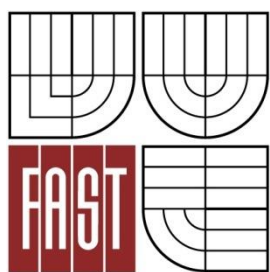


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF GEODESY

TVORBA 3D MODELU KOSTELA SV. JAKUBA FOTOGRAMMETRICKOU METODOU

CREATION OF 3D MODEL OF THE CHURCH OF ST. JAKOB USING PHOTOGRAMMETRIC
METHOD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Branislav Jančí

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. VLASTIMIL HANZL, CSc.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646R003 Geodézie a kartografie
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Branislav Jančí
Název	Tvorba 3D modelu kostela sv. Jakuba fotogrammetrickou metodou
Vedoucí bakalářské práce	doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2012
Datum odevzdání bakalářské práce	24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

.....
doc. Ing. Josef Weigel, CSc.

Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.

Děkan Fakulty stavební VUT

Bibliografická citácia VŠKP

JANČI, Branislav. *Tvorba 3D modelu kostela sv. Jakuba fotogrammetrickou metódou*. Brno, 2013. 34s., 35s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc..

Abstrakt v slovenskom jazyku

Predmetom bakalárskej práce je tvorba 3D modelu kostola Sv. Jakuba v centre Brna. Na vytvorenie modelu bola použitá kombinovaná metóda leteckej a blízkej fotogrametrie. Vlíčovacie body a body, ktoré boli použité na určenie presnosti modelu boli získané geodetickým meraním a následným spracovaním v programe PhotoModeler Scanner 6. Výsledný model bol exportovaný.

Abstract v anglickom jazyku

Bachelor's thesis is focused on creation of 3D model of St. Jacob' Church which is situated in the centre of Brno. The 3D model was created by combined method of aerial and close range photogrammetry. Ground control points and points that were used to determine accuracy of the model were obtained by geodetic surveying and further processing in software PhotoModeler Scanner 6. The resulting model was exported.

Kľúčové slová v slovenskom jazyku

Blízka fotogrametria, letecká fotogrametria, vlíčovací bod, 3D model, PhotoModeler Scanner, snímka

Kľúčové slová v anglickom jazyku

Close range photogrammetry, aerial photogrammetry, control point, 3D model, PhotoModeler Scanner, terrestrial image

Podklady a literatura

Manuál PhotoModeler Scanner

Hanzl V.: Fotogrammetrie, Modul 01, Teoretické základy fotogrammetrie, Fakulta stavební VUT v Brně, 2006, 101 str.

Letecké a pozemní snímky kostela.

Zásady pro vypracování

Pro tvorbu 3D modelu dostupné části kostela sv. Jakuba v Brně použijte obecně orientované letecké i pozemní snímky. Použijte prostředí PhotoModeler Scanner pro tvorbu 3D modelu kostela. Při určování vlíčovacích bodů zaměřte dostatečné množství kontrolních bodů pro analýzu přesnosti 3D modelu.

.....

doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.

Vedoucí bakalářské práce

Prehlásenie :

Prehlasujem, že som bakalársku prácu spracoval samostatne a že som uviedol všetky použité informačné zdroje.

V Brne dňa 19.2.2013

.....

Podpis autora
Branislav Jančí

Pod'akovanie:

Ďakujem svojmu vedúcemu bakalárskej práce doc. Ing. Vlastimilovi Hanzlovi, CSc. za cenné rady a pripomienky pri vypracovávaní bakalárskej práce a za odbornú, technickú a materiálnu pomoc. Tiež ďakujem svojim rodičom , že mi umožnili štúdium na tejto škole a že ma podporovali. V neposlednom rade chcem poďakovať aj svojmu spolužiakovi a kamarátovi Bernardovi Buganovi za pomoc a spoluprácu pri meraní .

V Brne dňa 19.2.2013

Obsah

1 ÚVOD	9
1.1 Ciele práce.....	9
2 FOTOGRAMETRIA A JEJ ROZDELENIE	10
3 POPIS A HISTÓRIA OBJEKTU A LOKALITY	12
3.1 História a popis objektu	12
4 PRÁCE PRED MERANÍM	16
4.1 Rekognoskácia	16
4.2 Vlíčovacie body	16
5 GEODETICKÉ SPRACOVANIE	17
5.1 Pomôcky.....	17
5.2 Meranie	18
5.2.1 Práce pred meraním	18
5.2.2 Tvorba bodového pola	18
5.2.3 Podrobné meranie bodov	19
5.3 Výpočtové práce.....	20
5.3.1 Polygónový ťah.....	20
5.3.2 Polárna metóda	22
5.3.3 Chyby a redukcie	23
5.3.4 Spracovanie nameraných dát	23
5.3.5 Presnosť vĺčovacích bodov	24
6 FOTOGRAMETRICKÉ SPRACOVANIE	25
6.1 Blízka fotogrametria.....	25
6.1.1 Matematické základy fotogrametrie	25
6.1.2 Faktory presnosti blízkej fotogrametrie	26

6.1.3 Parametre kamery na pozemné snímkovanie.....	27
6.2 Vyrovnávanie bloku zväzkov	28
6.2.1 Presnosť aerotriangulácie.....	28
6.2.2 Digitálne kamery a snímkovanie	29
6.3 Priestorové modely povrchu	30
7 Tvorba 3D modelu	31
7.1 PhotoModeler Scanner 6.....	31
7.2 Postup pri tvorbe 3D modelu	32
7.2.1 Založenie súboru a import snímok a bodov.....	32
7.2.2 Meranie a referencovanie.....	32
7.2.3 Výpočet.....	33
7.2.4 Drôtený model	34
7.2.5 Plochy a textúry	35
7.3 Analýza dosiahnutej presnosti.....	36
8 ZÁVER	38
9 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	39
10 ZOZNAM OBRÁZKOV, GRAFOV A TABULIEK.....	41
11 ZOZNAM PRÍLOH.....	42
12 PRÍLOHY	43

1 ÚVOD

V 21. storočí dosiahlo ľudstvo obrovský pokrok v 3D technológiách. Už od nepamäti sa ľudia snažia o vizualizáciu svojich predstáv a k tomu môže poslúžiť aj trojrozmerná modelácia objektov . Rozvojom počítačovej techniky , softwarového vybavenia a fotografických a digitálnych kamier je tento cieľ realizovateľný ale stále ešte nie je ani zďaleka na takej úrovni ako by mohol byť. Preto je dôležité úsilie dosiahnuť väčší stupeň automatizácie 3D modelovania. Pri súčasnom tempe vývoja vychádzajú každý rok nové a nové inovácie. Na trojrozmerné modelovanie môžeme použiť aj fotogrametriu .

1.1 Ciele práce

Práca sa zaoberá vytvorením 3D modelu kostola sv. Jakuba v centre Brna . K vytvoreniu modelu bolo potrebné zamerať objekt geodeticky a fotogrametricky . Najskôr geodetickou metódou určiť súradnice vlícovacích bodov . K dispozícii boli letecké snímky vyhotovené z lietadla a pomocou blízkej fotogrametrie sa vyhotovili dodatočné snímky potrebné na miesta, ktoré boli zakryté inými objektmi. Získané údaje a informácie boli spracované v grafickom programe .

Bakalárska práca je rozdelená do niekoľkých častí ako história, popis objektu, rekognoskáciu územia. Ďalej meranie geodetickou a fotogrametrickou metódou , spracovanie dát a výpočet súradníc bodov, vyhotovenie trojrozmerného modelu pomocou softwaru Photomodeler Scanner 6 .

Cieľom tejto práce je teda 3D model chrámu doplnený kontrolou presnosti pomocou identických bodov zistených geodeticky.

2 FOTOGRAMETRIA A JEJ ROZDELENIE

Fotogrametria je meračská a mapovacia metóda, ktorá zo snímok určuje polohu, tvar a veľkosť objektu. Objektom mapovania môže byť zemský povrch ale aj napr. priečelie architektonickej pamiatky, stavebné objekty sochy a iné diela a modely. Začiatok fotogrametrie sa datuje od roku 1838, keď vznikla fotografia. [3]

Teoretickým základom tejto metódy je, že fotografická snímka je centrálnou perspektívou, ktorú môžeme rôznymi grafickými, optickými alebo mechanickými prostriedkami transformovať na ortogonálnu projekciu. To umožňuje meranie v teréne nahradiť meraním na snímkach. Fotogrametrická snímka je stredový priemet predmetu do obrazovej roviny, pričom stred premietania je stred objektívu fotokomory a obrazovou rovinou je plošný snímač (CCD alebo CMOS). Lúče spájajúce body fotografovaného predmetu cez projekčné centrum s odpovedajúcimi bodmi na snímke nazývame určovacími lúčmi a ich súbor v rámci jednej snímky nazývame fotogrametrickým zväzkom lúčov. [3]

Fotogrametria sa počas svojho vývoja začala deliť na rôzne typy podľa metód vyhodnotenia a spracovania snímky na analógovú, analytickú a digitálnu, grafickú, číselnú. [4]

Ďalšie delenie je podľa polohy stanoviska na blízku (pozemnú) fotogrametriu, leteckú fotogrametriu, družicovú fotogrametriu.

Podľa počtu vyhodnocovaných snímok fotogrametriu delíme na jednosnímkovú a viacsnímkovú.

➤ Jedsnínmková fotogrametria

Pri tejto metóde sa používajú iba samostatné meračské snímky. Je možné určiť len rovinné snímkové súradnice predmetu merania a možno ich použiť ak je predmet merania blízky rovine. Vzťah popisujúci riešenie tejto metódy sa nazýva kolineácia. [4]

➤ Viacsnímková fotogrametria

Slúži pre trojrozmerné spracovanie vyžaduje vždy najmenej 2 vzájomne sa prekrývajúce sa snímky. Objekt musí byť súčasne zobrazený na oboch snímkach a zo snímkových súradníc objektu na oboch snímkach je možné vypočítať jeho priestorovú polohu. Ak majú snímky približné rovnobežné osi záberu, možno využiť stereoskopiou.

