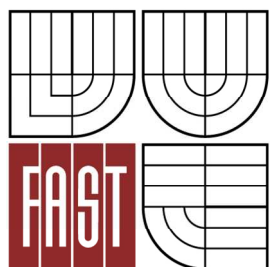




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

TVORBA DMT A OROTOFOTOMAPY V BRNO-LÍŠNÍ

CREATION OF DTM AND ORTHOPHOTOMAP IN BRNO-LÍŠEŇ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

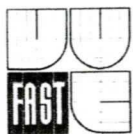
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MÁRIA CHUPÁČOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. VLASTIMIL HANZL, CSc.

BRNO 2012



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

Chupáčová Mária

Název

Tvorba DMT a orotofotomapy v Brno-Lišni

Vedoucí bakalářské práce

doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.

**Datum zadání
bakalářské práce**

30. 11. 2011

**Datum odevzdání
bakalářské práce**

25. 5. 2012

V Brně dne 30. 11. 2011

.....
doc. Ing. Josef Weigel, CSc.
Vedoucí ústavu



.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Letecké snímky lokality Brno-Líšeň v měřítku 1:5000 pořízené kamerou RMK TOP 15

Seznam vlíčovacích bodů a topografie

Manuál systému Photomod

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

Zásady pro vypracování

Vykonejte aerotriangulaci v zadané snímkové řadě. Vyhodnoďte v systému Photomod dvě snímkové dvojice a vytvořte DMT pro tvorbu ortofotomapy. Vytvořte ortofotomapu. Proved'te posouzení přesnosti výsledných produktů. Výstupy uložte na CD.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací


.....
doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Bakalárska práca je zameraná na tvorbu DMT a ortofotomapy v lokalite Brno-Líšeň. Úvodná časť práce je venovaná teoretickým základom fotogrametrie, postupom spracovania leteckých snímok a princípom tvorby digitálneho modelu terénu a ortofotomapy. Ďalej práca obsahuje podrobne popísaný postup prác v softvéri Photomod. V závere práce je porovnaná presnosť výslednej ortofotomapy s výsledkami kontrolného zamerania danej lokality geodetickými metódami.

Abstract

Bachelor's thesis is focused on the creation of DTM and orthophotomap in Brno-Líšeň. Introductory part of the thesis is devoted to photogrammetry basis, methods of aerial images processing and creation principles of digital terrain model and orthophotomap. The second part describes detailed working procedure in the Photomod software. The final part compares accuracy of resulting orthophotomap and the check geodetic survey outcome of given locality.

Kľúčové slová

fotogrametria, vnútorná orientácia, vonkajšia orientácia, aerotriangulácia, vyrovnanie blokov zväzkov, digitálny model terénu, ortofotomapa

Keywords

photogrammetry, interior orientation, exterior orientation, aerotriangulation, block adjustment, digital terrain model, orthophotomap

Bibliografická citácia VŠKP

CHUPÁČOVÁ, Mária. *Tvorba DMT a ortofotomapy v Brno-Líšni*. Brno, 2012. 45 s., 11 s. príl. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedúci bakalárskej práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc..

Prehlásenie:

Prehlasujem, že som bakalársku prácu spracovala samostatne a že som uviedla všetky použité informačné zdroje.

V Brne dňa

.....

podpis autora

PodĎakovanie:

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce doc. Ing. Vlastimilovi Hanzlovi, CSc. za užitočnú metodickú pomoc a cenné rady pri spracovaní práce. Ďalej chcem poďakovať spolužiačkam Tereze Hynčicovej a Veronike Sládkovej za spoluprácu a pomoc pri prácach v teréne.

V Brne dňa

.....

podpis autora

Obsah

ÚVOD.....	8
1 DEFINÍCIA FOTOGRAMETRIE	9
2 LETECKÁ FOTOGRAMETRIA.....	10
2.1 Matematické základy	10
2.1.1 Prvky vnútornej orientácie.....	10
2.1.2 Prvky vonkajšej orientácie.....	11
2.1.3 Centrálna projekcia v priestore	12
2.2 Plánovanie snímkového letu	14
2.3 Kamery pre leteckú fotogrametriu	15
2.3.1 ZEISS RMK TOP 15	15
2.4 Z/I Imaging Photoscan 2002	16
2.5 Aerotriangulácia.....	16
2.5.1 Vyrovnanie blokov zväzkov	17
3 DIGITÁLNY MODEL TERÉNU	18
3.1 TIN	18
4 ORTOFOTOMAPA.....	20
PRAKTICKÁ ČASŤ	21
5 LOKALIZÁCIA	21
6 TVORBA DMT A ORTOFOTOMAPY V SOFTVÉRI PHOTOMOD 4.3	22
6.1 Inicializácia projektu.....	22
6.2 Etapy projektu	23
6.2.1 Formovanie bloku	24
6.2.2 Aerotriangulácia.....	24
6.2.3 Blokové vyrovnanie	29
6.2.4 Spracovanie bloku.....	31
7 TESTOVANIE PRESNOSTI ORTOFOTOMAPY	40
ZÁVER	41
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	42
ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK	43
ZOZNAM TEXTOVÝCH PRÍLOH	44
ZOZNAM ELEKTRONICKÝCH PRÍLOH.....	44
ZOZNAM TABULIEK.....	44
ZOZNAM OBRÁZKOV	45
PRÍLOHY	46

Úvod

Fotogrametria je vedná disciplína, technológia a meračský postup, ktorým sa určujú geometrické vlastnosti, poloha a zmeny objektov na zemskom povrchu. Tieto vlastnosti sa na rozdiel od iných geodetických metód nezisťujú priamo v teréne, ale meraním na meračských snímkach. Z toho vyplýva množstvo výhod tejto metódy. Napríklad nie je nutné po samotnom zhotovení snímok byť v mapovanom území, resp. v kontakte s meraným objektom. Ďalšou z obrovských výhod, ktorá priamo súvisí s rozvojom výpočtovej techniky, je možnosť spracovania veľkého objemu dát. Výsledkom takéhoto spracovania môžu byť ortofotomapa, DMT (digitálny model terénu), 3D modely, dáta pre GIS (geografické informačné systémy), 3D vizualizácie atď. Metódy fotogrametrie majú okrem geodézie a kartografie využitie napr. v stavebníctve, poľnohospodárstve, lesníctve, geológii, kriminalistike, archeológii, zdravotníctve, ...

Predmetom tejto bakalárskej práce je vyhotovenie digitálneho modelu terénu a ortofotomapy zo zadaných snímok v lokalite Brno-Líšeň. Pre riešenie bol zvolený softvér Photomod 4.3, ktorý umožňuje vo svojich jednotlivých moduloch spracovanie snímok až do výslednej podoby ortofotomapy.

Prvou etapou je formovanie bloku, kde sa určuje poradie a orientácia snímok v rámci zadanej letovej rady. Ďalším krokom je aerotriangulácia, v ktorej sa určujú prvky vnútornej a vonkajšej orientácie a ktorá umožňuje pomocou merania vlícovacích bodov a nadväzujúcich bodov na snímkach v trojnásobnom prekryte vzájomné previazanie snímok.

V ďalšom kroku, ktorým je vyrovnanie blokov zväzkov sa vypočítajú vzťahy medzi snímkovými a objektovými súradnicami. Dôležitý je výstupný protokol vyrovnania, z ktorého zistíme napr. presnosť určenia projekčných centier, vlícovacích a nadväzujúcich bodov.

Záverečným krokom je vytvorenie nepravidelnej trojuholníkovej siete a vektorovej kresby dôležitých terénnych hrán a vygenerovanie výsledného DMT a ortofotomapy.

V závere práce je porovnaná presnosť získanej ortofotomapy a DMT s výsledkami merania metódou GPS-RTK.

1 DEFINÍCIA FOTOGRAMETRIE

Existuje viacero definícií fotogrametrie, ktoré sa v priebehu času menili v závislosti na použitých technológiách a oblastiach, v ktorých sa využívali výsledky fotogrametrického spracovania. Fotogrametria (z gréčtiny „Fotos“- svetlo, „Gamma“- záznam, „Metria“- meranie) :

- je umenie, veda a technológia pre získavanie spoľahlivých informácií o svete a jeho prostredí, o hmotných objektoch a procesoch, využitím bezkontaktných metód merania a zaznamenávania, analyzovania a interpretácie snímok. [12]
- je technológia pre odvodenie geometrických, rádiometrických a sémantických informácií o objekte trojrozmerného sveta, odvodené z dvojrozmerných, väčšinou už digitálnych snímok. [3]
- je odbor, ktorý sa zaoberá získavaním geometrických informácií z obrazového záznamu. [4]
- odbor zaoberajúci sa zisťovaním geometrických vlastností a polohy objektov a ich zmien z fotografických meračských snímok a obrazových záznamov. [9]

2 LETECKÁ FOTOGRAMETRIA

2.1 Matematické základy

Geometrickým základom vzniku fotogrametrickej snímky je centrálna projekcia (stredové premietanie). Vzťah medzi súradnicami bodu v geodetickom a snímkovom súradnicovom systéme je definovaný podmienkou kolinearity – projekčné centrum (stred premietania), snímkový bod a jemu odpovedajúci bod na teréne ležia na jednej priamke. (Obr. 2.3)

Jedným z cieľov fotogrametrie je prevod centrálnnej projekcie na ortogonálnu tak, ako to požaduje mapové zobrazenie. Pre riešenie tohto problému je nutné presne definovať elementárne prvky centrálnnej projekcie tzn. projekčné centrum. Jeho polohu v snímkovom súradnicovom systéme určujú prvky vnútornej orientácie. Prvky vonkajšej orientácie potom definujú polohu a pootočenie snímkového systému v objektovom súradnicovom systéme.

2.1.1 Prvky vnútornej orientácie

Fotogrametrickú snímku považujeme za meračskú ak sú známe jej prvky vnútornej orientácie. Môžeme teda obnoviť fotogrametrický zväzok lúčov tzn. určiť vzťahy popisujúce geometriu zväzku lúčov vo vnútri komory.

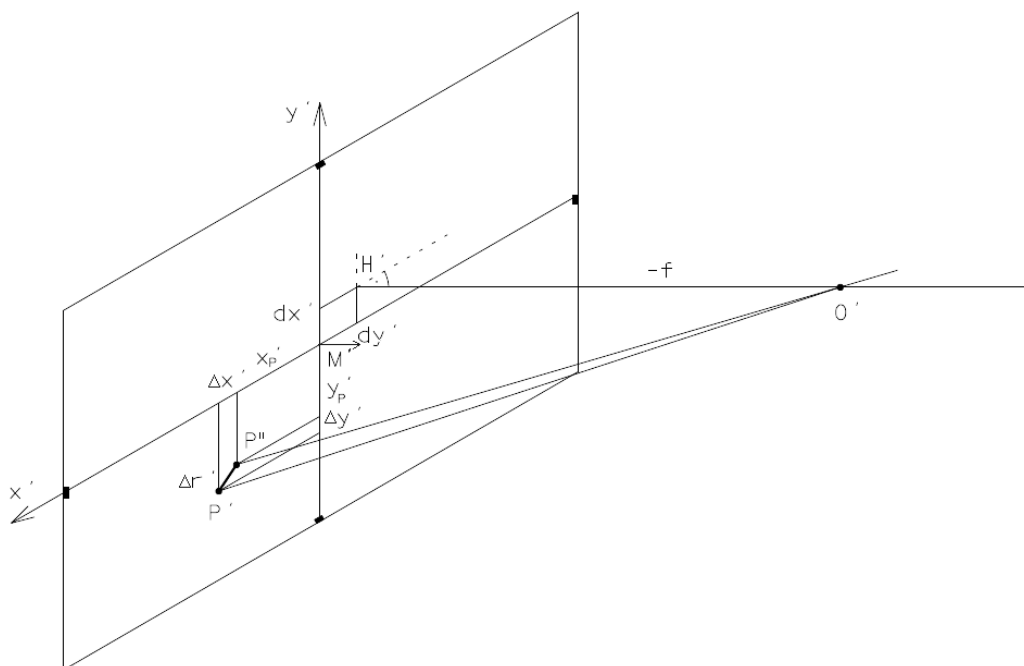
- Patria sem (Obr. 2.1) :
- súradnice hlavného snímkového bodu $H'(dx', dy')$
 - konštanta kamery f (c)
 - distorzia (skreslenie) objektívu

Pre analógové kamery je hlavný snímkový bod definovaný ako priesečník roviny snímku s lúčom prechádzajúcim v obrazovom priestore stredom premietania a ktorý je kolmý na rovinu snímku. Pretože hlavný snímkový bod sa v praxi dá na snímke len ťažko definovať, zavádzajú sa pre meračské kamery rámové značky, ktorých priesečník udáva stred snímky M' , od ktorého sa určujú snímkové súradnice (v ideálnom prípade by mal byť hlavný snímkový bod totožný s priesečníkom rámových značiek).

Konštanta kamery je vzdialenosť hlavného snímkového bodu a projekčného centra v obrazovom priestore. Je to fiktívna hodnota približne odpovedajúca ohniskovej vzdialenosti, ktorá sa vzťahuje ku každému objektívu a jeho skresleniu, ktoré je dané súhrnom jeho vád.

Skreslenie objektívu má dve zložky- radiálnu ($\Delta r'$) a tangenciálnu. Je spôsobené súhrnom geometrických nepresností pri výrobe objektívu a uvažuje sa len pre presné práce alebo pri objektívoch s veľkými hodnotami týchto vád. Radiálne skreslenie sa spolu s konštantou kamery počíta zvyčajne pri kalibrácii objektívu. Kalibráciou je možné dosiahnuť zmenšenie asymetrie tohto skreslenia. Pre moderné fotogrametrické

meračské objektívy dosahuje radiálna distorzia hodnôt v rozmedzí 2-10 μm . Tangenciálne skreslenie pôsobí kolmo na smer radiálneho a spôsobuje nepravidelné lokálne posuny. Bežne sa tento vplyv neuvažuje.



Obr. 2.1: definícia prvkov vnútornej orientácie (snímkové súradnice x' , y') [autor]

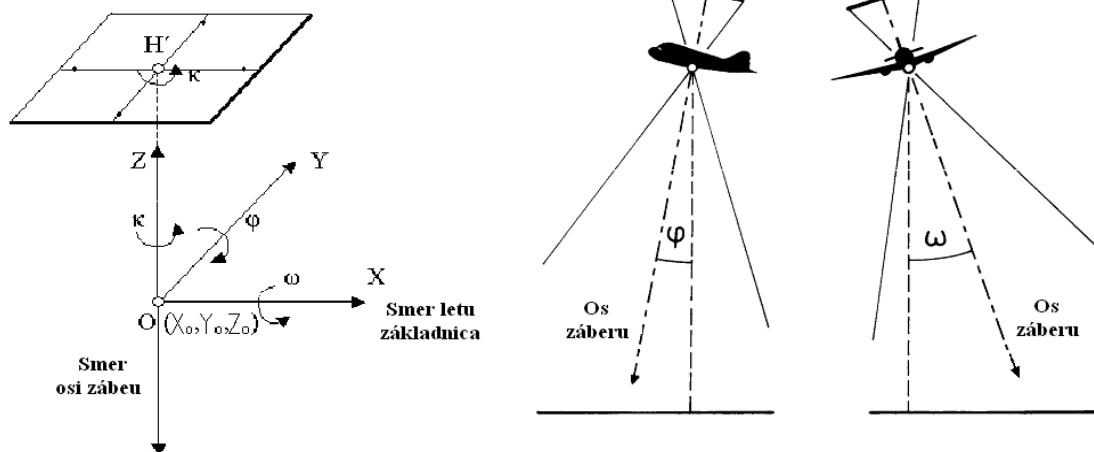
2.1.2 Prvky vonkajšej orientácie

Pomocou prvkov vonkajšej orientácie môžeme zrekonštruovaný zväzok lúčov orientovať v objektovom systéme. Sú definované pre každú snímku.

- Patria sem (Obr. 2.2) :
- priestorové súradnice projekčného centra O (X_0, Y_0, Z_0)
 - uhly vyjadrujúce rotácie snímky v priestore:
 - sklon snímky ω
 - stočenie snímky φ
 - pootočenie snímky κ

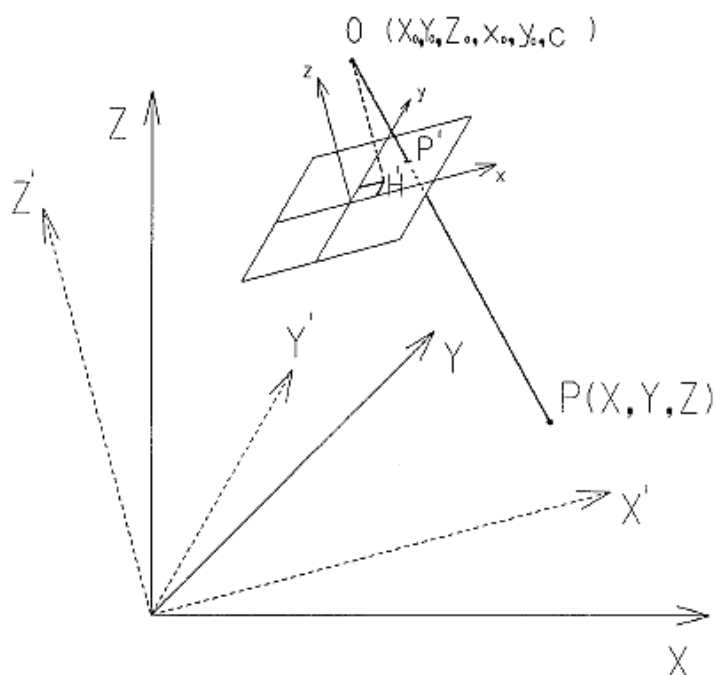
Parametre vonkajšej orientácie snímkovej dvojice je možné určiť:

- a) Priamou orientáciou: Ide o metódu určenia prvkov vonkajšej orientácie v okamihu expozície snímky pomocou GPS/IMU (*Inertial Measuring Unit*) meraní bez použitia snímkových súradníc.
- b) Integrovanou orientáciou: Táto metóda využíva všetky dostupné údaje tj. snímkové súradnice nadväzujúcich a vlícovacích bodov, priestorové súradnice vlícovacích bodov a výsledky GPS/IMU meraní.



