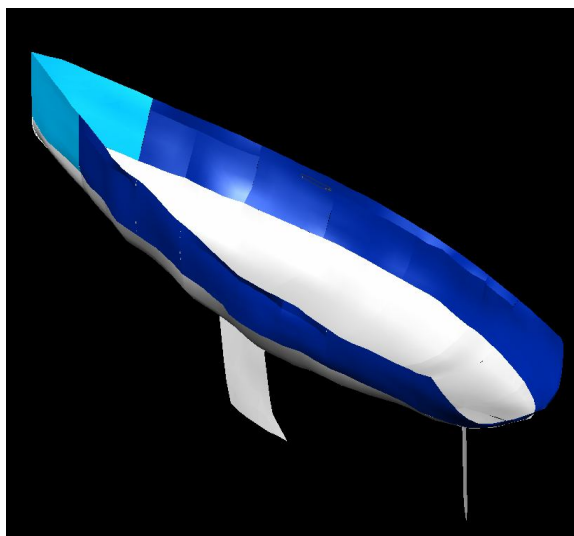
Slika 24: Grafična primerjava meritev, pridobljenih z dvema različnima metodama – ravnina YZ

Sliki 23 in 24 predstavljata odstopanje podatkov, pridobljenih z dvema različnima metodama (geodetsko in fotogrametrično) v ravnini YZ objektnega koordinatnega sistema, v prvem primeru merjenega zgornjega roba sive linije (slika 23), v drugem primeru merjenega zgornjega roba srebrne linije (slika 24).

5.2 3R model jadrnice First 40.7

Spodaj priložena slika (slika 25) prikazuje končni izdelek, 3R model lupine jadrnice First 40.7, pridobljen na osnovi fotogrametrične metode dvoslikovnega izvrednotenja. Model je prikazan v dveh različnih barvah, svetlo sivi, ki nadomešča belo barvo in modri. Glede na to,

da izdelan 3R model ni pridobljen izključno na osnovi fotogrametrične metode, sem prikazala tisti del, ki je pridobljen iz meritev, opravljenih s tahimetrom, z drugačnim, svetlejším odtenkom modre (s svetlo modro) in popolnoma belo barvo (glede na to, da sem tisti del modela, pridobljen na osnovi fotogrametrične metode, ki je bele barve, prikazala s svetlo sivo – zaradi boljše vidljivosti). Zaradi nastavitve osvetlitve (ki modelu podajajo sence in boljšo plastičnost) mogoče zgleda svetlo siva površina modela jadrnice bela, zato naj povem, da se del modela, ki ni pridobljen na osnovi fotogrametrične metode, nahaja pod svetlejším odtenkom modre barve.



Slika 25: Končni izdelek – 3R model lupine jadrnice

Zaradi veliko bele barve, ki tvori izdelan 3R model, sem ustvarila črno ozadje, na katerem pride model bolje do izraza. V prilogi H je podanih več prikazov končnega izdelka iz več različnih zornih kotov.

5.3 Uporaba metode

Celotno nalogo sem si zastavila tako, da je njen končni cilj konkreten izdelek, in sicer 3R model lupine jadrnice. Začetna ideja je bila primerjava pridobljenega 3R modela lupine jadrnice s projektno dokumentacijo, ker pa le-te nisem uspela pridobiti, sem opravila dodatne meritve jadrnice s tahimetrom.

Poskusila sem pridobiti tudi drugačno vrsto meritev istega objekta (meritve, izvedene s terestričnim laserskim skenerjem, kjer se laser med snemanjem ne premika), tako da sem se obrnila na podjetje, ki je izdelalo obravnavani model jadrnice, vendar brez uspeha. Ideja je bila primerjati ti dve metodi ter videti, ali bi lahko uporabljena fotogrametrična metoda za pridobitev 3R modela bila dovolj dobra za potrebe proizvajalca. Proizvajalec jadrnic opravlja določene simulacije, s pomočjo katerih testirajo njene zmogljivosti in lastnosti (vodni upor, stabilnost itd.). Da bi takšne simulacije sploh lahko izvedli, potrebujejo 3R modele teh istih jadrnic. Trenutno je laserska tehnologija v zagonu in lahko rečemo, da je tudi nekako "bolj popularna" od klasičnih fotogrametričnih metod. Predvidevam, da imajo večji proizvajalci jadrnic tudi svoje laserske skenerje ali vsaj naročijo izdelavo 3R modela s tako metodo (za potrebe kontrol, usklajevanja s projektno dokumentacijo, izdelavo simulacij itd.), ker je praktični zajem precej hitrejši. Število podatkov, pridobljenih z laserskim skenerjem je veliko večje kot s fotogrametrično metodo, je pa tudi res, da je veliko podatkov tudi nepotrebnih (v primeru izdelave 3R modela jadrnice). Prednost fotogrametričnih metod so predvsem tematski podatki (podobe, barve, tonske vrednosti), ki so sestavni del stereopara.

Če bi fotogrametrični postopek za pridobitev 3R modela lupine jadrnice postal rutiniran, bi bila pridobitev 3R modela relativno hitra. Sama obdelava modela v CAD programih pa bi bila verjetno hitrejša kot v primeru obdelave podatkov, pridobljenih z laserskim skenerjem.

Terestrični laserski skenerji omogočajo zelo hiter zajem velikega števila podatkov, zato počasi zamenjujejo klasične instrumente za potrebe določenih praktičnih geodetskih nalog, kot so npr. meritev gradbenih objektov (mostovi, tuneli ...), meritev deformacij na jezovih, topografska izmera, arheološka izmera, snemanje fasad idr. Laserski skenerji so instrumenti, ki merijo dolžino do pasivnega signala tako, da širijo laserski snop žarkov v vertikalni in horizontalni smeri. Na ta način laserski skener skenira prostor, ki ga obdaja. Rezultat laserskega skeniranja je nebuloza 3R točk (mnogobrojne točke, podane s 3R koordinatami, pridobljene iz merjenih polarnih koordinat α , ζ in s z georeferenciranjem), ki predstavlja skeniran prostor oziroma objekt v prostoru. Če govorimo o natančnosti laserskih skenerjev, moramo vedeti, da se le-ta lahko razlikuje (natančnost je različna za različne produkte in različne instrumente) ter je odvisna od natančnosti določitve dolžin in kotnih merjenj.

Natančnost, ki jo dosežejo, lahko znaša od ± 0.5 mm za 5 m oddaljenosti od objekta snemanja, do ± 50 mm za 1000 m oddaljenosti (Karamustafić, 2007). Zato menim, da bi bil moj 3R model uporaben za izvajanje določenih simulacij, za opravljanje natančnih testiranj zmogljivosti modela jadrnice pa menim, da bi bili potrebni boljši podatki.

Druga uporaba takega izdelka je zagotovo v računalniških animacijah, modernih realističnih računalniških igrah. V zadnjem obdobju so na pohodu tudi računalniške 3R animacije v filmski industriji – veliko raznih filmov nastaja na podlagi 3R animacij, katerih osnova so 3R modeli (lahko samo pomislimo na filmsko uspešnico Titanic (režiser: James Cameron, 1997) in takoj bo jasno, o čem govorim – tipična 3R animacija). Da bi se animacija lahko ustvarila, je potrebno ustvariti 3R model ladje. Take animacije se lahko izdelujejo v grafičnih programih, kot so npr. 3ds max (Autodesk), Abobe flash (Adobe), kjer je najprej potrebno ustvariti določene gradnike, da bi lahko ustvarili samo animacijo. 3R model ladje je potrebno ustvariti kot gradnik oziroma objekt ter ga zatem umestiti v prostor. Za take namene bi teoretično lahko uporabili tudi predstavljeno metodo izdelave 3R modela jadrnice, a verjetno ni potrebe po metrično tako kakovostnem izdelku. V taki panogi uporabe 3R modelov je pomembnejši izgled kot sama natančnost izdelka. Pomembna je verodostojnost zunanjšega izgleda objekta in ne kakovost samega modela.

Omeniti moramo tudi realistične računalniške igre, ki so trend med uporabniki različnih starosti, kjer so poleg "bitk", ki se vodijo na kopnem, prisotne tudi "bitke" na morju. S fotogrametričnim dvoslikovnim izvrednotenjem se lahko izdelata 3R realistični model kateregakoli plovila (čolna, ladje, jadrnice idr.), ki bi se kasneje uporabil v računalniški igri, a v takem primeru je spet pomembnejši lep izgled objektov, manj pomembna pa je njihova matrična kakovost.

5.4 Napotki za optimalno pripravo ukrivljenega objekta snemanja

Po uspešno zaključenem projektu ustvarjanja 3R modela lupine jadrnice sem pridobila pomembne izkušnje na tem področju. Po tako pridobljenih izkušnjah bi bila izdelava novega modela nekega drugega plovila (jadrnice, čolna, ladje itd.) znatno bolj hitra in kakovostna.

Določene faze pridobitve podatkov bi znatno olajšala s preprostimi triki. Če imamo željo po izdelavi 3R modela nekega plovila, si bomo delo olajšali, če bomo sledili naslednjim napotkom.