Na vyhodnotenie snímok sa používa umelý stereoskopický vnem, ktorý umožňuje vytvoriť priestorový model, hovoríme o stereo fotogrametrií, ktorá je vzhľadom na svoju univerzálnosť dnes najviac využívaná. Ak sú osi záberu navzájom konvergentné, je to viacsnímkové priestorové pretínanie. Technologicky ide o priesekovú fotogrametriu. [4]

Nové metódy fotogrametrie už nevystačujú len s poznatkami deskriptívnej geometrie. Spracovanie snímok je podstatne zložitejšie založené na matematických princípoch a rieši sa buď analyticky alebo s použitím počítačovej techniky. Fotogrametria znižuje čas pre zber dát a pre ich spracovanie. Hlavne pri mapovaní v stredných a malých mierkach je možné získať veľmi výrazné finančné a časové úspory oproti klasickým metódam merania. Vo veľa prípadoch inú metódu ako fotogrametriu nemožno použiť. (neprístupné terény, lesy, rozľahlé oblasti...) [4]

Fotogrametria má uplatnenie nielen v obore geodézia a kartografia ale aj v iných odvetviach ako stavebníctvo, pamiatková starostlivosť, sledovanie postupu výstavby alebo ťažby surovín, poľnohospodárstvo, lesníctvo, vodné hospodárstvo, strojárstvo, medicína, antropológia, polícia, ekológia, urbanizmus, design [4]

3 POPIS A HISTÓRIA OBJEKTU A LOKALITY

3.1 História a popis objektu



Obr. 3.1 Kostol Sv. Jakuba – šikmá letecká snímka z lietadla (Náměstie Slobody)

Výrazná stavba uprostred mesta Brna dosvedčuje sebavedomie ľudí i ich obetavosť pri budovaní dôstojného chrámu , ktorý by bol stabilnou súčasťou ich mesta. Na klenbe presbytéria nachádzame maľovaný erb abatiša oslavanského kláštora cisterciáček s dátumom roku 1220. Tento letopočet pripomína vysvätenie pôvodného kostola Sv. Jakuba, ktorý bol menší , románsky a predchádzal na tomto mieste dnešnú stavbu, ale z neho sa nič nezachovalo. Kostol bol obklopený cintorínom a radou kaplniek, ktoré však boli neskôr zbúrané. Poslednú z nich pri novogotickej úprave v sedemdesiatych rokoch minulého storočia. K najstarším patrila kaplnka Tela Kristovho z roku 1413 tzv. Nová kaplnka z roku 1428 , ďalej kaplnka sv. Trojice uvedená k roku 1463 a kaplnka Doroty na

cintoríne pripomínaná roku 1465. Išlo o menšie stavby, z ktorých kaplnka Tela Kristovho je označená ako pripojená ku kostolu. Brniansky mešťania v minulosti dotovali svojimi darmi a odkazmi tieto kaplnky i mnohé oltáre vo vnútri kostola, tak isto významne prispievali na stavebné náklady. Pri kostole bola ustanovená rada kaplánov pre ktorých bola už v roku 1415 zbudovaná rozšírená kaplnka pri vtedajšej farnej budove. [2]



Obr. 3.2 Interiér kostola Sv. Jakuba [12]

Chrám svätého Jakuba v Brne je stavba 54m dlhá , 22m široká a veža ma impozantnú výšku 94m. Na presbytérií, ktorý je zrejme starší, nadväzuje halové trojlodie, oddelené náznakom víťazného oblúku. V západnom priečelí stojí mohutná hranolová veža s kamenickou značkou Antona Pilgrama a textom: „ 1502 Ist Angela/n/gen dy Seiten“ . [2]

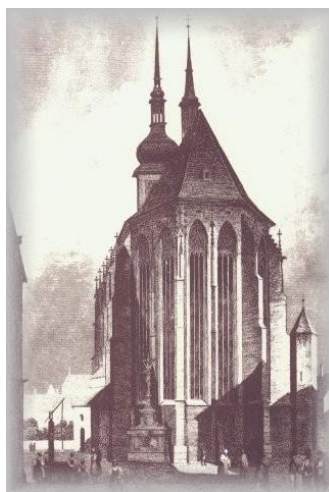
Pilgramovo autorstvo máme za isté nielen pri tejto severnej predsieni, dnešnej kaplnky s Pietou , ale i u točivého kamenného schodišťa pri sakristii z roku 1510, ktoré bolo zvalené v roku 1874. Bolo dokázané ,že Anton Pilgram, brniansky rodák, nadaný

kamenár a sochár, pôsobil v Brne minimálne v rokoch 1500-1511. Po tomto dátume prešiel do Viedne, na stavbu sv. Štefana. [2]

Schodisko starej sakristie malo zaujímavú krúženú klenbu s pretínanými rebrami. PhDr. Petr Kroupa, ktorý sa zaoberal stavebne historickým prieskumom chrámu Sv. Jakuba, dospel k záveru, že presbytár bol stavebne ukončený k roku 1473 a nachádza istú podobu pri kostole Sv. Ducha v Heidelbergu halového chóru. Sieťová klenba z troch rebier kombinovaných v závere s cípmi hviezdy patrí do okruhu švábskych sieťových klenieb. Za autora jakubskej klenby chóru považuje Kroupa majstra Hansa, čo je doložené na marcovom zjazde kamenárov v roku 1459 ako „Majster zu Prunn“ Majster z Brna. [2]

27.4.1515 kostol vyhorel, zrútila sa strecha všetky oltáre boli zničené. Bolo nutné vynaložiť znovu veľké prostriedky na opravu a vybavenie kostola. [2]

Doteraz zamurované okná na južnej a severnej strane fasády boli otvorené, dôkladne opravené a vymenené boli články istenia a okenného krúženia. Takto vzniknutá stavba, vlastná katedrálovým stavbám Západu, nemá však tzv. veniec kaplniek a hmotná obálka nie je na vonkajšku spevnená sústavou operných oblúkov a voľne stojacich pilierov, ďalším charakteristickým znakom katedrál. Táto podoba však nie je, cez jednotný dojem, dielom jedného plánu a jednej stavebnej fáze. Nehľadiac na to, že stavba mala v mieste neskoro románskeho predchodcu, určeného predovšetkým pre potrebu nemeckých a flanderských kolonistov a po prvý krát pripomínané v roku 1228, boli dejiny nového kostola veľmi dlhé a zrejme nejasné. [2]



Obr. 3.3 historický obraz chrámu Sv. Jakuba[13]

V dnešnej dobe predstavuje svätajakubský chrám typ mestského sieňového kostola redukovanej katedrálnej dispozície. Ide o jednoduchú stavbu hlavnej a dvoch bočných lodí, rovnako alebo približne rovnako vysokých. [2]

Výrazná stavba chrámu Sv. Jakuba je dominantou stredu mesta Brna a za storočie svojej existencie sa nezmazateľne vrylo do tváre mesta. [2]



Obr. 3.4 svätajakubský chrám [14]

4 PRÁCE PRED MERANÍM

4.1 Rekognoskácia

Pri rekognoskácii sa bolo treba najskôr zoznámiť s meraným územím a meraným objektom kostolom Sv. Jakuba. Kostol stojí na približne rovnom teréne s malým prevýšením v husto zastavanej oblasti relatívne vysokých budov a mestských uličiek. Ďalej bolo treba zistiť meračskú sieť ktorá bola zistená zo stránky Českého úradu zeměměřičství a katastru (www.cuzk.cz). Podľa geodetických údajov (miestopisov) sa body dohľadali a skontrolovali. Nakoniec sa podľa viditeľnosti na jednotlivé časti rozhodlo kde sa budú nachádzať stanoviská na podrobné meranie a meranie vlícovacích bodov. Objekt sa zo všetkých strán podrobne nafotil a snímky boli použité ako meračský náčrt.

4.2 Vlícovacie body

Vlícovacie body sú body zreteľne viditeľné na snímku majúce známe snímkové i objektové (geodetické súradnice). Môžu byť prirodzené alebo umelo signalizované. Umelo signalizované body sú stabilizované vhodným spôsobom. U nových bodov určíme súradnice geodetickou metódou s potrebnou presnosťou najmenej takou ako očakávame u novo určovaných bodov. [5]

Na objekte sa vďaka architektúre kostola nachádza veľké množstvo prirodzených vlícovacích bodov takže nebolo potrebné použiť umelo signalizované vlícovacie body. Ako vlícovacie body sa použili napríklad okna kostola, makovica na kostole, obrubníky na dlažbe v okolí kostola a ďalšie dobre viditeľne ostré miesta. Zvolilo sa 11 vlícovacích bodov, ktoré boli zvolené tak, aby boli dobre rozmiestnené v celom priestore kostola a boli viditeľné na viacerých snímkach.

5 GEODETICKÉ SPRACOVANIE

Pri geodetickom zameraní bolo zameraných 70 bodov bezhranolovým meraním overeným z dvoch a viacerých stanovísk presnosť určenia súradníc bola zaznamenaná do protokolu výpočtu podrobných bodov.

5.1 Pomôcky

Pri meraní vlícovacích bodov a kontrolných bodov bola použitá totálna stanica od firmy TOPCON, statív, pásmo (30m) a optický hranol TOPCON, trojpodstavcová súprava TOPCON GPT 3003N, výrobné číslo 4D0510

ĎALEKOHĽAD	
Dĺžka	150 mm
Priemer objektívu	45 mm (EDM 50 mm)
Zväčšenie	30´
Zorné pole	1°30´
Rozlíšenie	2,8"
Minimálne zaostrenie	1,3 m
MERANIE DLŽOK	
Bez hranolu (mód bez hranolu)	1,5 - (1200) 250 m
Hranol (normálny meračský mód)	3000m
Presnosť - mód bez hranolu nad 25 m	± 5 mm +2 ppm
Presnosť - mód bez hranolu do 25 m	± 10 mm
Presnosť - normálny meračský mód	± (3 mm + 2 ppm)
MERANIE UHLOV	
Presnosť	3 " = 1 mgon
Kompenzátor	kvapalinový , dvojosí
Rozsah kompenzácie	± 3´
Kruhová libela	10´ / 2 mm
Alhidádová libela	30 " / 2 mm

Tab. 5.1 Technické parametre TOPCON GPT 3003N[15]



Obr. 5.1 TOPCON GPT 3003N[16]

5.2 Meranie

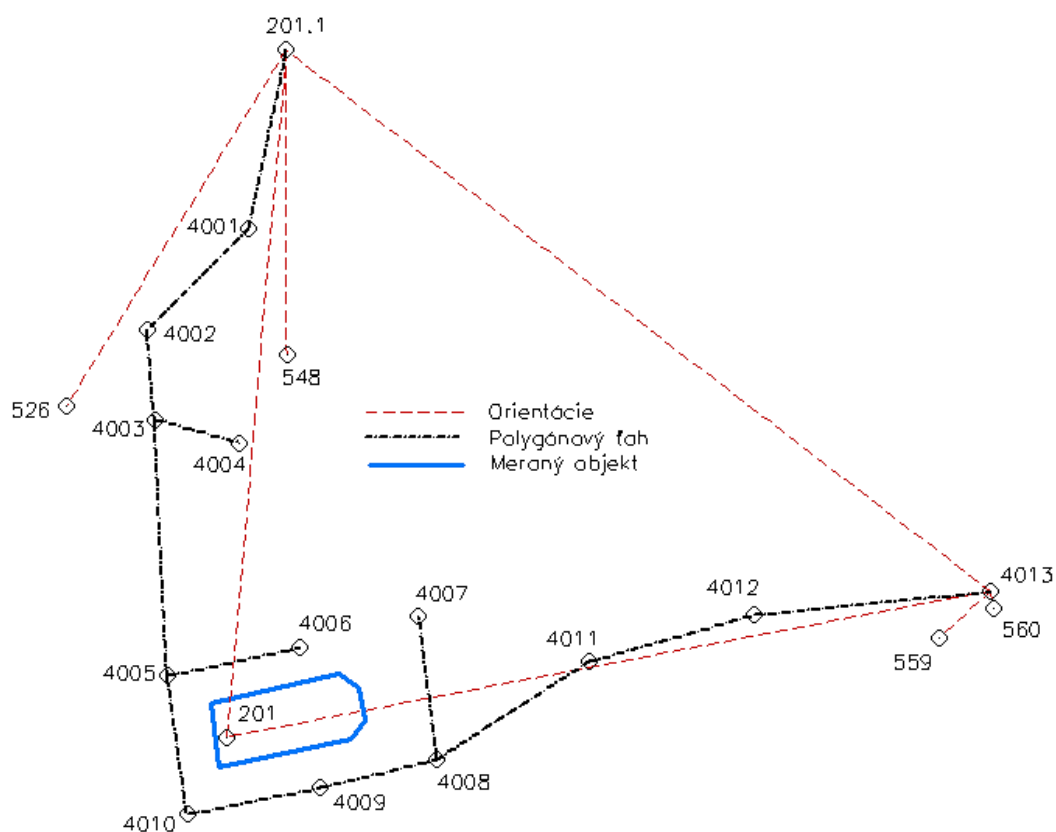
5.2.1 Práce pred meraním

Aby sa dosiahla čo najväčšia presnosť bolo potrebné dodržiavať určité postupy ako správne horizontovanie a centrovanie prístroja, kontrola súčtovej konštanty, zaostrovanie zámerného obrazca a samotné cielenie na jednotlivé vlícovacie a kontrolne body a orientácie.