Obr. 2.2: definícia prvkov vonkajšej orientácie [13]

2.1.3 Centrálna projekcia v priestore



x, y, z – súradnice v snímkovom súradnicovom systéme
 X, Y, Z – súradnice v geodetickom (objektovom) súradnicovom systéme
 X', Y', Z' – súradnice v geodetickom systéme, ktorý je rovnobežný so snímkovým systémom

Obr. 2.3: vzťah snímkových a objektových súradníc [3]

Podmienku kolinearit vyjadruje vzťah

$$\frac{x - x_0}{z - z_0} = \frac{X' - X'_0}{Z' - Z'_0} \quad \frac{y - y_0}{z - z_0} = \frac{Y' - Y'_0}{Z' - Z'_0}$$

Geodetický súradnicový systém (X, Y, Z) je voči geodetickému systému (X', Y', Z') , ktorý je rovnobežný so snímkovým pootočený. Priestorovú rotáciu vyjadruje matica R ,

ktorá vznikne súčinom troch matic ($R_\omega, R_\varphi, R_\kappa$), ktoré vyjadrujú rotáciu okolo osi x (R_ω), y (R_φ) a z (R_κ).

$$R_\omega = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\omega & -\sin\omega \\ 0 & \sin\omega & \cos\omega \end{bmatrix} R_\varphi = \begin{bmatrix} \cos\varphi & 0 & -\sin\varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\varphi & 0 & \cos\varphi \end{bmatrix} R_\kappa = \begin{bmatrix} \cos\kappa & -\sin\kappa & 0 \\ \sin\kappa & \cos\kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R = R_\omega R_\varphi R_\kappa = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

Keďže matica R je ortogonálna (štvorcová matica, ktorej riadky a stĺpce tvoria ortonormálne vektory), platí

$$R^T = R^{-1} \quad \text{a teda} \quad R^T R = R R^T = I$$

Potom vzťah medzi týmito súradnicovými systémami vyjadrujú rovnice,

$$\begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X' - X'_0 \\ Y' - Y'_0 \\ Z' - Z'_0 \end{bmatrix} = mR \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z - z_0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} X' - X'_0 \\ Y' - Y'_0 \\ Z' - Z'_0 \end{bmatrix} = R^T \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}$$

kde m je mierkový koeficient.

$$\begin{aligned} r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0) &= (X' - X'_0) \\ r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0) &= (Y' - Y'_0) \\ r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0) &= (Z' - Z'_0) \end{aligned}$$

Po dosadení týchto rovníc do podmienky kolinarity (ak $z = 0$ a $z_0 = c$) dostaneme zobrazovacie rovnice centrálnej projekcie.

$$x = x_0 - c \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y = y_0 - c \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

Inverzné rovnice k zobrazovacím rovniciam centrálnej projekcie (rovnice pre objektové súradnice) vychádzajú zo vzťahov medzi geodetickým a snímkovým súradnicovým systémom.

$$X = X_0 + (Z - Z_0) \frac{r_{11}(x - x_0) + r_{12}(y - y_0) - r_{13}c}{r_{31}(x - x_0) + r_{32}(y - y_0) - r_{33}c}$$

$$Y = Y_0 + (Z - Z_0) \frac{r_{21}(x - x_0) + r_{22}(y - y_0) - r_{23}c}{r_{31}(x - x_0) + r_{32}(y - y_0) - r_{33}c}$$

Z týchto rovníc vyplýva, že z jednej snímky nie je možné vypočítať priestorové súradnice bodu. Preto sa priestorová poloha a prvky vonkajšej orientácie určujú použitím min. dvojice snímok alebo musíme poznať doplnkovú informáciu o súradnici Z. Úlohu určenia priestorovej polohy bodu a určenie parametrov vonkajšej orientácie je možné riešiť:

- samostatne pre každú snímku
- pre snímkovú dvojicu
- pre skupinu snímok (triangulácia)

2.2 Plánovanie snímkového letu

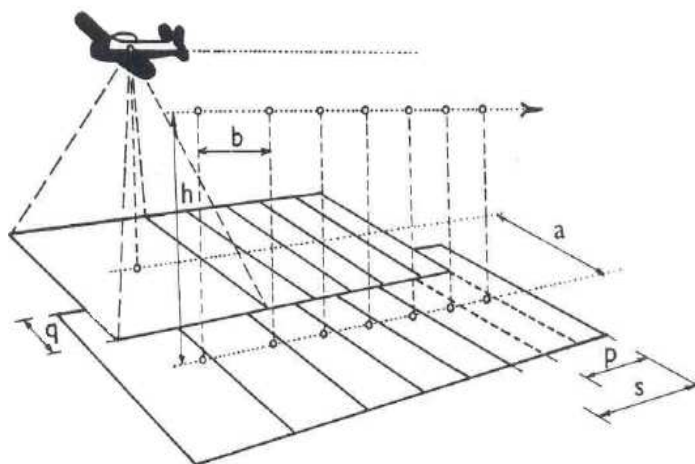
Pred samotným letom sa vyhotovuje tzv. letový plán. Pri jeho spracovaní sa vychádza z účelu, pre ktorý majú byť snímky použité a z požadovanej presnosti.

Pre zadané snímky je možné určiť tieto parametre nasledovne: (Obr. 2.4)

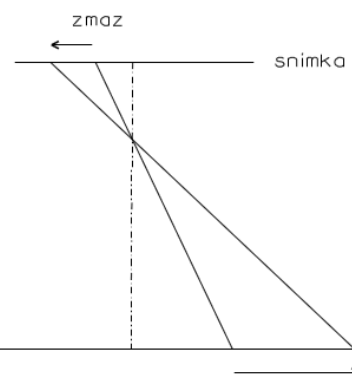
- mierkové číslo snímky $m_s = 5000$ ($m_s = c\sqrt{m_k}$, kde m_k je mierkové číslo mapy a c je konštanta)
- výška letu $h = 750\text{m}$ ($h = m_s c$, kde c je konštanta kamery)
- dĺžka fotogrametrickej základne $B = 460\text{m}$ ($B = s' m_s (1 - p/100)$, kde p je pozdĺžny prekryt (60%) a s' je formát snímky)

K parametrom snímkového letu patrí samozrejme aj rýchlosť lietadla pri snímkaní a časový interval medzi dvoma expozíciami. Hodnoty týchto parametrov súvisia s expozičnou dobou (obvykle 1/200 s) a tzv. prípustnou pohybovou neostroťou (zmaz). (Obr. 2.5)

V súčasnej dobe existuje programové vybavenie, pomocou ktorého sa po zadaní potrebných hodnôt dajú automaticky vypočítať ostatné parametre snímkového letu, ktoré sú vložené do palubného počítača prepojeného s GPS navigáciou, ktorý riadi samotné prevedenie snímkovania.



Obr. 2.4: parametre snímkového letu [2]



Obr. 2.5: zmaz [autor]

2.3 Kamery pre leteckú fotogrametriu

Kamery určené pre leteckú fotogrametriu môžeme rozdeliť na analógové (využívajúce záznam na film) a digitálne (obsahujú svetlocitlivé snímače CCD (*Charge Coupled Device*), ktoré snímajú a prevádzajú svetlo na elektrický náboj a ten je potom prevádzaný do digitálnej podoby).

2.3.1 ZEISS RMK TOP 15

V práci bola použitá letecká meračská kamera Zeiss RMK (Reihen Mess Kammer) TOP (Terminal Operated) 15 (Obr. 2.6), ktorá má tieto parametre:

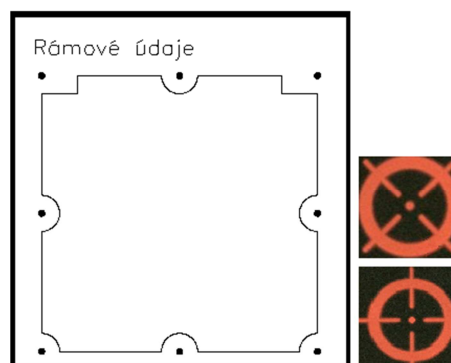
- $c = 150 \text{ mm}$
- formát snímky: $230 \times 230 \text{ mm}$
- expozičná doba: $1/50 - 1/500 \text{ sec}$
- FMC: $0 - 64 \mu\text{m/sec}$
- možnosť pripojenia GPS/IMU
- automatická kompenzácia náklonov pomocou gyrostabilizačnej plošiny, ktorá udržiava kameru vo zvislom smere



Obr. 2.6: RMK TOP 15 [7]



Každá snímka obsahuje 8 rámových značiek (Obr. 2.7). Ďalej obsahuje rámové údaje ako napr. číslo snímky a kamery, čas a výšku letu, približné súradnice projekčného centra, konštantu kamery atď. Kalibračný protokol použitej kamery je uvedený ako *Príloha 1*.



Obr. 2.7: rozloženie rámových značiek
[autor]

2.4 Z/I Imaging Photoscan 2002

Keďže bola v práci použitá analógová kamera, bolo nutné previesť snímky do digitálnej formy použitím špeciálneho fotogrametrického skeneru. Takéto skenery obsahujú líniový alebo plošný CCD snímač, ktorý prevádza dopadajúce svetlo na elektrický náboj.

Na skenery sú kladené vysoké požiadavky na geometrickú presnosť a rádiometrické rozlíšenie (citlivosť senzoru na malé rozdiely odrazenej elektromagnetickej energie).

Pri digitalizácii snímok bol v tejto práci použitý skener Z/I Imaging Photoscan 2002 (Obr. 2.8), ktorý má nasledujúce parametre:

- trojriadkový líniový CCD snímač
- rádiometrické rozlíšenie: 10 bitov
- geometrická presnosť: 2 μm
- možná veľkosť pixla: 7, 14, 28, 56, 112, 224 μm



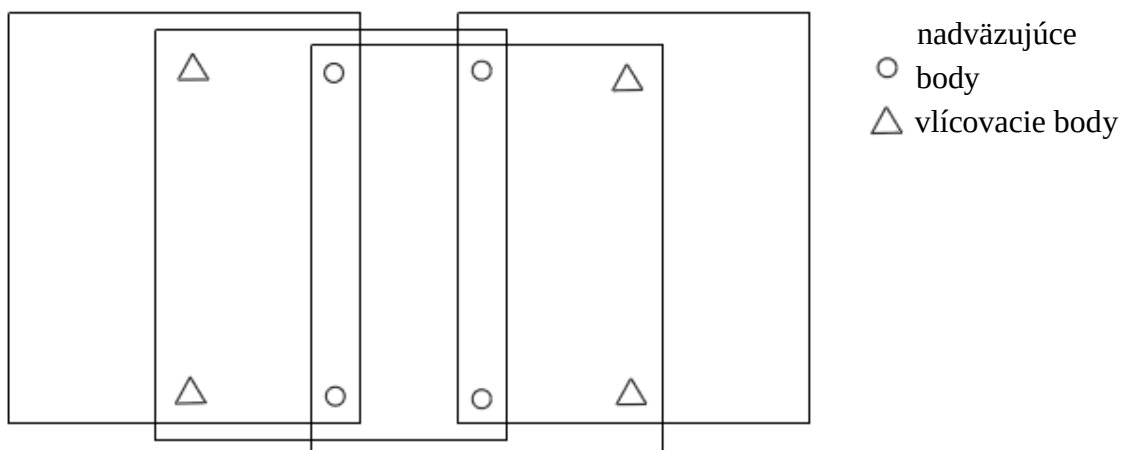
Obr. 2.8: Z/I Imaging Photoscan 2002 [8]

(použité snímky boli naskenované s veľkosťou pixla 14 μm)

2.5 Aerotriangulácia

Ide o fotogrametrické zhustenie bodového poľa s dostatočnou presnosťou tak, aby nové body mohli byť použité ako vlícovacie, tj. body, ktoré majú určené súradnice v snímkovom aj v geodetickom súradnicovom systéme. Táto metóda teda minimalizuje počet vlícovacích bodov určených priamymi geodetickými metódami a umožňuje preklenúť územie bez vlícovacích bodov (pomocou nadväzujúcich bodov v trojnásobnom prekryte v jednej rade). (Obr. 2.9)

Cieľom je určiť prvky vonkajšej orientácie snímok (poprípade prvky absolútnej orientácie modelu) a súradnice určovaných bodov v objektovom systéme.



Obr. 2.9: princíp aerotriangulácie [autor]

Aerotriangulácia (AT) sa podľa [2] delí na:

- **analógová AT**
- **analytická AT** – jej základom je matematický vzťah medzi meranými snímkovými a priestorovými súradnicami bodu. Existuje viacero metód riešenia:
 - **etapové riešenie** – blokové vyrovnanie nezávislých modelov
 - **komplexné riešenie** – vyrovnanie blokov zväzkov
- **digitálna AT** – aerotriangulácia využíva etapové aj komplexné riešenie analytickej AT. Výhodou je automatizované meranie nadväzujúcich bodov.

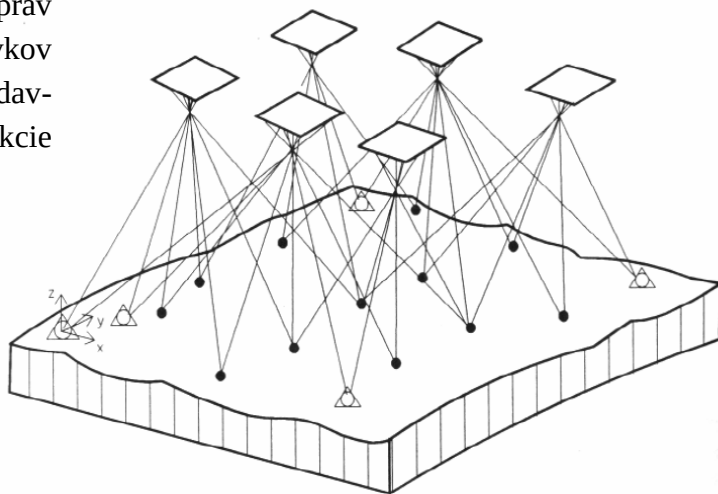
2.5.1 Vyrovnanie blokov zväzkov

Vyrovnanie blokov zväzkov (*bundle block adjustment*) je najpresnejšia metóda aerotriangulácie, ale je výpočtovo najzložitejšia, keďže sa jedná o priamy vzťah medzi snímkovými a geodetickými súradnicami.

Základnou jednotkou pre vyrovnanie je snímka. Metóda vychádza z podmienky kolinearity (viď. kapitola 2.1.3). Samotné riešenie je založené na linearizácii zobrazovacích rovníc centrálnej projekcie a vyrovnaní MNŠ (metódou najmenších štvorcov). Keďže sa jedná o iteratívny výpočet, musia byť známe počiatočné približné hodnoty neznámych.

Pri vyrovnaní sú súčasne určované prvky vonkajšej orientácie všetkých snímok bloku a súradnice podrobných bodov. Veličiny vstupujúce do vyrovnania sú snímkové súradnice vlícovacích a nadväzujúcich bodov, objektové súradnice vlícovacích bodov a približné hodnoty prvkov vonkajšej orientácie.

Táto metóda umožňuje pridať do vyrovnania ďalšie rovnice opráv napr. rovnice pre spresnenie prvkov vnútornej orientácie, rovnice prídavných parametrov pre korekcie systematických chýb a podobne.



Obr. 2.10: geometrický princíp vyrovnania blokov zväzkov [13]

3 DIGITÁLNY MODEL TERÉNU

Digitálny model terénu (DMT) je súbor číselných informácií o terénnej ploche, teda o ploche, ktorá je rozhraním medzi litosférou a atmosférou. Ide o súbor informácií o bodoch na terénnej ploche a súbor pravidiel ako s nimi zaobchádzať. [3]

Podľa [10] je DMT digitálna reprezentácia zemského povrchu v pamäti počítača, zložená z dát a interpolačného algoritmu, ktorý umožňuje okrem iného odvodzovať výšky medziľahlých bodov.

DMT teda reprezentuje terén, tzn. časť zemského povrchu (pevniny), ktorá je tvorená terénnym reliéfom (vytvoreným prírodnými silami alebo umelo) bez objektov a javov na ňom (napr. porastom, vodstvom, komunikáciami, stavbami atď.).

Existujú rôzne metódy zberu dát pre DMT dosahujúce rôznu presnosť (napr. fotogrametrická metóda, interpolácia vrstevníc, polárna metóda atď.). Jedna z najpoužívanějších metód je fotogrametrická metóda, ktorá je vhodná pre rozsiahlejšie územia. Jej presnosť závisí od mierky snímky a pohybuje sa v rozsahu 0,1 – 1m.

Presnosť výsledného DMT závisí na použitej metóde zberu dát, na hustote bodov a použitej metóde výpočtu. Pre výpočet plochy DMT sa územie rozdeľuje na elementárne plochy, ktoré je možné popísať pomocou matematických funkcií alebo pomocou pravidelnej mriežky s výškami odvodenými z matematického popisu. [3]

Podľa toho aké elementárne plôšky sú využívané na rozdelenie terénnej plochy rozoznávame tieto typy DMT:

- **polyedrický model:** ako elementárne plôšky využíva vzájomne priliehajúce rovinné trojuholníky
- **raastrový model:** je daný množinou elementárnych plôch nad uzlami pravidelného rastru, ktoré je možné rozdeliť na trojuholníky alebo iné zložitejšie plochy
- **plátový model:** povrch je rozdelený na nepravidelné, obecné krivé plochy trojuholníkového alebo štvoruholníkového tvaru, pričom hranice delenia sa vedú po singularitách.

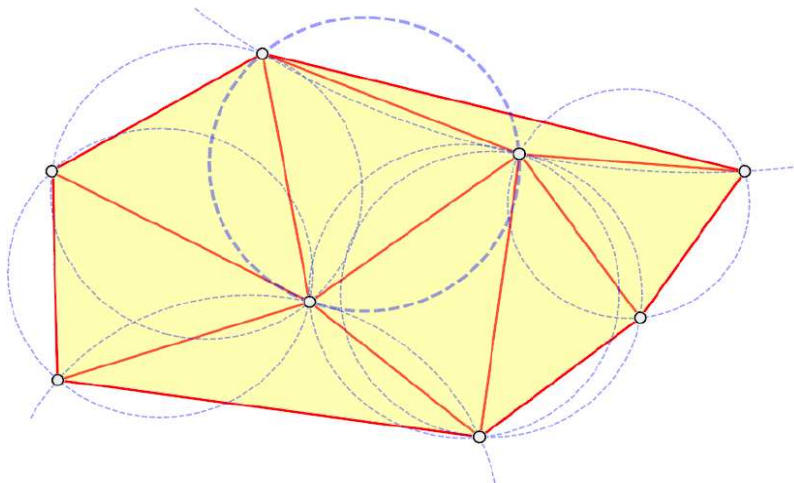
Pre výpočet plochy DMT môžu byť použité rôzne metódy – lineárna interpolácia, polynómy, bázové funkcie, metóda konečných prvkov, presné interpolačné metódy (Beziérové, Fergusonové a Coonsové interpolačné krivky, spline) a iné.

3.1 TIN

Elementárnymi plôškami sú nepravidelné rovinné trojuholníky, ktoré k sebe priliehajú (spoločná je max. jedna hrana) a tvoria tak nepravidelný mnohosten (polyéder), ktorý sa primyká k terénu. Tento model teda aproximuje priebeh terénu rovinami preloženými vrcholmi jednotlivých trojuholníkov.

Rovinné trojuholníky tvoria nepravidelnú trojuholníkovú sieť TIN (*Triangulated irregular network*), ktorej štruktúra je tvorená tromi zoznamami – zoznamom súradníc

všetkých vrcholov trojuholníku, zoznamom vrcholov každého trojuholníku a informáciami o susedných trojuholníkoch. Sieť je vytvorená pomocou Delauneyho triangulácie.(Obr. 3.1), ktorá je založená na podmienke, že v kružnici opísanej ľubovoľnému trojuholníku neleží žiadny iný bod (triangulácia je jednoznačná ak žiadne štyri body neležia na kružnici). Triangulácia ďalej maximalizuje minimálny uhol v trojuholníkoch a výsledné trojuholníky sa v porovnaní s ostatnými metódami triangulácií najviac blížia k rovnostranným.