Predhodna izdelava plana merjenja je ena od ključnih stopenj pri kasnejši enostavnejši pridobitvi in obdelavi podatkov. Za zelo pomemben dejavnik se je izkazala pravilna izbira merila posnetkov. Pozorni moramo biti na oddaljenost od objekta snemanja oziroma na zapolnjenost posnetkov z objektom snemanja. Pri snemanju kljuna in zadnjega dela jadrnice bi bilo veliko bolje, če bi izbrala drugo merilo oziroma če bi se objektu bolj približala in na tak način bolj zapolnila posnetek. Glede na to, da sem kobilico in smernik zajela iz stranskih stereoparov, bi se lahko (pri snemanju prednjega in zadnjega dela plovila) jadrnici bolj približala, na ta način bi bila lažja tudi izvedba relativne orientacije. Relativne orientacije za kljun jadrnice nisem uspela opraviti, saj nisem imela dovolj dobro razporejenih točk za odpravljanje paralakse. Točke (za odpravljanje vertikalne paralakse) bi si lahko zagotovila tudi tako, da bi pred fotoaparatom v zgornje vogale posnetkov (ki so bili v mojem primeru zapolnjeni z nebom, oblaki) postavila npr. lesene deske ali podobno. Če bi na tako postavljenih konstrukcijah označila določene točke z vizirnimi križi, bi le te lahko služile kot točke pri izvedbi relativne orientacije. Druga pomembna in zelo koristna stvar bi bile dodatno označene točke na samem trupu lupine jadrnice. Kot sem že omenila, sem imela veliko težav pri 3R zajemanju ravno zaradi pomanjkanja detajlov na lupini jadrnice in pomanjkanja izkušenj za delo na fotogrametričnem instrumentu. Barvi jadrnice, bela in modra, sta zahtevni za 3R percepcijo in ker nisem imela nobenih detajlov po lupini, sem včasih imela veliko težav s pravilnim nameščanjem merske markice po višini. To težavo bi eliminirali, če bi na terenu na lupino projicirali laserski raster. Glede na to, da sem meritve izvajala na odprtem (in ne v skladišču ali hali), projekcija rastra ni prišla v poštev, isti učinek pa bi lahko dosegla, če bi si po belem delu trupa nalepila majhne kvadratke iz črnega lepilnega traku in po modrem delu nalepila enake kvadratke bele barve. S takšnimi lepilnimi trakovi ni mogoče poškodovati lupine, točke pa bi pripomogle k lažjemu nameščanju merske markice na fotogrametričnem instrumentu. Druga možnost je, da bi z lepilnim trakom ustvarila prečne profile po celotni lupini ter na fotogrametrični postaji zajemala umetno ustvarjene linije (kot vzdolžne profile uporabila tovarniško nanešene barvne linije, ki jih je bilo premalo). Zadnja, a nič manj pomembna stvar, na katero je potrebno biti pozoren je, da imamo kljun in zadnji del jadrnice

zajet vsaj na dveh stereoparih. Če bi imela več izkušenj, bi zagotovo opazila, da iz stranskih stereoparov ne morem zajeti kljuna ter zadnjega dela lupine (saj se nista nahajali na obeh posnetkih stereopara). Če bi iz stranskih stereoparov imela posnet kljun ali zadnji del jadrnice, ne bi potrebovala dodatnih meritev za konstrukcijo modela. 3R model jadrnice bi bil tako v celoti izdelan na osnovi fotogrametrične metode.

Potrebno se je zavedati, da za pridobitev dobrih 3R podatkov na fotogrametričnem instrumentu potrebujemo izkušnje. Izkušnje pa lahko pridobimo samo z delom na takem inštrumentu. Zadosti pove podatek, da je nekoč trajalo uvajanje operaterja za delo na analogni fotogrametrični postaji več kot pol leta. Lahko smo samo hvaležni, da je za osvojitve dela na digitalni fotogrametrični postaji potrebno znatno manj časa. Lahko povem, da sem s tremi tedni prakse na digitalni fotogrametrični postaji pridobila kar dobre podatke ter ustvarila dokaj dober 3R model lupine jadrnice.

6 ZAKLJUČEK

Cilj, ki sem si ga zastavila, izdelava 3R modela lupine izbranega modela jadrnice na osnovi fotogrametrične metode, sem tudi dosegla. Tako sem dokazala, da je s pomočjo dvoslikovnega izvrednotenja in amaterskega fotoaparata mogoče pridobiti 3R podatke zadovoljive in dobre kakovosti ter jih uporabiti za izdelavo 3R modela v ustreznem grafičnem programu.

Izdelan 3R žični model jadrnice sem dodatno nadgradila in tako ustvarila ploskovni 3R model. Ploskovni model je mogoče ustrezno obarvati, tako da dobimo realističen prikaz jadrnice. Izdelan 3R model se lahko uporabi za testiranje zmogljivosti jadrnice ali pa se uporabi v različnih simulacijah, animacij ali vizualizacijah.

Tekom opravljanja naloge sem spoznala pomembnost dobre priprave plana snemanja, pazljive priprave objekta snemanja, skrbno opravljenega terenskega dela ter kakovostno zajetih 3R podatkov (na digitalni fotogrametrični postaji) za potrebe izdelave čim boljšega modela. Uporaba amaterskega (nemetričnega) fotoaparata je za izdelavo take vrste izdelka popolnoma primerna. Za uporabljeni fotoaparatus je bilo potrebno le določiti parametre notranje orientacije s postopkom kalibracije. Celotna naloga mi je pomagala pridobiti dragocene izkušnje, predvsem glede terenskega dela (izdelavo čim boljših stereoparov in čim boljšo pripravo objekta snemanja) in dela na digitalni fotogrametrični postaji (3R gledanje in zajem). Spoznala sem, da je izkušen operater ob predpostavki, da je terensko delo dobro opravljeno, ključnega pomena za pridobivanje dobrih in kakovostnih podatkov na DVP postaji. Le-tako lahko uporabimo zajete podatke za izdelavo dobrega žičnega posledično pa tudi ploskovnega 3R modela izbranega objekta.

VIRI

Albertz, J., Wiedemann, A. From analogue to digital close-range photogrammetry.
<http://www.al-wie.de/lit/IstCR.pdf> (9. 1. 2008)

Behan, A., Moss, R. 2006. Close-Range Photogrammetric Measurement and 3D Modelling for Irish Medieval Architectural Studies.
http://www.dit.ie/DIT/built/spatial/spatial/PDFs/Behan_Moss_CIPA2006.pdf (9. 1. 2008)

Bric, V., Grigillo D., Kosmatin Fras, M. 2001 Fotogrametrija : gradivo za strokovni izpit iz geodetske stroke. Gradivo za pripravo na strokovni izpit iz geodetske stroke, Geodezija : osnovni geodetski sistem, geodetska izmera, inženirska geodezija, topografija in kartografija, fotogrametrija, daljinsko zaznavanje. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije, str. 1-22.
http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni_izpiti/msgeo/Fotogrametrija.pdf (7. 1. 2008)

Dobričič, L., Kosmatin Fras, M. 2006. Izdelava metričnih modelov stavb z nizkocenovnim orodjem. Geodetski vestnik, 50, 1: 25-36.

Gruen, A., Remondino, F., Zhang, L. Modeling and visualisation of the great Buddha statue in Bamiyan, Afghanistan.
http://www.photogrammetry.ethz.ch/trasp_workshop/papers/gru_r_li.pdf (10. 1. 2008)

Gorjup, Z. 2001. Temelji fotogrametrije in postopki izrednotenja. Ljubljana, UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Gorjup, Z. 1991. Fotogrametrija. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije:174 str.

Habib, A. F., Ghanma, M. S., Tait, M. 2004. Integration of lidar and photogrammetry for close range applications.
<http://www.isprs.org/istanbul2004/comm5/papers/697.pdf> (9. 1. 2008)

Janežič, M. 1996. Izdelava tridimenzionalnih modelov objektov kulturne dediščine iz fotogrametrično zajetih podatkov = Creating 3D Models of Objects of Cultural Heritage from Photogrammetric data. Vestnik, Fotogrametrija kot metoda dokumentiranja kulturne dediščine, sodobne tehnologije. XV: 57-82

Karamustafić, A. 2007. Razvoj i stanje terestričkog geodetskog instrumentarija. Diplomski rad. Sarajevo, Univerzitet u Sarajevu, Građevinski fakultet, Odsjek za geodeziju: 106 f.

Kraus, K. 2006. Fotogrametrija, 1. Dio, Osnove i standardni procesi, Četvrto i prošireno izdanje. Zagreb, Sarajevo, Synopsis d.o.o.:346 str.

Kosmatin Fras, M., 2003. Fotogrametrija I, Tehnično dokumentiranje kulturne dediščine, Predavanja šolsko leto 2003/2004

Kosmatin Fras, M., 2003. Fotogrametrija I, Fotogrametrični inštrumenti in sistemi za 3D opazovanje, Predavanja šolsko leto 2003/2004

Kosmatin Fras, M., 2005. Fotogrametrija III, Tehnologija laserskega skeniranja, Predavanja šolsko leto 2005/2006

Kosmatin Fras, M. 1996. Arhitekturna fotogrametrija v spomeniškem varstvu – opis strokovnih metod in izdelkov za uporabnike = Architectural Photogrammetry in Heritage Preservation – A Description of Methods and Products. Vestnik, Fotogrametrija kot metoda dokumentiranja kulturne dediščine, sodobne tehnologije. XV: 19-39

Kvaternik, T. 2007. Test stabilnosti parametrov notranje orientacije digitalnega fotoaparata. Diplomsko naloga. Ljubljana, UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo.

Nakada, R., Chikatsu, H. Generating 3D model of "Meguro Residence" using Digital Armature Camera.

http://www.photogrammety.ethz.ch/trasp_workshop/papers/nakada.pdf (9. 1. 2008)

Zhang, Z. 1998, A flexible new technique for camera calibration – Technical report. Redmond, Microsoft research, Microsoft corporation.