V prístrojoch Topcon býva súčtová konštanta 0 alebo -30mm. Na overenie nastavenia súčtovej konštanty bola zmeraná vzdialenosť elektronickým dĺžkomerom s cielením na optický hranol a tá istá vzdialenosť bola odmeraná pásmom. Pokiaľ sa dĺžka nelíšila alebo sa líšila len o niekoľko milimetrov bola súčtová konštanta nastavená správne.

5.2.2 Tvorba bodového pola

Informácie o bodovom poli v danej lokalite boli získané z www.cuzk.cz a hovorili o tom, že bodové pole bude dostatočne husté na pripojenie polygónového ťahu avšak pri rekognoskácii bolo zistené, že niektoré z dôležitých bodov pre pripojenie polygónového ťahu boli zničené a dokonca premiestnené. Meračská sieť bola budovaná tak, aby každý vlícovací alebo kontrolný bod bolo vidieť aspoň z dvoch stanovísk. Body meračskej siete 4007, 4006, 4005, 4010, 4009, 4008 boli stanoviská z ktorých boli zamerané podrobné body. Polygónový ťah mal 14 bodov, pričom sa vychádzalo zo zaist'ovacieho bodu 201.1 zhust'ovacieho bodu 201, ktorým bola makovica na najvyššej veži kostola sv. Jakuba. Pre zaistenie vyššej presnosti určenia súradníc polygónového ťahu bola zvolená metóda závislej centrácie pomocou trojpodstavcovej súpravy. Body boli stabilizované klincami zabíjacími do škár v dlažbe a signalizované kriedou. Polohové súradnice sú v S-JTSK (systém jednotný trigonometrický katastrálny) a výškový systém je Bpv (Balt po vyrovnaní). Bol zvolený obojstranne pripojený a orientovaný polygónový ťah. Uhly boli merané v dvoch polohách ďalekohľadu a dĺžky boli merané elektronickým diaľkomerom na optický hranol z každého stanoviska tam a späť. Výsledné súradnice boli vypočítané v programe Groma V8.



Obr. 5.2 Prehľad meračskej siete

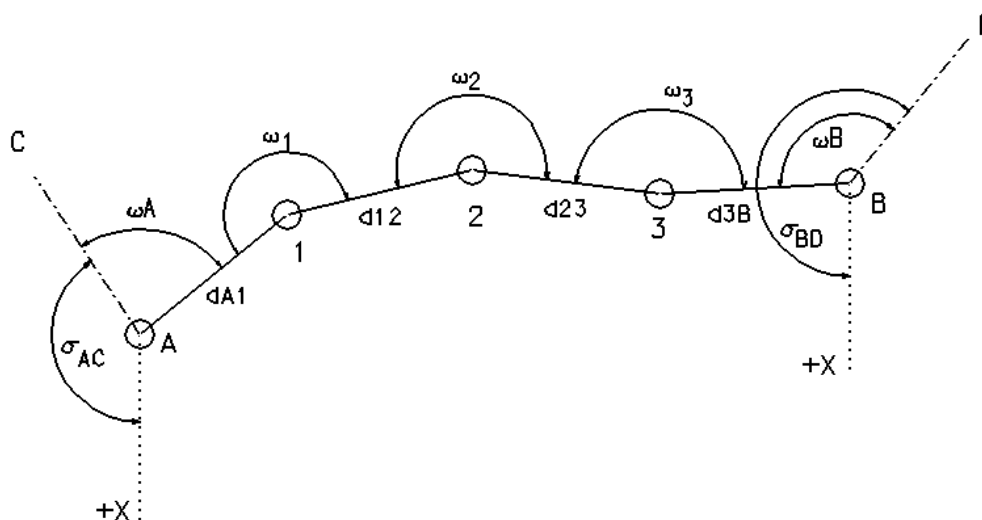
5.2.3 Podrobné meranie bodov

Tak ako bolo spomenuté v kapitole 5.2.2 ako stanoviská slúžili body meračskej siete 4007, 4006, 4005, 4010, 4009, 4008 ktoré boli zároveň aj orientáciami. Podrobné meranie bodov bolo realizované totálnou stanicou, kde boli všetky namerané údaje registrované do pamäti prístroja. Meralo sa polárnou metódou v jednej polohe ďalekohľadu a merali sa vodorovné a zvislé uhly. Dĺžky boli merané buď na optický hranol alebo vo väčšine prípadov bezhranolom a boli kontrolované zameraním toho istého bodu z iného stanoviska čím sa overila správna poloha bodu. Pred začatím merania bolo potrebné odmerať výšku prístroja pomocou pásma. Pri meraní bola dôležitá opatrná manipulácia s prístrojom a správne cielenie na zvolený bod na fasáde meraného objektu.

5.3 Výpočtové práce

5.3.1 Polygónový ťah

Zhustenie bodového pola je možné okrem iného aj polygónovým ťahom. Body polygónového ťahu sa volia tak aby slúžili ako stanoviská podrobného merania. [3]



Obr. 5.3 Obojstranne pripojený a orientovaný polygónový ťah

Dané: A, B, C

Merané: $\omega_A, \omega_B, \omega_1, \omega_2, \omega_3, d_{A1}, d_{12}, d_{23}, d_{3B}$

Úlohou je určiť súradnice 1, 2, 3

Vlastný výpočet začíname uhlovým vyrovnaním a určením vyrovnaných hodnôt smerníkov jednotlivých strán. Po výpočte orientačných smerníkov σ_{AC} a σ_{BD} vypočítame predbežné smerníky. Predbežný smerník prvej polygónovej strany σ'_{A1} vypočítame tak, že k orientačnému smerníku σ_{AC} pripočítame meraný vrcholový uhol ω'_A . Predbežné smerníky ďalších polygónových strán určíme tak, že k smerníku predchádzajúcej strany pripočítame príslušný meraný vrcholový uhol a súčet zmenšíme o 200^g . [3]

Prvý predbežný smerník: $\sigma'_{A1} = \sigma_{AC} + \omega'_A$

Ostatné predbežné smerníky: $\sigma'_{i,i+1} = \sigma_{i-1,i} + \omega'_i - 200^g$

Keď to spočítame dostaneme : $\sigma'_{BD} = \sigma_{AC} + [\omega'] - i \cdot 200''$ kde i je počet meraných vrcholových uhlov, pričom tento počet môže byť o jeden zmenšený alebo zväčšený v závislosti od veľkosti vrcholových uhlov. [3]

Rozdiel smerníkov je potom: $\sigma_{BD} - \sigma'_{BD} = o\omega$ reprezentuje uhlový uzáver polygónového ťahu. Vyjadruje presnosť merania vrcholových uhlov. Pred uhlovým vyrovnaním je treba porovnať odchýlku $o\omega$ s dovolenou odchýlkou $\Delta\omega$ vyjadrenou krajným uhlovým uzáverom, ktorý je pre jednotlivé druhy polygónových ťahov rôzny. Ak $\Delta\omega > o\omega$, potom uhlový uzáver $o\omega$ rozdelíme rovnomerne na jednotlivé merané vrcholové uhly tak, že ku každému uhlu pridáme opravu δ_ω s príslušným znamienkom $\delta_\omega = o\omega / n$ pričom ju zaokrúhľujeme na celé sekundy tak, aby $[\delta_\omega] = o\omega$. Takto získame opravené merané uhly, pomocou ktorých vypočítame vyrovnané smerníky jednotlivých polygónových strán. [3]

$$\sigma_{A1} = \sigma_{AC} + \omega_A \qquad \omega_A = \omega'_A + \delta_\omega$$

$$\sigma_{i,i+1} = \sigma_{i-1,i} + \omega_i - 200'' \qquad \omega_i = \omega'_i + \delta_\omega$$

Ďalej urobíme predbežné súradnicové rozdiely z vyrovnaných smerníkov a meraných dĺžok polygónových strán. Znamienka súradnicových rozdielov sú viazané na veľkosť smerníka – podľa toho, aké znamienko v danom kvadrante má sínus alebo kosínus. [3]

$$[\Delta y'_{ij}] = [d'_{ij} \cdot \sin \sigma_{ij}] \qquad [\Delta x'_{ij}] = [d'_{ij} \cdot \cos \sigma_{ij}]$$

Súčet predbežných súradnicových rozdielov $[\Delta y'_{ij}]$ alebo $[\Delta x'_{ij}]$ by sa mal rovnať rozdielu príslušných súradníc bodov A a B. $[\Delta y'_{ij}] = y_B - y_A$ $[\Delta x'_{ij}] = x_B - x_A$ [3]

Tieto rovnice nebudú splnené vplyvom meračských chýb. Odchýlky predstavujú súradnicové uzávery v jednotlivých osiach o_x a o_y . [3]

$$o_y = y_B - y_A - [\Delta y'_{ij}] \qquad o_x = x_B - x_A - [\Delta x'_{ij}]$$

Z nich vypočítame polohovú odchýlku $o_p = \sqrt{o_y^2 + o_x^2}$, ktorú porovnáme s dovolenou odchýlkou Δp vyjadrenú krajným polohovým uzáverom pre jednotlivé druhy polygónových ťahov. V prípade, že $o_p < \Delta p$, potom rozdelíme súradnicové uzávery o_x a o_y

na jednotlivé súradnicové rozdiely úmerne ich absolútnym hodnotám a získame vyrovnané súradnicové rozdiely . [3]

$$\delta y_{ij} = k_y \cdot |\Delta y'_{ij}| \quad \delta x_{ij} = k_x \cdot |\Delta x'_{ij}|$$

$$\text{kde } k_y = o_y / [|\Delta y'|] \quad k_x = o_x / [|\Delta x'|]$$

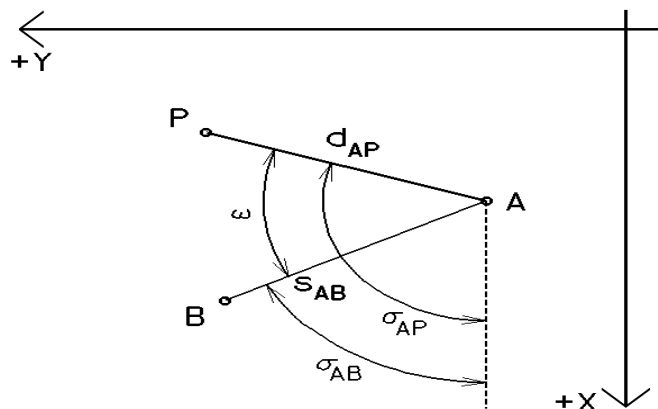
$$\Delta y_{ij} = \Delta y'_{ij} + \delta y_{ij} \quad \Delta x_{ij} = \Delta x'_{ij} + \delta x_{ij}$$

Pomocou vyrovnaných súradnicových rozdielov postupne od bodu A určujeme vyrovnané súradnice jednotlivých bodov polygónového ťahu až po bod B, v ktorom takto vypočítané súradnice sa musia zhodovať s danými súradnicami. [3]

$$y_1 = y_A + \Delta y_{A1} \quad x_1 = x_A + \Delta x_{A1}$$

$$y_j = y_i + \Delta y_{ij} \quad x_j = x_i + \Delta x_{ij}$$

5.3.2 Polárna metóda



Obr. 5.4 Polárna metóda

Úlohou polárnej metódy je vypočítať pravouhlé súradnice bodu P.