Obr. 3.1: princíp Delauneyho triangulácie [6]

Do polyedrického modelu je možné vkladať tzv. povinné hrany a tým zlepšiť jeho aproximačné vlastnosti. Hranicu delenia plochy je teda možné viesť po tzv. singularitách, tj. miestach, kde je narušená spojitosť terénu (ostré terénne hrany, zlomy) alebo to môžu byť tvarové čiary (údolnice, spádnice atď.). Tým sa do triangulácie vkladá vstupná podmienka resp. obmedzenie (žiadna z hrán trojuholníkov nesmie pretínať povinnú hranu) a jedná sa o tzv. *Constrained Delaunay triangulation*.

Keďže sa jedná o model založený na nepravidelnej sieti, jeho výhodou je, že v miestach členitejšieho terénu je možné terén lepšie vystihnúť vložením väčšieho počtu bodov.

Presnosť DMT, resp. závislosť presnosti polohového určenia priestorových súradníc na meraní snímkových súradníc je možné určiť z nasledujúcich vzťahov:

$$\begin{aligned}\sigma_X^2 &= \left(\frac{x}{c} m_s \frac{Z}{B} \sigma_{P_x}\right)^2 + (m_s \sigma_x)^2 & , \text{ kde } x, y \text{ sú snímkové súradnice} \\ \sigma_Y^2 &= \left(\frac{y}{c} m_s \frac{Z}{B} \sigma_{P_x}\right)^2 + (m_s \sigma_y)^2 & P_x \text{ je horizontálna paralaxa,} \\ \sigma_Z^2 &= \left(m_s \frac{Z}{B} \sigma_{P_x}\right)^2 & m_s \text{ mierkové číslo snímky, } c \text{ konštanta kamery} \\ & & Z \text{ výška letu a } B \text{ dĺžka fotogrametrickej základne}\end{aligned}$$

DMT bol v tejto práci využitý pri tvorbe ortofotomapy. Existuje však mnoho iných využití DMT ako napr. projekčná príprava stavieb, územné plánovanie, určenie kubatúr, tvorba vrstevníc, mapy sklonov, určenie kubatúr atď.

4 ORTOFOTOMAPA

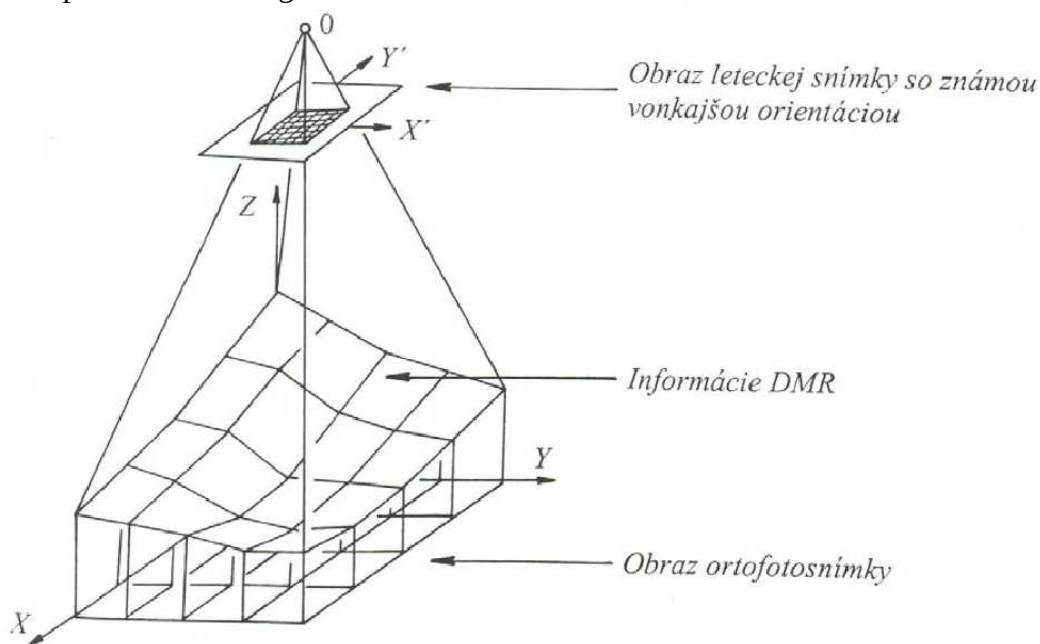
Je to mapa, ktorá zachováva fotografický obraz územia. Je tvorená jedným alebo montážou viacerých ortofotosnímkov (mozaikou) a opatrená ďalšími náležitosťami mapy (súradnicovou sieťou, rámom mapy, popisom mapy atď.). [11]

Digitálna ortofotomapa je teda výsledkom spracovania digitálnych leteckých snímkov, tzn. vzniká ich ortorektifikáciou (prevod s centrálnej projekcie na ortogonálnu). Takto vznikajú tzv. ortofotosnímky, ktorých spájaním (mozaikovaním) vzniká výsledná ortofotomapa.

Okrem pôvodných digitálnych snímkov, parametrov ich vnútornej a vonkajšej orientácie potrebujeme DMT alebo DMR na správnu ortogonalizáciu snímkov, tj. na odstránenie radiálnych posunov jednotlivých pixlov, ktoré sú spôsobené členitosťou terénu. Výpočet výšok sa často neprevádza pre každý obrazový bod, ale napr. len pre body DMT a výšky ostatných bodov sa určia interpoláciou.

Po ortogonalizácii snímkov je nutné vypočítať hodnotu jasu pre novú polohu každého obrazového prvku. Používajú sa rôzne metódy prevzorkovania (metóda najbližšieho suseda, bilinéarna interpolácia, kubická konvolúcia), kedy sa hodnota intenzity nového prvku vypočíta interpoláciou z hodnôt jasu v pôvodnom okolí prvku.

V záverečnej fáze je potrebné nastaviť správne radiometrické korekcie, aby bola ortofotomapa farebne homogénna.



Obr. 4.1: princíp vzniku ortofotosnímky [2]

Presnosť výslednej ortofotomapy závisí od mnohých faktorov, hlavne však od kvality DMT. Ďalej jej presnosť ovplyvňujú prvky vonkajšej orientácie (presnosť ich určenia závisí aj na počte, signalizácii a rozmiestnení vlícovacích bodov). Tieto sú určované z aerotriangulácie alebo pomocou GNSS/IMU, ktoré majú vysokú presnosť, takže prvky vonkajšej orientácie neovplyvňujú vo významnej miere výslednú presnosť.

PRAKTICKÁ ČASŤ

5 LOKALIZÁCIA

Vyhodnocované územie sa nachádza vo východnej časti mesta Brna v dvoch katastrálnych územiach – Líšeň (612405) a Židenice (611115). Zasahuje do troch mestských častí: Brno-Líšeň, Brno-Vinohrady a Brno-Židenice (*Obr. 5.1*), ktoré slúžia hlavne ako obytné zóny. Mestskú časť Brno-Vinohrady tvorí novovybudované sídlisko a v Brno-Lišni má taktiež sídlo významný výrobca traktorov ZETOR TRACTORS a.s..

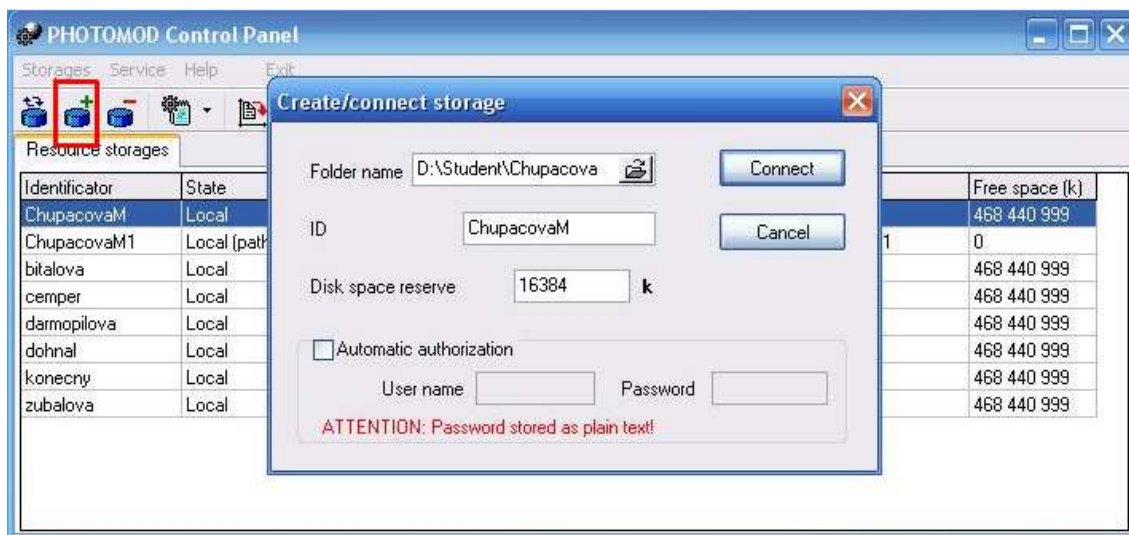


Obr. 5.1: približné vyznačenie lokality na mape mesta [15]

6 TVORBA DMT A ORTOFOTOMAPY V SOFTVÉRI PHOTOMOD 4.3

6.1 Inicializácia projektu

Pred samotným založením projektu musíme v ponuke *Photomod control panel* vytvoriť nové skladisko (*storage*), kde sú uložené dátové zdroje, pomocou tlačidla *Add storage*, ktoré je zvýraznené na obrázku Obr. 6.1.



Obr. 6.1: tvorba skladiska [autor]

V poli *Folder name* vyberieme zložku, kam sa budú ukladať dáta, v poli *ID* napíšeme názov skladišťa a zvolíme *Connect*. Táto voľba vyvolá okno *Start Photomod Montage Desktop* (Obr. 6.2), kde zvolíme *Create*.



Obr. 6.2: operácie s projektom [autor]

Pre opakované otvorenie už založeného projektu volíme možnosť *Open recent*. Po zvolení možnosti *Open/manage* môžeme existujúci projekt skopírovať (*Copy*), vymazať (*Delete*), vytvoriť zálohu projektu (*Backup*), alebo vyvolať projekt zo zálohy (*Restore*).

Voľba *Create* vyvolá dialóg *New project* (Obr. 6.3), kde v poli *Project name* zadáme názov nového projektu, v poli *Description* môžeme vložiť ľubovoľný bližší popis projektu, z ponuky *Project type*

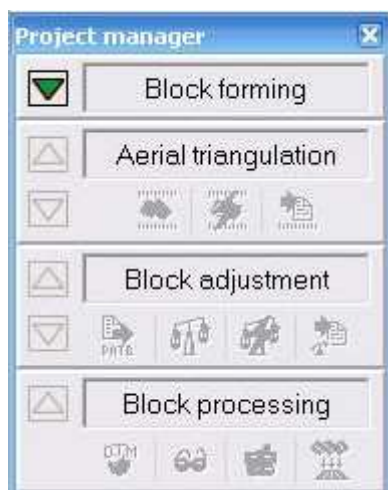


(typ projektu) volíme *Central projection* (centrálnu projekciu) a *Block of aerial images* (blok leteckých snímok) a v ponuke *Coordinate system* (súradnicový systém) zvolíme z ponuky pravotočivý karteziánsky systém (*Cartesian right*). V ďalšom okne (*Select resource placement*) povolíme ešte ukladanie dát len do nami vytvoreného skladišťa. Po tomto úkone sa nám otvorí samotné prostredie programu.

Obr. 6.3: typ projektu [autor]

6.2 Etapy projektu

Každý projekt sa skladá zo štyroch základných stupňov spracovania, z ktorých každý spúšťa príslušný modul, v ktorom prebieha spracovanie. Spúšťanie jednotlivých etáp a prechod medzi nimi riadime pomocou okna *Project manager* (Obr. 6.4), ktoré môžeme vyvolať z ponuky *Windows|Project manager* alebo stlačením ikony  na hlavnom paneli.



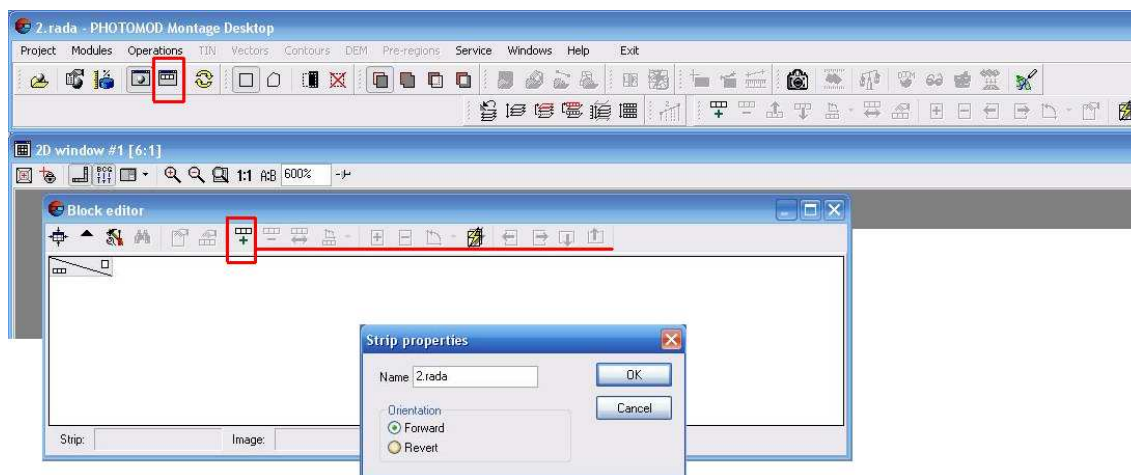
Etapy projektu:

- formovanie bloku (*Block forming*)
- aerotriangulácia (*Aerial triangulation*)
- blokové vyrovnanie (*Block adjustment*)
- spracovanie bloku (*Block processing*)

Obr. 6.4: sprievodca projektom [autor]

6.2.1 Formovanie bloku

V tejto etape definujeme počet snímkových radov, počet, poradie a pootočenie jednotlivých snímok v rámci jednotlivých radov. To nám umožňuje *Block editor* (Obr. 6.5), ktorý vyvoláme z ponuky *Windows | Block editor* alebo stlačením ikony .

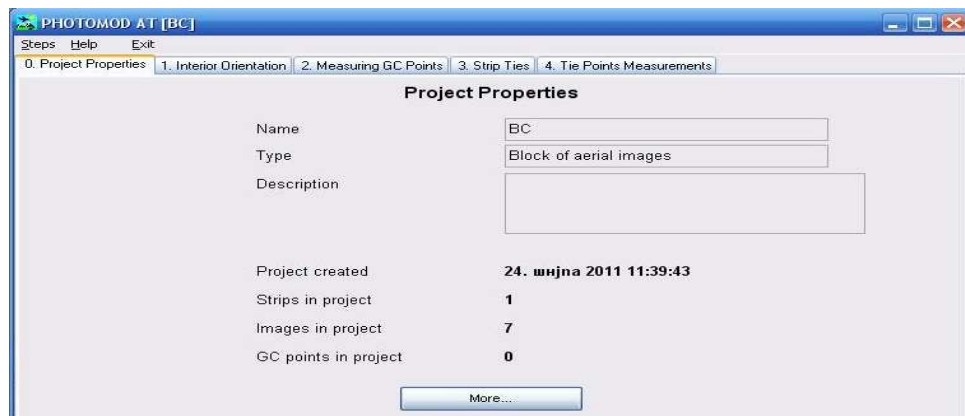


Obr. 6.5: block editor [autor]

Po pridaní prvého snímkového radu sa aktivuje panel, pomocou ktorého môžeme do aktívneho radu po stlačení ikony  vložiť jednotlivé snímky. Po vložení všetkých siedmych snímok letového radu, ich správnom usporiadaní a pootočení musíme ešte konvertovať snímky pomocou ikony  do interného formátu Photomodu. Po tomto úkone pokračuje projekt do ďalšej etapy, ktorou je aerotriangulácia.

6.2.2 Aerotriangulácia

Táto etapa projektu má päť častí – *Project properties* (vlastnosti projektu), *Interior orientation* (vnútorná orientácia), *Measuring GC points* (meranie vlícovacích bodov), *Strip ties* (meranie nadväzujúcich bodov medzi letovými radami) a *Tie point measurements* (meranie nadväzujúcich bodov).



Obr. 6.6: dialógové okno AT [autor]

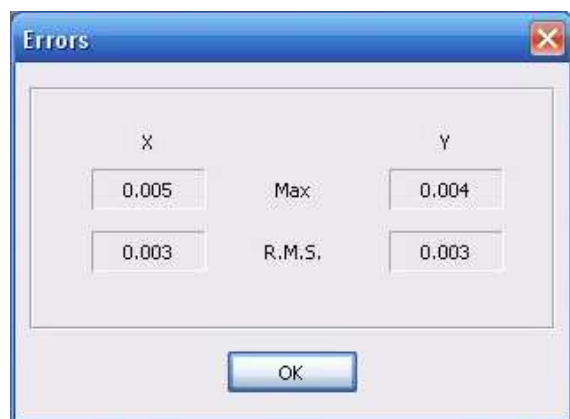
6.2.2.1 Vnútna orientácia

Najskôr musíme stlačením tlačidla  definovať použitú kameru. Zo zoznamu vyberieme v okne *Camera selection* kameru *kameradist150* (parametre kamery viď. kapitola 2.3.1). Potom v ľavej časti okna zvolíme možnosť *Perform orientation (Analog camera)*. Otvorí sa okno určené pre manuálne meranie rámových značiek, v ktorom sa zobrazí vybraná snímka, v pravej časti jej zväčšený výrez a v spodnej časti tabuľka, z ktorej vyberieme rámovú značku, ktorej snímkové súradnice ideme zmerať (postupne je nutné zmerať manuálne polohu všetkých rámových značiek aspoň na jednej snímke).

Manuálne meranie uskutočňujeme tak, že na snímke určíme približne oblasť, kde sa vybraná rámová značka nachádza a potom už vo výreze presne nastavíme kurzor na stred rámovej značky a pomocou ikony  zmeriame polohu rámovej značky na snímke. Po zmeraní všetkých rámových značiek na snímke stlačením tlačidla  (*Perform interior orientation*) môžeme vypočítať parametre transformácie zo snímkového súradnicového systému do systému digitálnej snímky.

V dialógovom okne *Transformation type* (typ transformácie) volíme afinnú transformáciu, ktorá je vhodná pre spracovanie leteckých snímok a zároveň umožňuje korekciu systematických chýb skreslenia filmu.