<http://research.microsoft.com/~zhang/Papers/TR98-71.pdf> (7. 1. 2008)

PRILOGE

Priloga A: Posneti stereopari

Stereopar številka 1 – stojišči S1A in S1B:



Stereopar številka 2 – stojišči S2A in S2B:



Stereopar številka 3 – stojišči S3A in S3B:



Stereopar številka 4 – stojišči S4A in S4B:



Stereopar številka 5 – stojišči S5A in S5B:



Stereopar številka 6 – stojišči S6A in S6B:



Stereopar številka 7 – stojišči S7A in S7B:



Stereopar številka 8 – stojišči S8A in S8B:



Priloga B: Poročili o opravljeni kalibraciji pred in po snemanju

Poročilo o kalibraciji: kalibracija pred snemanjem jadrnice

3018.307440 0.234847 1310.893783
0.000000 3019.910006 1935.083062
0.000000 0.000000 1.000000

-0.160639 0.115398

RMSE = 0.810829

0.992241 0.050094 0.113789
-0.011135 0.947362 -0.319969
-0.123828 0.316220 0.940570
-199.500045 -206.582944 477.820650

0.961496 0.072354 -0.265122
0.021551 0.941898 0.335207
0.273972 -0.328014 0.904072
-200.965142 -293.905979 546.527328

0.998189 0.026956 0.053771
-0.041470 0.955940 0.290619
-0.043568 -0.292322 0.955327
-201.213758 -276.012968 603.106266

0.987416 0.006147 -0.158027
-0.037855 0.979382 -0.198441
0.153549 0.201925 0.967289
-163.589637 -218.296019 432.101387

Poročilo o kalibraciji: kalibracija po snemanju jadrnice

3004.693489 0.495739 1303.806172
0.000000 3003.207170 1939.765375
0.000000 0.000000 1.000000

-0.158226 0.107927

RMSE = 0.823879

0.998736 0.036532 -0.034518
-0.041839 0.984854 -0.168262
0.027848 0.169494 0.985138
-191.374070 -228.512948 452.219375

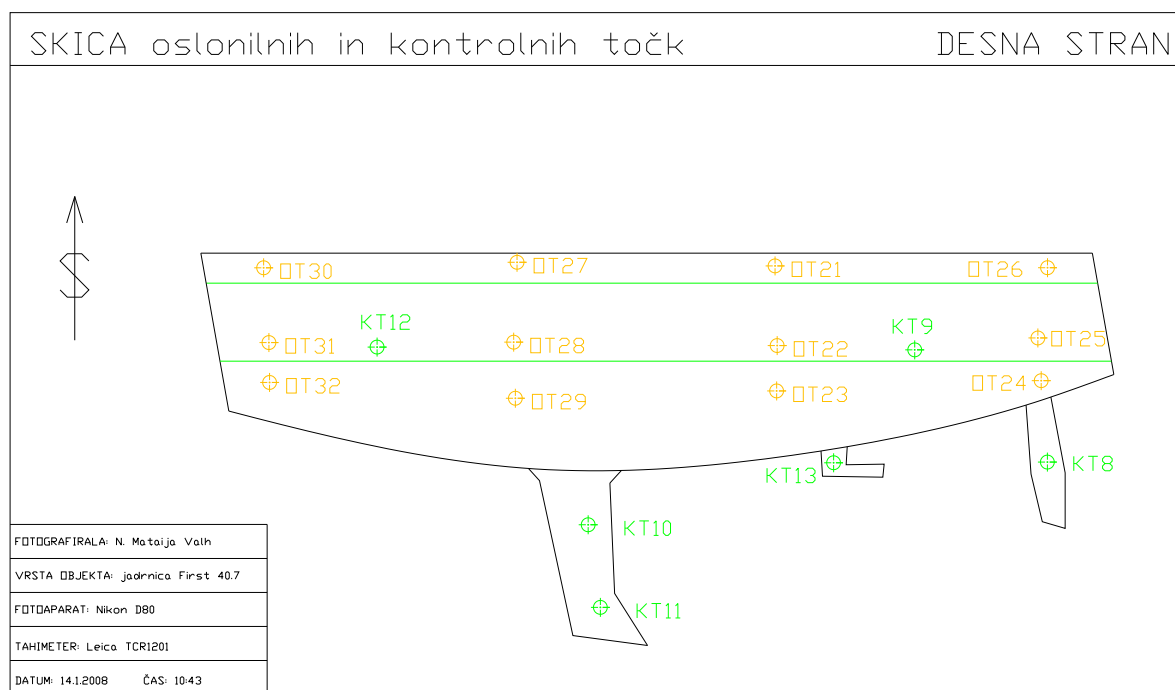
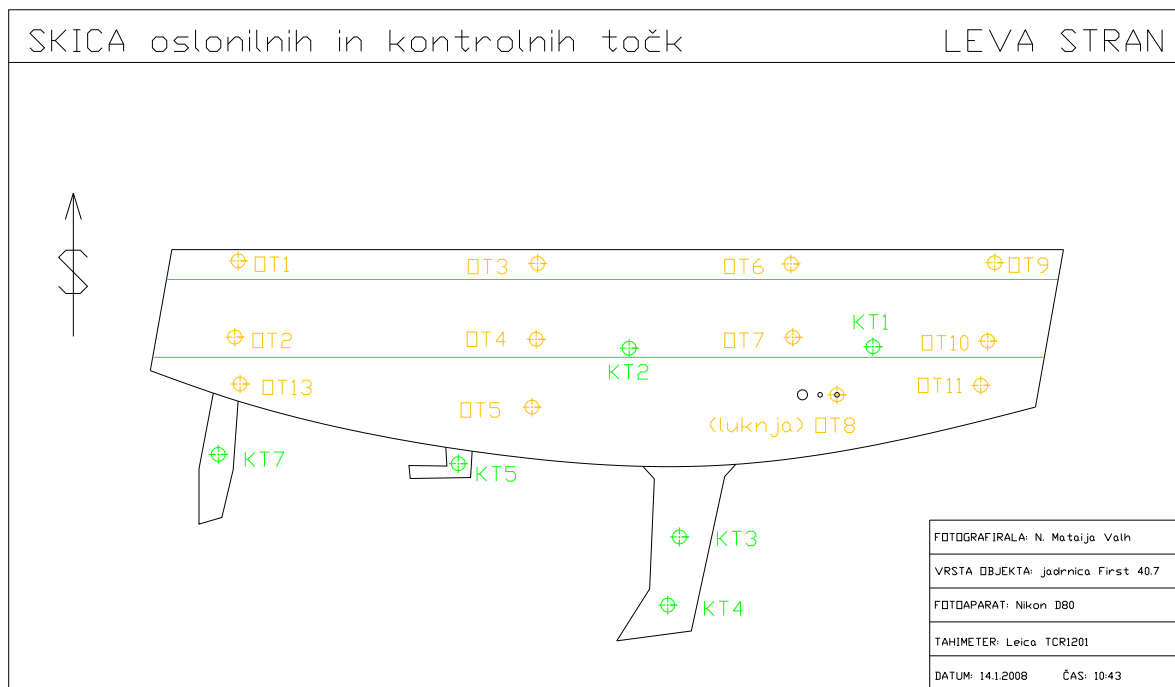
0.963312 0.031113 -0.266574
-0.086552 0.976203 -0.198836
0.254044 0.214614 0.943081
-154.056036 -230.900024 408.952445

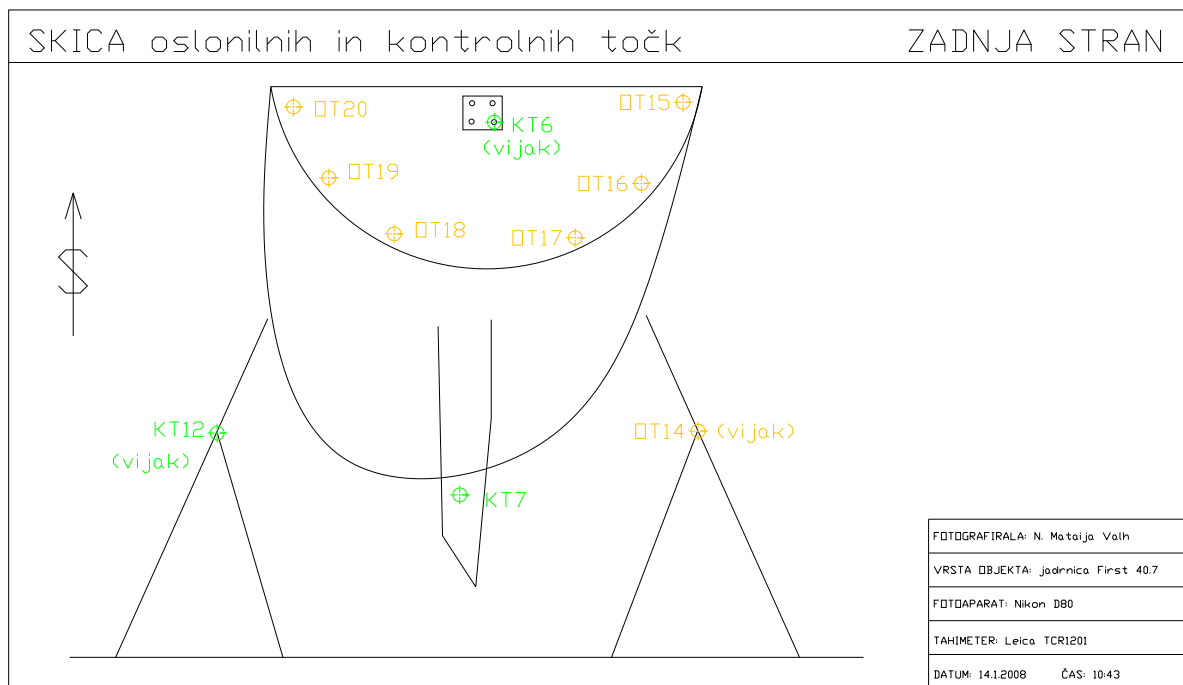
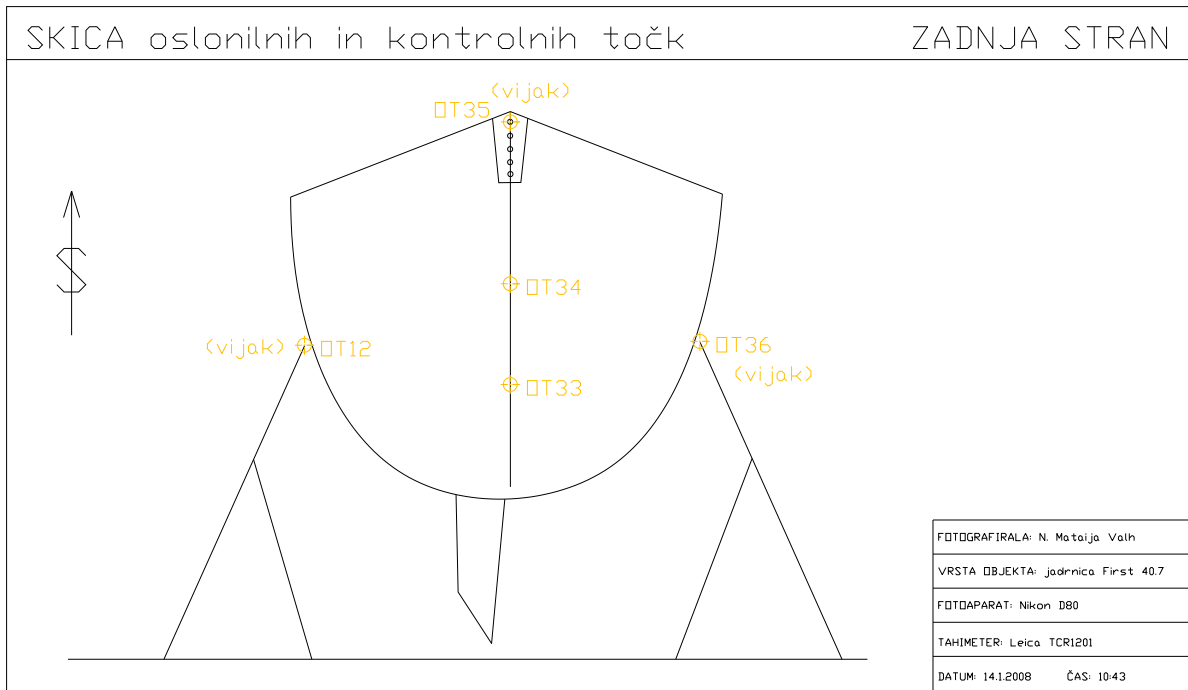
0.961624 0.067520 -0.265934
0.027280 0.940916 0.337541
0.273012 -0.331842 0.902965