Dané: súradnice bodov A, B

Merané: na bode A bol meraný uhol ω a dĺžka d_{AP}

Najskôr vypočítame smerník σ_{AB} a potom smerník σ_{AP} podľa vzťahu

$\sigma_{AP} = \sigma_{AB} + \omega$ ďalej je výpočet súradnicových rozdielov Δy_{AP} , Δx_{AP}

$\Delta y_{AP} = d_{AP} \cdot \sin \sigma_{AP}$ $\Delta x_{AP} = d_{AP} \cdot \cos \sigma_{AP}$ a nakoniec výpočet súradníc bodu P

$Y_p = y_A + \Delta y_{AP}$ $X_p = x_A + \Delta x_{AP}$ Znamienko súradnicového rozdielu bude totožné so znamienkom sínusu alebo kosínusu smerníka v príslušnom kvadrante. [3]

5.3.3 Chyby a redukcie

Nesplnenie podmienky kolmosti osi alhidádovej libely a osi alhidády je veľmi závažné pre výsledky meraní, lebo zaťažuje uhlové meranie chybou, ktorú nedokážeme eliminovať meraním v dvoch polohách. [7]

Nesplnením podmienky kolmosti zámernej osi a klopnej osi ďalekohľadu vzniká kolimačná chyba. Odstrániť túto chybu môže jedine odborník v mechanickej dielni posunom zámerného obrazca. Vplyv tejto chyby pri určovaní uhlov vylúčime meraním v dvoch polohách ďalekohľadu. [7]

Nesplnením podmienky kolmosti klopnej osi ďalekohľadu a vertikálnej osi alhidády vzniká chyba, ktorú môže odstrániť jedine odborník v dielni. Vplyv tejto chyby na meranie uhlov vylúčime meraním v dvoch polohách ďalekohľadu. [7]

Údaje zvislých uhlov nameraných v jednej polohe ďalekohľadu sú obvykle zaťažené indexovou chybou i . To je uhlová odchýlka spôsobená nesprávnou polohou odčítacieho zariadenia. Pri menej presných prácach meraním iba v jednej polohe ďalekohľadu je možné pri zistenej indexovej chybe zlepšiť výsledky merania opravou čítania o túto chybu. Ide o systematickú chybu, ktorá pri meraní v jednej polohe ďalekohľadu zaťažuje každý meraný uhol. Pri meraní v dvoch polohách ďalekohľadu sa táto chyba vylúči. [7]

$$i = \frac{4R - (z^I + z^{II})}{2} \quad z^I, z^{II} \dots \text{zvislé smery merané v prvej a druhej polohe ďalekohľadu}$$

5.3.4 Spracovanie nameraných dát

V súčasnosti je úroveň techniky a možnosti spracovania nameraných dát na takej úrovni, že nám dovoľuje vypočítať, prepísať, skopírovať a upraviť zápisník do digitálnej podoby podľa vlastných predstáv. Celý záznam z merania je v digitálnej forme stiahnutý cez výstupný port z totálnej stanice pomocou softvéru firmy Topcon vo formáte *.zap a *.SDT. Výpočty boli urobené v programe Groma V 8.0 kde sa načítal zápisník ako na obrázku 5.5 a bol upravený. Pomocou funkcie „zpracování zápisníku“ boli spracované merania v oboch polohách, redukované smery, opravená indexová chyba, opravená refrakcia, vypočítané prevýšenie, spracované opakované merania a obojstranne merané

dĺžky a prevýšenia. Ďalej boli pomocou ďalších funkcií vypočítané polygónový ťah aj s výškami, voľné stanovisko, rajóny a funkciou „polárni metoda dávkou“ vypočítané podrobné body. Pre body, ktoré boli vypočítané z viacerých stanovísk bolo nastavené vyvolanie dialógového okna s možnosťou uložiť nový, ponechať starý bod alebo priemer a oznámi odchýlky. Všetky akcie a výsledky boli zaznamenané a uložené v protokole ako je na obrázku 5.5, ktorý bolo možné exportovať v rôznych formátoch ako *.txt alebo *.xls a sú priložené v prílohách v bakalárskej práci.

The screenshot shows the GROMA V 8.0 software interface. The main window displays a table with columns: Předš., Číslo, Hz, Z, Vod.délka, dH, Signál, and Popis. The table contains two main sections of data points. To the right, a protocol window titled "vypocet polygon aj vysky1.pro: Protokol" is open, showing detailed calculations for a polygon and height determination, including coordinates, distances, and various error metrics.

Obr. 5.5 Zápisník a protokol z programu Groma V 8.0

5.3.5 Presnosť vlícovacích bodov

Na meranie vlícovacích bodov bola použitá polárna metóda a výšky boli určované trigonometricky. Každý jeden z použitých bodov v modeli bol zameraný minimálne z dvoch stanovísk a preto vzniklo pri určovaní súradníc bodu minimálne jedno nadbytočné meranie. Z nadbytočných meraní sa vypočítali jednotlivé stredné chyby určenia polohy bodu v smere súradnicových os m_x , m_y , m_h podľa vzorcov na výpočet strednej chyby jednotlivých súradníc.

$$m_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n V_x^2}{n} \quad m_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n V_y^2}{n} \quad m_h^2 = \frac{\sum_{i=1}^n V_h^2}{n} \quad \text{Celkové stredné súradnicové}$$

chyby jednotlivých súradníc sú: $m_y = 0,026\text{m}$, $m_x = 0,023\text{m}$ a $m_h = 0,017\text{m}$

6 FOTOGRAMETRICKÉ SPRACOVANIE

Ako podklad na fotogrametrické spracovanie boli použité letecké snímky, ktoré boli prevzaté od vedúceho bakalárskej práce tak isto ako aj dopĺňujúce pozemné snímky prednej časti meraného objektu.

6.1 Blízka fotogrametria

Blízka alebo inými slovami pozemná fotogrametria je charakteristická tým, že stanoviská, z ktorých sú snímky vyhotovené sa nachádzajú na zemskom povrchu. Uplatňuje sa dobre nielen pri meraní členitých povrchov ale aj pri meraní stavebných objektov. [3]

Princíp určenia priestorovej polohy objektov zo snímok pri digitálnej fotogrametrii vychádza z matematického riešenia rovníc a priestorovej projektívnej transformácie. Platí zásada, že priestorovú polohu bodu môžeme určiť minimálne z dvoch stanovísk a dvoch snímok. Digitálne snímky sa spracúvajú na počítačoch so špecializovaným fotogrametrickým softvérom a hardvérom. Vďaka vysokému stupňu automatizácie obrazu sa zvyšuje efektivita a presnosť výsledkov. Najčastejšie výsledky fotogrametrických prác sú vektorová kresba polohopisu a výškopisu alebo priestorové a vektorové modely objektov a terénu. [3]

6.1.1 Matematické základy fotogrametrie

Pre spracovanie snímok je potrebné snímky orientovať a na to slúžia prvky vnútornej a vonkajšej orientácie. Pomocou snímkových súradníc a prvkov vnútornej orientácie je možné rekonštruovať trs lúčov vychádzajúcich z projekčného centra a toto podľa prvkov vonkajšej orientácie orientovať v objektovom systéme. [5]

Prvky vnútornej orientácie x_0, y_0 definujú polohu projekčného centra v snímkovom súradnicovom systéme a do prvkov vnútornej orientácie patri aj konštanta kamery c . [5]

Prvky vonkajšej orientácie X_0, Y_0, Z_0 , definujú polohu a ω, φ, κ pootočeniu kamery v objektovom súradnicovom systéme. [5]

6.1.2 Faktory presnosti blízkej fotogrametrie

Presnosť určenia bodov závisí na geometrických a negeometrických faktoroch.

Geometrické faktory sú :

- Mierka snímku – je daná konštantou kamery (ohnisková vzdialenosť) a vzdialenosťou projekčného centra od objektu. Čím väčšia mierka snímky tým väčšia presnosť.
- Veľkosť uhla, pod ktorým sa lúče pretnú. Najviac optimálny uhol pretínania lúčov je 90° . Tento uhol je však príliš veľký, pre dobrú identifikáciu a meranie bodov je dôležité aby os bodu zvierala s lúčom uhol menší ako 30° .
- Rozmiestnenie vlícovacích bodov, ktoré musia byť rovnomerne rozmiestnené po celom priestore s objektovými bodmi. Ak to tak nie je presnosť klesá.
- Geometria snímkovania. Najväčšiu presnosť dosiahneme, keď použijeme konvergentné snímkovanie z viacerých stanovísk. Za konfiguráciu snímkovania z viacerých stanovísk je považované meranie objektu , keď záujmový priestor je zobrazený na troch a viacerých snímkach, ktoré sú urobené z od seba vzdialených miest. Body sú určené pretnutím viac ako dvoch konvergentných lúčov. Vznikajú nadbytočné merania a eliminujú sa systematické chyby. Okrem vlícovacích bodov sa na snímku používajú aj nadväzujúce body, ktoré by mali byť tak isto rozložené rovnomerne po celej ploche snímku a sú na zlepšenie výpočtu prvkov vonkajšej orientácie snímku. Tieto body môžu ale nemusia byť na meranom objekte. [5]

Negeometrické faktory sú :

- Matematický model , ktorý slúži na odstránenie systematických chýb, ako hlavne skreslenie objektívu. Čím kvalitnejší model tým lepšia presnosť ale kvalitné objektívy nepotrebujú zložité modely.
- Presnosť merania snímkových súradníc
- Počet snímkov z jedného stanoviska, čím sa zvýši počet meraní
- Tvar a osvetlenie bodov. Pri signalizovaných bodoch to je symetrický terč, ktorý má v rovine aspoň 5 – 10 pixelov.
- Použitie kamery, ktorá eliminuje deformáciu filmu a zlepšuje presnosť
- Spôsob vyrovnania v súvislosti s metódou eliminácie odľahlých meraní[5]

V prípade tejto práce išlo hlavne o vytvorenie priestorového modelu, ktorý nemusel dosahovať milimetrovej presnosti a preto bol vyhotovovaný len potrebný počet snímok k vytvoreniu modelu, body neboli osvetľované ani signalizované a boli použité prirodzené body na fasáde objektu. Bola použitá digitálna kamera, ktorej parametre boli známe.