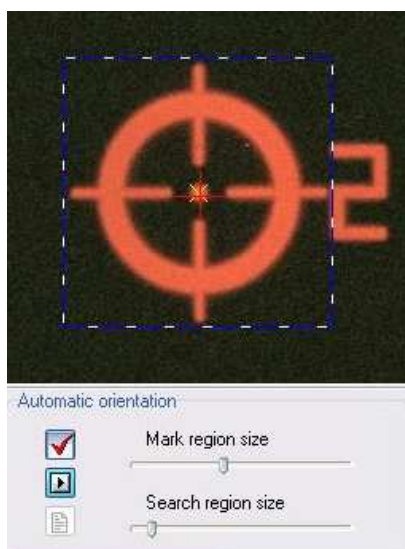
Po výpočte transformácie sa objaví okno *Errors* (Obr. 6.7), kde môžeme vidieť maximálne opravy v smere $\hat{O}S_X$ a Y (riadok *Max*) a takisto hodnoty stredných chýb jednotlivých súradníc – ozn. *root mean square* (riadok *R.M.S.*). Chyby sú zvyčajne uvádzané v milimetroch, alebo v iných jednotkách, v ktorých boli zadané parametre kamery.



Obr. 6.7: údaje o presnosti transformácie [autor]

Po stlačení tlačidla OK je vhodné uložiť výsledky stlačením ikony  v pravej hornej časti obrazovky. Po tomto úkone môžeme buď pokračovať v manuálnej orientácii meraním rámových značiek na ostatných snímkach, alebo môžeme stlačením tlačidla  spustiť automatickú orientáciu. (Obr. 6.8)

Po spustení módu automatickej orientácie musíme definovať dva parametre – *Mark region size* (označíme oblasť tak, aby obsahovala celú rámovú značku) a *Search region size* (väčšie okolie rámovej značky resp. prehľadávaná oblasť). Po nastavení týchto parametrov môžeme tlačidlom  (*Perform automatic orientation*) spustiť proces automatickej orientácie, pomocou ktorého sú vyhľadávané rámové značky, ktoré sú definované pomocou *Mark region size* v oblastiach definovaných v *Search region size*.



Obr. 6.8: automatická orientácia
[autor]

Otvorí sa dialógové okno *Automatic interior orientation*, kde pomocou tlačidla  označíme všetky snímky projektu okrem snímky označenej ako *Original* (na tejto snímke bola prevedená vnútorná orientácia manuálne).

Automaticky sú vyhľadávané všetky rámové značky využitím procesu korelácie, pomocou ktorého sa porovnáva obraz značky so vzorom, ktorý bol definovaný pri nastavení parametrov orientácie.

Ďalej nastavujeme prahovú hodnotu korelačného koeficientu (štandardne 0.900), typ transformácie (volíme znovu afinnú transformáciu) a maximálnu akceptovateľnú chybu na značke tak, aby bola značka považovaná za nájdenú (0.03).

Po skončení procesu sa otvorí okno *Automatic interior orientation results*, kde môžeme vidieť dosiahnutú presnosť rovnako ako v prípade manuálnej vnútornej orientácie a tiež hodnoty dosiahnutých korelačných koeficientov. Taktiež môžeme zvoliť textový výstup protokolu o vnútornej orientácii stlačením tlačidla *Interior orientation report* v ľavej časti hlavného okna vnútornej orientácie. (Príloha 2)

Z protokolu je zrejmé, že najhoršie výsledky boli zaznamenané na druhej snímke v rámci letovej rady. Najväčšia oprava je 0,008 mm (v smere osi X) a 0,007 mm (v smere osi Y).

Hodnoty stredných chýb jednotlivých súradníc reprezentujúce presnosť určenia polohy rámových značiek v smere súradnicových ôs na tejto snímke sú $RMS_X = 0,005$ mm a $RMS_Y = 0,004$ mm. Z toho vyplýva, že rámové značky boli merané s presnosťou odpovedajúcej približne 1/3 veľkosti pixla, čo je pre daný účel úplne vyhovujúce.

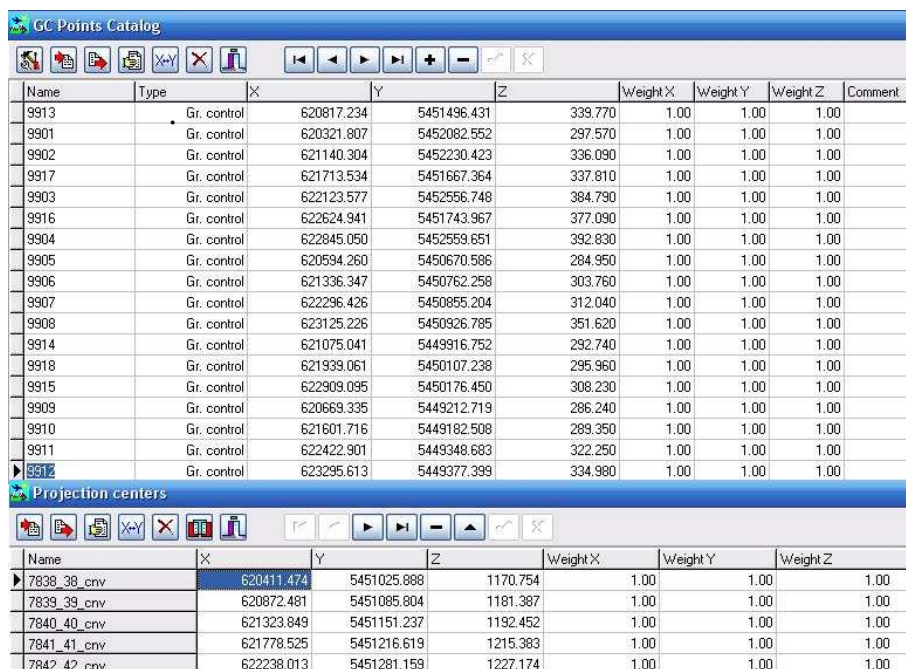
6.2.2.2 Meranie vlícovacích bodov

Pred samotným meraním vlícovacích bodov musíme do projektu vložiť súradnice vlícovacích bodov. To je možné po zvolení možnosti *GC Points Catalog*, kedy sa otvorí okno, kde môžeme body zadávať buď ručne, alebo môžeme importovať body z textového súboru po kliknutí na tlačidlo .

V stĺpci *Type* (typ) rozoznávame dva typy vlícovacích bodov – *Gr. control* (vlícovací bod je použitý do vyrovnania bloku) a *Check* (bod je použitý na kontrolu presnosti vyrovnania).

Súradnice vlícovacích bodov musia byť vkladané v súradnicovom systéme, ktorý bol definovaný pri zakladaní projektu.

Ak máme súradnice projekčných centier, môžeme ich importovať do projektu stlačením tlačidla *Projection centers* rovnako ako súradnice vlíčovacích bodov a tieto budú použité vo vyrovnaní. (Obr. 6.9)



The screenshot shows two windows from a software application. The top window, titled 'GC Points Catalog', contains a table with columns: Name, Type, X, Y, Z, Weight X, Weight Y, Weight Z, and Comment. It lists 20 points, all of type 'Gr. control'. The bottom window, titled 'Projection centers', contains a table with columns: Name, X, Y, Z, Weight X, Weight Y, Weight Z, and Comment. It lists 5 points, all of type 'cnv'.

Name	Type	X	Y	Z	Weight X	Weight Y	Weight Z	Comment
9913	Gr. control	620817.234	5451496.431	339.770	1.00	1.00	1.00	
9901	Gr. control	620321.807	5452082.552	297.570	1.00	1.00	1.00	
9902	Gr. control	621140.304	5452230.423	336.090	1.00	1.00	1.00	
9917	Gr. control	621713.534	5451667.364	337.810	1.00	1.00	1.00	
9903	Gr. control	622123.577	5452556.748	384.790	1.00	1.00	1.00	
9916	Gr. control	622624.941	5451743.967	377.090	1.00	1.00	1.00	
9904	Gr. control	622845.050	5452559.651	392.830	1.00	1.00	1.00	
9905	Gr. control	620594.260	5450670.586	284.950	1.00	1.00	1.00	
9906	Gr. control	621336.347	5450762.258	303.760	1.00	1.00	1.00	
9907	Gr. control	622296.426	5450855.204	312.040	1.00	1.00	1.00	
9908	Gr. control	623125.226	5450926.785	351.620	1.00	1.00	1.00	
9914	Gr. control	621075.041	5449916.752	292.740	1.00	1.00	1.00	
9918	Gr. control	621939.061	5450107.238	295.960	1.00	1.00	1.00	
9915	Gr. control	622909.095	5450176.450	308.230	1.00	1.00	1.00	
9909	Gr. control	620669.335	5449212.719	286.240	1.00	1.00	1.00	
9910	Gr. control	621601.716	5449182.508	289.350	1.00	1.00	1.00	
9911	Gr. control	622422.901	5449348.683	322.250	1.00	1.00	1.00	
9912	Gr. control	623295.613	5449377.399	334.980	1.00	1.00	1.00	

Name	X	Y	Z	Weight X	Weight Y	Weight Z	Comment
7838_38_cnv	620411.474	5451025.888	1170.754	1.00	1.00	1.00	
7839_39_cnv	620872.481	5451085.804	1181.387	1.00	1.00	1.00	
7840_40_cnv	621323.849	5451151.237	1192.452	1.00	1.00	1.00	
7841_41_cnv	621778.525	5451216.619	1215.383	1.00	1.00	1.00	
7842_42_cnv	622238.013	5451281.159	1227.174	1.00	1.00	1.00	

Obr. 6.9: import vlíčovacích bodov a projekčných centier [autor]

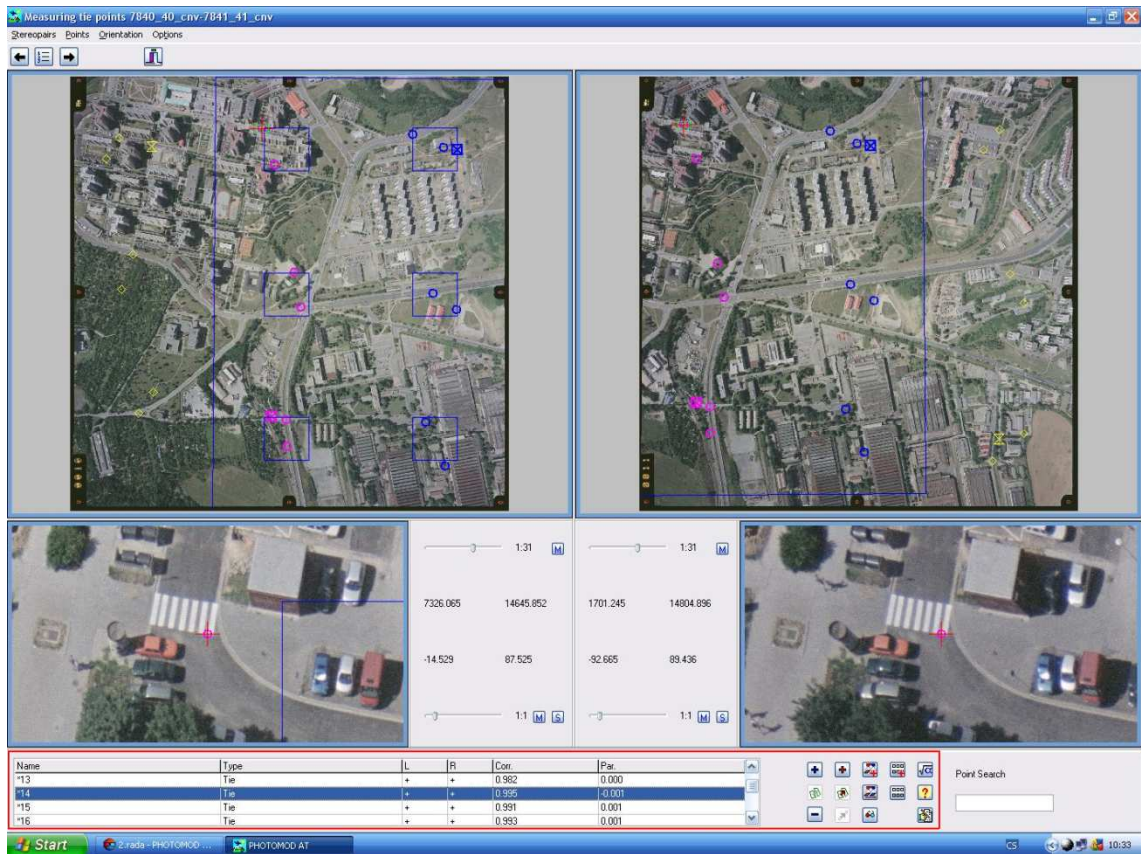
Samotné meranie vlíčovacích bodov spustíme tlačidlom *Measure Point*. Meranie prebieha podobne ako meranie rámových značiek – v spodnej časti okna zvolíme z tabuľky vlíčovací bod, ktorý chceme zmerať, umiestnime kurzor presne na tento bod na snímke a stlačením tlačidla  bod zmeriame. Každý vlíčovací bod musí byť identifikovaný a zmeraný len na jednej snímke. Ak je bod zobrazený na viacerých snímkach, môže byť zmeraný viackrát, ale až v nasledujúcom kroku *Tie Points Measurements*.

6.2.2.3 Meranie nadväzujúcich bodov

Stlačením tlačidla *Perform orientation* sa otvorí okno určené na meranie nadväzujúcich bodov. (Obr. 6.10)

V tejto etape sa odporúča začínať meraním vlíčovacích bodov, ktoré máme zmerané vždy na jednej snímke z predchádzajúcej etapy. To realizujeme výberom príslušného bodu v tabuľke v spodnej časti okna. Tým sa bod lokalizuje na snímke, na ktorej bol zmeraný a na druhej snímke je kurzor umiestnený do blízkeho okolia meraného bodu (pri prvom meraní bode nebude približná poloha príliš presná). Potom môžeme postupovať dvoma spôsobmi – po stlačení tlačidla  (*Transfer with correlation*) bude poloha bodu na odpovedajúcej snímke upravená pomocou korelácie (objaví sa tabuľka s hodnotami dosiahnutých korelačných koeficientov, ktoré reprezentujú spoľahlivosť priradenia odpovedajúcich si bodov). Ak sa objaví chybové hlásenie „Bad point“, znamená to, že program nedokázal nájsť odpovedajúci bod s požadovanou

hodnotou korelačného koeficientu, alebo sa bod nachádza v oblasti s nekvalitnou textúrou. Vtedy použijeme druhý spôsob prenosu bodu - *Transfer without correlation* (stlačením tlačidla ) a manuálne nastavíme kurzor na bod na odpovedajúcej snímke.



Obr. 6.10: meranie nadväzujúcich bodov [autor]

Pri meraní nového nadväzujúceho bodu môžeme pridať bod pomocou korelácie (*Add point with correlation* – tlačidlo ) , kedy musíme nastaviť kurzor na ľavej snímke presne na meraný bod a na pravej snímke sa vyhľadá automaticky pomocou korelácie. Druhá možnosť je manuálne nastaviť kurzor na oboch snímkach na meraný bod a pridať bod bez použitia korelácie (*Add point without correlation* – tlačidlo ) .

Každý zmeraný nadväzujúci bod sa zobrazí v tabuľke v spodnej časti okna (Obr. 6.10), kde je ďalej v stĺpcoch „L“ (*left image*) a „R“ (*right image*) pomocou znamienok „+“ alebo „-“ ukázané či bol bod zmeraný na oboch aktuálnych snímkach, potom sú tu dosiahnuté hodnoty korelačného koeficientu a hodnoty vertikálnych paraláx určených na kontrolu presnosti relatívnej orientácie.

Po zmeraní dostatočného počtu nadväzujúcich bodov na stereodvojici (min. dva body v každej oblasti) sa môžeme pomocou šípok v hornej časti okna presunúť na ďalšie snímky.

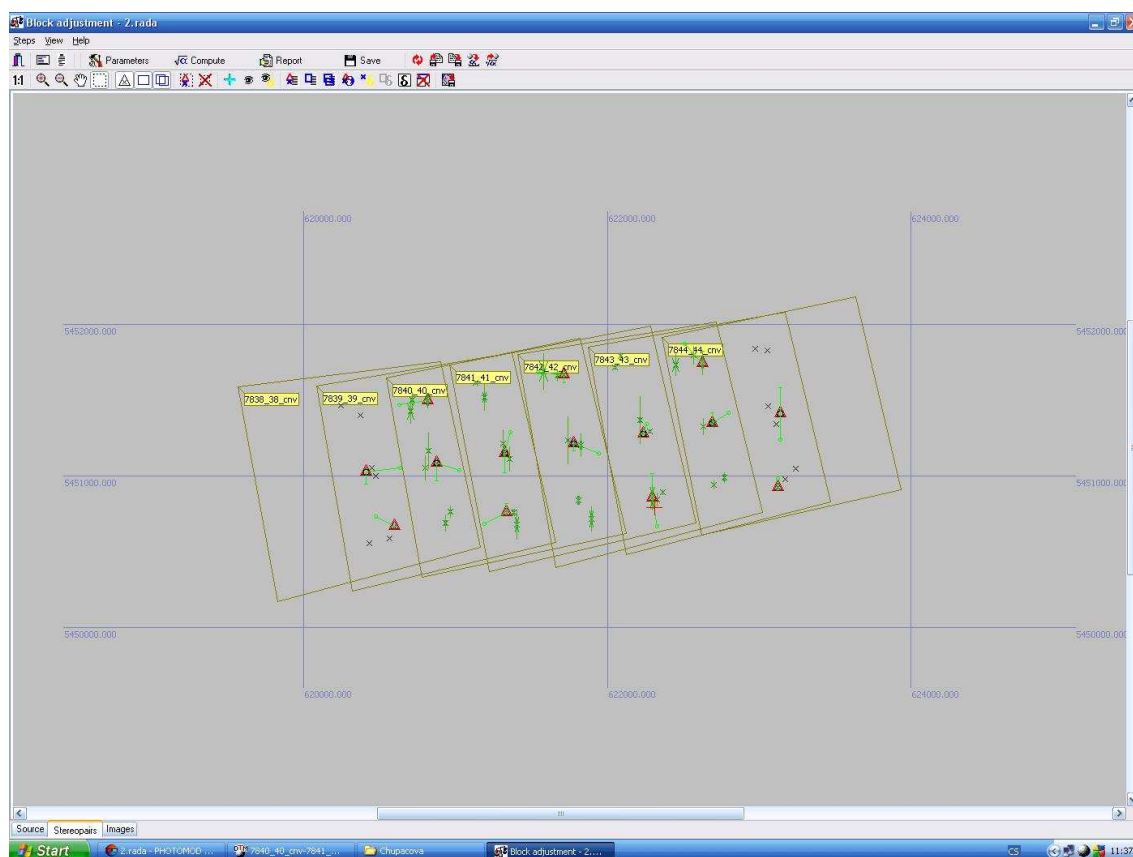
6.2.3 Blokové vyrovnanie

Modul sa spúšťa stlačením tlačidla  a v našom prípade bol použitý na vyrovnanie rady leteckých snímok. V pracovnom prostredí programu (Obr. 6.11) musíme najskôr nastaviť parametre vyrovňovania. V záložke *Adjustment* (vyrovnanie) zvolíme metódu vyrovňovania – *Bundle adjustment* (viď. kapitola 2.5.1)

Ďalej môžeme zvoliť automatický filter nadväzujúcich bodov (*Tie points rejection*) povolením možnosti *Worst points* (môžeme zvoliť počet bodov z najväčšími odchýlkami, ktoré budú vylúčené z vyrovňovania) a zvolením možnosti *Over acceptable residuals* môžeme z vyrovňovania vylúčiť body, na ktorých odchýlka presiahla odchýlky povolené v záložke *Report*.