-181.279025 -288.542967 563.314317

0.999070 0.041543 -0.011550
-0.037297 0.967021 0.251952
0.021636 -0.251287 0.967671
-197.539854 -316.698645 581.115116

Priloga C: Skice objekta merjenja (označeni položaji oslonilnih in kontrolnih točk)





Priloga D: Koordinate oslonilnih in kontrolnih točk v objektnem koordinatnem sistemu

OT1	1007.0932	996.626	13.550
OT2	1007.2462	996.6207	13.042
OT3	1007.7375	993.4565	13.554
OT4	1007.826	993.4677	12.985
OT5	1008.0459	993.5648	12.469
OT6	1008.8431	991.0794	13.576
OT7	1008.9397	991.0724	13.003
OT8	1009.6685	990.4386	12.271
OT9	1010.3089	988.7395	13.595
OT10	1010.3716	988.7971	12.997
OT11	1010.497	988.8484	12.409
OT12	1009.1061	991.3015	12.263
OT13	1007.5934	996.6623	12.623
OT14	1007.781	995.1659	11.917
OT15	1007.23	997.6844	13.601
OT16	1007.2501	997.9433	13.245
OT17	1007.546	998.2417	12.975
OT18	1008.7715	998.6241	12.935
OT19	1009.2346	998.573	13.151
OT20	1009.4145	998.318	13.577
OT21	1011.2307	994.6806	13.550
OT22	1011.1416	994.6398	12.991
OT23	1010.8743	994.5582	12.432
OT24	1010.2177	996.4979	12.599
OT25	1010.4812	996.6382	13.183
OT26	1010.5472	996.6574	13.535
OT27	1011.5768	992.0182	13.549
OT28	1011.4948	992.0533	13.000
OT29	1011.243	992.0315	12.371
OT30	1011.5666	988.9036	13.600
OT31	1011.4739	988.8964	12.987
OT32	1011.3249	989.0217	12.372
OT33	1011.3799	987.393	12.486
OT34	1011.4272	987.2235	13.143
OT35	1011.4613	987.0959	13.687
OT36	1011.128	991.7017	12.135
KT1	1009.5854	990.0634	12.831
KT2	1008.2464	992.5025	12.818
KT3	1009.8222	992.5419	11.482
KT4	1009.8075	992.6085	10.864
KT5	1009.197	994.9116	11.940
KT6	1008.2975	998.0654	13.602
KT7	1008.4775	997.7474	11.628
KT8	1008.5784	997.8812	11.570
KT9	1010.8746	995.3458	12.811
KT10	1009.9898	992.5281	11.542
KT11	1009.8061	993.028	10.692
KT12	1011.4545	990.1958	12.722
KT13	1009.2514	994.9128	11.936
KT14	1010.4017	995.8002	11.905

Priloga E: Poročila o opravljeni orientaciji stereoparov na DVP

Stereopar 2:

RESULTS OF THE DVP STEREO ORIENTATIONS
(29-01-2008 10:52:56)
D:\NENA\S2.DAT

IMAGES USED

Image name : D:\NENA\S2\DSC_0070_R.TIF
Image date : 2008/1/29
Image time : 13:38:44
Image size : 27955002

Image name : D:\NENA\S2\DSC_0069_R.TIF
Image date : 2008/1/29
Image time : 13:36:32
Image size : 28782928

RESULTS OF INTERIOR ORIENTATION

Date : 29-01-2008
Time : 10:58:44

Results of Transformations

LEFT IMAGE

No	Xmm	Ymm	OrthoX	OrthoY	AffineX	AffineY
1	-1936.500	1296.500	-0.096	-0.144	-0.031	-0.000
2	1936.500	1296.500	0.139	-0.115	0.031	0.000
3	-1936.500	-1296.500	-0.077	0.115	0.031	-0.000
4	1936.500	-1296.500	0.034	0.144	-0.031	-0.000

RIGHT IMAGE

No	Xmm	Ymm	OrthoX	OrthoY	AffineX	AffineY
1	-1936.500	1296.500	-0.096	-0.144	-0.000	0.000
2	1936.500	1296.500	0.096	-0.144	0.000	-0.000
3	-1936.500	-1296.500	-0.096	0.144	-0.000	0.000
4	1936.500	-1296.500	0.096	0.144	0.000	0.000

RESULTS (MM) OF RELATIVE ORIENTATION :

Date : 29-01-2008
Time : 11:23:39
Focal length Image #0 : 3019.110
Focal length Image #1 : 3019.110

Bx : 558.440
By : 20.825
Bz : 26.068
Phi : 0.180
Omega : -2.995
Kappa : 0.848

Number	Xmodel	Ymodel	Zmodel	Py
1	-626.054	703.377	-1907.014	-0.030
2	913.405	634.423	-2186.039	0.561
3	529.361	-239.288	-2346.873	-0.561
4	1470.635	-975.537	-2701.680	1.103
5	1020.206	-50.463	-2200.927	-0.021
6	-272.372	72.292	-1899.369	-0.230
7	-1591.618	-2103.576	-5042.505	-1.765
8	91.281	-2706.131	-7348.488	1.326
9	870.773	1140.276	-3046.244	-0.176
11	-8319.505	-4079.123	-16821.662	5.594
12	1192.773	320.679	-2201.893	-0.046
13	4670.116	-2102.938	-8348.235	-3.225

Standard error : 2.010

RESULTS OF ABSOLUTE ORIENTATION :

Date : 30-01-2008
Time : 15:14:40

Number	Xgnd	Dx	Ygnd	Dy	Zgnd	Dz
27	14.698	-0.002	13.549	0.001	11.475	-0.004
28	14.754	-0.003	13.000	0.000	11.406	-0.000
29	14.803	-0.009	12.371	-0.001	11.158	0.007
30	11.708	0.002	13.600	0.001	10.602	0.000
31	11.727	0.000	12.987	0.000	10.511	0.002
32	11.888	0.003	12.372	0.001	10.403	0.000
110	15.627	0.008	11.542	-0.003	10.092	-0.006

Standard Deviation: Mx = 0.005 My= 0.001 Mz= 0.004
Standard Deviation: Mxy= 0.005

Ground Coordinates of Principal Points of Exposures:

Left	Right	X	Y	Z
Left	Right	16.864	13.701	6.927
		15.259	14.734	6.565

Left Phi : -22.1125 [0.0001]
Omega : -5.8560 [0.0001]
Kappa : -14.9454 [0.0002]
Right Phi : -26.1859 [0.0001]
Omega : -11.5501 [0.0001]
Kappa : -8.5336 [0.0002]

Stereopar 3:

RESULTS OF THE DVP STEREO ORIENTATIONS
(29-01-2008 11:29:06)
D:\NENA\S3.DAT

IMAGES USED

Image name : D:\NENA\S3\DSC_0066_R.TIF
Image date : 2008/1/29
Image time : 13:44:26
Image size : 26543608

Image name : D:\NENA\S3\DSC_0065_R.TIF
Image date : 2008/1/29
Image time : 13:41:52
Image size : 24442046

RESULTS OF INTERIOR ORIENTATION

Date : 29-01-2008
Time : 11:30:48

Results of Transformations

LEFT IMAGE

No	Xmm	Ymm	OrthoX	OrthoY	AffineX	AffineY
1	-1936.500	1296.500	-0.096	-0.144	-0.000	0.000
2	1936.500	1296.500	0.096	-0.144	0.000	-0.000
3	-1936.500	-1296.500	-0.096	0.144	-0.000	0.000
4	1936.500	-1296.500	0.096	0.144	0.000	0.000

RIGHT IMAGE

No	Xmm	Ymm	OrthoX	OrthoY	AffineX	AffineY
1	-1936.500	1296.500	-0.024	-0.129	0.031	0.031
2	1936.500	1296.500	0.096	-0.144	-0.031	-0.031
3	-1936.500	-1296.500	-0.159	0.081	-0.031	-0.031
4	1936.500	-1296.500	0.087	0.192	0.031	0.031

RESULTS (MM) OF RELATIVE ORIENTATION :

Date : 29-01-2008
Time : 13:02:39
Focal length Image #0 : 3019.110
Focal length Image #1 : 3019.110

Bx : 574.142
By : -12.068
Bz : -47.016
Phi : -1.022
Omega : -0.113
Kappa : 0.548

Number	Xmodel	Ymodel	Zmodel	Py
1	-1391.894	-294.239	-3554.028	-0.586
2	-598.428	-410.186	-3375.975	0.330
4	1170.428	563.013	-2412.024	-0.166
5	1615.591	-437.507	-2635.494	0.062
6	-1154.835	311.569	-3343.941	-0.237
7	-1479.659	-1532.420	-4113.861	0.245
9	259.952	-160.401	-2724.583	0.045
10	918.635	-1246.055	-2986.928	-0.053
11	4179.341	-4013.900	-19373.645	-1.534
12	-568.405	-1151.158	-3542.528	0.024
13	-322.001	1070.579	-3932.993	0.719

Standard error : 0.562

RESULTS OF ABSOLUTE ORIENTATION :