6.1.3 Parametre kamery na pozemné snímkovanie

Kamery pre blízku fotogrametriu sa delia na meračské, čiastočne meračské a nemeračské. V súčasnej dobe sa používajú hlavne nemeračské kamery. To sú kamery, ktorých prvky vnútornej orientácie sú nestabilné a sú úplne alebo čiastočne neznáme. Skreslenie objektívu dosahuje niekedy značných hodnôt. Po kalibrácii týchto kamier sa zvýši ich kvalita a presnosť, ktorá sa blíži k meračským kamerám. Pre účely pozemnej fotogrametrie sú najvhodnejšie nemeračské digitálne zrkadlovky s rozlíšením 5 – 10 Mpix s objektívom s konštantnou ohniskovou vzdialenosťou. [5]

Pre účely tejto bakalárskej práce bola použitá nemeračská digitálna kamera Canon PowerShot A720 is (Obr. 6.1) , ktorý má možnosť konštantnej ohniskovej vzdialenosti a vypnutia automatického zaostrovania. Kamera sa radí medzi „kompakty“ a urobené snímky boli uložené na pamäťovú kartu. Parametre fotoaparátu sú zapísané v tabuľke 6.1.

Typ	CCD (Charge coupled device)
Celkové rozlíšenie	8,3Mpix
Efektívne rozlíšenie	8,0Mpix
Ohnisková vzdialenosť	5,8 - 34,8 mm
Citlivosť	80/100/200/400/800/1600
Maximálna clona	2,8 - 4,8
Rozsah uzávierky	1/2000 - 15sec
Typ ostrenia	Auto, Manual
Farebná hĺbka	36bit
Rozlíšenie	3264x2448, 2592x1944, 2048x1536, 1600x1200, 640x480, 3264x1832(širokouhlý)
Formát súboru	JPEG

Tab. 6.1 Parametre fotoaparátu Canon PowerShot A720 is[17]



Obr. 6.1 Canon PowerShot A720 is[18]

6.2 Vyrovnanie bloku zväzkov

Sú možné dva spôsoby riešenia a to staršie riešenie založené na modeloch a druhý spôsob, ktorý sa používa v súčasnej dobe vyrovnanie bloku zväzkov. Pri tomto princípe sa neuplatní vplyv zbytkových systematických chýb z relatívnej orientácie a lepšie sa pridávajú prídavné parametre a ďalšie merania do vyrovnania. Pri vyrovnaní bloku zväzkov lúčov vypočítame priamo vzťahy medzi snímkovými a objektovými súradnicami. Základnou jednotkou je snímka. Súradnice snímku s príslušným projekčným centrom určujú priestorový zväzok lúčov. Princíp definujeme tak, že zväzky lúčov sú umiestnené (X_0, Y_0, Z_0) a pootočené $(\omega, \varphi, \kappa)$, takže zväzky lúčov sa pretínajú, tak ako je najviac možné v nadväzovacích bodoch a prechádzajú vlícovacími bodmi, tak blízko ako to je možné. Vstupné údaje sú merané snímkové a objektové súradnice vlícovacích bodov a merané snímkové súradnice nadväzujúcich a určovaných bodov. Pri vyrovnaní sú súčasne vypočítané prvky vonkajšej orientácie všetkých snímok bloku. Nakoniec musia byť známe približné prvky vonkajšej orientácie, ktoré sa zadajú pred výpočtom ako vstupné údaje alebo sú vypočítané z iných údajov ako mierka snímky, konštanta kamery, azimut letu a ďalšie. [5]

6.2.1 Presnosť aerotriangulácie

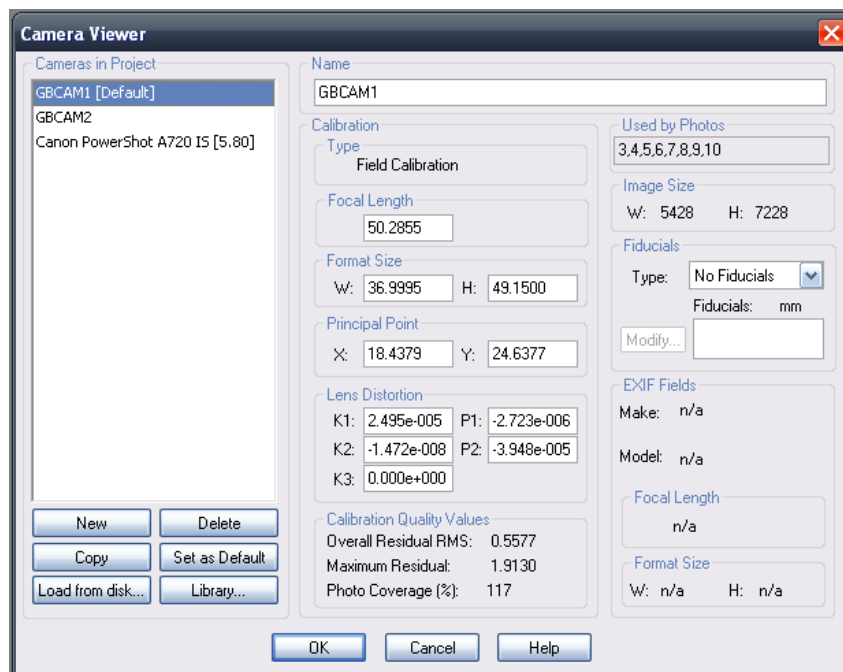
Pre odhad presnosti sa používajú vzorce, ak pridáme prídavné parametre a širokouhlú kameru môžeme na signalizovaných bodoch dosiahnuť presnosť $\sigma_{XY} \approx 5 \mu\text{m}$ m_s $\sigma_Z \approx 0,005\% h$. Ak sa nepodari eliminovať zbytkové systematické chyby, presnosť môže byť 2x – 3x nižšia rovnako ako u nesignalizovaných bodov. [5]

Presnosť je závislá na rade faktorov:

- Mierka snímku je jedným z rozhodujúcich faktorov pri fotogrametrických prácach
- Presnosť merania snímkových súradníc pri analytických prístrojoch 2 – 4 μ m podobnej presnosti je možno dosiahnuť vďaka subpixelovej metóde merania i u digitálnych staníc. V prípade väčšej veľkosti pixelu 20 – 30 μ m je požadovanej presnosti dosiahnuto väčším počtom nadväzujúcich bodov.
- Počet nadväzujúcich bodov pri použití analytických prístrojov nie je potrebný veľký počet bodov, stačí 5 nadväzujúcich bodov v trojnásobnom prekryte. Ďalšie zvyšovanie počtu bodov už presnosť veľmi nevylepší ale niekoľko bodov navyše je užitočných pri používaní prídavných parametrov. Pri digitálnej technológii veľký počet automaticky nájdených bodov urýchli a zefektívni prácu a umožní tiež použitie väčšej veľkosti pixelu pri digitalizácii snímku.
- Matematický model. Keď sa použijú prídavné parametre, tak matematický model umožní znížiť vplyv malých zbytkových systematických chýb a tým zvýšiť presnosť. Skoro nutnosťou je existencia spôsobu vyrovňania umožňujúci vyhľadávanie chýb, ich elimináciu a analýzu presnosti výsledkov.
- Počet, poloha a presnosť vlícovacích bodov. Presnosť bodov rozhoduje o absolútnom umiestnení bloku v priestore. Dnešné geodetické metódy umožňujú určiť polohu vlícovacích bodov s potrebnou presnosťou. Poloha a počet súvisí s geometriou bloku. Pri nepravidelnom bloku potrebné zvýšiť počet vlícovacích bodov. Ak sú vlícovacie body úplne pravidelne rozmiestnené po okraji bloku je presnosť v bloku prakticky rovnaká. Je doporučené, aby bol vlícovací bod na každom treťom snímku na okraji bloku. Vlícovacie body, ktoré sú vo vnútri bloku neprinesú zvýšenie presnosti, slúžia skôr na kontrolu. Pre dosiahnutie dobrej presnosti vo výškach sú nutné reťazce výškových vlícovacích bodov. Platí výškový bod na každej tretej snímke, v každej druhej až tretej rade. [5]

6.2.2 Digitálne kamery a snímkovanie

Bola použitá kamera GBCAM firmy Geodis s ohniskovou vzdialenosťou 50,2855mm. Ďalšie parametre kamery sú na obrázku 6.2.



Obr. 6.2 Parametre kamery GBCAM

6.3 Priestorové modely povrchu

Pri zvislých snímkach je obrazová textúra redukovaná do vodorovnej roviny X,Y. Textúry vertikálnych plôch nie sú dostupné. Ak potrebujeme textúry v iných rovinách je potrebné vytvoriť priestorový model. Na vytvorenie modelu sa používa aj kombinácia šikmých leteckých a pozemných snímok. [9]

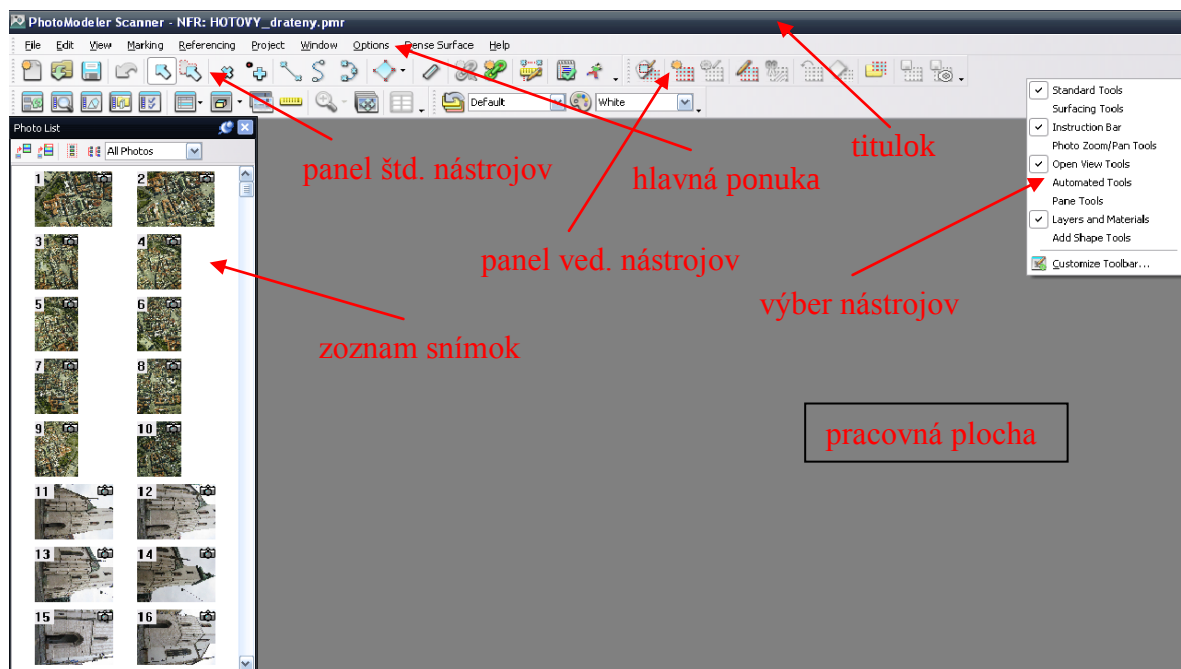
3D modely nám umožňujú dobrú predstavu geometrických vzťahov. Musíme si uvedomiť, že kvalitný 3D model predstavuje veľké množstvo práce a tým je jeho cena vysoká a preto sa modely robia hlavne pre významné pamiatkové rezervácie alebo dôležité objekty. [9]

7 Tvorba 3D modelu

Model bol vytvorený v počítačovom prostredí programu PhotoModeler Scanner v 6. Je to softvér, ktorý dokáže vcelku jednoducho vypočítať orientácie snímok, transformáciu a iné funkcie potrebné k vytvoreniu priestorového modelu.