V záložke *Report* (Obr. 6.12) je možné nastaviť, ktoré atribúty vyrovňovania bude obsahovať protokol a parametre vizualizácie opráv na jednotlivých bodoch.

Tlačidlom  (*Compute*) spustíme proces vyrovňovania. Po správnom vyrovnaní je nutné výsledky uložiť (*Save*), poprípade uložiť protokol o vyrovnaní (*Report*).



Obr. 6.11: prostredie modulu, odchýlky na vyrovnaných vlčovacích a nadväzujúcich bodoch [autor]

Dôležitá charakteristika presnosti vyrovňovania je hodnota σ_0 , ktorá je počítaná len pri použití metódy vyrovňovania blokov zväzkov. Táto hodnota určuje ako odchýlky dosiahnuté vyrovňaním súhlasia alebo nesúhlasia s apriórne určenými hodnotami stredných chýb vstupných parametrov (presnosťou merania snímkových súradníc, presnosťou určenia súradníc vlčovacích bodov a projekčných centier).

Dosiahnutá hodnota vo vyrovnaní je $\sigma_0 = 0,218$.

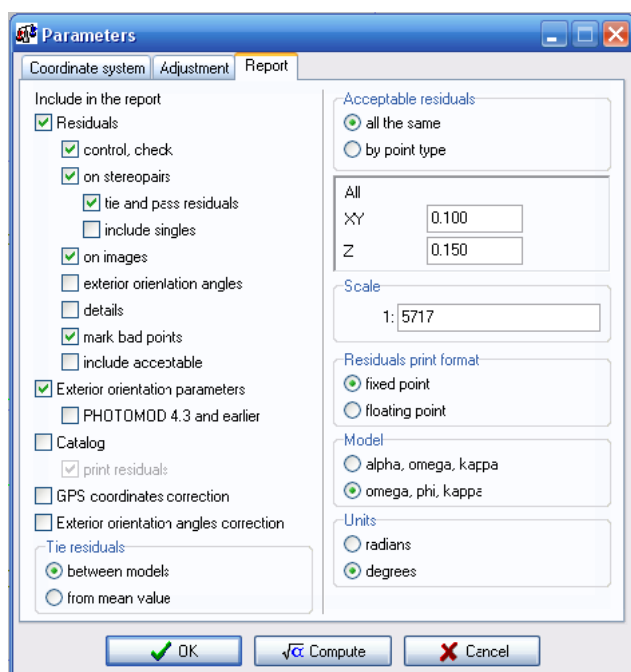
Typ bodov	RMS _x	RMS _y	RMS _z	RMS _{xy}	dX _{max}	dY _{max}	dZ _{max}
	[m]						
vĺicovacie body	0,048	0,037	0,029	0,060	0,069	0,070	0,060
projekčné centrá	0,048	0,036	0,038	0,060	0,084	0,063	0,063
nadväzujúce body	0,006	0,021	0,052	0,021	0,020	0,051	0,118

Tab. 1: charakteristiky presnosti vyrovnania [autor]

Hodnoty RMS v tabuľke pre vĺicovacie body a projekčné centrá sú stredné chyby jednotlivých súradníc (X,Y,Z) a stredná polohová chyba (XY). Opravy používané vo vzorcoch stredných chýb sú rozdiely medzi príslušnou vyrovnanou súradnicou a zadanou súradnicou bodu. Zvyšné tri stĺpce obsahujú hodnoty najväčších rozdielov jednotlivých vyrovnaných a zadaných súradníc.

Hodnoty RMS pre nadväzujúce body reprezentujú rovnaké charakteristiky presnosti ako pri vĺicovacích bodoch, ale opravy použité vo vzorcoch sú rozdiely medzi príslušnou súradnicou bodu na stereodvojiciach, kde bol bod meraný. Ostávajúce tri stĺpce sú v tomto prípade najväčšie rozdiely súradníc bodu meraného na dvoch stereodvojiciach.

Z tabuľky je jasné, že žiadna z hodnôt opráv jednotlivých súradníc neprekročila limitné hodnoty zadané v parametroch vyrovnania ($m_{xmedz.} = 10\text{cm}$, $m_{ymedz.} = 10\text{cm}$, $m_{zmedz.} = 15\text{cm}$).



Obr. 6.12: nastavenie protokolu o vyrovnaní [autor]

Protokol o vyrovnaní teda obsahuje odchýlky na vĺicovacích a nadväzujúcich bodoch (so zvýraznením bodov s prekročenou hodnotou odchýlky pomocou znaku „*“) a parametre vonkajšej orientácie. (Príloha 3)

6.2.4 Spracovanie bloku

V tejto etape sú na spracovanie projektu v ponuke štyri moduly, z čoho pri tvorbe ortofotomapy využijeme tri – *DTM (Digital terrain model)*, *StereoDraw* a *Mosaic*.

6.2.4.1 Photomod DTM



Obr. 6.13: prostredie modulu Photomod DTM [autor]

Modul spustíme tlačidlom . Pri práci s týmto modulom boli použité nasledujúce funkcie:

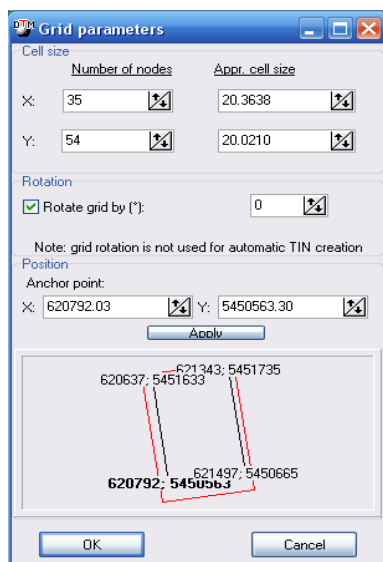
ovládače 2D okna (Obr. 6.13- zvýraznená oblasť č.1):

-  - zapínanie a vypínanie stereo módu - stereoskopické videnie zaistujú polarizačné okuliare
-  - program obnoví stereoobraz tak, že horizontálna paralaxa je v mieste kurzoru nulová, čím je zaistený čo najlepší stereovzťah – rýchla voľba F2
-  - obnoví „hlĺbku“ stereoobrazu (vlastne neguje poslednú operáciu) – rýchla voľba F3
-  - priblíži (rýchla voľba „*“) alebo oddiali (rýchla voľba „/“) obraz o jeden krok

V práci bol zvolený polyedrický model DMT, ktorý je tvorený nepravidelnou trojuholníkovou sieťou (TIN). (viď. kapitola 3.1) Pre vytvorenie tejto siete musíme najskôr vytvoriť pravouhlú sieť, aby sme definovali oblasť, kde sa má vytvoriť TIN.

ovládače pre definovanie oblasti TIN-u (Obr. 6.13– zvýraznená oblasť č.2):

-  - ľavým tlačidlom myši + klávesom *Ctrl* nakreslíme obdĺžnik, ktorým definujeme rozsah pravouhlej siete
-  - otvorí dialógové okno *Grid parameters* (Obr. 6.14), kde v textovom poli *Appr. cell size* zvolíme odstup jednotlivých bodov siete (zvolený 20m).



Obr. 6.14: parametre pravouhlej siete [autor]

Modul ponúka viacero algoritmov na tvorbu TIN-u. V práci bola zvolená tvorba TIN-u z jednotlivých 3D bodov (*pickets*), ktoré boli v našom prípade zberané poloautomatickou metódou v tzv. *Pathway mode*.

ovládače Pathway mode (Obr. 6.13– zvýraznená oblasť č.3):



- štart zberu bodov v tomto móde
- zvolený smer zberu bodov

V tomto móde program automaticky umiestňuje kurzor do nasledujúceho bodu pravouhlej siete (po stlačení klávesu *Enter*). Manuálne je potrebné každý bod nastaviť na úroveň terénu (pomocou korelácie stlačením klávesu *Medzerník*, alebo manuálne pomocou myši), poprípade zvoliť polohu nového bodu mimo bodu siete (z dôvodu prekážky napr. zástavba) alebo bod vynechať úplne (stlačením klávesu *Delete*).

Po vložení všetkých bodov siete sa aktivuje nová vrstva, v ktorej je možné body upravovať.

Po ukončení zberu bodov môžeme vytvoriť z týchto bodov TIN - *TIN | Create | From pickets* (stlačením tlačidla ). Pre zlepšenie presnosti TIN-u je vhodné pripojiť vektorové objekty (významné terénne hrany, zlomy, násypy komunikácií).

6.2.4.2 Photomod StereoDraw

Pre vytváranie hrán bol použitý modul *StereoDraw* (tlačidlo ) , ktorý je určený na tvorbu a editáciu 3D vektorových objektov v stereomóde (tvorbu hrán umožňuje aj modul *DTM*). Tieto objekty boli potom nainportované do modulu *DTM* a použité ako hrany (*breaklines*) pri tvorbe DMT. (Obr. 6.15)

základné funkcie použité pri tvorbe vektorových objektov:

operácie s bodmi (možné po stlačení ikony 

-  - vloženie bodu (kláves *Insert*)
-  - vymazanie bodu (kláves *Delete*)
-  - funkcia presunie bod do aktuálnej pozície kurzoru – rýchla voľba „J“

tvorba krivky (kláves ), tvorba polygónu (kláves )

Pri tvorbe a editácii líniových prvkov je dôležité správne zachytávanie na body (napr. pri tvorbe vertikálne kolmých zlomov alebo pri tvorbe viacúrovňového kríženia komunikácií)

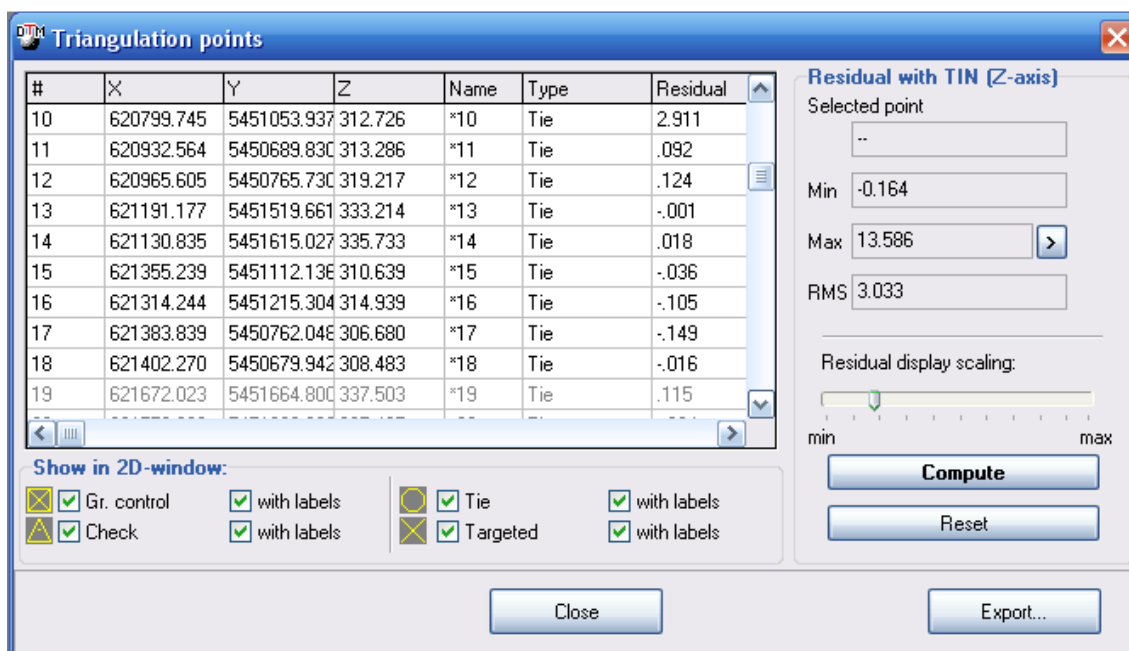
-  - kurzor sa zachytáva na najbližší bod a menia sa len súradnice X a Y, zatiaľ čo súradnica Z ostáva zachovaná (2D zachytávanie) – rýchla voľba „B“
-  - 3D zachytávanie na najbližší bod – rýchla voľba „V“
-  - 2D zachytávanie k línii - rýchla voľba „M“
-  - 3D zachytávanie k línii - rýchla voľba „N“



Obr. 6.15: TIN bez pripojenia hrán (hore) a s hranami (dolu) [autor]

Hrany môžeme k TIN-u pripojiť v module *DTM* pomocou funkcie *TIN | Link breaklines* alebo stlačením tlačidla .

Presnosť takto vytvorenej trojuholníkovej siete môžeme overiť príkazom *TIN | Accuracy control*, kedy program počíta odchýlky na všetkých bodoch siete použitých vo vyrovnaní (tzn. vlícovacie a nadväzujúce body). Odchýlky reprezentujú rozdiel medzi vyrovnanou súradnicou *Z* bodu a súradnicou *Z* odpovedajúceho bodu (bod s rovnakou súradnicou *X* a *Y*) na TIN-e. (Obr. 6.16)



Obr. 6.16: kontrola presnosti TIN-u [autor]

V pravej časti tabuľky sú hodnoty maximálnej a minimálnej odchýlky (veľká hodnota odchýlky je spôsobená tým, že sa niektoré nadväzujúce body nachádzajú napr. na strechách výškových budov).

Ďalej je vhodné skontrolovať prípadné prekryty hrán trojuholníkov výsledného TIN-u použitím príkazu *TIN | Check TIN*.

Po vylúčení niekoľkok metrových odchýliek (vyznačené v Tab. 2) a vypočítaní strednej chyby v súradnici *Z*, ktorá vyšla $RMS_Z = 0,097\text{m}$ bola táto hodnota dosadená do vzťahu $\sigma_Z^2 = (m_s \frac{Z}{B} \sigma_{P_x})^2$, kde $m_s = 5000$, $Z = 750\text{m}$ ($Z = m_s c$), $B = 460\text{m}$ (určené z polohy projekčných centier). Takto bola určená empirická hodnota presnosti merania snímkových súradníc $\sigma_{P_x} = 11,8\mu\text{m}$, tzn. že body boli merané s presnosťou vyššou ako je veľkosť pixla, čo je pre nesignalizované body vyhovujúca presnosť. Keďže máme k dispozícii len malý súbor meraní, môžeme túto hodnotu uvažovať len ako približnú informáciu o presnosti manuálneho merania snímkových súradníc jednotlivých bodov TIN-u.

Triangulation points	Type	Z residual [m]	(Z residual) ²
7	Tie	-0,107	0,011
8	Tie	13,586	—
9	Tie	-0,031	0,001
10	Tie	2,911	—
11	Tie	0,092	0,008
12	Tie	0,124	0,015
13	Tie	-0,001	0,000
14	Tie	0,018	0,000
15	Tie	-0,036	0,001
16	Tie	-0,105	0,011
17	Tie	-0,149	0,022
18	Tie	-0,016	0,000
19	Tie	0,115	0,013
20	Tie	-0,094	0,009
21	Tie	-0,113	0,013
22	Tie	0,087	0,008
23	Tie	-0,043	0,002
24	Tie	-0,164	0,027
9906	GC	0,124	0,015
9913	GC	0,134	0,018
9917	GC	-0,04	0,002

Max _z	0,134	m
Min _z	-0,164	m
RMS _z	0,097	m

Tab. 2: výpočet presnosti TIN-u [autor]

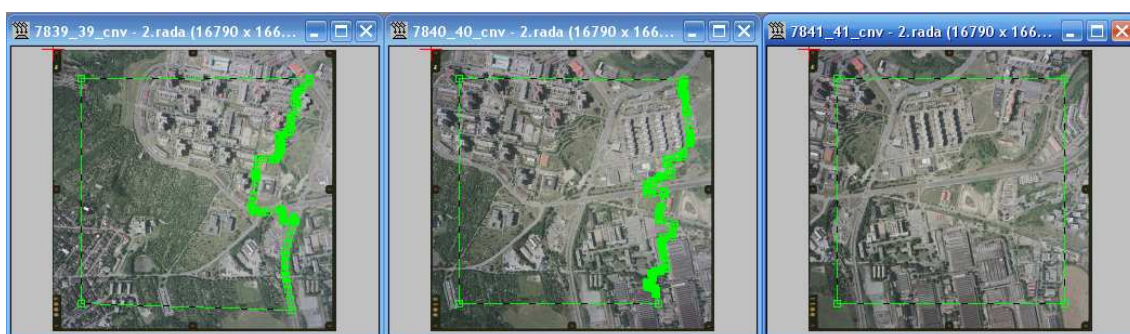
6.2.4.3 Photomod Mosaic

Posledným krokom je ortorektifikácia a mozaikovanie ortofotosnímkok. Výsledná ortofotomozaika je georeferencovaná do vybraného súradnicového systému (UTM). Toto prebieha v module *Photomod Mosaic*, ktorý spustíme stlačením tlačidla .

Najskôr musíme načítať spracovávané snímky pomocou možnosti *Image| Open* v hlavnom menu modulu. Pomocou šípok v hornej ľavej časti obrazovky sa môžeme presúvať medzi jednotlivými snímkami. Pri spracovaní je výhodné použiť usporiadanie snímkok *Current + Next* (), kedy sa nám zobrazí aktuálna a nasledujúca snímka.

Ďalším krokom je tvorba tzv. *Cutlines*, ktoré tvoria hranice medzi oblasťami snímkok, ktoré sú zahrnuté do tvorby ortofotomozaiky. Tieto oblasti sa nazývajú *ROI* (*Regions of interest* – oblasti záujmu) a sú štandardne nastavené ako obdĺžniky, ktoré vylučujú 10% snímky z každej strany, aby bolo zaistené, že rámové značky na okrajoch snímkok nebudú zahrnuté do tvorby ortofotomozaiky.

Aby sme mohli upravovať jednotlivé ROI, musíme pomocou možnosti *ROIs | Polygon* $\Leftrightarrow$ *rectangle* v hlavnom menu zmeniť *Cutline* na polygón určený štyrmi bodmi. Vkladaním bodov do *Cutline* môžeme ručne nakresliť tieto hranice a tak zlepšiť výslednú kvalitu ortofotomapy. Hranice by sme mali viesť čo najbližšie k hlavnému bodu snímky, aby sme tak zlepšili geometrickú presnosť priradovania snímok. Ďalej by hranice nemali krížiť objekty, ktoré sú výrazne týčia nad terénom (napr. mosty, výškové budovy...), pretože môže dôjsť k tomu, že sa tieto objekty na spojoch snímok rozdelia alebo čiastočne zmiznú. Hrany by taktiež nemali viesť pozdĺž líniových objektov, ktorých jas sa výrazne líši od pozadia (napr. hranica lesa, cesty). Doporučuje sa buď aby *Cutline* krížila tieto línie pod pravým uhlom, alebo kresliť *Cutline* vo určitej vzdialenosti od týchto objektov.