Date : 30-01-2008
 Time : 15:22:02

Number	Xgnd	Dx	Ygnd	Dy	Zgnd	Dz
21	17.352	0.011	13.550	-0.006	11.880	0.005
22	17.337	0.014	12.991	-0.003	11.783	0.010
23	17.333	0.006	12.432	0.005	11.504	0.003
24	19.378	-0.008	12.599	0.010	11.411	-0.009
25	19.440	-0.003	13.183	-0.000	11.703	0.001
26	19.440	-0.003	13.535	-0.003	11.771	0.002
27	14.698	0.000	13.549	-0.003	11.475	-0.003
28	14.754	-0.004	13.000	0.002	11.406	-0.008
29	14.803	-0.006	12.371	0.002	11.158	-0.005
110	15.627	-0.006	11.542	-0.003	10.092	0.005

Standard Deviation: Mx = 0.007 My= 0.005 Mz= 0.006
 Standard Deviation: Mxy= 0.009

Ground Coordinates of Principal Points of Exposures:

Left : 20.381 11.034 16.614 [0.001 0.001 0.001]
 Right : 21.422 11.038 16.038 [0.001 0.001 0.001]

Left Phi : 23.2842 [0.0002]
 Omega : 16.5185 [0.0002]
 Kappa : 353.4431 [0.0002]
 Right Phi : 22.2822 [0.0002]
 Omega : 16.2696 [0.0002]
 Kappa : 354.0866 [0.0002]

Stereopar 4:

RESULTS OF THE DVP STEREO ORIENTATIONS
 (30-01-2008 10:56:05)
 D:\NENA\S4.DAT

IMAGES USED

Image name : D:\NENA\S4\DSC_0064_R.TIF
 Image date : 2008/1/29
 Image time : 13:48:54
 Image size : 27351744

Image name : D:\NENA\S4\DSC_0063_R.TIF
 Image date : 2008/1/29
 Image time : 13:46:28
 Image size : 27028630

RESULTS OF INTERIOR ORIENTATION

Date : 30-01-2008
 Time : 10:57:09

Results of Transformations

LEFT IMAGE
 No Xmm Ymm OrthoX OrthoY AffineX AffineY

1	-1936.500	1296.500	-0.168	-0.158	-0.031	0.000
2	1936.500	1296.500	0.125	-0.187	0.031	0.000
3	-1936.500	-1296.500	-0.063	0.187	0.031	-0.000
4	1936.500	-1296.500	0.106	0.158	-0.031	-0.000

RIGHT IMAGE

No	Xmm	Ymm	OrthoX	OrthoY	AffineX	AffineY
1	-1936.500	1296.500	-0.053	-0.173	0.031	0.031
2	1936.500	1296.500	0.125	-0.187	-0.031	-0.031
3	-1936.500	-1296.500	-0.188	0.124	-0.031	-0.031
4	1936.500	-1296.500	0.116	0.235	0.031	0.031

RESULTS (MM) OF RELATIVE ORIENTATION :

Date : 07-02-2008
Time : 12:55:48
Focal length Image #0 : 3019.110
Focal length Image #1 : 3019.110

Bx : -127.250
By : 0.809
Bz : 7.309
Phi : 9.140
Omega : -0.220
Kappa : -1.373

Number	Xmodel	Ymodel	Zmodel	Py
1	35.946	101.364	595.034	0.102
2	-524.622	1325.732	4762.183	0.009
3	-600.905	532.325	1549.853	-0.030
4	21.844	-92.704	619.747	-0.039
5	114.452	-99.488	613.329	-0.189
7	1280.934	735.248	2307.720	-0.678
8	1035.641	226.070	1647.977	-0.081
9	-198.171	301.805	735.840	0.049
10	350.784	402.159	1089.752	-0.177
11	181.491	-219.993	682.459	0.290
12	-92.039	-131.416	664.678	-0.330
13	-132.810	-175.183	703.700	-0.250
14	23.745	-247.585	686.480	-0.083
15	-1378.220	-1113.058	3154.053	1.840
16	3000.551	623.427	6022.963	0.434
17	145.207	-172.209	625.259	0.171
18	170.561	-106.090	616.419	0.172
19	-116.493	-229.542	671.777	0.021
20	2460.424	631.624	6068.423	-0.517
21	199.428	136.599	822.131	0.235
22	-76.399	142.883	848.492	0.089
23	298.305	303.378	769.382	-0.038
24	-1299.711	547.170	3149.138	-1.077

Standard error : 0.508

RESULTS OF ABSOLUTE ORIENTATION :

Date : 18-02-2008
Time : 13:51:58

Number	Xgnd	Dx	Ygnd	Dy	Zgnd	Dz
15	11.131	-0.096	13.601	-0.110	9.930	0.404
16	11.040	-0.093	13.245	0.005	10.173	-0.136
17	10.673	-0.065	12.975	0.094	10.378	-0.595
18	9.390	0.051	12.935	0.105	10.406	-0.626
19	8.959	0.093	13.151	0.028	10.228	-0.223
20	8.857	0.107	13.577	-0.107	9.933	0.435
106	10.000	-0.010	13.602	-0.088	10.000	0.309
107	9.915	0.014	11.628	0.074	9.644	0.432

Standard Deviation: Mx = 0.075 My= 0.085 Mz= 0.426
Standard Deviation: Mxy= 0.113

Ground Coordinates of Principal Points of Exposures:

Left	:	-12.206	32.386	92.321	[	0.014	0.009	0.003]
Right	:	-4.072	10.275	75.089	[	0.004	0.004	0.003]

Left	Phi	:	-21.5585	[	0.0002]
	Omega	:	-9.4160	[	0.0001]
	Kappa	:	385.0154	[	0.0002]
Right	Phi	:	-16.4215	[	0.0001]
	Omega	:	1.3175	[	0.0001]
	Kappa	:	363.9631	[	0.0002]

Stereopar 5:

RESULTS OF THE DVP STEREO ORIENTATIONS
 (29-01-2008 12:25:20)
 D:\NENA\S5.DAT

IMAGES USED

Image name : D:\NENA\S5\DSC_0078_R.TIF
 Image date : 2008/1/29
 Image time : 14:14:38
 Image size : 30077090

Image name : D:\NENA\S5\DSC_0077_R.TIF
 Image date : 2008/1/29
 Image time : 13:50:58
 Image size : 30196872

RESULTS OF INTERIOR ORIENTATION

Date : 29-01-2008
 Time : 13:29:41

Results of Transformations

LEFT IMAGE

No	Xmm	Ymm	OrthoX	OrthoY	AffineX	AffineY
1	-1936.500	1296.500	-0.096	-0.144	-0.000	0.000
2	1936.500	1296.500	0.096	-0.144	0.000	-0.000
3	-1936.500	-1296.500	-0.096	0.144	-0.000	0.000
4	1936.500	-1296.500	0.096	0.144	0.000	0.000

RIGHT IMAGE

No	Xmm	Ymm	OrthoX	OrthoY	AffineX	AffineY
1	-1936.500	1296.500	-0.077	-0.115	0.031	0.000
2	1936.500	1296.500	0.034	-0.144	-0.031	0.000
3	-1936.500	-1296.500	-0.096	0.144	-0.031	0.000
4	1936.500	-1296.500	0.139	0.115	0.031	0.000

RESULTS (MM) OF RELATIVE ORIENTATION :

Date : 29-01-2008
 Time : 13:46:02
 Focal length Image #0 : 3019.110
 Focal length Image #1 : 3019.110

Bx : 360.241
 By : -9.136
 Bz : -41.683
 Phi : 1.802
 Omega : 1.555
 Kappa : -0.546

Number	Xmodel	Ymodel	Zmodel	Py
1	563.574	33.352	-1944.486	-0.057
2	-280.825	288.883	-1579.817	0.078
3	-385.023	430.595	-1541.856	-0.062
4	-4137.296	-1500.354	-7547.931	-0.024
5	1023.247	300.412	-2200.717	0.061
6	1175.346	-140.003	-2400.042	-0.161
7	226.358	-1318.355	-4663.005	-0.009
8	1282.045	-656.003	-2092.232	0.071
9	495.391	885.505	-2593.024	0.069

Standard error : 0.077

RESULTS OF ABSOLUTE ORIENTATION :

Date : 30-01-2008
Time : 13:40:23

Number	Xgnd	Dx	Ygnd	Dy	Zgnd	Dz
1	11.049	0.004	13.550	-0.001	11.556	0.000
2	11.097	0.001	13.042	0.002	11.411	0.006
3	14.273	-0.007	13.554	-0.000	11.815	-0.003
4	14.287	-0.011	12.985	-0.001	11.727	0.005
5	14.255	-0.001	12.469	0.002	11.489	-0.003
13	11.153	0.003	12.623	0.003	11.065	-0.001
103	15.730	0.011	11.482	-0.005	10.066	-0.003

Standard Deviation: Mx = 0.007 My= 0.002 Mz= 0.004
Standard Deviation: Mxy= 0.007

Ground Coordinates of Principal Points of Exposures:

Left :	9.774	11.055	16.155 [	0.001	0.002	0.001]
Right :	10.876	11.044	16.565 [	0.001	0.001	0.001]

Left	Phi :	-26.6420 [	0.0002]
	Omega :	13.4918 [	0.0002]
	Kappa :	5.6217 [	0.0002]
Right	Phi :	-24.6889 [	0.0002]
	Omega :	15.0011 [	0.0002]
	Kappa :	5.7052 [	0.0002]

Stereopar 6:

RESULTS OF THE DVP STEREO ORIENTATIONS
(29-01-2008 14:03:38)
D:\NENA\S6.DAT

IMAGES USED

Image name : D:\NENA\S6\DSC_0074_R.TIF
Image date : 2008/1/29
Image time : 14:4:52
Image size : 30168780

Image name : D:\NENA\S6\DSC_0073_R.TIF
Image date : 2008/1/29
Image time : 14:3:14
Image size : 30219976

RESULTS OF INTERIOR ORIENTATION

Date : 29-01-2008
Time : 14:06:40

Results of Transformations

LEFT IMAGE

No	Xmm	Ymm	OrthoX	OrthoY	AffineX	AffineY
1	-1936.500	1296.500	-0.096	-0.144	-0.000	0.000
2	1936.500	1296.500	0.096	-0.144	0.000	-0.000
3	-1936.500	-1296.500	-0.096	0.144	-0.000	0.000
4	1936.500	-1296.500	0.096	0.144	0.000	0.000