7.1 PhotoModeler Scanner 6

Tento softvér je určený k 2D a 3D modelovaniu. Funguje na princípe priesekovej fotogrametrie. Umožňuje získať mnoho údajov zo snímok, ktoré kombinuje a umiestňuje body v 3D priestore. Výsledkom tohto procesu je trojrozmerný priestorový model, ktorý môže byť exportovaný do iných grafických programov. Celý program je v anglickom jazyku a pracuje v prostredí Windows. Je možné ho ovládať PC myšou a klávesnicou. [10]



Obr. 7.1 Pracovné prostredie PhotoModeler Scanner 6

Pracovné prostredie programu (Obr. 7.1) tvorí:

- Titulok s názvom programu a názvom práve otvoreného súboru a typické Windows tlačidlá.
- Hlavná ponuka – menu pomocou ktorej sa dostaneme k hlavným funkciám a nástrojom softvéru.
- Panel štandardných nástrojov – *standard toolbar*, ktorý obsahuje rad ikon, ktorý obsahuje najzákladnejšie nástroje.

- Panel vedľajších nástrojov – *tools* . Obsahuje niekoľko nástrojov, ktoré si užívateľ môže zvoliť sám podľa vlastného výberu a umožnia mu rýchlejšiu manipuláciu z nástrojmi. Spúšťa sa kliknutím pravým tlačidlom myši na panel pod titulkom.
- Pracovná plocha – *work space* . Je to najväčšia časť pracovného prostredia, kde sa robí väčšina operácií.
- Zoznam snímok – *photo list* . Nachádzajú sa na ňom použité snímky v otvorenom projekte.

7.2 Postup pri tvorbe 3D modelu

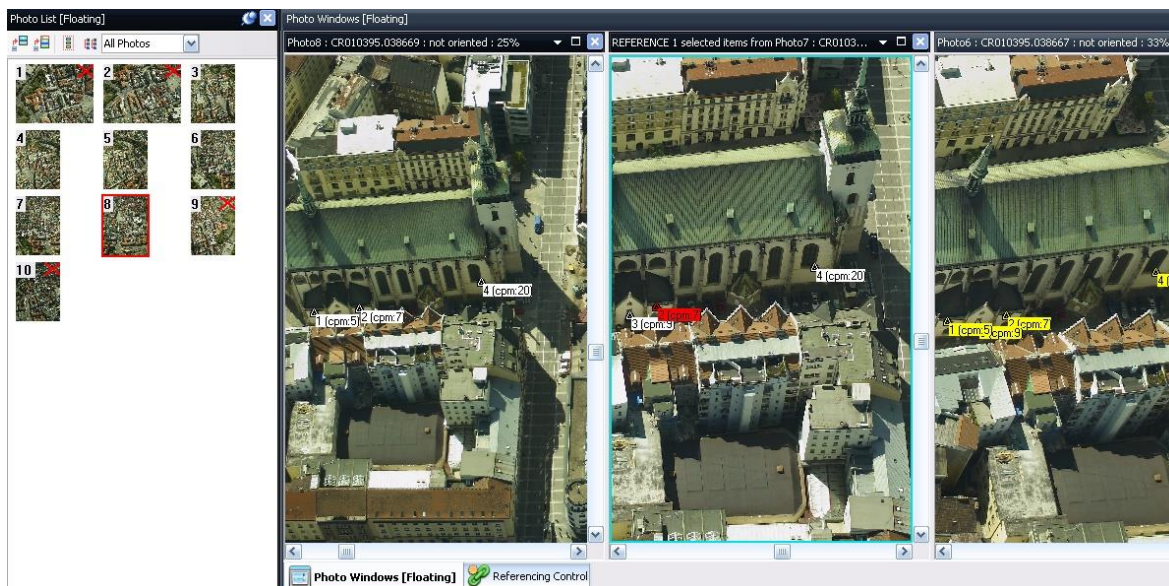
7.2.1 Založenie súboru a import snímok a bodov

Bol založený nový projekt cez *File / Getting started*. Po zobrazení okna bola zvolená možnosť *Points – based project*. Po zobrazení ďalšieho okna, ktoré bolo rozdelené na dve časti bol v jednej časti otvorený adresár s nafotenými leteckými snímkami a pomocou tlačidla „»“ boli vkladane snímky do druhej časti okna. Po vložení všetkých snímok bol projekt založený.

Funkciou *Project / Cameras* sme sa dostali do ponuky kamier – *camera viewer*. V tejto ponuke boli na výber kamery alebo možnosť vloženia kamery. Nebola vkladaná žiadna kamera všetky kamery už boli načítané. Okno obsahuje informácie o jednotlivých kamerách ako sú ohnisková vzdialenosť, súradnice hlavného bodu, veľkosť formátu a snímky a skreslenie (K1, K2, K3). Boli vytvorené kamery, pre letecké snímky GBCAM a pozemné snímky Canon PowerShot A720 IS. Nakoniec boli do projektu importované súradnice vlíčovacích bodov pomocou funkcie *Marking / Mark-Pin Imports Mode*. Po zobrazení okna *Imports Explorer* kliknutím na tlačidlo *Add Import Object* bol načítaný textový súbor so súradnicami Y,X,Z vlíčovacích bodov.

7.2.2 Meranie a referencovanie

Najskôr boli vlíčovacie body priradené bodom na snímkach tak ako je to na Obr. 7.2 . Bola otvorená snímka, na ktorej bol zvolený vlíčovací bod, potom bol obraz priblížený až ak miestu bodu tak, aby bol vlíčovací bod určený čo najpresnejšie. Vlíčovací bod bol priradený vybraním bodu zo zoznamu vlíčovacích bodov v tabuľke *Import Explorer* a kliknutím na miesto bodu na snímku. Takto to bolo urobené pri všetkých použitých jedenástich vlíčovacích bodoch.



Obr. 7.2 Vlčovací body - referencovanie

Na obrázku 7.2 je vidieť aj referencovanie. Referencovanie je jednoduchá funkcia photomodeleru, ktorou sa bodu na snímke priradujú jemu odpovedajúce body na iných snímkach. Klikne sa na funkciu *Referencing / Referencing Mode* a potom sa klikne na už vytvorený bod na jednej snímke (bod sčervená) a potom na jemu odpovedajúce miesta na iných snímkach. Čísla bodov, značky, línie a ďalšie možnosti boli zobrazené pomocou funkcie *View / Visibility on Photos* .

Okrem vlčovacích bodov sa použili aj nadväzovacie body pomocou siedmej funkcie zľava v panely štandardných nástrojov z obrázka 7.1. Postup bol rovnaký ako pri vlčovacích bodoch s tým rozdielom, že súradnice týchto bodov neboli známe a nadväzovacie body sa nachádzali na celom nafotennom území nie len na meranom objekte. Boli to body dobre viditeľné na kontrastných plochách obvykle rohy okien, spojnice striech, prechod pre chodcov na komunikácii a ďalšie. Nadväzovacie body boli rovnomerne rozmiestnené na všetkých snímkach. Tieto body boli vytvorené behom merania čísla im boli pridelené automaticky a každé zrušené číslo bodu bolo nahradené ďalším číslom.

7.2.3 Výpočet

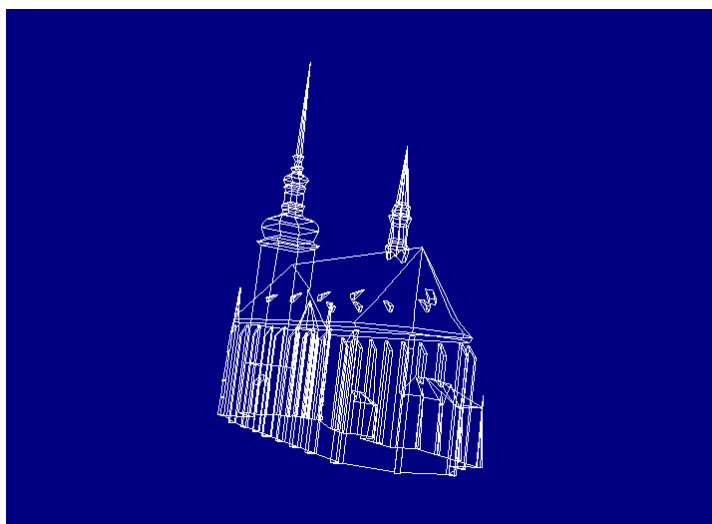
Výpočet bol urobený pomocou funkcie *Project / Process*. Po otvorení okna *Processing* , kde sa v nastaveniach - *Options* nastavili kalibráciu - *Full field calibration* a spustili proces. Ďalej sa do výpočtu zahrnuli už aj snímky 1,2 a v okne *Processing* sa

nastavili v nastaveniach orientáciu, globálnu optimalizáciu a obmedzenia procesu - *Orientation, Global Optimization* a *Process Constraints* a spustili proces. Po skončení procesu v otvorenom okne bolo možné skontrolovať kvalitu výpočtu. Pri prvom výpočte nebola kvalita dostačujúca a preto boli niektoré vlíčovacie a hlavne nadväzovacie body vymazané, čím bola dosiahnutá väčšia presnosť. Protokol z výpočtu bol uložený do textového súboru.

Pozemné snímky boli dodané neskôr a boli do projektu dopočítané neskôr. Po orientácii pozemných snímok sa kvalita modelu mierne zhoršila.

7.2.4 Drôtený model

Model bol vytvorený pomocou línií a kriviek. Krivka sa musela skladať z minimálne 4 bodov. Línie boli robené deviatou funkciou zľava v štandardnom paneli nástrojov z obrázka 7.1 – *Mark Lines Mode* a krivky boli robené jedenástou funkciou zľava v štandardnom paneli nástrojov z obrázka 7.1 – *Curve Through Points*. Najlepšie určenie polohy bodu bolo, keď bol bod určený na leteckej a pozemnej snímke a platilo, že nie vždy body určené z viacej ako 2 – 3 snímok sú presnejšie. Pri práci s modelom bolo zistené, že určenie z 2 snímok je presnejšie a nerobí deformácie a pohľadom na model v *3D viewr* sa kontrolovala každá vzniknutá línia a krivka.



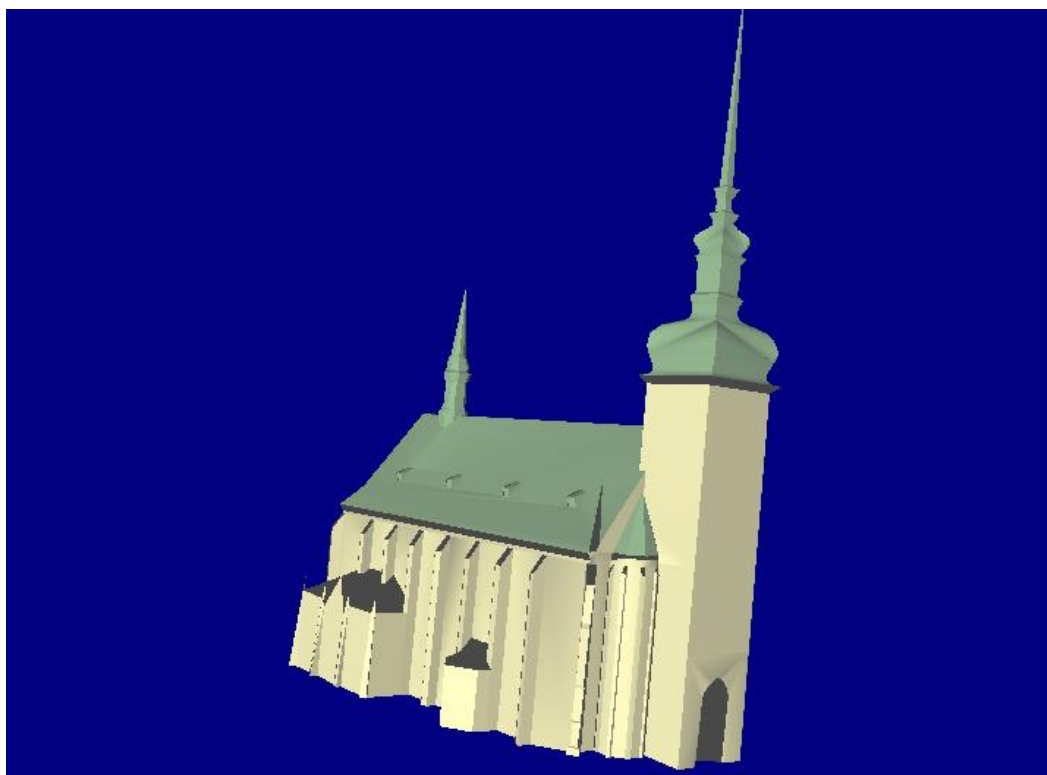
Obr. 7.3 Drôtený model

Pretože kostol bol veľmi členitý nebol nasnímkovaný zo zeme celý. Bola nasnímkovaná len predná časť. Zadná a bočné časti boli urobené z leteckých snímok. Preto niektoré body nebolo možno vidieť na žiadnej z daných snímok alebo boli zakryté inými budovami a body museli byť vypočítané a skonštruované v iných geodetických

programoch a následne súradnice importované do vytvoreného projektu. Takto bolo importovaných 70 bodov.

7.2.5 Plochy a textúry

Pred samotnou tvorbou modelu boli vytvorené vrstvy – *Layers* a materiály – *Materials*. Funkcia sa aktivuje kliknutím na *Edid / Materials* alebo *Layers*. Pri tvorbe umelých plôch boli vytvorené materiály strechy, steny a ostatné . Každému materiálu bola priradená zvolená farba. Plochy sa vytvárali dvanástou funkciou zľava v štandardnom paneli nástrojov na obrázku 7.1 – *Path Mode*. Plochy sa vytvárajú klikaním na hraničné línie a krivky v smere hodinových ručičiek. Keď chceme vynechať nejakú časť plochy napr. okno v stene obídeme najskôr stenu v smere a potom okno proti smeru hodinových ručičiek avšak pri väčšom počte okien alebo zložitejšej ploche má program problém rozpoznať akú plochu má zobrazit'. Výsledkom tohto postupu je umelý 3D model ako na obrázku 7.4.



Obr. 7.4 Umelý 3D model

Textúry sa vytvorili tak, že v okne materiálov sa pridali ďalšie materiály podľa toho, z koľkých snímok a ktoré časti objektu bude vidieť. V okne materiálov sa zvolí či má program brať textúru z jedného – *Single-Photo Texture* alebo viacerých snímok *Multiple-Photo Texture* a z ktorých snímok pre ktorú časť objektu. Ďalej sa v nastavení funkcie *3D*

Viewr nastavilo, či má program robiť rýchlu textúru – *Fast Texture* alebo kvalitnú textúru – *Quality Texture*. V tomto prípade boli použité kvalitné textúry pretože rýchle textúry z leteckých snímok vytvorili na modely len fláky. Bola použitá textúra viacerých snímok naraz. Použitie kvalitných textúr ma však tú nevýhodu, že niektoré miesta väčšinou tieň deformujú obraz (sivé miesta). Na textúry sa najviac hodia kolmé snímky na jednotlivé plochy, to však nebolo možné dosiahnuť na všetkých plochách modelu a preto vznikli niektoré obrazové anomálie.



Obr. 7.5 3D model s textúrami

7.3 Analýza dosiahnutej presnosti

Nameraných bolo 549 bodov plus 11 vlícovacích bodov plus 70 bodov skonštruovaných iným geodetickým softvérom a importovaných do modelovacieho programu. Dosiahnutá presnosť bola kontrolovaná porovnaním súradníc 27 bodov nameraných geodeticky a meraných fotogrametricky priamo z 3D modelu. Hodnoty bodov meraných geodeticky boli brané za správne.

$m_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n V_x^2}{n}$ $m_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n V_y^2}{n}$ $m_h^2 = \frac{\sum_{i=1}^n V_h^2}{n}$ použité vzorce. Celkové stredné
 súradnicové chyby jednotlivých súradníc sú uvedené v tabuľke 7.3

	$m_y[m]$	$m_x[m]$	$m_h[m]$
Stredné chyby	0,049	0,065	0,075

Tab. 7.3 Stredné chyby

8 ZÁVER

Fotogrametria je veľmi zaujímavá metóda pomocou ktorej je možné preniesť skutočnosť alebo vlastnú predstavu o vizualizácii objektov do trojrozmerného pracovného prostredia počítačov.

Po zadaní bakalárskej práce, ktorým bolo vytvoriť pomocou leteckých snímok a časti kostola i pozemných snímok, trojrozmerný model kostola Sv. Jakuba v centre Brna bolo zrejmé, že sa bude jednať o časovo náročnú prácu na tomto veľmi členitom objekte.

Najskôr bolo potrebné zvoliť vlícovacie body a určiť ich súradnice. Po rekognoskácii územia sa polygónovým ťahom určili súradnice bodov, z ktorých boli ďalej určené súradnice vlícovacích a kontrolných bodov, ktoré neskôr slúžili na overenie celkovej presnosti 3D modelu.

Následne po výpočte súradníc vlícovacích bodov, ktoré boli importované do softvéru PhotoModeler Scanner 6 a načítaní snímok bolo možné pokračovať vo fotogrametrickom spracovaní práce. S použitím vlícovacích a nadväzovacích bodov bolo možné vypočítať prvky vonkajšej orientácie.

Ďalším krokom bolo samotné 3D modelovanie kostola s využitím funkcií programu ako boli línie a plochy, ktoré mohli byť buď umelé alebo mať skutočné textúry. Výsledkom modelovania bol najskôr drôtený model potom umelý model a nakoniec model so skutočnými textúrami.

Počas spracovania bakalárskej práce sa vyskytlo niekoľko problémov, ktoré boli vyriešené použitím iných geodetických metód, použitím väčšieho počtu vlícovacích a nadväzovacích bodov. Kvalita textúr bola ovplyvnená hlavne tým, že na model sa použili letecké snímky a iba na časť kostola pozemné snímky.

Celková kvalita a presnosť 3D modelu bola overená porovnaním súradníc kontrolne zameraných bodov a bodov určených v počítačovom softvéri bolo zistené, že priestorová presnosť bodov sa pohybuje vo väčšine prípadov do 10 cm.

9 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

1. BRNO. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-02-07]. Dostupné z: <http://sk.wikipedia.org/wiki/Brno>
2. HISTÓRIA KOSTOLA SV.JAKUBA. *Svatyjakubbrno* [online]. [cit. 2012-02-07]. Dostupné z: <http://www.svatyjakubbrno.wz.cz/DATA/hlavni/jakub.php?stranka=historie.html>
3. STANĚK, Vlastimil, HOSTINOVÁ, Gabriela a KOPÁČIK, Alojz. *Geodézia v stavebníctve*. Bratislava: JAGA, 2007, s. 110. ISBN 978-80-8076-048-9.
4. PAVELKA, Karel. *Fotogrametria1*. Praha: ČVUT, 2009, s. 200. ISBN 978-80-01-04249-6.
5. Hanzl V.: *Fotogrammetrie, Modul 01, Teoretické základy fotogrammetrie*, Fakulta stavební VUT v Brně, 2006, 101 str.
6. VITÁSEK, J. – NEVOSÁD, Z. *Geodézie I: Průvodce 01*. Brno: VUT FAST, 2004. 49 s.
7. FORAL, Jakub. *Geodezie I: Modul 01 Geodetická cvičení* [online]. Brno: Vysoké učení technické, 2004, s.85,
8. VONDRÁK, Jiří. *Geodézie II: Modul 01 Geodetická cvičení II* [online]. Brno: Vysoké učení technické, 2004, s.38,
9. HANZL, Vlastimil. *Fotogrammetrie a dálkový průzkum: Modul 04 Fotogrammetrie II* [online]. Brno: Vysoké učení technické, 2007, s.28.
10. PAVELKA, K. a kol. *Fotogrammetrie 1,2: Praktická cvičení*. Praha: ČVUT, 2007. 163 s. ISBN 978-80-01-02655-7
11. SHOCart, spol. s.r.o. *Mapy.cz*. [online] seznam.cz 2011 [cit. 2013-02-26]. Dostupné z World Wide Web: <http://mapy.cz/#x=17.041427&y=49.638573&z=6&l=15>
12. *Brno: biskupstvi.cz* [online]. [cit. 2013-02-26]. Dostupné z: <http://brno.biskupstvi.cz/petrov/?pg=mapy&mapatyp=brnostred&IdLang=2>
13. KOSTOL SV. JAKUBA. *Mojebrno.wz* [online]. [cit. 2013-02-26]. Dostupné z: <http://www.mojebrno.wz.cz/inka--brno-kostely-jakub.html>

14. BRNO. *Brno.me* [online]. [cit. 2013-02-26]. Dostupné z:
<http://www.bрно.me/pamatky.php>
15. TOPCON. *Topcon.com* [online]. [cit. 2013-02-26]. Dostupné z:
<http://www.topcon.com.sg/survey/gpt30.html>
16. TOPCON. *Topoequipos.com* [online]. [cit. 2013-02-26]. Dostupné z:
http://www.topoequipos.com/dem/index.php?option=com_content&task=view&id=23&Itemid=142
17. CANON. *Usa.canon.com* [online]. [cit. 2013-02-26]. Dostupné z:
http://www.usa.canon.com/cusa/support/consumer/digital_cameras/powershot_a_series/powershot_a720_is
18. CANON. *Digitalcamerareview.com* [online]. [cit. 2013-02-26]. Dostupné z:
<http://www.digitalcamerareview.com/default.asp?newsID=3197&review=canon+powershot+a720+IS>

10 ZOZNAM OBRÁZKOV, GRAFOV A TABULIEK

Obr. 3.1 Kostol Sv. Jakuba – šikmá letecká snímka z lietadla (Námestie Slobody)	12
Obr. 3.2 Interiér kostola Sv. Jakuba	13
Obr. 3.3 historický obraz chrámu Sv. Jakuba	14
Obr. 3.4 svätajakubský chrám	15
Obr. 5.1 TOPCON GPT 3003N	17
Obr. 5.2 Prehľad meračskej siete	19
Obr. 5.3 Obojstranne pripojený a orientovaný polygónový ťah	20
Obr. 5.4 Polárna metóda	22
Obr. 5.5 Zápisník a protokol z programu Groma V 8.0.....	24
Obr. 6.1 Canon PowerShot A720 is.....	28
Obr. 6.2 Parametre kamery GBCAM	30
Obr. 7.1 Pracovné prostredie PhotoModeler Scanner 6.....	31
Obr. 7.2 Vlíčovacie body - referencovanie	33
Obr. 7.3 Drôtený model	34
Obr. 7.4 Umelý 3D model	35
Obr. 7.5 3D model s textúrami	36
Tab. 5.1 Technické parametre TOPCON GPT 3003N	17
Tab. 6.1 Parametre fotoaparátu Canon PowerShot A720 is	27
Tab. 7.3 Stredné chyby	37

11 ZOZNAM PRÍLOH

Príloha č. 1: Zápisník z merania polygónového ťahu (elektronicky na CD „zápisník polygónový ťah.pdf“)

Príloha č. 2: Zápisník z merania podrobných bodov (elektronicky na CD „zápisník podrobné body.pdf“)

Príloha č. 3: Protokol výpočtu meračskej siete (elektronicky na CD „protokol výpočtu meračskej siete.pdf“)

Príloha č. 4: Protokol výpočtu kontrolných a vlícovacích bodov (elektronicky na CD „protokol výpočtu podrobných bodov.pdf“)

Príloha č. 5: Analýza dosiahnutej presnosti (elektronicky na CD „Analýza presnosti.pdf“)

Príloha č. 6: Tabuľka súradníc vlícovacích bodov

Príloha č. 7: Grafy dosiahnutej presnosti bodov

Príloha č. 8: Obrázky polôh leteckej a pozemnej kamery

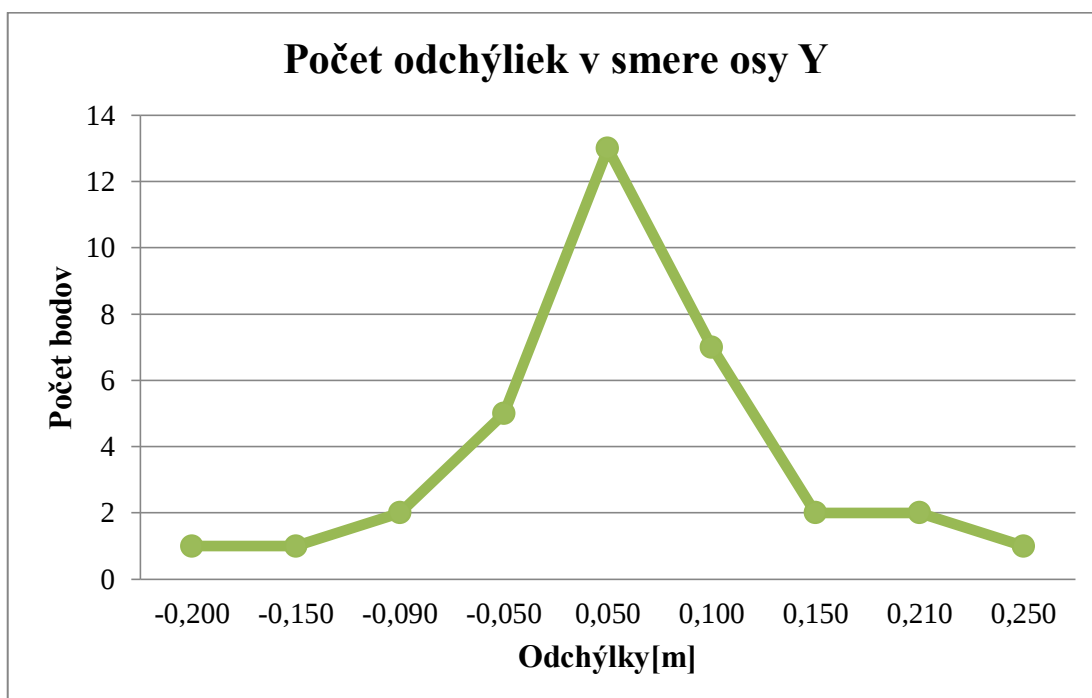
Príloha č. 9: 3D model kostola Sv. Jakuba (elektronicky na CD „Sv_Jakub.dxf“)

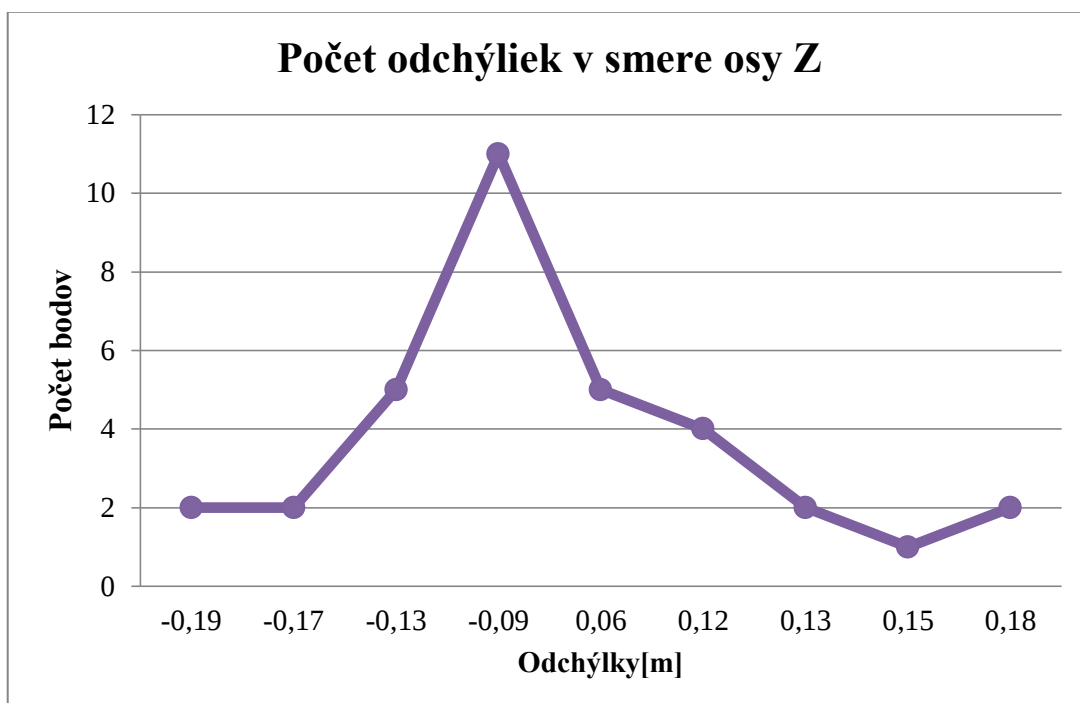
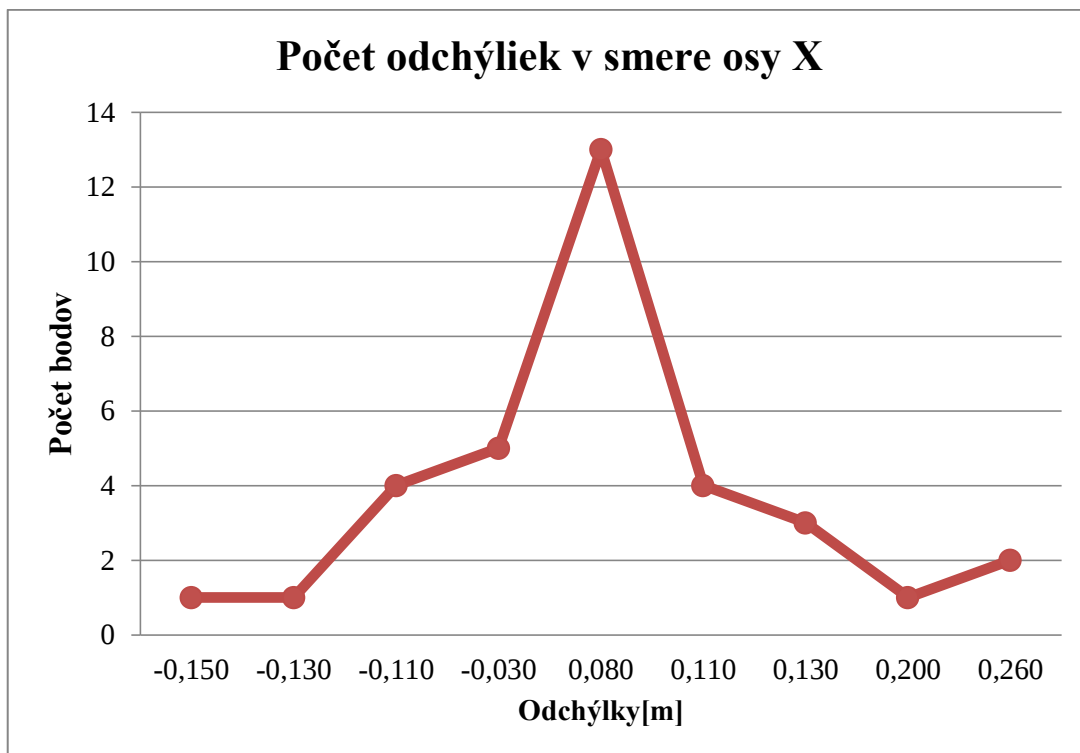
12 PRÍLOHY

Príloha č. 6: Tabuľka súradníc vĺcovacích bodov

č.b.	č.b. photomodeler	Y[m]	X[m]	Z[m]
5	1	59809,41	1160569,65	226,22
7	2	598111,75	1160572,63	226,22
9	3	598105,88	1160571,38	223,06
20	4	598146,87	1160586,83	226,36
25	1308	598152,13	1160591,60	232,67
26	1376	598157,19	1160596,41	230,77
27	220	598154,21	1160606,79	230,78
28	1307	598155,51	1160601,52	228,24
31	1405	598151,36	1160590,27	224,72
32	1406	598152,94	1160592,76	229,38
53	7	598085,94	1160599,17	228,00

Príloha č. 7: Grafy dosiahnutej presnosti bodov





Príloha č. 8: Poloha kamery pri leteckom a pozemnom snímkovaní