Obr. 6.17: príklad štandardného nastavenia (vpravo) a ručne upravenej *Cutline* [autor]

Ak máme upravené všetky potrebné *Cutlines*, môžeme pomocou možnosti *Mosaic | Parameters* nastaviť v jednotlivých záložkách nasledujúce parametre:

Type of DTM: V tejto záložke sa nastavuje typ DMT použitého pri ortorektifikácii.

Pri tvorbe ortofotomapy je použitý DEM (*Digital elevation model*) – digitálny výškový rastrový model, ktorý môže byť buď vytvorený v module *Photomod DTM* alebo môžeme zvoliť možnosť *Convert TIN to DEM*, kedy software automaticky prepočíta TIN na DEM.

V textovom poli *Interpolation cell size* by sme mali zvoliť hodnotu v rozmedzí 20-32 (ak zvolíme napr. 20 znamená to, že veľkosť bunky vytváraného DEM-u bude rozmerovo 20x20 väčšia ako veľkosť bunky ortofotomozaiky). Ak zadáme väčšiu hodnotu, zrýchli sa tým proces tvorby ortofotomozaiky, ale zníži sa presnosť.

Ak máme zadanú veľkosť pixla ortofotomapy 0,2m a necháme automaticky prepočítať zvolený TIN na DEM (bez povolenia možnosti *Use breaklines*, pretože vytvorený TIN už hrany obsahuje) pri *Interpolation cell size* 20, tak bude automaticky vytvorený DEM s rastrom po 4m (0,2m x 20). Presnosť ortorektifikácie z tohto modelu bude odpovedať presnosti ortorektifikácie z DEM vytvoreného v module *Photomod DTM* príkazom *DEM | Build | From TIN* s nastavením veľkosti bunky 4m ak pri tvorbe ortofotomozaiky ešte zadáme pripojenie hrán. To si môžeme overiť ak dáme skontrolovať presnosť ortorektifikácie z oboch modelov príkazom *Mosaic | Accuracy*

control alebo stlačením tlačidla  . V Tab. 3 môžeme vidieť opravy na vlícovacích a nadväzujúcich bodoch v smere súradnicových ôs, stredné chyby jednotlivých súradníc a strednú polohovú chybu a taktiež hodnoty maximálnych opráv.

Type of DTM		DEM (raster 4m,s breaklines)			DEM (raster 4m,s breaklines)		
Name	Type	Ex	Ey	Exy	Ex ²	Ey ²	Exy ²
		[m]			[m]		
9913	GCP	-0,054	-0,099	0,113	0,00292	0,00980	0,01277
9917	GCP	-0,057	0,057	0,081	0,00325	0,00325	0,00656
9906	GCP	-0,128	0,018	0,129	0,01638	0,00032	0,01664
7	Tie	-0,025	0,045	0,051	0,00063	0,00203	0,00260
8	Tie	2,715	-5,412	6,055	—	—	—
9	Tie	0,011	0,005	0,012	0,00012	0,00003	0,00014
10	Tie	-1,311	-0,093	1,315	—	—	—
11	Tie	-0,012	0,034	0,036	0,00014	0,00116	0,00130
12	Tie	-0,009	0,050	0,050	0,00008	0,00250	0,00250
13	Tie	0,000	0,000	0,000	0,00000	0,00000	0,00000
14	Tie	-0,012	0,002	0,012	0,00014	0,00000	0,00014
15	Tie	0,012	-0,006	0,013	0,00014	0,00004	0,00017
16	Tie	0,012	-0,001	0,012	0,00014	0,00000	0,00014
17	Tie	0,011	-0,065	0,066	0,00012	0,00423	0,00436
18	Tie	0,018	-0,023	0,029	0,00032	0,00053	0,00084
19	Tie	-0,045	-0,067	0,081	0,00203	0,00449	0,00656
20	Tie	0,019	0,062	0,065	0,00036	0,00384	0,00423
21	Tie	-0,024	-0,004	0,024	0,00058	0,00002	0,00058
22	Tie	0,000	0,000	0,000	0,00000	0,00000	0,00000
23	Tie	0,000	0,000	0,000	0,00000	0,00000	0,00000

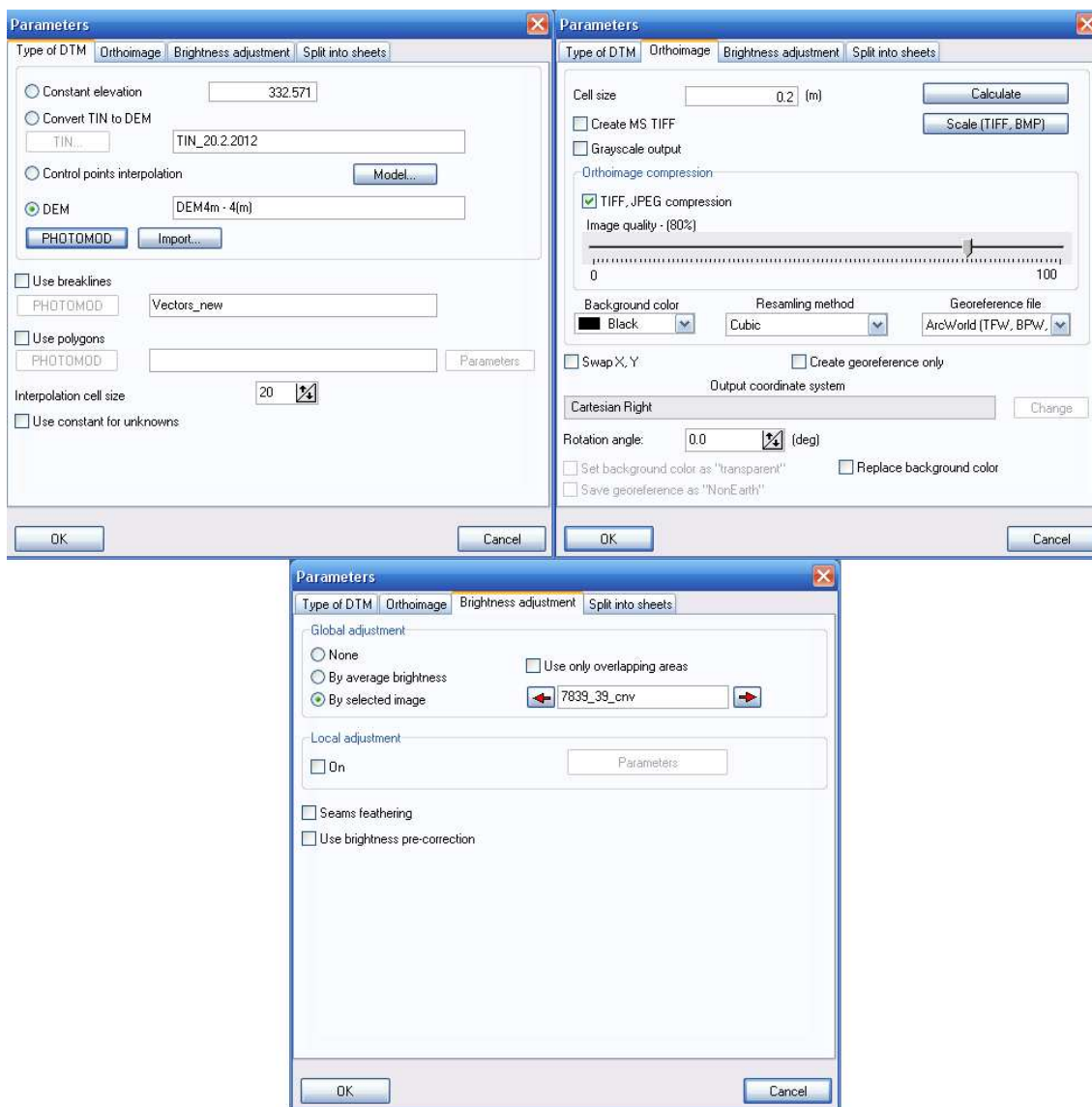
RMS _x	0,039	m	dX _{max}	-0,128	m
RMS _y	0,042	m	dY _{max}	-0,099	m
RMS _{xy}	0,058	m			

Tab. 3: charakteristiky presnosti ortorektifikácie [autor]

Po vylúčení niekoľkometrových odchýlok spôsobených umiestnením nadväzujúcich bodov na budovách boli dosiahnuté hodnoty uvedené v Tab. 3 (uvedený je len jeden zo spôsobov určenia DMT, pretože ich presnosť sa zhoduje). Keďže ide o malý štatistický súbor, hodnoty dosiahnutých charakteristík presnosti môžeme opäť považovať len za informačné údaje.

Orthoimage: Tu môžeme nastaviť hodnotu, ktorá v teréne odpovedá veľkosti pixla ortofotomapy (textové okno *Cell size*), ďalej stupeň kompresie a farbu pozadia výslednej ortofotomozaiky, metódu prevzorkovania (*Resampling method*), výstupný súradnicový systém, atď. (použité nastavenia vid'. Obr. 6.18)

Brightness adjustment: V tejto záložke nastavujeme rádiometrické korekcie vstupných snímok, aby sme dostali jednoliaty výstup bez viditeľných spojov medzi jednotlivými snímkami.



Obr. 6.18: nastavenie parametrov ortofotomapy [autor]

Po nastavení všetkých parametrov stlačením tlačidla  alebo príkazom *Mosaic | Build!* vytvoríme výslednú ortofotomapu.

Pretože som letecké snímky fotogrametricky spracovávala prvýkrát, tak sa na výslednej ortofotomape vyskytli chyby. Môžu byť spôsobené aj tým, že keďže ortofotomapa vznikla z DEM-u s rastrom bodov po 4 m a pripojených hrán, nemusel vždy tento model presne vystihovať členitosť terénu.

Ukážka nedostatkov výslednej ortofotomapy:



Obr. 6.19: chyba spôsobená nesprávnou vektorovou kresbou [autor]

Pri nesprávnej tvorbe vektorových objektov vznikajú deformácie obrazu. Napr. na *Obr. 6.19* vľavo vidíme deformáciu spôsobenú nesprávnou tvorbou vektorovej kresby viacúrovňových komunikácií. Chyba sa sčasti podarila odstrániť zmazaním priebehu cesty v mieste pod električkovou traťou.



Obr. 6.20: chyba spôsobená nesprávnou vektorovou kresbou [autor]

Podobnú situáciu môžeme vidieť na obrázku podjazdu (*Obr. 6.20*), kde deformácia vznikla nesprávnou kresbou vrchnej hrany podjazdu.



Na *Obr. 6.21* môžeme vidieť farebnú nehomogénnosť, ktorá vznikla pri mozaikovaní.

Obr. 6.21: farebná nehomogénnosť [autor]

7 TESTOVANIE PRESNOSTI ORTOFOTOMAPY

Pre otestovanie presnosti ortofotomapy bola lokalita dňa 26.-27.10.2011 kontrolne zameraná technológiou GNSS použitím metódy RTK.

prístroj: TOPCON GRS-1, v.č. S/N 596-04 138

anténa: TOPCON PG-AI, v.č. S/N 308-2948

Súradnice meraných podrobných bodov boli polohovo transformované z S-JTSK do súradnicového systému UTM použitím podobnostnej transformácie v softvéri Groma 7. Protokol z transformácie vid'. *Príloha 4*

Pre testovanie presnosti ortofotomapy (*Príloha 5*) boli vypočítané rozdiely jednotlivých súradníc meraných metódou GPS – RTK a fotogrametricky. Na základe kvalifikovaného odhadu boli z testovania vylúčené hrubé chyby (v tabuľke označené červenou farbou). Z týchto rozdielov boli vypočítané stredné súradnicové chyby $d_{x,y}$ pre jednotlivé body. Tieto stredné súradnicové chyby boli porovnané s medznou súradnicovou chybou celého súboru ($\delta_{x,y} = 0,28m$), ktorá bola vypočítaná ako 2,5násobok strednej súradnicovej chyby súboru $m_{x,y} = \sqrt{0,5(m_x^2 + m_y^2)} = 0,11m$, kde m_x a m_y sú stredné chyby jednotlivých súradníc (vypočítané podľa vzťahov $m_x = \sqrt{\frac{\sum d_x^2}{2n}} = 0,10m$ a $m_y = \sqrt{\frac{\sum d_y^2}{2n}} = 0,12m$).

Po vylúčení hrubých chýb (7 bodov) stanovenej presnosti ortofotomapy nevyhovelo 6 meraní. Hrubé chyby mohli byť spôsobené tým, že body kontrolne zmerané v teréne neboli na ortofotomape jednoznačne identifikovateľné, alebo boli zvolené nevhodne (napr. vodorovné dopravné značenie, ktoré neodpovedá značeniu na ortofotomape).

Testovaný bol teda súbor 104 meraní, z čoho 98 meraní vyhovelo stanovenej presnosti ortofotomapy $m_{x,y} = 0,11m$ (veľkosť pixla 0,20m).

Pre testovanie výškovej presnosti DMT (*Príloha 5*) boli vypočítané rozdiely medzi výškami bodov získanými metódou GPS – RTK vo výškovom systéme Bpv a elipsoidickými výškami (elipsoid WGS84) bodov získaných fotogrametrickým meraním (dH'). Tieto rozdiely boli porovnané s konštantnou odľahlosťou kvazigeoidu a elipsoidu WGS84 pre oblasť Brno - Líšeň ($dH = 44,65m$). Priemerná hodnota tejto odľahlosti stanovená z meraných bodov je $d_{H'} = 44,62m$.

Z testovania boli znovu vylúčené hrubé chyby (v tabuľke označené modrou farbou). Potom boli určené rozdiely ($\delta_{H'}$) medzi vypočítanými prevýšeniami (dH') a zadanou konštantou (dH) pre jednotlivé body. Tieto boli porovnané s medznou chybou odchýlok od zadanej konštanty vypočítanej z celého súboru ($\delta_H = 0,15m$), ktorá bola vypočítaná ako 2,5násobok strednej chyby súboru $m_H = \sqrt{\frac{\sum \delta_H'^2}{2n}} = 0,06m$.

Testovaný bol teda súbor 102 meraní, z čoho 95 meraní vyhovelo stanovenej výškovej presnosti DMT $m_H = 0,06m$.

ZÁVER

Cieľom práce bolo vytvorenie DMT zadanej lokality a následná tvorba ortofotomapy. Celé spracovanie prebehlo v softvéri Photomod 4.3., ktorý umožňuje vo svojich moduloch kompletne spracovanie leteckých snímok.

Po spracovaní každej etapy boli určená presnosť použitého postupu.

Z hodnôt stredných chýb snímkových súradníc v jednotlivých etapách projektu vyplýva, že dosiahnutá presnosť pri manuálnom ako aj pri poloautomatickom zbere bodov bola vždy vyššia ako zvolená veľkosť pixla (pri meraní rámových značiek presnosť manuálneho aj automatického merania odpovedala 1/3 veľkosti pixla; hodnota presnosti určenia snímkových súradníc vlícovacích a nadväzujúcich bodov je taktiež vyššia ako zvolená veľkosť pixla).

O presnosti vyrovnania blokov zväzkov vypovedajú hodnoty stredných polohových chýb a stredných chýb výškových zložiek vlícovacích a nadväzujúcich bodov, ktoré nepresiahli 6,0 cm a vo výškovej zložke 11,8 cm.

V záverečnej fáze tvorby ortofotomapy bola posudzovaná presnosť ortorektifikácie, kde bola dosiahnutá stredná polohová chyba 5,8 cm.

Nakoniec bola presnosť výslednej ortofotomapy polohovo testovaná voči kontrolnému meraniu metódou GPS-RTK. Testovaný bol súbor 104 meraní, z čoho 98 meraní vyhovelo stanovenej presnosti ortofotomapy $m_{x,y} = 0,11\text{m}$.

Presnosť vytvoreného DMT bola otestovaná na súbore 102 meraní, z čoho 95 meraní vyhovelo stanovenej výškovej presnosti DMT $m_H = 0,06\text{m}$.

Z vyššie uvedených hodnôt charakteristík presnosti vyplýva, že vytvorená ortofotomapa a DMT spĺňajú kritériá mapovania v tretej triede presnosti.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] BARTOŠ, P., GREGOR, V. *Fotogrametria a diaľkový prieskum Zeme II.* 1. vyd. Bratislava : STU, 1994. 281 s. ISBN 80-227-0716-3
- [2] BITTERER, L. *Základy fotogrametrie* 3. Vyd, 2005. 211 s
- [3] HANZL, V. *Fotogrametrie : Modul 01 – Teoretické základy fotogrametrie*
- [4] PAVELKA, K. *Fotogrametrie* 1. 1. vyd. Praha : ČVUT, 2009. 200 s. ISBN 978-80-01-04249-6
- [5] URBAN, J. *Digitální model terénu* 1. vyd. Praha : ČVUT, 1991. 60 s. ISBN 80-01-00553-4
- [6] BEYER, T. *Rovinné triangulace a jejich využití*. [online]. [Cit. 5.3.2012]. Dostupné z: <http://web.natur.cuni.cz/~bayertom/Adk/adk5.pdf>
- [7] GEODIS: *Technologie - Kamery a senzory*. [online]. [Cit.29.1.2012]. Dostupné z: <http://www.geodis.cz/technologie/kamery?lang=1>
- [8] GEODIS : *Geodis News*, Ročník IV. Číslo 1. 2005. [online]. [Cit.29.1.2012] Dostupné z: http://www.geodis.cz/uploads/dokumenty/pdf_casopis/NEWS_FOTO_cesky_2005_04.pdf
- [9] VÚGTK: *Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí*. [online]. VÚGTK: ©2005-2012. [Cit.24.1.2012]. Dostupné z: http://www.vugtk.cz/slovník/3867_fotogrametrie
- [10] VÚGTK: *Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí*. [online]. VÚGTK: ©2005-2012. [Cit.15.2.2012]. Dostupné z: [http://www.vugtk.cz/slovník/1050_digitalni-model-reliefu--digitalni-model-terenu-\(dmr--dmt\)](http://www.vugtk.cz/slovník/1050_digitalni-model-reliefu--digitalni-model-terenu-(dmr--dmt))
- [11] VÚGTK: *Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí*. [online]. VÚGTK: ©2005-2012. [Cit.15.2.2012]. Dostupné z: http://www.vugtk.cz/slovník/5221_ortofotomapa
- [12] ISPRS: *The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*. [online]. [Cit. 24.1.2012]. Dostupné z: <http://www.isprs.org/society/Default.aspx>
- [13] UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE, Prírodovedecká fakulta: *Metódy digitálnej fotogrametrie a tvorba digitálnej ortofotomapy*. [online]. © Univerzita Komenského v Bratislave. [Cit. 25.1.2012]. Dostupné z: http://www.fns.uniba.sk/fileadmin/user_upload/editors/geog/kfg/Katedra/Studium/geomatika_fotogrametria.pdf
- [14] RACURS Co.: *Photomod 4.3 User manual*, 2008, Moscow, Russia
- [15] MAPY.CZ, s.r.o.: *Mapy.cz*. [online]. ©2011 NAVTEQ. [Cit.21.1.2012]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz/#x=16.565786&y=49.200097&z=11&t=s>

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK

AT	-	aerotriangulácia
Bpv	-	Výškový systém baltský – po vyrovnaní
CCD	-	plošný optický snímací prvok (<i>Charge-coupled device</i>)
DEM	-	digitálny výškový model (<i>Digital Elevation Model</i>)
DMR	-	digitálny model reliéfu
DMT	-	digitálny model terénu
FMC	-	metóda kompenzácie zmazu analógových kamier (<i>Forward Motion Compensation</i>)
GC point	-	vlíčovací bod (<i>Ground Control point</i>)
GIS	-	geografické informačné systémy
GPS – RTK	-	relatívna metóda merania využitím globálnych navigačných satelitných systémov v reálnom čase (<i>Global Positioning System – Real Time Kinematics</i>)
IMU	-	inerciálna meračská jednotka (<i>Inertial Measuring Unit</i>)
MNŠ	-	metóda najmenších štvorcov
R.M.S.	-	stredná chyba (<i>Root Mean Square</i>)
ROI	-	oblasť na snímke zahrnutá do tvorby ortofotomozaiky (<i>Region of interest</i>)
TIN	-	nepravidelná trojuholníková sieť (<i>Triangulated irregular network</i>)
UTM	-	Mercatorovo priečne konformné valcové zobrazenie (<i>Universal Transverse Mercator</i>)
WGS84	-	Svetový geodetický referenčný systém 1984 (<i>World Geodetic System 1984</i>)

ZOZNAM TEXTOVÝCH PRÍLOH

Príloha 1: kalibračný protokol kamery ZEISS RMK TOP 15

Príloha 2: protokol z vnútornej orientácie snímok - ukážka

Príloha 3: protokol o vyrovnaní - ukážka

Príloha 4: Protokol z transformácie

Príloha 5: testovanie presnosti ortofotomapy

Príloha 6: výrez ortofotomapy

ZOZNAM ELEKTRONICKÝCH PRÍLOH

Príloha 7: protokol z vnútornej orientácie snímok

Príloha 8: protokol o vyrovnaní

Príloha 9: 3D vizualizácia TIN-u v programe MicroStation

Príloha 10: ortofotomapa

Príloha 11: georeferencovaná ortofotomapa

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1: charakteristiky presnosti vyrovnania [autor]

Tab. 2: výpočet presnosti TIN-u [autor]

Tab. 3: charakteristiky presnosti ortorektifikácie [autor]

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 2.1: definícia prvkov vnútornej orientácie (snímkové súradnice x' , y') [autor].....	11
Obr. 2.2: definícia prvkov vonkajšej orientácie [13]	12
Obr. 2.3: vzťah snímkových a objektových súradníc [3].....	12
Obr. 2.4: parametre snímkového letu [2].....	14
Obr. 2.5: zmaz [autor].....	14
Obr. 2.6: RMK TOP 15 [7].....	15
Obr. 2.7: rozloženie rámových značiek [autor]	15
Obr. 2.8: Z/I Imaging Photoscan 2002 [8].....	16
Obr. 2.9: princíp aerotriangulácie [autor]	16
Obr. 2.10: geometrický princíp vyrovnania blokov zväzkov [13].....	17
Obr. 3.1: princíp Delauneyho triangulácie [6].....	19
Obr. 4.1: princíp vzniku ortofotosnímky [2].....	20
Obr. 5.1: približné vyznačenie lokality na mape mesta [15]	21
Obr. 6.1: tvorba skladiska [autor]	22
Obr. 6.2: operácie s projektom [autor].....	22
Obr. 6.3: typ projektu [autor].....	23
Obr. 6.4: sprievodca projektom [autor]	23
Obr. 6.5: block editor [autor]	24
Obr. 6.6: dialógové okno AT [autor]	24
Obr. 6.7: údaje o presnosti transformácie [autor]	25
Obr. 6.8: automatická orientácia [autor]	26
Obr. 6.9: import vlícovacích bodov a projekčných centier [autor].....	27
Obr. 6.10: meranie nadväzujúcich bodov [autor]	28
Obr. 6.11: prostredie modulu, odchýlky na vyrovnaných vlícovacích a nadväzujúcich bodoch [autor].....	29
Obr. 6.12: nastavenie protokolu o vyrovnaní [autor].....	30
Obr. 6.13: prostredie modulu Photomod DTM [autor].....	31
Obr. 6.14: parametre pravouhlej siete [autor].....	32
Obr. 6.15: TIN bez pripojenia hrán (hore) a s hranami (dolu) [autor].....	33
Obr. 6.16: kontrola presnosti TIN-u [autor]	34
Obr. 6.17: príklad štandardného nastavenia (vpravo) a ručne upravenej <i>Cutline</i> [autor]	36
Obr. 6.18: nastavenie parametrov ortofotomapy [autor]	38
Obr. 6.19: chyba spôsobená nesprávnou vektorovou kresbou [autor].....	39
Obr. 6.20: chyba spôsobená nesprávnou vektorovou kresbou [autor].....	39
Obr. 6.21: farebná nehomogénnosť [autor]	39

PRÍLOHY

Príloha 1: kalibračný protokol kamery ZEISS RMK TOP 15

```
begin camera_parameters rmk_top_145855/02 focal_length: 153.023 ppac: -0.019 -0.003 ppbs: 0 0
film_format: 230 230
fiducial: 1 112.986 -0.01 fiducial: 2 -113.01 -0.003 fiducial: 3 -0.011 112.997 fiducial: 4 -0.004 -113.003
fiducial: 5 112.99 113.006 fiducial: 6 -113.002 -113.007 fiducial: 7 -113.019 112.995 fiducial: 8 113.003
-112.995 lens_distortion_flag: on input_mode:
linear distortion_spacing: 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150
distortion_deltas_quad1: 0 -1 -2 -2 -2 -3 -2 -3 -2 -1 -1 -1 0 3 5 6
distortion_deltas_quad2: 0 -2 -2 -3 -2 -3 -3 -3 -4 -5 -5 -3 -2 0 5 7
distortion_deltas_quad3: 0 -1 -2 -3 -2 -3 -2 -3 -2 -3 -3 -1 0 3 6 7
distortion_deltas_quad4: 0 -1 -1 -2 -2 -2 -2 -1 -2 -2 -1 -1 -2 -1 2 4
quad1: 0 -1 -2 -2 -2 -3 -2 -3 -2 -1 -1 -1 0 3 5 6
quad2: 0 -2 -2 -3 -2 -3 -3 -3 -4 -5 -5 -3 -2 0 5 7
quad3: 0 -1 -2 -3 -2 -3 -2 -3 -2 -3 -3 -1 0 3 6 7
quad4: 0 -1 -1 -2 -2 -2 -2 -1 -2 -2 -1 -1 -2 -1 2 4
io_required: yes camera_type: frame media_type: film focal_length_calibration_flag: off
calibrated_focal_length_stddev: 0.03 ppac_calibration_flag: off calibrated_ppac_stddevs: 0.003 0.003
self_calibration_enabled_params: 0 antenna_offsets: 0 0 0 end camera_parameters
```

Príloha 2: protokol z vnútornej orientácie snímok - ukážka

Strip 2.rada

Image 7838_38_cnv: Interior Orientation with Camera kameradist150

Transformation type : Affine

Fiducial information

1	112.986	-0.010	0.001	-0.001
2	-113.010	-0.003	0.000	-0.002
3	-0.011	112.997	0.005	0.003
4	-0.004	-113.003	0.001	0.004
5	112.990	113.006	-0.005	-0.004
6	-113.002	-113.007	-0.003	-0.004
7	-113.019	112.995	-0.001	0.003
8	113.003	-112.995	0.001	0.002

MaxX = 0.005 MaxY = 0.004 RmsX = 0.003 RmsY = 0.003

Sx = 13.999 (mkm), 1814.3 (dpi)

Sy = 14.000 (mkm), 1814.3 (dpi)

Sx/Sy = 0.99998

Image 7839_39_cnv: Interior Orientation with Camera kameradist150

Transformation type : Affine

Fiducial information

1	112.986	-0.010	0.003	-0.001
2	-113.010	-0.003	-0.008	-0.002
3	-0.011	112.997	0.007	-0.003
4	-0.004	-113.003	0.003	0.007
5	112.990	113.006	-0.006	-0.001
6	-113.002	-113.007	0.002	-0.005
7	-113.019	112.995	0.001	0.005
8	113.003	-112.995	-0.002	0.000

MaxX = 0.008 MaxY = 0.007 RmsX = 0.005 RmsY = 0.004

Sx = 13.996 (mkm), 1814.7 (dpi)

Sy = 13.998 (mkm), 1814.6 (dpi)

Sx/Sy = 0.99990

Príloha 3: protokol o vyrovnaní - ukážka

== 16. listopadu 2011 == 11:36:41 ==

Block adjustment report

Block: 2.rada

Number of strips: 1

Number of stereopairs: 6

Adjustment parameters:

bundle adjustment

coordinate system: Cartesian Right

point on image measurements accuracy, camera units: 0.01

ground control point coordinates accuracy, m: 0.2

projection centers (GPS) coordinates accuracy, m: 0.2

exterior orientation angles accuracy (Omega, Phi, Kappa), deg: (0.00572958, 0.00572958, 0.00572958)

adjustment accuracy: 0.5

Measurement units: m

Exterior orientation parameters

Image: 7838_38_cnv

projection center

620411.389638	5451025.877172	1170.783715
---------------	----------------	-------------

rotation matrix

0.9806401168	-0.1956455382	0.0082331508
0.1957261359	0.9806024297	-0.0104954514
-0.0060200594	0.0119037034	0.9999110264

Omega, Phi, Kappa (deg)

0.6013764913	0.4717301198	11.2828240262
--------------	--------------	---------------

Image: 7839_39_cnv

projection center

620872.424948	5451085.821911	1181.431665
---------------	----------------	-------------

rotation matrix

0.9799908031	-0.1988390934	0.0090022645
0.1987908304	0.9800236938	0.0059804098
-0.0100115718	-0.0040711790	0.9999415953

Omega, Phi, Kappa (deg)

-0.3426681711	0.5157987308	11.4695516553
---------------	--------------	---------------

Image: 7840_40_cnv

projection center

621323.834162	5451151.184603	1192.499964
---------------	----------------	-------------

rotation matrix

0.9789177811	-0.2036812668	0.0152944220
0.2036925602	0.9790345491	0.0008322132
-0.0151432738	0.0023006917	0.9998826872

Omega, Phi, Kappa (deg)
 -0.0476878846 0.8763399989 11.7537069530

Image: 7841_41_cnv

projection center

621778.463167 5451216.642381 1215.401238

rotation matrix

0.9781871689 -0.2072098375 0.0146268852

0.2072532169 0.9782861846 -0.0014983476

-0.0139988074 0.0044971335 0.9998918987

Omega, Phi, Kappa (deg)

0.0858582132 0.8380886768 11.9601899045

Image: 7842_42_cnv

projection center

622238.005861 5451281.135639 1227.175995

rotation matrix

0.9783340183 -0.2067585956 0.0106504361

0.2067180875 0.9783888452 0.0047853764

-0.0114096856 -0.0024800587 0.9999318319

Omega, Phi, Kappa (deg)

-0.2741984671 0.6102365744 11.9331517447

Image: 7843_43_cnv

projection center

622689.141259 5451347.116170 1228.377933

rotation matrix

0.9779509189 -0.2087415730 0.0062414612

0.2086889128 0.9779480669 0.0081557444

-0.0078062678 -0.0066733940 0.9999472626

Omega, Phi, Kappa (deg)

-0.4673040169 0.3576117038 12.0488536147

Image: 7844_44_cnv

projection center

623143.196812 5451414.664402 1229.819971

rotation matrix

0.9773237837 -0.2117382713 0.0022641056

0.2117471037 0.9773122559 -0.0048906504

-0.0011772003 0.0052591667 0.9999854776

Omega, Phi, Kappa (deg)

0.2802154614 0.1297238073 12.2242706795

General adjustment accuracy estimation

Sigma_0 = 0.218

Ground control point residuals

N	Xm-Xg	Ym-Yg	Zm-Zg	Exy (m)
limit:	0.100	0.100	0.150	0.100

9905	0.047	-0.025	0.004	0.053
9906	0.054	0.029	-0.023	0.061
9907	-0.013	0.070	-0.060	0.071
9908	0.001	-0.022	0.006	0.022
9913	0.069	0.010	-0.017	0.070
9916	0.044	-0.049	-0.029	0.065
9917	0.063	-0.005	0.020	0.063
mean absolute:	0.042	0.030	0.023	0.058
RMS:	0.048	0.037	0.029	0.060
maximum:	0.069	0.070	0.060	0.071
number of points (differences):	7 (	7	7	7)
projection centers				
N	Xm-Xg	Ym-Yg	Zm-Zg	Exy (m)
limit:	0.100	0.100	0.150	0.100
7838_38_cnv	-0.084	-0.011	0.030	0.085
7839_39_cnv	-0.056	0.018	0.045	0.059
7840_40_cnv	-0.015	-0.052	0.048	0.054
7841_41_cnv	-0.062	0.023	0.018	0.066
7842_42_cnv	-0.007	-0.023	0.002	0.024
7843_43_cnv	-0.041	-0.027	-0.025	0.049
7844_44_cnv	-0.000	0.063	-0.063	0.063
mean absolute:	0.038	0.031	0.033	0.057
RMS:	0.048	0.036	0.038	0.060
maximum:	0.084	0.063	0.063	0.085
number of points (differences):	7 (	7	7	7)

Tie point residuals (between stereopairs)				
N	X1-X2	Y1-Y2	Z1-Z2	Exy (m)
limit:	0.100	0.100	0.150	0.100
mean absolute:	0.004	0.015	0.043	0.016
RMS:	0.006	0.021	0.052	0.021
maximum:	0.020	0.051	0.118	0.052

Tie point residuals (on images)				
N	x_pr-x_meas	y_pr-y_meas	Exy (mm)	
limit:	0.017	0.017	0.017	
mean absolute:	0.001	0.001	0.002	
RMS:	0.001	0.002	0.002	
maximum:	0.003	0.006	0.007	

Príloha 4: Protokol z transformácie

[67] TRANSFORMACE SOUŘADNIC

=====

Identické body:

Bod	I. Y	I. X	II. Y	II. X
141000004028	622350.083	5451375.434	592878.470	1160444.330
141000009906	621336.347	5450762.258	593962.750	1160922.080
141000009910	621601.716	5449182.508	593902.730	1162523.040
141000009912	623295.613	5449377.399	592197.630	1162547.620
141000009913	620817.234	5451496.431	594383.230	1160127.170
141000009916	622624.941	5451743.967	592558.470	1160114.160
141000009917	621713.534	5451667.364	593472.260	1160072.920
141000009918	621939.061	5450107.238	593449.240	1161649.270

Transformační parametry:

Rotace : -191.7907

Měřítko : 0.999880694538 (-11.9 mm/100m)

Souřadnice těžiště:

Soustava Y X

I. 621959.816 5450714.075

II. 593350.598 1161050.074

Souřadnicové opravy na identických bodech:

Bod	vY	vX	m0 Red.
141000004028	0.001	0.011	0.01
141000009906	-0.014	-0.023	0.01 *
141000009910	-0.009	-0.012	0.01
141000009912	-0.014	0.012	0.01
141000009913	0.020	-0.001	0.01
141000009916	0.007	0.009	0.01
141000009917	-0.003	0.007	0.01
141000009918	0.013	-0.003	0.01

SQRT([vv]/(n-1)): mY: 0.013 mX: 0.012

Střední souřadnicová chyba klíče m0: 0.014

Príloha 5: testovanie presnosti ortofotomapy

č.bodu	GPS-RTK			GPS-RTK		fotogrametrická metóda			testovanie presnosti							
	S-JTSK		Bpv	podobnostná 2D transformacia (UTM)		ortofotomapa		DMT	ortofotomapa		DMT	ortofotomapa		DMT		
						UTM		WGS ₈₄								
	Y	X	H _{Bpv}	Y	X	Y	X	H _{el}	dY = Y _{GPS} - Y _{FTG}	dX = X _{GPS} - X _{FTG}	dH' = H _{el} - H _{Bpv}	d _{x,y}	d _{x,y} < δ _{x,y}	δ' _H = dH - dH'	δ' _H < δ _H	
1	593888,89	1160563,36	265,85	621363,48	5451127,48	621363,58	5451127,59	310,53	-0,10	-0,11	44,68	0,11	vyhovuje	-0,03	vyhovuje	
2	593889,58	1160561,89	265,93	621362,60	5451128,85	621362,83	5451128,54	310,51	-0,23	0,31	44,58	0,27	vyhovuje	0,07	vyhovuje	
3	593891,18	1160568,40	265,83	621361,85	5451122,19	621361,93	5451122,14	310,42	-0,08	0,05	44,59	0,06	vyhovuje	0,06	vyhovuje	
4	593891,78	1160567,04	265,93	621361,08	5451123,46	621361,33	5451123,44	310,54	-0,25	0,02	44,61	0,18	vyhovuje	0,04	vyhovuje	
5	593910,38	1160580,09	266,52	621344,32	5451108,13	621334,51	5451108,03	311,11	9,81	0,10	44,59	—	—	—	—	
6	593899,18	1160577,50	266,09	621355,09	5451112,13	621355,14	5451112,06	310,61	-0,05	0,07	44,52	0,06	vyhovuje	0,13	vyhovuje	
7	593901,28	1160590,88	265,98	621354,73	5451098,60	621354,86	5451098,49	310,63	-0,13	0,10	44,65	0,12	vyhovuje	0,00	vyhovuje	
8	593895,21	1160590,69	265,76	621360,72	5451099,57	621360,54	5451099,53	310,36	0,19	0,03	44,59	0,13	vyhovuje	0,06	vyhovuje	
9	593874,80	1160598,80	264,97	621382,00	5451094,15	621381,94	5451094,30	309,60	0,06	-0,15	44,64	0,12	vyhovuje	0,02	vyhovuje	
10	593874,93	1160601,08	265,00	621382,17	5451091,87	621382,36	5451091,81	309,65	-0,19	0,06	44,65	0,14	vyhovuje	0,00	vyhovuje	
11	593863,27	1160585,44	264,86	621391,72	5451108,88	621391,74	5451108,81	309,57	-0,02	0,07	44,71	0,05	vyhovuje	-0,06	vyhovuje	
12	593856,10	1160582,32	264,87	621398,43	5451112,89	621398,52	5451112,85	309,48	-0,09	0,04	44,61	0,07	vyhovuje	0,04	vyhovuje	
13	593857,76	1160567,39	265,05	621394,86	5451127,48	621394,89	5451127,09	309,67	-0,02	0,40	44,62	0,28	nevyhovuje	0,03	vyhovuje	
14	593831,30	1160561,83	264,74	621420,38	5451136,40	621420,46	5451136,35	309,33	-0,07	0,05	44,59	0,06	vyhovuje	0,06	vyhovuje	
15	593861,86	1160563,74	265,32	621390,33	5451130,58	621390,69	5451130,18	309,92	-0,36	0,39	44,59	0,38	nevyhovuje	0,06	vyhovuje	
16	593864,89	1160561,93	265,51	621387,09	5451131,98	621387,07	5451131,75	310,06	0,02	0,23	44,55	0,16	vyhovuje	0,10	vyhovuje	
17	593862,18	1160528,74	266,14	621385,51	5451165,24	621385,54	5451165,13	310,82	-0,03	0,11	44,68	0,08	vyhovuje	-0,03	vyhovuje	
18	593853,42	1160509,48	266,61	621391,72	5451185,46	621391,92	5451185,30	311,21	-0,20	0,16	44,61	0,18	vyhovuje	0,04	vyhovuje	
19	593843,03	1160506,91	266,83	621401,69	5451189,35	621401,75	5451189,28	311,37	-0,05	0,07	44,54	0,06	vyhovuje	0,11	vyhovuje	
20	593844,57	1160498,31	267,03	621399,06	5451197,68	621398,97	5451197,68	311,61	0,09	0,00	44,59	0,06	vyhovuje	0,06	vyhovuje	
21	593833,34	1160498,97	266,82	621410,28	5451198,47	621410,41	5451198,41	311,42	-0,13	0,06	44,59	0,10	vyhovuje	0,06	vyhovuje	
22	593816,88	1160503,44	266,54	621427,18	5451196,15	621427,17	5451196,13	311,22	0,01	0,02	44,67	0,02	vyhovuje	-0,02	vyhovuje	
23	593814,73	1160496,73	266,50	621428,44	5451203,08	621428,52	5451202,95	311,26	-0,08	0,14	44,76	0,11	vyhovuje	-0,11	vyhovuje	
24	593817,86	1160481,08	266,84	621423,33	5451218,20	621423,37	5451218,12	311,29	-0,04	0,07	44,46	0,06	vyhovuje	0,20	nevyhovuje	
25	593817,37	1160475,92	266,83	621423,15	5451223,38	621423,15	5451223,30	311,42	0,01	0,08	44,59	0,05	vyhovuje	0,06	vyhovuje	
26	593808,72	1160471,70	267,04	621431,19	5451228,67	621432,32	5451228,66	311,60	-1,14	0,02	44,56	—	—	—	—	
27	593808,86	1160478,68	267,00	621431,94	5451221,73	621431,97	5451221,52	311,54	-0,02	0,21	44,54	0,15	vyhovuje	0,11	vyhovuje	
28	593817,68	1160449,01	266,93	621419,38	5451250,02	621419,52	5451249,93	311,19	-0,14	0,09	44,26	0,12	vyhovuje	—	—	
29	593785,12	1160440,13	267,58	621450,53	5451263,01	621450,66	5451262,95	312,10	-0,13	0,07	44,51	0,10	vyhovuje	0,14	vyhovuje	
30	593777,27	1160435,17	267,50	621457,67	5451268,94	621457,95	5451268,86	312,21	-0,27	0,08	44,70	0,20	vyhovuje	-0,05	vyhovuje	

31	593785,22	1160414,34	267,61	621447,11	5451288,57	621447,22	5451288,28	312,26	-0,11	0,30	44,65	0,22	vyhovuje	0,00	vyhovuje
32	593787,27	1160405,58	268,66	621443,95	5451297,00	621444,31	5451296,89	312,98	-0,35	0,11	44,33	0,26	vyhovuje	—	—
33	593795,13	1160407,76	268,39	621436,44	5451293,82	621436,50	5451293,71	312,79	-0,06	0,12	44,40	0,09	vyhovuje	0,25	nevyhovuje
34	593806,93	1160402,63	268,20	621424,08	5451297,39	621424,45	5451297,43	312,85	-0,37	-0,04	44,65	0,26	vyhovuje	0,00	vyhovuje
35	593818,00	1160397,26	268,26	621412,41	5451301,29	621412,22	5451301,57	312,85	0,19	-0,28	44,59	0,24	vyhovuje	0,06	vyhovuje
36	593818,04	1160395,12	268,29	621412,10	5451303,41	621412,36	5451303,39	312,78	-0,26	0,02	44,49	0,18	vyhovuje	0,16	nevyhovuje
37	593822,83	1160397,46	268,19	621407,65	5451300,47	621407,79	5451300,41	312,75	-0,14	0,06	44,56	0,11	vyhovuje	0,09	vyhovuje
38	593783,05	1160382,40	268,82	621445,16	5451320,52	621445,14	5451320,50	313,41	0,01	0,02	44,59	0,02	vyhovuje	0,06	vyhovuje
39	593776,39	1160384,50	269,08	621452,03	5451319,30	621451,92	5451318,93	313,57	0,11	0,37	44,49	0,27	vyhovuje	0,16	nevyhovuje
40	593774,33	1160386,86	269,03	621454,38	5451317,22	621454,44	5451317,20	313,54	-0,07	0,02	44,52	0,05	vyhovuje	0,13	vyhovuje
41	593757,56	1160395,83	269,06	621472,16	5451310,48	621472,21	5451310,48	313,71	-0,05	0,00	44,65	0,04	vyhovuje	0,00	vyhovuje
42	593722,53	1160388,13	269,96	621505,90	5451322,62	621505,99	5451322,70	314,62	-0,08	-0,08	44,66	0,08	vyhovuje	-0,01	vyhovuje
43	593702,61	1160395,13	267,56	621526,56	5451318,24	621526,41	5451318,03	312,25	0,14	0,21	44,69	0,18	vyhovuje	-0,04	vyhovuje
44	593694,35	1160418,66	267,55	621537,77	5451295,97	621537,52	5451295,62	312,23	0,25	0,35	44,68	0,30	nevyhovuje	-0,03	vyhovuje
45	593685,64	1160464,87	267,85	621552,35	5451251,27	621552,55	5451251,28	312,50	-0,20	-0,01	44,65	0,14	vyhovuje	0,00	vyhovuje
46	593679,29	1160468,84	267,92	621559,16	5451248,15	621559,37	5451247,97	312,60	-0,21	0,18	44,67	0,20	vyhovuje	-0,02	vyhovuje
47	593678,77	1160420,04	269,55	621553,40	5451296,61	621553,55	5451296,48	314,19	-0,15	0,13	44,64	0,14	vyhovuje	0,01	vyhovuje
48	593685,95	1160417,95	269,54	621546,01	5451297,76	621546,15	5451297,66	314,32	-0,14	0,10	44,78	0,12	vyhovuje	-0,13	vyhovuje
49	593684,33	1160389,51	270,25	621543,96	5451326,17	621543,97	5451325,96	314,86	-0,01	0,21	44,61	0,15	vyhovuje	0,04	vyhovuje
50	593688,20	1160380,68	270,71	621538,99	5451334,42	621539,14	5451334,28	315,35	-0,16	0,15	44,64	0,15	vyhovuje	0,01	vyhovuje
51	593691,25	1160368,58	271,00	621534,41	5451346,03	621534,55	5451346,03	315,65	-0,14	0,00	44,65	0,10	vyhovuje	0,00	vyhovuje
52	593674,59	1160358,75	271,56	621549,66	5451357,92	621549,84	5451357,96	316,16	-0,18	-0,04	44,60	0,13	vyhovuje	0,05	vyhovuje
53	593690,80	1160361,54	271,13	621533,95	5451353,07	621533,97	5451352,95	315,91	-0,02	0,12	44,78	0,08	vyhovuje	-0,13	vyhovuje
54	593477,08	1160045,90	292,86	621705,28	5451693,53	621707,59	5451694,03	337,58	-2,31	-0,50	44,72	—	—	—	—
55	593457,69	1160036,99	293,55	621723,36	5451704,86	621723,21	5451703,26	338,27	0,15	1,60	44,72	—	—	—	—
56	593459,87	1160073,70	294,94	621725,92	5451668,18	621725,57	5451668,40	339,54	0,36	-0,22	44,60	0,30	nevyhovuje	0,05	vyhovuje
57	593455,64	1160076,20	294,40	621730,44	5451666,24	621730,74	5451666,33	338,91	-0,30	-0,08	44,51	0,22	vyhovuje	0,14	vyhovuje
58	593452,40	1160105,16	291,62	621737,38	5451637,94	621737,34	5451637,80	336,23	0,03	0,14	44,61	0,10	vyhovuje	0,04	vyhovuje
59	593469,96	1160102,53	291,76	621719,63	5451638,29	621719,77	5451638,33	336,40	-0,15	-0,03	44,63	0,11	vyhovuje	0,02	vyhovuje
60	593445,64	1160100,44	292,22	621743,47	5451643,49	621743,79	5451643,40	336,81	-0,32	0,09	44,59	0,24	vyhovuje	0,06	vyhovuje
61	593510,27	1160071,77	292,83	621675,70	5451663,61	621675,83	5451663,57	337,53	-0,14	0,04	44,70	0,10	vyhovuje	-0,04	vyhovuje
62	593513,91	1160072,75	292,69	621672,22	5451662,17	621672,32	5451662,19	337,47	-0,11	-0,02	44,78	0,08	vyhovuje	-0,13	vyhovuje
63	593549,53	1160085,76	291,94	621638,57	5451644,69	621638,90	5451644,52	336,62	-0,33	0,17	44,68	0,26	vyhovuje	-0,03	vyhovuje
64	593556,84	1160100,04	290,74	621633,16	5451629,59	621633,59	5451629,80	335,47	-0,44	-0,21	44,73	0,34	nevyhovuje	-0,08	vyhovuje
65	593891,28	1160022,36	282,51	621291,55	5451663,61	621291,60	5451663,61	327,19	-0,05	0,00	44,68	0,04	vyhovuje	-0,03	vyhovuje

66	593917,90	1160031,79	285,26	621266,36	5451650,84	621266,77	5451650,76	329,84	-0,41	0,08	44,58	0,30	nevyhovuje	0,07	vyhovuje
67	593923,72	1160029,36	285,49	621260,28	5451652,50	621260,40	5451652,38	330,24	-0,12	0,12	44,75	0,12	vyhovuje	-0,10	vyhovuje
68	593925,93	1160025,90	285,73	621257,64	5451655,65	621257,72	5451655,48	330,48	-0,08	0,17	44,75	0,13	vyhovuje	-0,10	vyhovuje
69	593922,76	1160016,93	286,25	621259,63	5451664,95	621259,99	5451665,01	330,96	-0,36	-0,06	44,71	0,26	vyhovuje	-0,06	vyhovuje
70	593926,99	1160012,24	286,18	621254,83	5451669,06	621254,86	5451669,29	330,86	-0,02	-0,24	44,68	0,17	vyhovuje	-0,03	vyhovuje
71	593935,18	1160019,87	285,97	621247,69	5451660,44	621247,77	5451660,30	330,68	-0,07	0,14	44,71	0,11	vyhovuje	-0,06	vyhovuje
72	593964,93	1160073,45	289,49	621225,08	5451603,48	621225,07	5451603,36	334,09	0,01	0,12	44,60	0,09	vyhovuje	0,05	vyhovuje
73	593969,58	1160056,85	289,97	621218,34	5451619,35	621218,54	5451619,24	334,66	-0,20	0,11	44,70	0,16	vyhovuje	-0,05	vyhovuje
74	593983,14	1160062,43	290,12	621205,61	5451612,07	621205,79	5451612,00	334,80	-0,18	0,07	44,68	0,14	vyhovuje	-0,03	vyhovuje
75	593999,57	1160053,05	290,19	621188,11	5451619,26	621188,20	5451619,30	334,74	-0,09	-0,04	44,54	0,07	vyhovuje	0,11	vyhovuje
76	594009,67	1160065,35	290,34	621179,68	5451605,76	621179,77	5451605,66	334,90	-0,09	0,10	44,57	0,10	vyhovuje	0,08	vyhovuje
77	594040,55	1160043,02	290,80	621146,19	5451623,94	621146,17	5451623,76	335,49	0,02	0,18	44,69	0,13	vyhovuje	-0,04	vyhovuje
78	593958,21	1160094,69	289,00	621234,48	5451583,29	621234,83	5451583,45	333,70	-0,35	-0,16	44,70	0,27	vyhovuje	-0,05	vyhovuje
79	593952,22	1160664,00	265,70	621313,62	5451019,54	621313,59	5451019,46	310,31	0,03	0,09	44,61	0,06	vyhovuje	0,04	vyhovuje
80	593965,53	1160655,75	266,23	621299,36	5451026,01	621299,37	5451025,92	310,93	-0,01	0,09	44,70	0,06	vyhovuje	-0,05	vyhovuje
81	593967,53	1160647,12	266,63	621296,27	5451034,31	621293,32	5451034,21	311,44	2,95	0,10	44,80	—	—	—	—
82	593982,02	1160655,77	266,22	621283,01	5451023,87	621282,95	5451023,70	310,94	0,07	0,17	44,71	0,13	vyhovuje	-0,06	vyhovuje
83	593996,11	1160662,27	266,06	621269,88	5451015,61	621269,79	5451015,55	310,68	0,09	0,07	44,61	0,08	vyhovuje	0,04	vyhovuje
84	594002,77	1160667,55	265,89	621263,95	5451009,52	621263,94	5451009,50	310,66	0,01	0,03	44,77	0,02	vyhovuje	-0,12	vyhovuje
85	594000,32	1160681,04	266,01	621268,12	5450996,46	621268,06	5450996,41	310,67	0,06	0,05	44,66	0,05	vyhovuje	-0,01	vyhovuje
86	593996,85	1160700,55	266,18	621274,06	5450977,56	621274,19	5450977,46	310,70	-0,13	0,10	44,52	0,12	vyhovuje	0,13	vyhovuje
87	593992,27	1160717,51	266,27	621280,79	5450961,33	621281,06	5450961,16	310,72	-0,27	0,18	44,45	0,23	vyhovuje	0,20	nevyhovuje
88	593983,16	1160712,22	265,86	621289,14	5450967,75	621289,17	5450967,72	310,32	-0,03	0,03	44,46	0,03	vyhovuje	0,20	nevyhovuje
89	593965,40	1160726,00	265,67	621308,52	5450956,37	621308,72	5450956,10	310,30	-0,20	0,27	44,63	0,24	vyhovuje	0,02	vyhovuje
90	593955,61	1160750,67	264,08	621321,40	5450933,17	621321,21	5450933,32	308,75	0,19	-0,16	44,67	0,17	vyhovuje	-0,02	vyhovuje
91	593946,88	1160751,84	263,69	621330,21	5450933,13	621330,12	5450933,10	308,28	0,08	0,03	44,59	0,06	vyhovuje	0,06	vyhovuje
92	593952,03	1160741,92	264,32	621323,83	5450942,30	621323,74	5450942,28	308,98	0,08	0,03	44,66	0,06	vyhovuje	-0,01	vyhovuje
93	594408,08	1160417,49	289,11	620829,90	5451205,36	620829,78	5451205,01	333,83	0,13	0,35	44,72	0,26	vyhovuje	-0,07	vyhovuje
94	594392,34	1160419,12	289,00	620845,72	5451205,77	620845,71	5451205,83	333,66	0,01	-0,06	44,66	0,04	vyhovuje	-0,01	vyhovuje
95	594389,95	1160419,30	288,90	620848,11	5451205,90	620848,20	5451205,81	333,46	-0,09	0,09	44,56	0,09	vyhovuje	0,09	vyhovuje
96	594390,15	1160409,79	289,10	620846,69	5451215,30	620846,72	5451215,26	333,75	-0,03	0,05	44,65	0,04	vyhovuje	0,00	vyhovuje
97	594362,65	1160412,63	288,85	620874,32	5451216,02	620874,46	5451215,90	333,46	-0,13	0,12	44,61	0,13	vyhovuje	0,04	vyhovuje
98	594338,04	1160420,32	288,44	620899,72	5451211,56	620899,99	5451211,66	333,03	-0,27	-0,10	44,58	0,20	vyhovuje	0,07	vyhovuje
99	594338,95	1160427,01	288,22	620899,67	5451204,81	620899,59	5451204,66	332,76	0,08	0,15	44,54	0,12	vyhovuje	0,11	vyhovuje
100	594329,27	1160436,21	287,93	620910,46	5451196,93	620910,50	5451196,90	332,64	-0,05	0,03	44,72	0,04	vyhovuje	-0,07	vyhovuje

101	594320,74	1160432,73	287,78	620918,47	5451201,48	620918,46	5451201,37	332,38	0,01	0,11	44,60	0,08	vyhovuje	0,05	vyhovuje
102	594313,11	1160428,93	287,77	620925,54	5451206,23	620925,57	5451206,10	332,37	-0,02	0,13	44,60	0,09	vyhovuje	0,05	vyhovuje
103	594304,33	1160424,66	287,88	620933,70	5451211,59	620933,61	5451211,52	332,39	0,09	0,07	44,51	0,08	vyhovuje	0,14	vyhovuje
104	594317,81	1160417,90	288,27	620919,46	5451216,56	620916,12	5451217,28	332,92	3,34	-0,72	44,65	—	—	—	—
105	594356,12	1160120,22	294,63	620843,20	5451506,81	620843,07	5451506,83	339,07	0,13	-0,02	44,44	0,10	vyhovuje	0,21	nevyhovuje
106	594362,73	1160113,41	295,10	620835,77	5451512,71	620833,31	5451512,76	339,73	2,46	-0,04	44,63	—	—	—	—
107	594365,72	1160115,01	294,87	620833,01	5451510,74	620833,12	5451510,73	339,50	-0,10	0,02	44,63	0,08	vyhovuje	0,02	vyhovuje
108	594372,28	1160117,18	294,94	620826,79	5451507,75	620826,77	5451507,70	339,57	0,02	0,05	44,63	0,04	vyhovuje	0,02	vyhovuje
109	594389,79	1160107,34	295,73	620808,16	5451515,25	620808,24	5451515,33	340,39	-0,08	-0,07	44,67	0,08	vyhovuje	-0,02	vyhovuje
9913	594383,23	1160127,17	295,11	620817,23	5451496,43	620817,26	5451496,48	339,74	-0,02	-0,05	44,63	0,04	vyhovuje	0,02	vyhovuje
9917	593472,26	1160072,92	293,24	621713,53	5451667,36	621713,59	5451667,10	337,85	-0,06	0,26	44,61	0,19	vyhovuje	0,04	vyhovuje

testovanie polohovej presnosti	
n =	104
m _x =	0,10 m
m _y =	0,12 m
m _{x,y} =	0,11 m
δ _{x,y} =	0,28 m

testovanie výškovej presnosti	
n =	102
dH =	44,65 m
d _{H'} =	44,62 m
m _H =	0,06 m
δ _H =	0,15 m