RIGHT IMAGE

No	Xmm	Ymm	OrthoX	OrthoY	AffineX	AffineY
1	-1936.500	1296.500	-0.139	-0.115	-0.031	-0.000
2	1936.500	1296.500	0.096	-0.144	0.031	-0.000
3	-1936.500	-1296.500	-0.034	0.144	0.031	0.000
4	1936.500	-1296.500	0.077	0.115	-0.031	-0.000

RESULTS (MM) OF RELATIVE ORIENTATION :

Date : 29-01-2008
Time : 14:51:03
Focal length Image #0 : 3019.110
Focal length Image #1 : 3019.110

Bx : 508.099
 By : 6.476
 Bz : -10.312
 Phi : 0.060
 Omega : -0.332
 Kappa : -0.029

Number	Xmodel	Ymodel	Zmodel	Py
1	2693.100	-1659.815	-5159.076	0.058
2	-250.673	-120.276	-2434.038	-0.055
3	-1227.839	-1186.557	-3314.535	0.016
4	-700.503	407.737	-2483.991	0.132
5	-385.639	433.332	-2410.920	-0.001
6	1200.833	544.282	-2197.895	-0.059
7	3182.986	-85.110	-5274.294	-0.077
9	851.832	550.539	-2232.394	0.077
10	-1123.560	565.780	-2686.009	-0.119
11	106.770	-904.305	-7315.964	0.025

Standard error : 0.074

RESULTS OF ABSOLUTE ORIENTATION :

Date : 30-01-2008
 Time : 14:20:53

Number	Xgnd	Dx	Ygnd	Dy	Zgnd	Dz
6	16.864	0.006	13.576	-0.003	11.412	0.006
7	16.897	-0.004	13.003	0.001	11.321	-0.007
8	17.708	0.005	12.271	-0.001	10.796	0.008
9	19.518	-0.001	13.595	-0.001	10.652	0.001
10	19.480	-0.003	12.997	0.003	10.576	-0.009
11	19.465	-0.001	12.409	0.002	10.441	0.000
101	18.046	0.003	12.831	-0.003	10.980	0.004
102	15.331	-0.005	12.818	0.003	11.591	-0.004

Standard Deviation: Mx = 0.004 My= 0.002 Mz= 0.006
 Standard Deviation: Mxy= 0.005

Ground Coordinates of Principal Points of Exposures:

Left : 19.765 11.006 16.006 [0.001 0.002 0.001]
 Right : 20.877 11.004 15.467 [0.001 0.002 0.001]

Left Phi : 23.8312 [0.0002]
 Omega : 15.6135 [0.0002]
 Kappa : 352.4485 [0.0002]
 Right Phi : 23.9341 [0.0002]
 Omega : 15.2603 [0.0002]
 Kappa : 352.5634 [0.0002]

Stereopar 7:

RESULTS OF THE DVP STEREO ORIENTATIONS
 (30-01-2008 10:17:43)
 D:\NENA\S7.DAT

IMAGES USED

Image name : D:\NENA\S7\DSC_0076_R.TIF
 Image date : 2008/1/29
 Image time : 14:8:38
 Image size : 30240738

Image name : D:\NENA\S7\DSC_0075_R.TIF
 Image date : 2008/1/29
 Image time : 14:6:54
 Image size : 30246070

RESULTS OF INTERIOR ORIENTATION

Date : 30-01-2008

Time : 10:19:13

Results of Transformations

LEFT IMAGE

No	Xmm	Ymm	OrthoX	OrthoY	AffineX	AffineY
1	-1936.500	1296.500	-0.096	-0.144	-0.000	0.000
2	1936.500	1296.500	0.096	-0.144	0.000	-0.000
3	-1936.500	-1296.500	-0.096	0.144	-0.000	0.000
4	1936.500	-1296.500	0.096	0.144	0.000	0.000

RIGHT IMAGE

No	Xmm	Ymm	OrthoX	OrthoY	AffineX	AffineY
1	-1936.500	1296.500	-0.139	-0.115	-0.031	-0.000
2	1936.500	1296.500	0.096	-0.144	0.031	-0.000
3	-1936.500	-1296.500	-0.034	0.144	0.031	0.000
4	1936.500	-1296.500	0.077	0.115	-0.031	-0.000

RESULTS (MM) OF RELATIVE ORIENTATION :

Date : 30-01-2008
Time : 10:28:36
Focal length Image #0 : 3019.110
Focal length Image #1 : 3019.110

Bx : 648.876
By : 15.921
Bz : 31.905
Phi : -3.092
Omega : -0.433
Kappa : 0.707

Number	Xmodel	Ymodel	Zmodel	Py
1	-969.375	-42.179	-3183.189	-0.500
2	1074.077	-221.249	-3257.315	-0.304
3	677.548	585.692	-3186.072	0.302
4	45.288	1506.266	-4264.576	0.514
5	7538.319	-3063.951	-11983.152	-1.192
6	1085.486	569.686	-3275.466	0.107
7	-1462.209	1234.093	-4139.682	0.111
8	-87.398	-1386.724	-3593.161	0.364
9	-981.644	-1455.140	-3892.359	0.381
10	2143.916	958.464	-3664.137	-0.341
11	-3137.024	-1368.703	-7246.962	-2.081
12	-995.804	-1840.154	-9353.420	2.057

Standard error : 0.962

RESULTS OF ABSOLUTE ORIENTATION :

Date : 30-01-2008
Time : 14:24:18

Number	Xgnd	Dx	Ygnd	Dy	Zgnd	Dz
3	14.273	0.001	13.554	-0.001	11.815	0.002
4	14.287	0.002	12.985	0.001	11.727	0.006
5	14.255	-0.000	12.469	0.005	11.489	-0.009
6	16.864	-0.002	13.576	-0.000	11.412	-0.002
7	16.897	-0.004	13.003	-0.002	11.321	0.007
101	18.046	0.001	12.831	0.001	10.980	-0.005
102	15.331	-0.002	12.818	-0.000	11.591	0.001
104	15.662	0.004	10.864	-0.003	10.061	0.000

Standard Deviation: Mx = 0.002 My= 0.002 Mz= 0.005
Standard Deviation: Mxy= 0.003

Ground Coordinates of Principal Points of Exposures:

Left	:	14.505	11.037	17.132	[	0.001	0.001	0.001]
Right	:	15.715	11.038	17.216	[	0.001	0.001	0.001]

Left Phi : -1.0486 [0.0001]
Omega : 13.6175 [0.0002]

Right Kappa : 359.5332 [0.0001]
Phi : -4.1347 [0.0001]
Omega : 13.1571 [0.0002]
Kappa : 0.2092 [0.0001]

Stereopar 8:

RESULTS OF THE DVP STEREO ORIENTATIONS
(30-01-2008 10:29:17)
D:\NENA\S8.DAT

IMAGES USED

Image name : D:\NENA\S8\DSC_0068_R.TIF
Image date : 2008/1/29
Image time : 14:12:36
Image size : 26897298

Image name : D:\NENA\S8\DSC_0067_R.TIF
Image date : 2008/1/29
Image time : 14:10:46
Image size : 28249044

RESULTS OF INTERIOR ORIENTATION

Date : 30-01-2008
Time : 10:30:22

Results of Transformations

LEFT IMAGE

No	Xmm	Ymm	OrthoX	OrthoY	AffineX	AffineY
1	-1936.500	1296.500	-0.096	-0.144	-0.000	0.000
2	1936.500	1296.500	0.096	-0.144	0.000	-0.000
3	-1936.500	-1296.500	-0.096	0.144	-0.000	0.000
4	1936.500	-1296.500	0.096	0.144	0.000	0.000

RIGHT IMAGE

No	Xmm	Ymm	OrthoX	OrthoY	AffineX	AffineY
1	-1936.500	1296.500	-0.096	-0.144	-0.000	0.000
2	1936.500	1296.500	0.096	-0.144	0.000	-0.000
3	-1936.500	-1296.500	-0.096	0.144	-0.000	0.000
4	1936.500	-1296.500	0.096	0.144	0.000	0.000

RESULTS (MM) OF RELATIVE ORIENTATION :

Date : 30-01-2008
Time : 10:40:22
Focal length Image #0 : 3019.110
Focal length Image #1 : 3019.110

Bx : 370.988
By : -2.577
Bz : 1.333
Phi : 2.657
Omega : 0.822
Kappa : -1.249

Number	Xmodel	Ymodel	Zmodel	Py
1	-4335.081	-1895.611	-7138.781	0.426
2	-374.372	-15.590	-1677.791	-0.212
3	-364.677	398.420	-1654.603	0.135
4	369.943	-751.033	-1875.427	0.018
5	147.556	-114.147	-1794.114	-0.152
6	-82.955	380.236	-1616.507	-0.048
7	3088.727	-1749.683	-6969.412	-0.696
8	1047.040	358.624	-1689.990	-0.048
9	650.988	-228.945	-2053.646	0.534
10	-435.544	-738.365	-1951.215	-0.078

Standard error :

0.324

RESULTS OF ABSOLUTE ORIENTATION :

Date : 30-01-2008
Time : 14:27:16

Number	Xgnd	Dx	Ygnd	Dy	Zgnd	Dz
21	17.352	-0.002	13.550	0.001	11.880	0.002
22	17.337	-0.001	12.991	0.002	11.783	-0.002
23	17.333	-0.002	12.432	-0.000	11.504	0.002
27	14.698	0.001	13.549	0.001	11.475	-0.001
28	14.754	0.004	13.000	0.001	11.406	0.004
29	14.803	0.000	12.371	0.001	11.158	-0.001
110	15.627	0.000	11.542	-0.004	10.092	-0.001
111	16.159	-0.001	10.692	-0.001	10.054	-0.003

Standard Deviation: Mx = 0.002 My= 0.002 Mz= 0.002
Standard Deviation: Mxy= 0.003

Ground Coordinates of Principal Points of Exposures:

Left	:	17.017	12.308	9.102	[	0.001	0.001	0.001]
Right	:	-625.690	-80.600	-192.737	[	0.507	0.522	0.522]

Left	Phi	:	1.4280	[	0.0001]
	Omega	:	8.7167	[	0.0001]
	Kappa	:	379.3537	[	0.0001]
Right	Phi	:	200.0837	[	0.0008]
	Omega	:	-1054.4903	[	0.0023]
	Kappa	:	1042.9497	[	0.0016]

Priloga F: Izravnane koordinate položajne mreže

Izravnava Ravninske geodetske Mreže
Program: RAM, ver.4.0, dec. 02
Copyright (C) Tomaž Ambrožič & Goran Turk

Ime datoteke s podatki: hzl.pod
Ime datoteke za rezultate: hzl.rez
Ime datoteke za risanje slike mreže: hzl.ris
Ime datoteke za izračun premikov: hzl.koo

Datum: 27. 1.2008
Čas: 21:14:17

Seznam PRIBLIŽNIH koordinat novih točk

```
=====
Točka      Y              X
           (m)            (m)
P4          1000.0000   1000.0000
P1          1015.9070   999.4910
P2          1017.8250   985.0970
P3          1003.2290   987.0830
```

Vseh točk je 4.

Pregled OPAZOVANJ

```
=====
Štev.  Stojlišče  Vizura  Opazov. smer  W  Utež  Dolžina  Du  Utež  Gr
           (gradi)  (")  (m)  (m)
1  P3      P4          0 0 0.    0.000 1.00  13.3146  0.0000  1.00  1
2  P3      P1          66 27 87.  0.000 1.00  17.7395  0.0000  1.00  1
3  P3      P2          124 20 12.  0.000 1.00  14.7310  0.0000  1.00  1

4  P4      P1          0 0 0.    0.000 1.00  15.9150  0.0000  1.00  1
5  P4      P2          42 28 95.  0.000 1.00  23.2371  0.0000  1.00  1
6  P4      P3          82 37 14.  0.000 1.00  13.3155  0.0000  1.00  1

7  P1      P2          0 0 0.    0.000 1.00  14.5219  0.0000  1.00  1
8  P1      P3          59 12 27.  0.000 1.00  17.7395  0.0000  1.00  1
9  P1      P4          110 48 6.  0.000 1.00  15.9145  0.0000  1.00  1

10 P2      P3          0 0 0.    0.000 1.00  14.7304  0.0000  1.00  1
11 P2      P4          35 72 52.  0.000 1.00  23.2349  0.0000  1.00  1
12 P2      P1          82 95 71.  0.000 1.00  14.5198  0.0000  1.00  1
```

Podan srednji pogrešek utežne enote smeri (a-priori ocena): 3.00 sekund.
Podan srednji pogrešek utežne enote dolžin (a-priori ocena): 1.000 mm.

Število enačb popravkov je 24.
- Število enačb popravkov za smeri je 12.
- Število enačb popravkov za dolžine je 12.
Število neznank je 12.
- Število koordinatnih neznank je 8.
- Število orientacijskih neznank je 4.
Defekt mreže je 3.

POPRAVKI približnih vrednosti

```
=====
Točka      Dy      Dx      Do
           (m)      (m)      (")
P4          0.000    0.001    7.9
P1          0.000    0.000    -0.6
P2          0.001    0.000    -8.4
P3          0.000    0.000    0.7
```

IZRAVNANE vrednosti koordinat in ANALIZA natančnosti

```
=====
Točka      Y      X      My      Mx      Mp      a      b      Theta
           (m)      (m)      (m)      (m)      (m)      (m)      (m)      (st.)
P4          1000.000  1000.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  128.
P1          1015.907  999.491  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  46.
```

P2 1017.826 985.097 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 134.
P3 1003.229 987.083 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 46.

Srednji pogrešek utežne enote /m0/ je 1.49997.
[pvv] = 33.7485138378
[xx] vseh neznank = 133.2283769648
[xx] samo koordinatnih neznank = 0.0000015483
Srednji pogrešek aritmetične sredine /m_arit/ je 0.00043.

Srednji pogrešek smeri /m0*m0_smeri/ je 4.4999 sekund.
Srednji pogrešek dolžin /m0*m0_dolžin/ je 0.001 metrov.

Največji položajni pogrešek /Mp_max/ je 0.000 metrov.
Najmanjši položajni pogrešek /Mp_min/ je 0.000 metrov.
Srednji položajni pogrešek /Mp_sred/ je 0.000 metrov.

PREGLED opazovanih SMERI

=====

Smerni koti in dolžine so izračunani iz zaokroženih koordinat.
Smeri in smerni koti so izpisani v stopinjah.

Nova točka: P3 Y = 1003.229 X = 987.083
Orientacijski kot = 345 57 58.

Vizura	Gr	Utež	Opazov.	smer	Orient. smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
P4	1	1.00	0 0	0.	345 57 58.	345 57 57.	-1.	13.315
P1	1	1.00	59 39	3.	45 37 1.	45 36 60.	-1.	17.740
P2	1	1.00	111 46	52.	97 44 50.	97 44 52.	2.	14.731

Nova točka: P4 Y = 1000.000 X = 1000.001
Orientacijski kot = 91 50 7.

Vizura	Gr	Utež	Opazov.	smer	Orient. smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
P1	1	1.00	0 0	0.	91 50 7.	91 50 11.	4.	15.915
P2	1	1.00	38 3	38.	129 53 45.	129 53 54.	9.	23.236
P3	1	1.00	74 8	3.	165 58 10.	165 57 57.	-13.	13.315

Nova točka: P1 Y = 1015.907 X = 999.491
Orientacijski kot = 172 24 19.

Vizura	Gr	Utež	Opazov.	smer	Orient. smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
P2	1	1.00	0 0	0.	172 24 19.	172 24 22.	3.	14.521
P3	1	1.00	53 12	38.	225 36 57.	225 36 60.	3.	17.740
P4	1	1.00	99 25	57.	271 50 17.	271 50 11.	-6.	15.915

Nova točka: P2 Y = 1017.826 X = 985.097
Orientacijski kot = 277 44 46.

Vizura	Gr	Utež	Opazov.	smer	Orient. smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
P3	1	1.00	0 0	0.	277 44 46.	277 44 52.	6.	14.731
P4	1	1.00	32 9	10.	309 53 56.	309 53 54.	-1.	23.236
P1	1	1.00	74 39	41.	352 24 27.	352 24 22.	-5.	14.521

PREGLED merjenih DOLŽIN

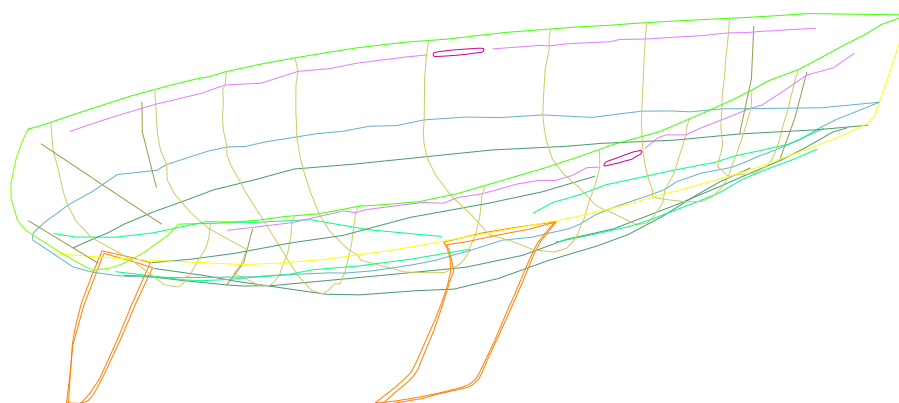
=====

Dolžine so izračunane iz zaokroženih koordinat.
Multiplikacijska konstanta ni bila izračunana (= 1).
Adicijska konstanta ni bila izračunana (= 0 metra).

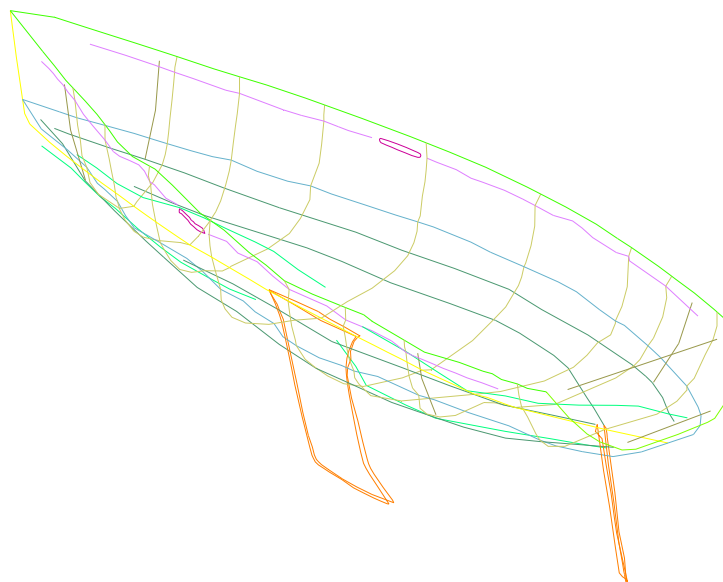
Od točke	Do točke	Utež dolž	Merjena dolžina	Modulirana Mer.*Mk+Ak	Definitivna Proj.-Du	Popravek Mod.dolž.	Projekcij. iz koo.
P3	P4	1.00	13.315	13.315	13.315	0.001	13.315
P3	P1	1.00	17.739	17.739	17.740	0.000	17.740
P3	P2	1.00	14.731	14.731	14.731	0.000	14.731
P4	P1	1.00	15.915	15.915	15.915	0.000	15.915
P4	P2	1.00	23.237	23.237	23.236	-0.001	23.236
P4	P3	1.00	13.316	13.316	13.315	0.000	13.315
P1	P2	1.00	14.522	14.522	14.521	-0.001	14.521
P1	P3	1.00	17.739	17.739	17.740	0.000	17.740
P1	P4	1.00	15.915	15.915	15.915	0.001	15.915
P2	P3	1.00	14.730	14.730	14.731	0.001	14.731
P2	P4	1.00	23.235	23.235	23.236	0.001	23.236
P2	P1	1.00	14.520	14.520	14.521	0.002	14.521

Priloga G: Različni prikazi zajete vsebine na DVP

Pogled 1:

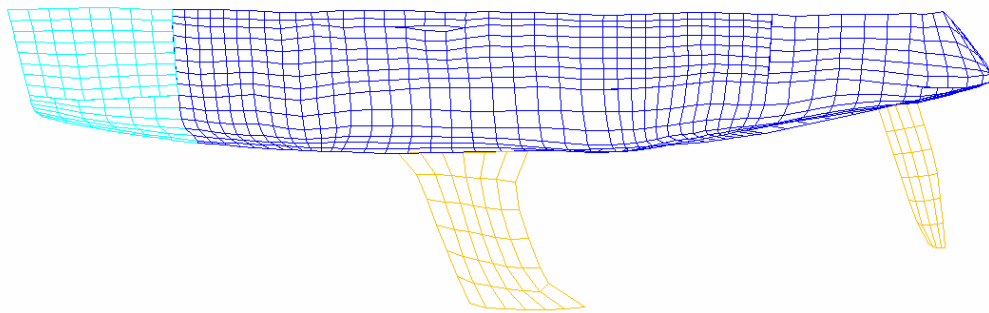


Pogled 2:

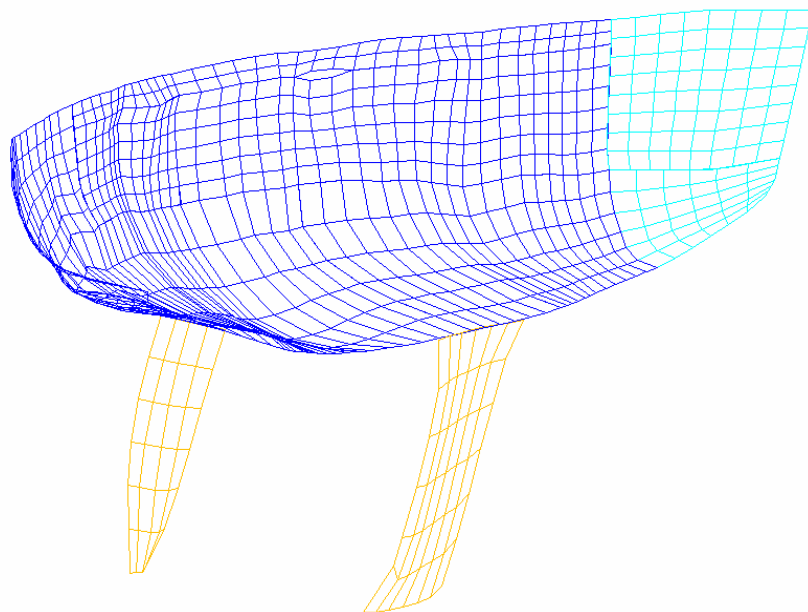


Priloga H: Različni prikazi izdelanega žičnega 3R modela lupine jadrnice

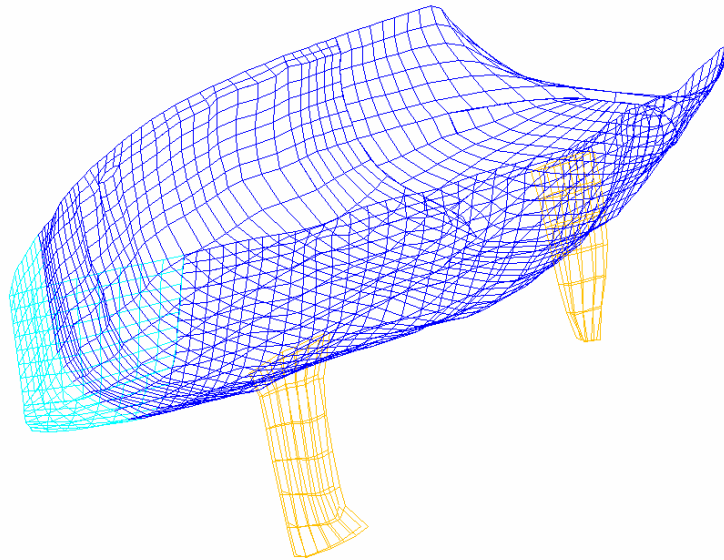
Pogled 1 – žični model desne strani jadrnice:



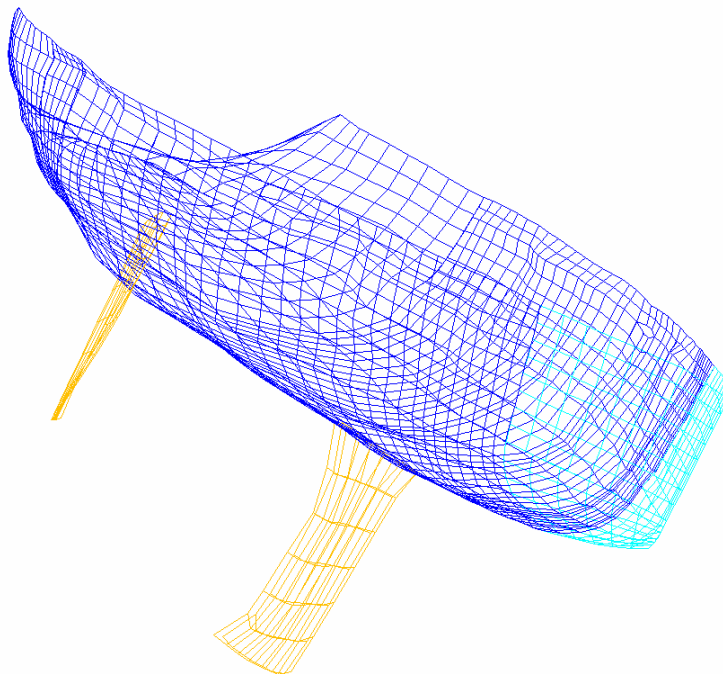
Pogled 2 – pogled desne strani žičnega modela jadrnice:



Pogled 3 – pogled na celoten žični model iz sprednje desne strani:

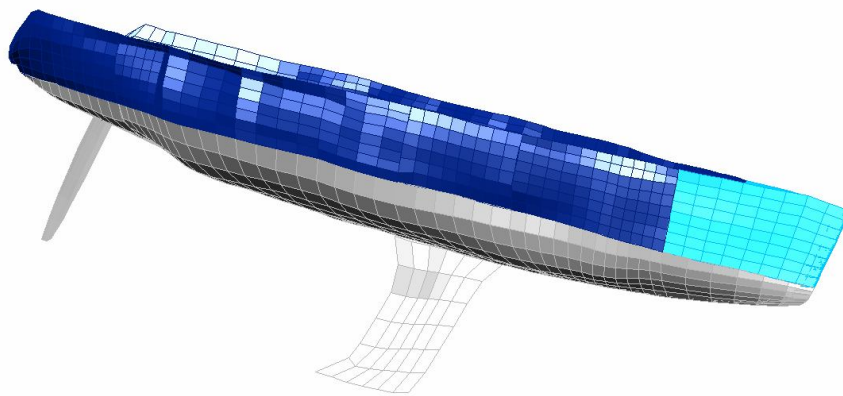


Pogled 4 – pogled na celoten žični model iz sprednje leve strani :



Priloga I: Različni prikazi izdelanega ploskovnega 3R modela lupine jadrnice

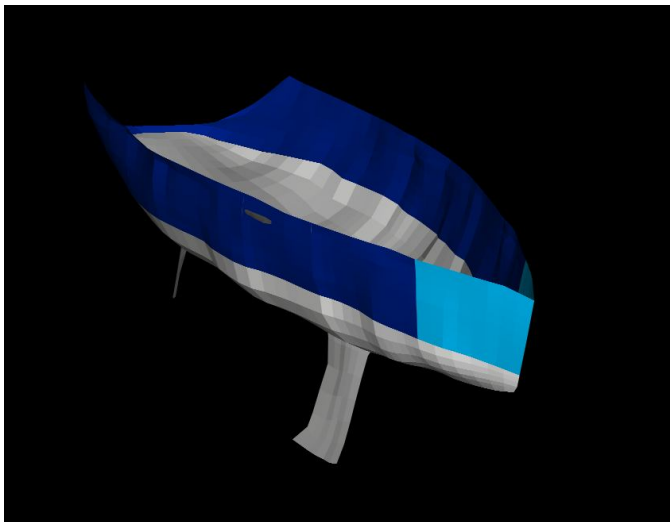
Pogled 1 – pogled na celoten ploskovni 3R model brez izglajenih robov in brez barvnega ozadja:



Pogled 2 – pogled na ploskovni model jadrnice iz leve strani, robovi so izglajeni:



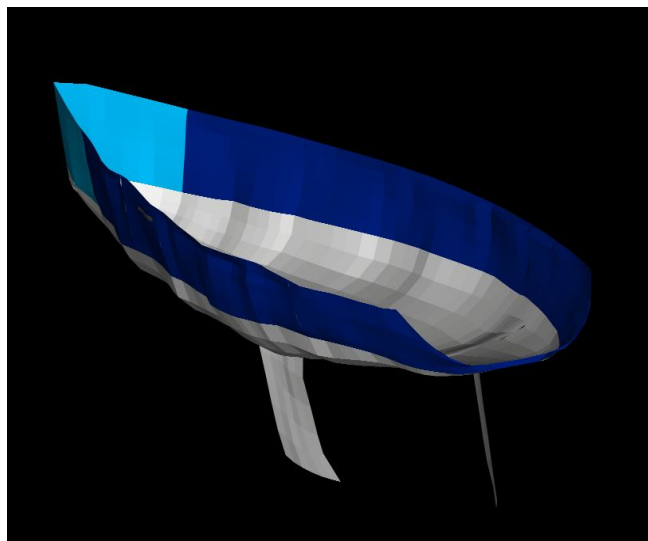
Pogled 3 – pogled na ploskovni 3R model iz prednje strani z neizglajenimi robovi:



Pogled 4 – pogled na ploskovni 3R model iz prednje strani z izglajenimi robovi:



Pogled 5 – pogled na ploskovni 3R model iz zadnje strani:



Pogled 6 – pogled na ploskovni 3R model z izglajenimi robovi:

