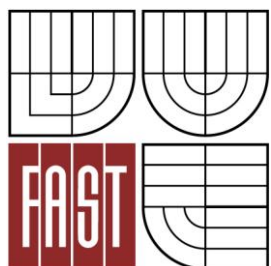


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

TVORBA ORTOFOTOMAPY V SYSTÉMU PHOTOMOD ORTOPHOTOMAP CREATION IN THE PHOTOMOD SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Tereza Hynčicová

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR KALVODA, Ph.D.

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 Hynčicová Tereza


Název Tvorba ortofotomapy v systému PhotoMod

Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Kalvoda, Ph.D.


**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

Manuály a uživatelské příručky systému Photomod dostupné z WWW:

http://www2.racurs.ru/download/photomod44/ph_en_doc_080625.rar

HANZL, V.; SUKUP, K. Fotogrammetrie I. CERM, s.r.o. Brno, 2002. ISBN 80-214-2049-9

HANZL, V. Fotogrammetrie Modul 01. Brno, 2006

HANZL, V. Fotogrammetrie Modul 04. Brno, 2007

PAVELKA, Karel. Fotogrammetrie 10. 2. přepracované vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, leden 2003. 191 s. ISBN 80-01-02649-3.

PAVELKA, Karel. Fotogrammetrie 20. 2. přeprac. vyd. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. 193 s. ISBN 80-01-02762-7.

Manuály a uživatelské příručky sw Atlas DMT dostupné z WWW:

<http://www.atlasltd.cz/main.php?hkey=sw&a=25>.

KASSER, Michael; EGELS, Yves. Digital photogrammetry. ilustrované vydání. [s.l.]: Taylor & Francis, 2002. 351 s. ISBN 0748409440, 9780748409440.

Zásady pro vypracování

Proveďte aerotriangulaci 3. letové řady v lokalitě Brno Líšeň. Vytvořte digitální model terénu a ortofotomapu ze zadaných snímkových dvojic. Vyhotovení proveďte v systému PhotoMod.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací
-Ortofotomapa v digitální podobě



Ing. Petr Kalvoda, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce



Abstrakt

Cílem této práce je vytvoření ortofotomapy ze zadaných leteckých snímků pomocí programu *PhotoMod 4.3* od ruské společnosti Racurs. Práce má tři části.

První část práce se zabývá teoretickými základy zpracování leteckých snímků do podoby ortofotomapy.

Druhá část je věnována detailnímu postupu vytvoření ortofotomapy v systému *PhotoMod 4.3*.

Třetí část se zabývá posouzením kvality výslední ortofotomapy pomocí nezávislého kontrolního měření.

Abstract

The dissertation's aim is to create an orthophotomap from assigned aerial photos in the *PhotoMod system 4.3* created by the Russian company Racurs. The work is divided into three parts.

The first part of the dissertation is dedicated to theoretical bases of aerial photos processing into the form of the orthophotomap.

The second part is devoted to the detailed process of creation the orthophotomap in the *PhotoMod systém 4.3*.

The third part is focused on accuracy analysis of the final orthophotomap using independent control surveying.

Klíčová slova

Fotogrammetrie, ortofotomapa, snímek, stereodvojice, digitální model reliéfu, ortorektifikace

Key words

Photogrammetry, orthophotomap, image, stereopair, digital surface model, orthorectification



Bibliografická citace VŠKP

HYNČICOVÁ, T. *Tvorba ortofotomapy v systému PhotoMod*. Brno, 2012. 66 s., 15 příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Petr Kalvoda, Ph.D.



Prohlášení:

Čestně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne.....

.....

podpis



Poděkování:

Děkuji především vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Kalvodovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady. Dále bych chtěla poděkovat svým spolužačkám Veronice Sládkové a Márii Chupáčové za spolupráci při měření.

V neposlední řadě také děkuji svým rodičům za podporu při studiu na vysoké škole.



Obsah

1	Úvod.....	10
2	Popis lokality	11
3	Teoretická část.....	12
3.1	Fotogrammetrie.....	12
3.1.1	Přehled a rozdělení metod fotogrammetrie.....	12
3.1.2	Letecká fotogrammetrie	13
3.1.2.1	Projekt pořízení leteckých snímků.....	13
3.1.2.2	Analogová kamera Zeiss RMK TOP 15	14
3.1.3	Matematický základ - centrální projekce v prostoru	15
3.2	Určení polohy bodu ze dvou snímků	16
3.2.1	Orientace stereodvojice pomocí relativní a absolutní orientace.....	17
3.3	Aerotriangulace	18
3.3.1	Vyrovnání bloku svazků	18
3.4	Digitální model reliéfu jako produkt při tvorbě digitální ortofotomapy	20
3.4.1	Vymezení základních pojmů	20
3.4.2	Metody sběru dat.....	21
3.5	Digitální ortofotomapa	21
3.5.1	Ortorektifikace.....	22
3.5.2	Mozaikování.....	24
4	Tvorba ortofotomapy v systému PhotoMod.....	25
4.1	Systém Photomod	25
4.1.1	Součásti systému.....	26
4.2	Inicializace projektu	27
4.3	Formování bloku (Block forming)	29
4.4	Aerotriangulace (Aerial triangulation - AT)	30
4.4.1	Vlastnosti projektu (0 Project Properties).....	31
4.4.2	Vnitřní orientace (1 Interior Orientation).....	31
4.4.3	Měření vlíčovacích bodů (2 Measuring GC Points).....	33
4.4.4	Měření navazovacích bodů (3 Strip Ties, 4 Tie Points Measurements).....	36
4.5	Vyrovnání bloku snímků (Block adjustment)	38
4.6	Zpracování bloku (Block processing)	40
4.6.1	PhotoMod StereoDraw	40
4.6.2	PhotoMod DTM.....	43
4.6.3	PhotoMod Mosaic	46
4.6.3.1	Korekce ortofotomapy	53
5	Testování přesnosti výsledné ortofotomapy	57



5.1	Měřické práce v terénu	57
5.2	Výpočetní práce	58
5.3	Testování přesnosti	59
6	Závěr	61
	Seznam literatury	62
	Seznam zkratk	63
	Seznam obrázků	63
	Seznam tabulek	65
	Seznam příloh	66
	Přílohy	66



1 Úvod

Již několik let pozorujeme nástup moderních technologií a výkonné počítačové techniky, které výrazně ovlivňují styl a náplň práce v mnoha oborech včetně geodetů. Díky tomu se rozběhla nová vlna metod měření a zpracování, která se vyvinula až po dnešní efektivní metody sběru dat pomocí letecké či blízké fotogrammetrie a laserových skenovacích systémů.

Výsledkem zpracování leteckých snímků je široké spektrum produktů. Jedním z nich je právě ortofotomapa, která reálně odráží skutečnou situaci v území. Ta může sloužit jako podklad pro územní plánování, projekční činnost či jako základní vrstva každého moderního GIS (geografický informační systém). Dalším typem výsledku zpracování je např. soubor vektorových dat, který může být dále využit jako podklad při tvorbě 3D modelů aj.

Předmětem práce je zpracování sedmi leteckých snímků východní části města Brna za účelem vytvoření digitálního modelu reliéfu (DMR) a následně ortofotomapy. Snímky byly pořízeny v roce 2003 firmou GEODIS BRNO, s.r.o. a jako zpracovatelský software byl použit systém *PhotoMod 4.3* ruské společnosti Racurs.

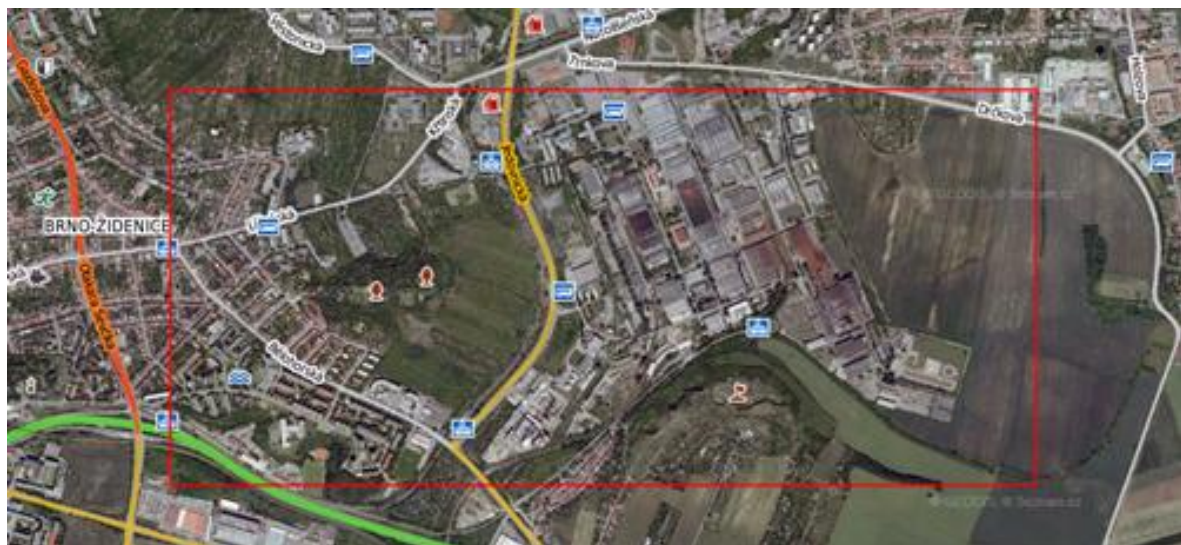
V práci jsou popsány jednotlivé kroky tvorby ortofotomapy od inicializace projektu přes měření vlíčovacích a navazovacích bodů, výpočet vyrovnání až po tvorbu DMR, ortorektifikaci a spojování ortofotosnímků do ortofotomapy. Součástí je i ověření přesnosti vyhodnocením porovnáním s nezávislým geodetickým měřením, které bylo provedeno tachymetricky a technologií GNSS (globální navigační družicový systém).

2 Popis lokality

Zájmové území se nachází v severovýchodní části města Brna a zahrňuje část katastrálního území Židenice a menší části katastrálních území Slatina a Líšeň.



Obr. 1: Lokalita na výřezu mapy (web MAPY. CZ)



Obr. 2: Letecký snímek lokality (web MAPY. CZ)

Z obrázku 2 je patrné, že v západní části území je hustá zástava městské části Židenice. Na ni navazuje směrem na východ Bílá hora (300 m n. m.). Tento vrchol je součástí Šlapanické pahorkatiny a menší jižní část kopce má od roku 1991 status přírodní památky.

Předěl v území představuje ulice Jedovnická, podél níž se rozléhá komplex firmy Zetor tractors a. s., za kterým se směrem na východ nachází pole a směrem na jih významná dominanta této oblasti Stránská skála (310 m n. m.), která byla roku 1978 vyhlášena národní přírodní památkou (DAVID, P., SOUKUP, 2004: 54).



3 Teoretická část

3.1 Fotogrammetrie

Termín fotogrammetrie vznikl uměle v roce 1858 ze tří řeckých slov: photos (světlo), gramma (písmeno, záznam) a metrein (měřit) (MARŠÍK, 1998: 76).

Definice fotogrammetrie se v závislosti na použitých technologiích a využívání jejích výsledků s průběhem doby měnila. Uvádíme tedy současnou definici ISPRS (Mezinárodní společnosti pro fotogrammetrii a dálkový průzkum):

„**Fotogrammetrie** je věda, způsob a technologie, která se zabývá získáváním dále využitelných měření, map, digitálního modelu terénu a dalších produktů, které lze získat z obrazového, nejčastěji fotografického záznamu“ (PAVELKA, 2009: 7).

3.1.1 Přehled a rozdělení metod fotogrammetrie

Díky vývoji v několika posledních letech se dělení u různých autorů mohou lišit. Pro naše účely vystačí členění dle (PAVELKA, 2009: 16).

Fotogrammetrii dělíme podle:

- polohy stanoviště na:
 - pozemní (terestrická, blízká)
 - leteckou
 - družicovou
- počtu a konfigurace vyhodnocovaných snímků na:
 - jednosnímkovou
 - vícesnímkovou
- způsobu zpracování snímků na fotogrammetrické metody:
 - analogové
 - analytické
 - digitální
- typu výstupu na metody:
 - grafické
 - číselné (numerické)



3.1.2 Letecká fotogrammetrie

Jelikož je letecký snímek primárním podkladem pro vytvoření ortofotomapy, zmiňme se stručně o průběhu jeho pořízení.

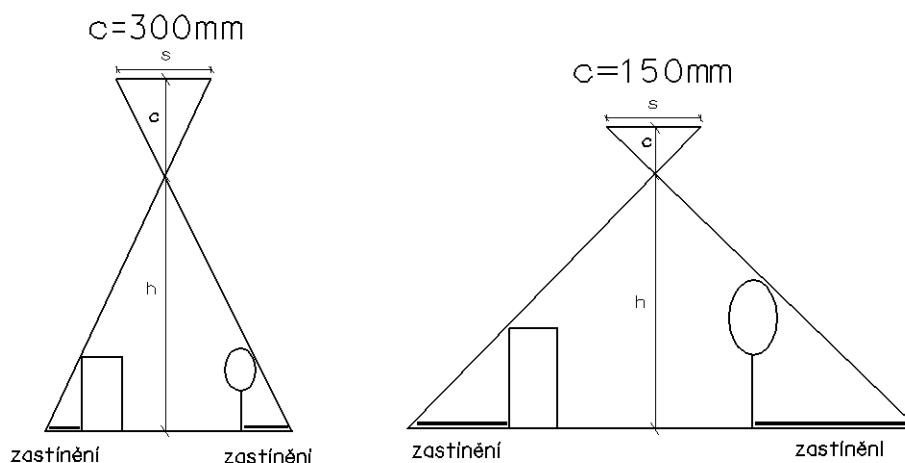
3.1.2.1 Projekt pořízení leteckých snímků

Letecký snímek je tedy produkt letecké fotogrammetrie, pro kterou je charakteristický fakt, že stanovisko pro pořízení snímku je umístěno v letadle, jehož výška se může lišit dle požadavků na cílový produkt. Obvykle se pohybuje v intervalu od 300 m až do několika jednotek kilometrů. Klasickým příkladem letadla vhodného pro snímkování je např. *Cessna TU 206 G*.

Samotnému leteckému snímkování předchází poměrně náročné přípravné práce. Ve většině případů (při nepřímé nebo integrované orientaci snímků) je třeba ve snímkové lokalitě signalizovat a zaměřit vlíčovací body, což jsou body o známých objektových souřadnicích a zároveň jednoznačně identifikovatelné na snímku. U těchto bodů musíme dbát na rovnoměrné rozmístění, snadnou identifikaci a v neposlední řadě na to, aby jejich nalezení na snímku nebránila vegetace.

Dále se podle účelu pořízení snímků vybere vhodné měřítko snímkování. To je spjato s výškou snímkování a použitým typem kamery (např. $c=150$ či 300 mm) dle vzorce $m_s=h/c$, kde m_s je měřítkové číslo snímku, h výška letu a c ohnisková vzdálenost objektivu kamery (také označováno jako konstanta kamery). Pro pořízení snímků našeho projektu bylo voleno měřítko snímkování 1:5000.

Pro vypracování plánu snímkování je také rozhodující volba hodnot podélného a příčného překrytu snímků (označováno písmeny p a q). Jako standardní se považuje $p=60\%$ a $q=30\%$. Je-li předmětem snímkování hustá zástavba intravilánu, můžeme se setkat s požadavkem na co nejméně zakrytých prostor (např. vegetací či vysokými budovami). Toho se dá docílit volbou větších překrytů, a to $p=80\%$ a $q=35-60\%$, s čímž logicky souvisí zvýšení nákladů. Existují však i alternativní způsoby řešení, např. správná volba ohniska kamery. Při použití kamery s ohniskem $c=300$ mm, budeme mít totiž méně zakrytých prostorů na úkor toho, že se sníží přesnost měření a zvýší výška letu - viz obr. 3. Pro snímkování za účelem tvorby ortofotomapy je vhodné volit větší měřítko snímku a tedy menší výšku letu za cenu nárůstu počtu snímků, ceny a času potřebného na zpracování.



Obr. 3: Vliv výšky letu a konstanty kamery na zastínění prostoru

Na základě uvedených parametrů je obvykle v CAD prostředí vyhotoveno schéma plánu snímkování. Standardně se snímkuje ve směru východ - západ z důvodu osvětlení. Samotnému snímkování pak předchází vyhodnocení povětrnostních podmínek, letová příprava a kontrola kamery.

Jelikož je v dnešní době primární metodou zpracování snímků metoda digitální, je nutné snímky pořízené již méně využívanými analogovými kamerami (jak tomu bylo v našem případě kamerou Zeiss RMK TOP 15) naskenovat za pomoci speciálních fotogrammetrických skenerů (např. skener Z/I Imaging Photoscan 2002), které se vyznačují vysokým rozlišením (při skenování snímků námi zpracovávaného projektu je velikost pixelu 14 μm) a geometrickou přesností. Velikost naskenovaného snímku se pohybuje v intervalu 200-250 Mb (HANZL, V., SUKUP, 2002: 53-70).

3.1.2.2 Analogová kamera Zeiss RMK TOP 15

Tato letecká měřická kamera je typickým představitelem nejčastěji užívaných analogových kamer. Její základní parametry jsou uvedeny v následující tabulce:

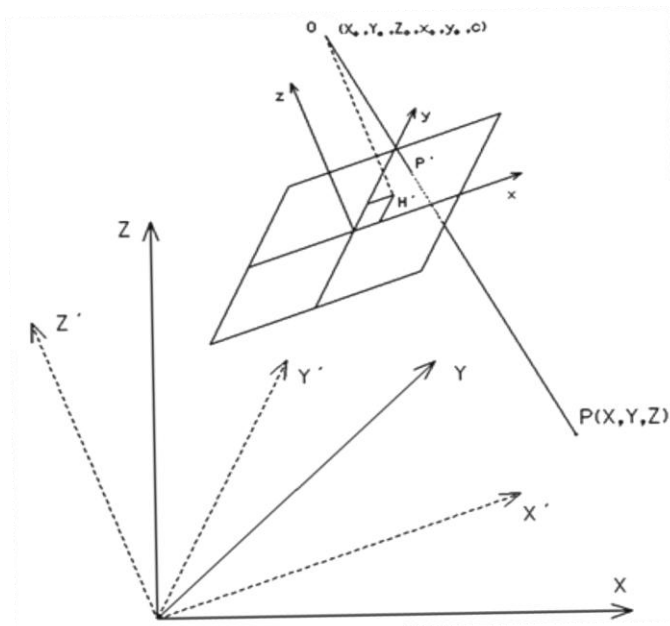
Konstanta kamery (ohnisková vzdálenost) c	153,023 mm
Formát filmu	230 x 230 mm
Počet rámových značek	8

Tab. 1: Parametry kamery

Informace byly čerpány z interního dokumentu firmy GEODIS BRNO, s. r.o., který dále obsahuje např. souřadnice rámových značek či hodnoty radiálního zkreslení. Tento dokument tvoří přílohu č. 1.

3.1.3 Matematický základ - centrální projekce v prostoru

Snímky pro fotogrammetrické účely je možno s určitou přesností považovat za centrální projekci prostorových objektů. Vztah snímkových (x, y, z) a objektových (X, Y, Z) souřadnic bodu je vyjádřen podmínkou kolinearity, tj. že bod na objektu, jemu odpovídající snímkový bod a projekční centrum leží na přímce. Vztah mezi SS (souřadnicovými systémy) je patrný z obr. 4.



Podmínku kolinearity vyjadřují rovnice (3.1):

$$\begin{aligned} \frac{x - x_0}{z - z_0} &= \frac{X' - X'_0}{Z' - Z'_0} \\ \frac{y - y_0}{z - z_0} &= \frac{Y' - Y'_0}{Z' - Z'_0} \end{aligned}$$

Obr. 4: Snímkový a objektový souřadnicový systém (HANZL, V., SUKUP, 2002: 7)

Souřadnice pootočeného systému (X', Y', Z') nahradíme souřadnicemi původního

systému:
$$\begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} = \mathbf{R} \begin{bmatrix} X' - X'_0 \\ Y' - Y'_0 \\ Z' - Z'_0 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Matice \mathbf{R} vznikne součinem tří dílčích matic rotace $\mathbf{R} = \mathbf{R}_\omega \mathbf{R}_\phi \mathbf{R}_\kappa$

Vynásobíme-li rovnici (3.2) maticí \mathbf{R}^T , obdržíme vztahy:

$$\begin{aligned} r_{11}(x - x_0) + r_{21}(y - y_0) + r_{31}(z - z_0) &= (X' - X'_0) \\ r_{12}(x - x_0) + r_{22}(y - y_0) + r_{32}(z - z_0) &= (Y' - Y'_0) \\ r_{13}(x - x_0) + r_{23}(y - y_0) + r_{33}(z - z_0) &= (Z' - Z'_0) \end{aligned} \quad (3.3)$$

Tyto rovnice dosadíme do vztahu (3.1) a uvážíme-li, že $z=0$ a $z_0=c$, obdržíme po úpravě zobrazovací rovnice (3.4):

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



Prvky vnitřní orientace x_0, y_0, c definují polohu projekčního centra ve snímkovém SS. Prvky vnější orientace $X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \kappa$ určují polohu a pootočení kamery (snímkového SS) v objektovém SS. Za pomoci snímkových souřadnic a prvků vnitřní orientace je možno rekonstruovat trs paprsků vycházejících z projekčního centra, který prostřednictvím prvků vnější orientace orientujeme v objektovém SS.

$$\text{Rovnice (3.2) lze psát i ve tvaru: } \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} = \mathbf{R} \begin{bmatrix} X' - X'_0 \\ Y' - Y'_0 \\ Z' - Z'_0 \end{bmatrix} = m\mathbf{R} \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z - z_0 \end{bmatrix},$$

kde m je měřítkový koeficient.

Po úpravě získáme rovnice (3.5) pro objektové souřadnice X a Y :

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

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

Z těchto rovnic je zřejmé, že prostorový objekt není možné rekonstruovat z jediného snímku, protože pro každý snímkový bod existuje nekonečně mnoho řešení (ze dvou měřených hodnot nelze vypočítat tři neznámé souřadnice). Potřebujeme tedy ještě minimálně jeden snímek či doplňkový údaj o souřadnici Z (HANZL, V., SUKUP, 2002: 7,8).

3.2 Určení polohy bodu ze dvou snímků

Jak vyplývá z předchozího odstavce, k vyhodnocení polohy bodu jsou třeba dva snímky s podélným překrytem pořízené měřickou kamerou, jejichž osy záběru jsou přibližně svislé. Takovouto stereodvojici v dnešní době výhradně pozorujeme a zpracováváme pomocí měřených snímkových souřadnic na digitální fotogrammetrické stanici. Vyhodnocovatel získá stereoskopický vjem a pracuje s prostorovým stereomodelem fotografovaného objektu. Pro získání stereovjemu je však nutné, aby snímky byly **orientovány**. Musíme tedy znát nebo určit **prvky vnější orientace (PVO)**.

PVO jsou známy, jestliže bylo při snímkování využito zařízení GPS/IMU (zařízení, které je schopno v čase určovat s různou přesností polohu a prostorovou orientaci kamery).



V ostatních případech PVO nejsou známy a je třeba je určit dle (HANZL, V., SUKUP, 2002: 21) některým ze tří způsobů orientace:

- **PVO určíme samostatně pro každý snímek** - je potřeba min. tří vlíčovacích bodů na každém snímku pro určení šesti neznámých PVO;
- **PVO určíme pro stereodvojici** - měříme snímkové souřadnice vlíčovacích bodů a několik nových bodů, jejichž souřadnice neznáme; tím získáme systém s velkým počtem nadbytečných rovnic, jehož vyřešením metodou nejmenších čtverců (MNC) získáme neznámé PVO a souřadnice nových bodů;
- **PVO určíme pro stereodvojici pomocí relativní a absolutní orientace** - snímky jsou nejprve vzájemně orientovány (relativní orientace) pro vytvoření prostorového modelu ve zvoleném systému x_m, y_m, z_m , který je pak transformován do objektového systému X, Y, Z (absolutní orientace).

3.2.1 Orientace stereodvojice pomocí relativní a absolutní orientace

Jak název napovídá, orientace se provádí ve dvou krocích. Prvním krokem je vytvoření stereomodelu a druhým krokem je jeho transformace do objektového systému. Vztah mezi modelovými souřadnicemi x_m, y_m, z_m a objektovými souřadnicemi X, Y, Z je dán rovnicí podobnostní prostorové transformace (3.5):

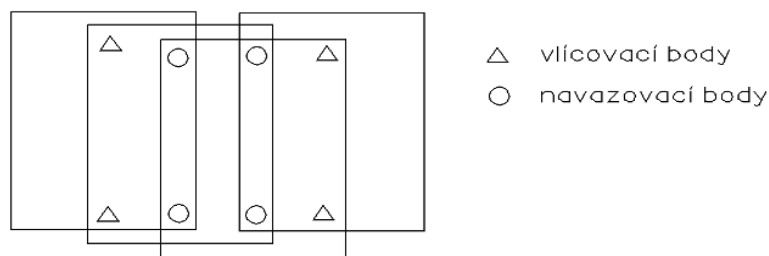
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{bmatrix} + mR \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{bmatrix}, \text{ kde } X_p, Y_p, Z_p \text{ jsou objektové souřadnice počátku modelového}$$

systému, R matice rotace (viz str. 15) a m měřítkové číslo modelového systému.

Prvky **absolutní orientace** zahrnují 7 parametrů $X_p, Y_p, Z_p, \Omega, \Phi, K, m$ a tedy nejméně 7 rovnic je požadováno pro výpočet těchto prvků. Orientace stereodvojice vyžaduje znalost 12 PVO, z čehož vyplývá, že zbývajících 5 parametrů musí být určeno v prvním kroku tj. v relativní orientaci. Model je ustanoven, jestliže se odpovídající paprsky protnou alespoň v 5 vhodně rozmístěných bodech. Jelikož je určena jen vzájemná (relativní) orientace paprskových trsů bez vztahu k objektovému SS, je postup pro dosažení tohoto stavu nazýván **relativní orientací** (HANZL, V., SUKUP, 2002: 23).

3.3 Aerotriangulace

Při mapování větších územních celků se začaly hledat alternativní cesty, jak se vyhnout měření velkého počtu vlíčovacích bodů (pro absolutní orientaci modelu je potřeba min. 3 vlíčovacích bodů) a překlenout tak území bez vlíčovacích bodů. Právě metoda aerotriangulace umožnila vyhnout se těmto problémům. Cílem aerotriangulace je určit PVO snímků nebo prvky absolutní orientace modelů a souřadnice určovaných bodů v objektovém systému. Výsledky aerotriangulace umožní určit podrobné body ve vyhodnocovaných modelech či mohou být použity k tvorbě ortofotomap.



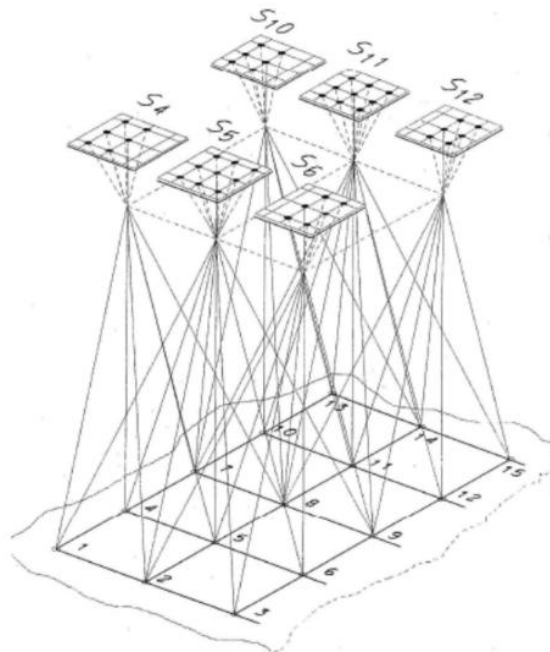
Obr. 5: Princip vyrovnání bloku svazků (HANZL, V., SUKUP, 2002: 35)

Překlenutí území bez vlíčovacích bodů a spojení snímků nebo modelů nám umožní navazovací body na snímcích v překrytu, viz obr. 5. Dále existují dva způsoby řešení. V minulosti, kdy byly používány analogové přístroje či méně výkonné počítače, bylo aplikováno řešení založené na modelech, které byly na sobě částečně závislé nebo nezávislé. V období 70. let min. století se využívala metoda vyrovnání nezávislých modelů (block adjustment of independent models), která téměř neumožňuje přidávání doplňkových parametrů. S rychlým rozvojem výkonné výpočetní techniky se začalo upřednostňovat řešení založené na vyrovnání bloku svazků (bundle block adjustment), které je přesnější (neprojeví se vliv zbytkových systematických chyb z relativní orientace, jak je tomu v modelovém řešení), lépe se přidávají doplňkové parametry a další měření do vyrovnání (HANZL, V., SUKUP, 2002: 35).

3.3.1 Vyrovnání bloku svazků

Vstupními daty pro vyrovnání jsou měřené snímkové souřadnice vlíčovacích, navazovacích a určovaných bodů, objektové souřadnice vlíčovacích bodů a přibližné hodnoty PVO, které mohou být vypočteny z měřítka snímku, konstanty kamery apod.

Výsledkem vyrovnání bloku svazků jsou přímo vztahy mezi snímkovými a objektovými souřadnicemi a PVO všech snímků (svazků paprsků) bloku. Základní jednotkou při tomto vyrovnání je snímek. Prostorový svazek paprsků je definován snímkovými souřadnicemi a příslušným projekčním centrem. Princip vyrovnání můžeme tedy popsat následovně: svazky paprsků jsou umístěny (X_o, Y_o, Z_o) a pootočený $(\omega, \varphi, \kappa)$ tak, aby se co možná nejlépe protínaly v navazovacích bodech a co možná nejbližše procházely vlíčovacími body. Geometrický princip je patrný z obr. 6.



Obr. 6: Princip aerotriangulace (HANZL, V., SUKUP, 2002: 35)

Vztah mezi snímkovými a objektovými souřadnicemi je dán rovnicemi (3. 4) a jejich linearizací získáme dle (HANZL, V., SUKUP, 2002: 37) rovnice oprav (pro bod i a snímek j):

$$v_{xij} = a_1 dX_{0j} + a_2 dY_{0j} + a_3 dZ_{0j} + a_4 d\omega_j + a_5 d\varphi_j + a_6 d\kappa_j + a_7 dX_i + a_8 dY_i + a_9 dZ_i - (x_{ij}^m - x_{ij}^0)$$

$$v_{yij} = b_1 dX_{0j} + b_2 dY_{0j} + b_3 dZ_{0j} + b_4 d\omega_j + b_5 d\varphi_j + b_6 d\kappa_j + b_7 dX_i + b_8 dY_i + b_9 dZ_i - (y_{ij}^m - y_{ij}^0),$$

kde x_{ij}^m, y_{ij}^m jsou měřené snímkové souřadnice a x_{ij}^0, y_{ij}^0 snímkové souřadnice vypočtené z přibližných hodnot (předchozí iterace).

Koeficienty a_i, b_i získáme jako parciální derivace funkcí $F(x)$ a $G(x)$:

$$a_i = \frac{\partial F}{\partial X_o} \quad b_i = \frac{\partial G}{\partial X_o}$$



3.4 Digitální model reliéfu jako produkt při tvorbě digitální ortofotomapy

Nemáme-li v daném území k dispozici dostatečně přesný digitální model reliéfu (DMR), je nutné jej pro tvorbu digitální ortofotomapy vytvořit ze stereodvojcí. DMR v našem případě vzniká jako sekundární produkt a cílem této kapitoly není obsáhnout celou velmi rozsáhlou problematiku digitálních modelů, která je detailně popsána např. v (RAPANT, 2009), ale pouze definovat základní pojmy a nastínit, jakým způsobem byl DMR v naší práci vytvořen.

3.4.1 Vymezení základních pojmů

Na začátek je nutné zdůraznit, že mnohými autory je problematika základních termínů interpretována často chybně, a proto v definicích typů digitálních modelů panuje značný nesoulad. Zde uvádíme dle (KALVODA, 2011: 3-13) korektní definice:

- **terén** - „část zemského povrchu (pevniny) tvořená terénním reliéfem, pokrytým objekty, jako např. porostem, vodstvem, komunikacemi, stavbami, technickými zařízeními“ (VÚGTK);
- **terénní reliéf** - „zemský povrch vytvořený přírodními silami nebo uměle bez objektů a jevů na něm (pod ním a nad ním), je to souhrn terénních tvarů“ (VÚGTK);

Výškové modely dělíme podle:

1. částí terénu, kterou vyjadřují:

- **digitální model terénu (DMT)** - „digitální reprezentace **terénu** v paměti počítače složená z dat a interpolačního algoritmu, který umožňuje mj. odvozovat výšky mezilehlých bodů“;
- **digitální model reliéfu (DMR či DTM)** - „digitální reprezentace **terénního reliéfu** v paměti počítače složená z dat a interpolačního algoritmu, který umožňuje mj. odvozovat výšky mezilehlých bodů“;
- **digitální model povrchu (DMP či DSM)** - „zvláštní případ DMT konstruovaného zpravidla s využitím automatických prostředků tak, že zobrazuje pouze vrchní (vnější) plochy terénu (včetně všech terénních objektů jako střechy či koruny stromů apod.), je chápán jako výsledek prvního průsečíku promítacího paprsku“;

2. modelovací techniky:

- **polyedrický model** - elementárními ploškami jsou nepravidelné rovinné trojúhelníky, které k sobě přiléhají; proložením rovin vrcholy jednotlivých



- trojúhelníků v E_3 vznikne nepravidelný mnohostěn (polyedr), který se přimyká k terénu;
- **TIN** (Triangulated irregular network) - vektorový popis polyedrického modelu se zavedením topologických vztahů mezi jednotlivými trojúhelníky;
 - **rastrový model** - tvořen pravidelnými ploškami se společnými hranami (grid), které představují zborcené čtyřúhelníky možné rozdělit na trojúhelníky; ve většině případů poskytuje horší výsledky než polyedrický model;
 - **digitální výškový model (DVM** či **DEM)** - 2,5D rastrový model, soubor výškových bodů v pravidelné mřížce, kde každá buňka rastru má výškový údaj;
 - **plátový model** - povrch rozdělen na nepravidelné, obecně křivé plošky trojúhelníkového nebo čtyřúhelníkového tvaru, hranice dělení vedou po singularitách (problémová místa v modelech - nespojitost funkce popisující terén či její derivace).

3.4.2 Metody sběru dat

Existuje několik způsobů sběru číselných informací (dat) pro digitální modely jako např. geodetická metoda (především metoda polární), digitalizace vrstevnic stávajících map, laser scanning či námi aplikovaná fotogrammetrická metoda, která spočívá ve vyhodnocení bodů pomocí stereovjemu nastavením měřické značky na odpovídající si dvojici bodů. Ulehčit práci si lze automatickým nastavováním značky v určitém definovaném kroku (gridu), přičemž vyhodnocovatel pouze nastaví správnou výšku.

3.5 Digitální ortofotomapa

V (HANZL, 2006: 90) je uvedeno, že ortofotomapa je kartografické dílo skládající se z ortofotosnímků, což je snímek upravený z centrální do ortogonální projekce. Pro výpočet ortofotosnímku požadujeme kromě původního digitálního snímku znalost prvků vnitřní a vnější orientace a výškových poměrů v území, které jsou nám zprostředkovány DMR či DMP. Máme-li k dispozici DMR, je výsledkem zpracování „nepravé“ ortofoto, což znamená, že všechny objekty ležící mimo úroveň terénu (budovy, porost) jsou zobrazeny zkresleně. Pokud jsou však pravouhle promítnuty všechny objekty včetně staveb (např. střechy budov jsou správně polohově umístěny

tj. nad základy, fasády domů nejsou viditelné), považujeme ortofotomapu za „pravou“ („true“ ortofoto) a k jejímu vyhotovení je potřeba DMP (viz str. 20).

Výsledná přesnost ortofotomapy je nejvíce závislá právě na kvalitě výškového modelu. Proto je třeba model doplnit i měřením významných terénních hran. Takto vytvořený a editovaný model je vhodný pro výpočet ortofotomapy.

Ortofotomapy jsou významným produktem digitální fotogrammetrie, které nemají jen pohledovou funkci, ale umožňují i odměřovat polohu a rozměry objektů. Ortofoto se využívá jako podklad vektorových i rastrových map a státních mapových děl. Za pozitivum ortofotomap můžeme považovat také nižší pořizovací cenu a kratší dobu výroby oproti mapám pořízeným klasickými geodetickými metodami. Její přesnost by dle webu (*SFP fotogrammetrické práce, s.r.o.*) neměla být horší než 1,5 násobek velikosti pixelu a při snímkování ve středních měřítcích se tedy dostáváme na úroveň polohové přesnosti měření geodetickými metodami, viz tab. 1. Také však zdůrazňuje, že měření ve stereodvojicích je přesnější než na ortofotomapě, jejíž přesnost závisí na kvalitě modelu použitého při ortogonalizaci.

Měřítkové č. leteckého snímkování	Měřítkové č. výsledné mapy	Dosažitelná přesnost [cm]	Rozlišení ortofotomap [cm]
20 000	5 000	50	20
10 000	5 000	25	20
8 000	2 000	20	10
4 000	1 000	15	10
2 500	500	10	10

Tab. 2: Přesnost ortofotomap (*SFP fotogrammetrické práce, s.r.o.*)

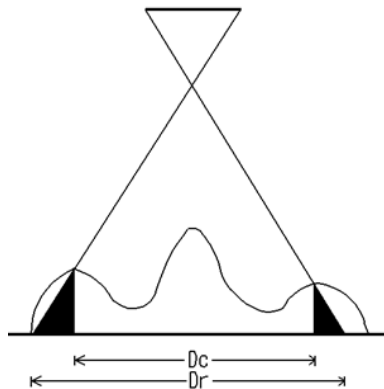
3.5.1 Ortorektifikace

Jestliže chceme snímek využívat pro různé aplikace, musíme si být vědomi faktu, že perspektivní vliv převýšení terénu nezanedbatelně ovlivňuje měřené vzdálenosti na snímku, které po měřítkové změně nemusí odpovídat reálným vzdálenostem na terénu, viz obr. 7. Zde vidíme, že měřená vzdálenost ze snímku D_r neodpovídá skutečné vzdálenosti na terénu D_c . Chceme-li měřit identické údaje, musíme odstranit vliv terénního reliéfu.

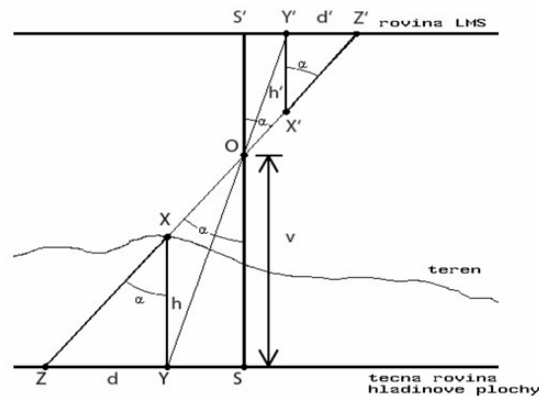
Ortorektifikace (ortogonalizace či diferenciální překreslení) je dle slovníku (*VÚGTK*) „proces odstranění geometrického zkreslení měřického snímku, způsobeného nestejnou předmětovou vzdáleností předmětů měření a překreslením po malých plošných prvcích“. V jejím průběhu jsou opravovány i některé další

distorze snímku jako např. zkreslení objektivu kamery, zakřivení Země či atmosférické korekce. Ortorektifikací vznikají ortofotosnímky, které po pospojování nazýváme ortofotomapou.

Ortofotosnímek je letecký či případně satelitní snímek, na kterém poloha každého obrazového elementu (pixelu) koresponduje s jeho ortogonálním průmětem na terén v konstantním měřítku. Snímek je v průběhu překreslení generován se základní opravou vlivu reliéfu terénu, při které se pixel ze své původní snímkové pozice, ve které ho viděla kamera svým objektivem, přesune do jeho pravé pozice, ve které je již na terénu.



Obr. 7: Zkreslení vzdálenosti



Obr. 8: Vliv převýšení a způsob jeho korekce

Princip ortorektifikace je patrný z obr. 8 a spočívá v požadavku, že bod ležící na terénu, střed ohniska objektivu a obraz terénního bodu na snímku musí ležet na jedné přímce. Výpočet je řešen za pomoci rovnic s parametry vnitřní a vnější orientace snímku a údaji o reliéfu prostřednictvím DMR. Každý pixel náležící snímkovému bodu Z' musí být posunut do pozice Y' korigované o vliv převýšení terénu v místě terénního bodu Z . Jelikož trojúhelník OSZ je podobný s trojúhelníky XYZ a $X'Y'Z'$, můžeme napsat vztah pro výpočet radiálního posunu snímkového bodu Z' do opravené polohy Y' :

$$\text{tg } \alpha = \frac{\text{oprava polohy bodu}}{\text{převýšení terénu}} \quad \gg \quad \text{oprava polohy bodu} = \text{převýšení terénu} \times \text{tg } \alpha$$

Oprava polohy všech obrazových pixelů probíhá automaticky po zadání výchozích nepřekreslených snímků, souboru s příslušnými orientačními parametry a DMR, který musí být zvolen tak, aby jeho přesnost vyhovovala požadovanému účelu překreslení snímků. V opačném případě se může stát, že náhodné chyby v „opravě polohy bodu“ způsobené chybami v „převýšení terénu“ jsou tak velké,

že sousední snímky nelze na sebe dostatečně přesně navázat respektive ortorektifikace neproběhla zcela exaktně (HANZL, V., SUKUP, 2002: 83-85).

3.5.2 Mozaikování

Z předchozího kroku máme k dispozici ortorektifikované letecké snímky. Tyto snímky mohou mít různé vady barev způsobené světelnými aberacemi objektivu kamery, odlesky terénu, nasvícením terénu sluncem pod různými úhly, provedením snímkování v různých ročních obdobích a s různými parametry letu, apod.

Cílem je vytvoření bežešvé a barevně vyrovnané ortofotomapy (mozaiky), ve které nebudou znatelné přechody mezi jednotlivými snímky, ze kterých se mapa skládá. Kvalita výsledné mozaiky je významným způsobem ovlivněna řadou vstupních parametrů, např. geometrickou přesností snímků, velikostí překrytu snímků, dobou a případnými rozdíly v pořízení snímků, apod.

Mozaikování snímků se zpravidla skládá ze dvou etap:

- **příprava přechodových linií (spojovacích čar)** - mozaikovací čára vymezuje pro každý snímek jeho část, která se podílí na vytvoření mozaiky. Vhodným umístěním těchto čar je možné eliminovat některé geometrické nesoulady mezi sousedními snímky (navázání liniových objektů) a částečně potlačit problémy s barevným vyrovnaním na přechodu dvou snímků, viz str. 48.
- **barevné vyrovnaní** - cílem je potlačit radiometrické odlišnosti mezi mozaikovanými snímky a zajistit jejich barevnou homogenitu, viz obr. 9. Existuje celá řada algoritmů pro řešení tohoto problému, zpravidla jsou založeny na porovnání histogramů mozaikovaných snímků a návrhu vhodných barevných korekcí (web GISAT s. r. o.).



Obr. 9: Porovnání barevně nehomogenní a homogenní ortofotomapy (FALT: 11)

4 Tvorba ortofotomapy v systému PhotoMod

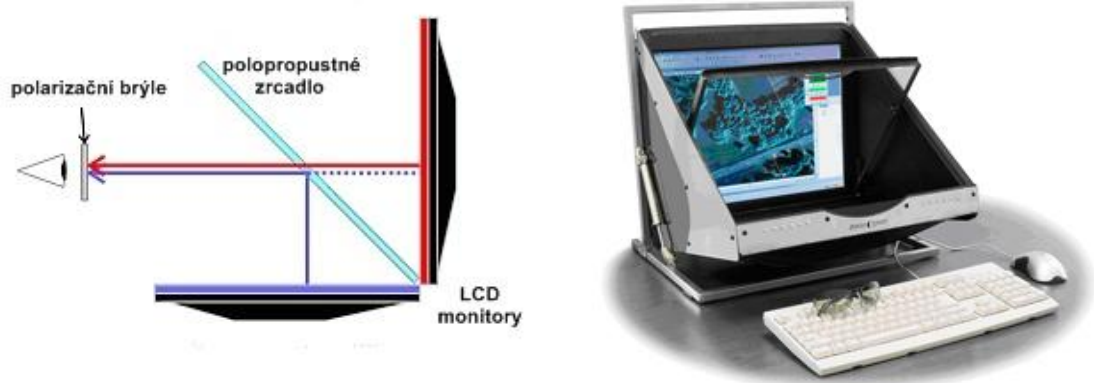
V této části práce je naznačen postup prací při tvorbě ortofotomapy systému *PhotoMod*. Podrobnější informace jsou k nalezení v uživatelských manuálech (*RACURS. Uživatelské manuály*), ze kterých bylo při tvorbě následujících kapitol čerpáno. První podkapitola je věnována obecným informacím o systému.

4.1 Systém Photomod

Společnost Racurs, která software *PhotoMod* vyvinula, byla založena v roce 1993 a od té doby se věnuje zdokonalování softwaru pro zpracování leteckých a družicových snímků a vývoji v oblasti digitální fotogrammetrie a GIS.

Systém *PhotoMod* nachází své uplatnění v mnoha odvětvích jako např. topografické a katastrální mapování, tvorba ortofotomap, tematické mapování v lesnictví, mapování inženýrských sítí, komunikací či mapování přírodních katastrof. Jeho výhodami je kompletní a vysoce produktivní zpracování snímků, množství výstupů (DMT, vektory, ortofotomapy) v různých formátech, které jsou kompatibilní s dalšími softwary pro GIS a fotogrammetrii, vysoké procento automatizace zpracování snímků (automatické měření navazovacích bodů) či přehledné programové rozhraní, které je členěno do 11 modulů. Při zpracování byla použita verze programu *PhotoMod 4.3*.

Pro dosažení stereovjemu *PhotoMod* využívá systém *Stereopixel* skládající se ze dvou LCD monitorů, mezi nimiž se nachází polopropustné zrcadlo, pozorovaných speciálními polarizačními brýlemi, jak je patrné z následujících obrázků:

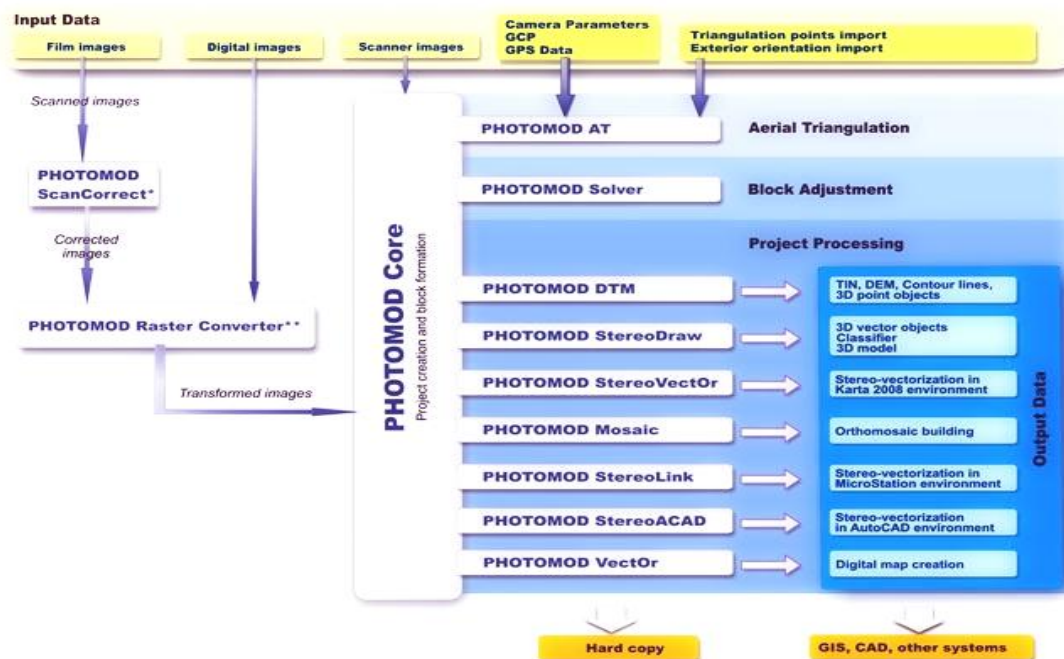


Obr. 10: Systém Stereopixel (web společnosti RACURS)



4.1.1 Součásti systému

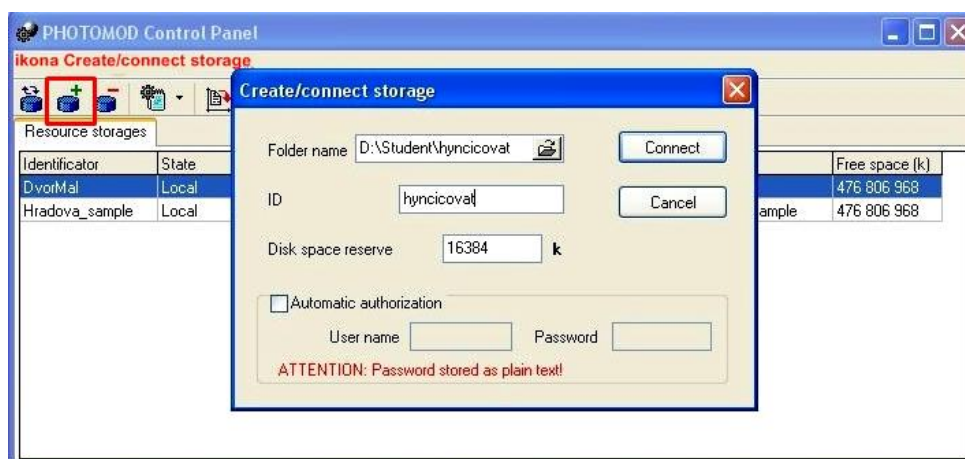
- **PhotoMod Core** - jádro celého systému, pomocí něhož se zakládá projekt (výběr typu projekce, souřadnicového systému), formuje blok snímků (načítání snímků) či vkládají data o kameře;
- **PhotoMod AT** - pomocí tohoto modulu dochází k importu měřených souřadnic projekčních center a vlíčovacích bodů, k manuálnímu či automatickému měření navazovacích bodů a k orientaci snímků;
- **PhotoMod Solver** - modul pro vyrovnání bloku snímků; metody vyrovnání a odhalení hrubých chyb zabezpečují dostatečnou přesnost aerotriangulace, což následně zajišťuje vysokou přesnost DMT, ortofotomapy a dalších výstupů;
- **PhotoMod DMT** - modul nabízí sadu nástrojů pro tvorbu a editaci digitálních výškových modelů různého typu;
- **PhotoMod StereoDraw** - modul slouží ke kreslení objektů v mono nebo stereo módu; možný je import či export dat např. ve formátu DXF či dgn;
- **PhotoMod Mosaic** - prostřednictvím tohoto modulu dochází k ortorektifikaci a mozaikování snímků s cílem vytvoření bezešvé a barevně vyrovnané ortofotomapy ve výstupním formátu např. GeoTIFF, BMP, JPEG či DGN.
- **PhotoMod VectOr** - vektorový GIS pro tvorbu, editaci a tisk digitálních map;
- **PhotoMod StereoVectOr** - kombinace předchozích modulů StereoDraw pro kreslení a VectOr, ze kterého jsou čerpány mapové značky;
- **PhotoMod StereoLink** - modul sloužící k vektorizaci objektů ve stereo módu uvnitř systému MicroStation;
- **PhotoMod StereoACAD** - modul využívaný pro 3D vektorizaci stereo dvojic v AutoCAD 2007/2008, výstupním formátem je např. formát DXF či DWG;
- **PhotoMod ScanCorrect** - modul sloužící pro geometrickou kalibraci stolních skenerů, které tak poskytují velmi kvalitně naskenované snímky (*web společnosti RACURS*).



Obr. 11: Struktura systému (web společnosti RACURS)

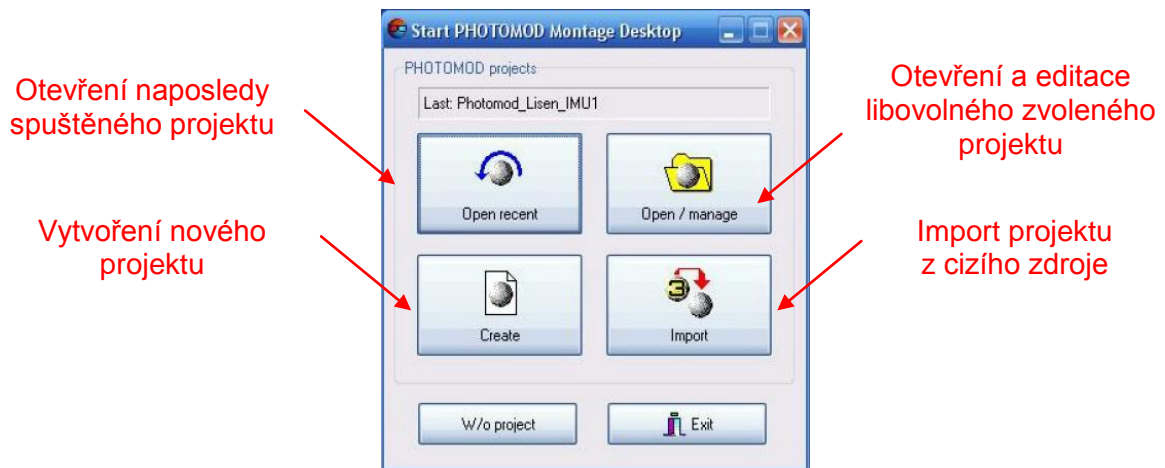
4.2 Inicializace projektu

Prvním krokem celého projektu je vytvoření *storage* (skladiště dat), do kterého budou postupně ukládána všechna data. Skladiště vytvoříme v aplikaci *Control Panel* ikonou *Create/connect storage* dle následujícího obrázku:



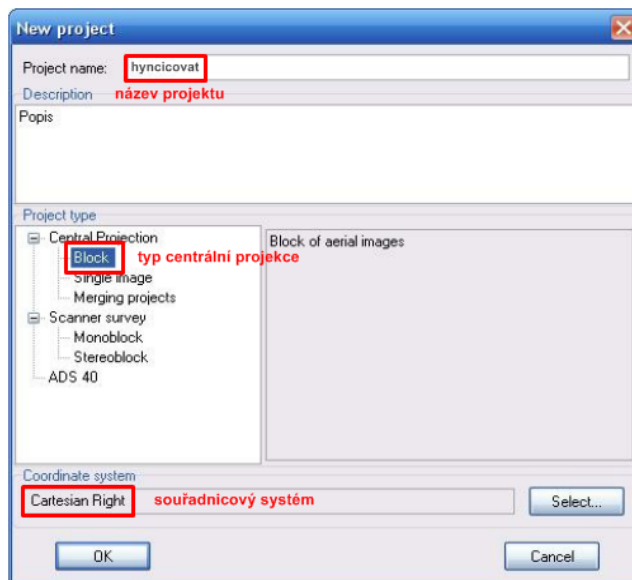
Obr. 12: Control Panel - vytvoření skladiště

V dialogovém okně *Create/connect storage* zvolíme složku, kde bude skladiště uloženo, do pole *ID* zadáme název skladiště (znaky bez diakritiky a mezer) a potvrdíme (*connect*), čímž se vytvoří skladiště a spustí okno *Montage desktop*, které nabízí tyto možnosti:

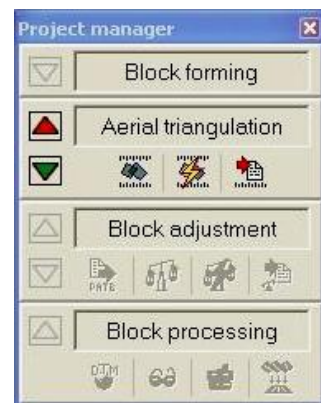


Obr. 13: Okno Montage Desktop




Zvolením položky *Create* otevřeme okno pro tvorbu nového projektu, kde vyplníme položku název projektu, zvolíme centrální projekci *block* a souřadnicový systém *Cartesian Right* - obr. 14. V následujícím okně vybereme námi vytvořené skladiště a povolíme ukládání dat pouze do vybraných skladišť. Po potvrzení se již spustí projekt.



Obr. 14: Okno vytvoření nového projektu



Obr. 15: Project manager


Jako průvodce projektem slouží okno *Project manager*, pomocí něhož se přepínáme ( a ) mezi jednotlivými čtyřmi základními etapami projektu - *Block forming*, *Aerial triangulation*, *Block adjustment* a *Block processing* - obr. 15. Pokud se v okně s projektem okno *Project manager* nezobrazí, spustíme jej pomocí ikony  v hlavním panelu nástrojů.

4.3 Formování bloku (Block forming)

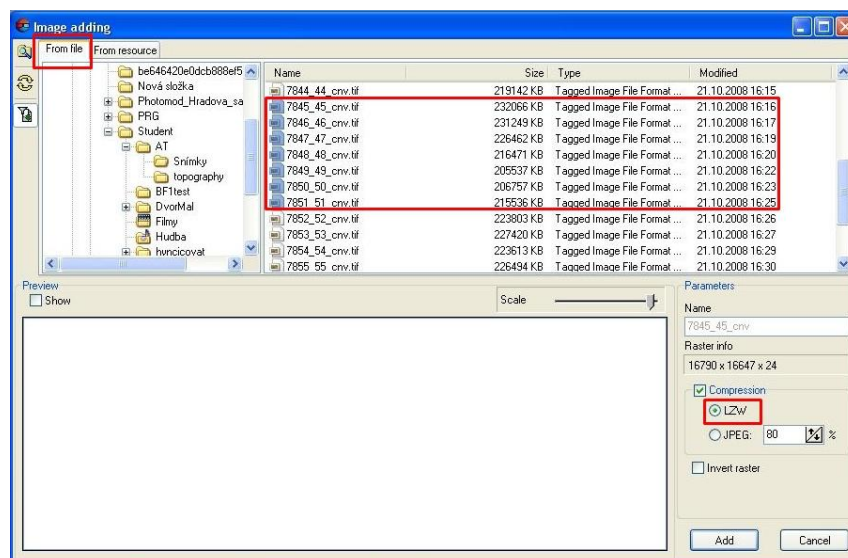
Nejprve je třeba připravit blok, do kterého budeme importovat letecké snímky. Ten definujeme počtem letových řad a počtem, pořadím a orientací snímků v rámci řad prostřednictvím panelu nástrojů *Block forming*:



Obr. 16: Panel *Block forming*

Alternativní možností k vytvoření bloku je využití nástroje *Block editor*  . Po vytvoření a označení příslušné řady se přistoupí k importu snímků, který může proběhnout dvěma způsoby:

- **ze souboru (from file)** - vybereme a vložíme snímky příslušné let. řady (je možné volit kompresi - v projektu byla použita bezztrátová metoda komprese LZW) - obr. 17, v tomto případě je nutné po importu snímků provést jejich převedení do interního formátu Photomodu, viz obr. 16;
- **z existujícího zdroje (from resource)** - zvolíme projekt, označíme a vložíme snímky příslušné letové řady.



Obr. 17: Import snímků ze souboru


Po importu se snímky zobrazí v *2D Window* (obr. 18) a je nutné vizuálně zkontrolovat jejich logickou návaznost. Může se totiž stát, že snímky nejsou správně orientovány či seřazeny. Pro jejich úpravu použijeme opět zmíněné ikony panelu *Block forming*, viz obr. 16.

V projektu této práce byla vytvořena jedna letová řada (označována č. 3), do níž bylo importováno 7 snímků dle obr. 17.

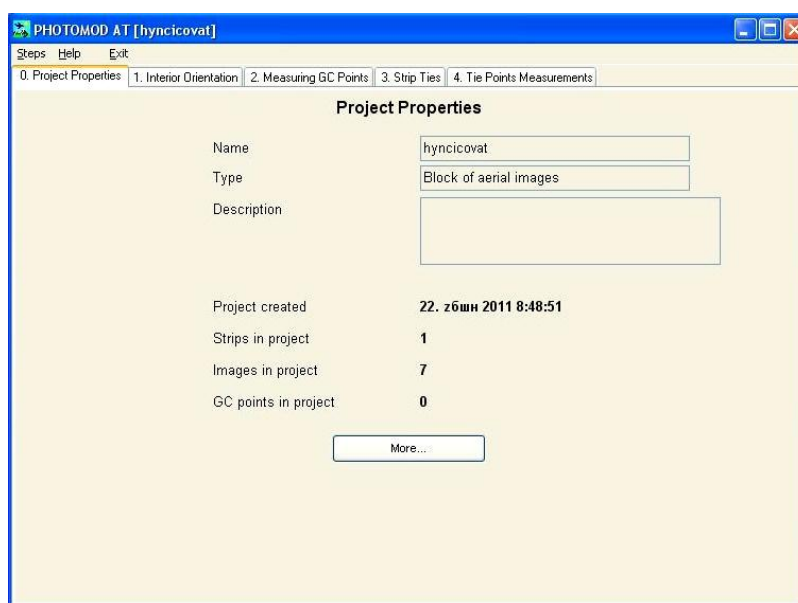


Obr. 18: Importované snímky v *2D Window*

4.4 Aerotriangulace (Aerial triangulation - AT)

V *Project manageru* se přepneme do druhé části zpracování projektu - *Aerial triangulation*. V tomto modulu máme na výběr ze tří ikon, ze kterých je pro nás nejdůležitější ikona reprezentující modul AT  .

Zbývající ikony slouží k automatickému měření navazovacích bodů a k importu prvků vnitřní orientace. Spuštěním modulu AT se otevře dialogové okno s pěti záložkami (obr. 19) představující jednotlivé kroky triangulace, které budou následně popsány:



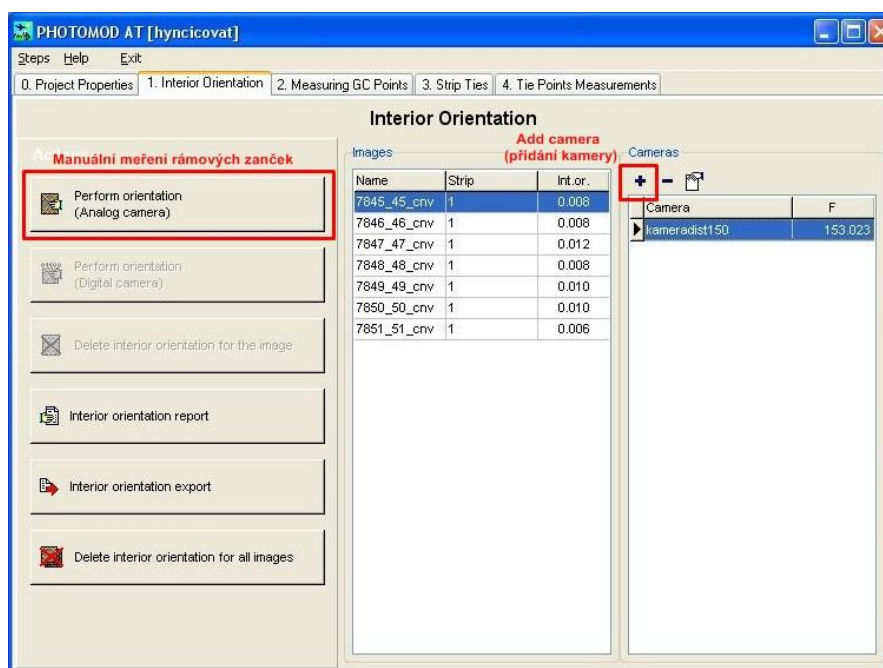
Obr. 19: Modul AT

4.4.1 Vlastnosti projektu (0 Project Properties)

V této záložce nalezneme základní informace o projektu jako např. název, typ a datum vytvoření projektu či počet řad a snímků v projektu.

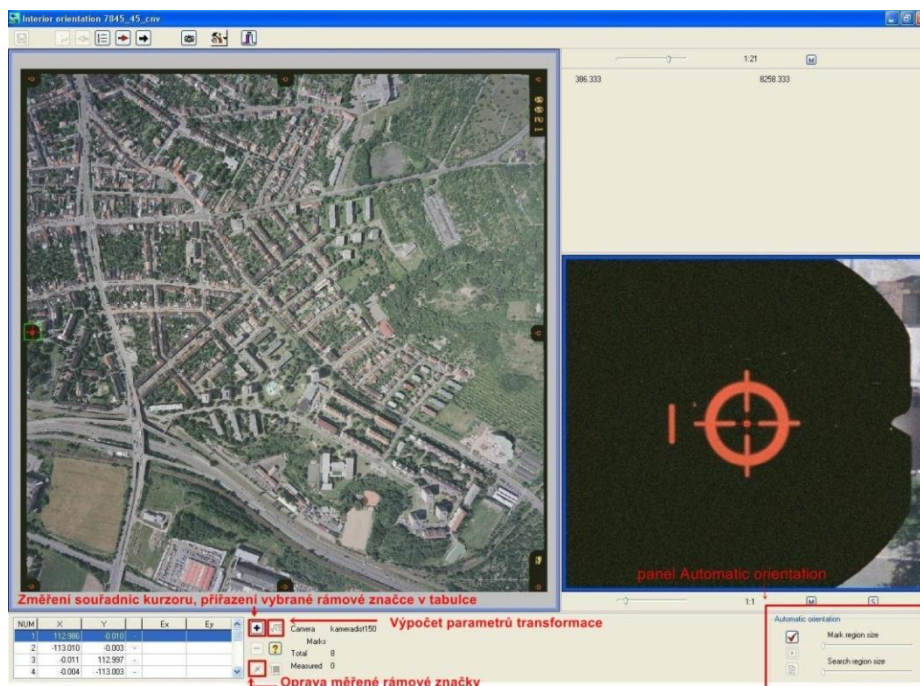
4.4.2 Vnitřní orientace (1 Interior Orientation)

V tomto kroku je zásadní, zda byly snímky pořízeny analogovou či digitální kamerou, což určuje další postup zpracování. V námi zpracovávaném projektu byly snímky pořízeny analogovou kamerou Zeiss RMK TOP 15, jejíž parametry je potřeba do projektu vložit prostřednictvím ikony *Add camera*, která vyvolá okno, v němž ze seznamu vybereme položku odpovídající použité kameře (v našem projektu zvolena položka *kameradist150*). Dále již vyvoláme okno pro manuální měření rámových značek ikonou dle obr. 20.



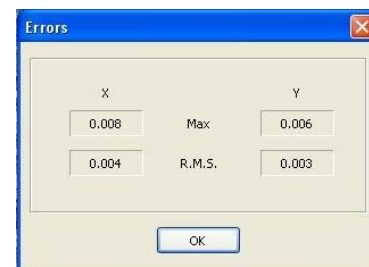
Obr. 20: Záložka vnitřní orientace

V okně měření rámových značek v levém dolním rohu (viz obr. 21) vybereme značku a následně ji polohově určíme na snímku, čímž se zobrazí její detail v pravém okně. Zde upřesníme pozici červeného křížku tak, abychom středy křížku a značky ztotožnili. Poté změříme souřadnice značky. Tento postup zopakujeme pro všechny značky na snímku a přistoupíme k výpočtu parametrů transformace.



Obr. 21: Měření souřadnic rámových značek

Na výběr máme mezi třemi typy transformace, a to podobnostní (Helmertova), projektivní či afinní, kterou zvolíme, jelikož je výhodná pro zpracování leteckých snímků. Po výpočtu se zobrazí dialog s dosaženými maximálními a středními chybami (RMS ~ root mean square), viz obr. 22. Jednotky chyb odpovídají jednotkám parametrů kamery (mm). Výsledky transformace uložíme. Jestliže proces vnitřní orientace provedeme výše popsáním způsobem na jednom snímku, lze již na zbývajících snímcích provést vnitřní orientaci automaticky.




Obr. 22: Dosažené maximální a střední chyby

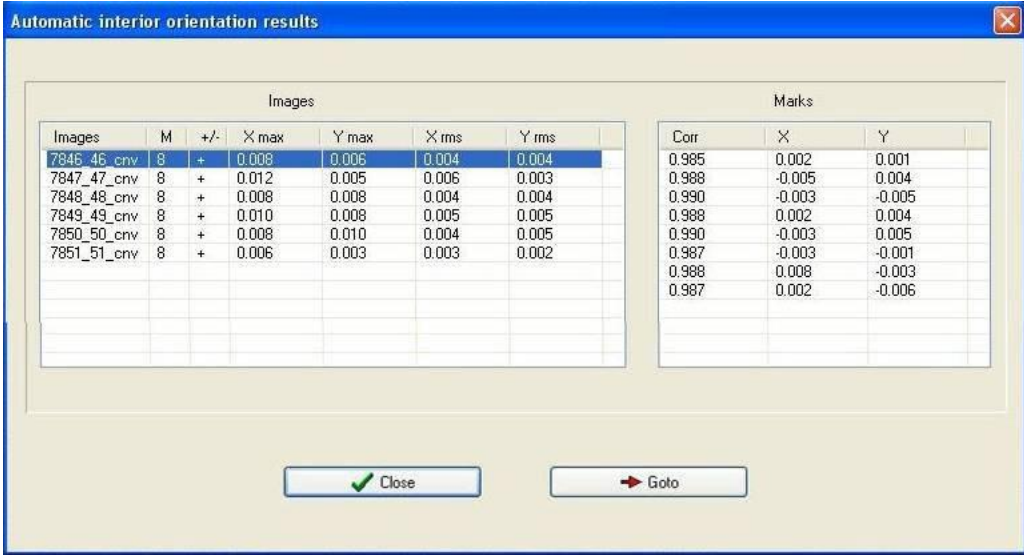
Režim automatické vnitřní orientace spustíme ikonou z panelu *Automatic orientation* (obr. 21). Aby automatizovaný proces proběhl regulérně, je třeba nastavit velikost vzorové oblasti s rámovou značkou (*Mark region size*) a velikost prohledávané oblasti (*Search region size*) pomocí příslušných posuvníků dle obr. 23. Tyto parametry slouží k vytvoření šablon pro každou manuálně změřenou značku, díky nimž dojde automaticky k vyhledání značek na všech snímcích na základě principu



Obr. 23: Automatické měření rámových značek

křížové korelace. Problematika křížové korelace je řešena např. v (KALVODA, 2010: 16-17).

Po nastavení parametrů kliknutím na ikonu *Perform interior orientation*  spustíme okno *Automatic interior orientation*, kde vidíme tabulku se snímky. Zaškrtnutím políčka u snímků vybereme ty, u kterých chceme provést automatickou vnitřní orientaci (snímek orientovaný manuálně tedy nevybíráme, ten je označen v poznámce jako *Original*). Je třeba zadat mezní hodnotu korelačního koeficientu v poli *Correlation coefficient* (ponechána hodnota 0,9). V poli *Max interior orientation error* nastavíme maximální přijatelnou chybu (prahovou hodnotu) na značce (zvolena hodnota 0,020 mm). Po potvrzení tlačítkem OK dojde ke spuštění automatické vnitřní orientace a následně k zobrazení výsledků (obr. 24).



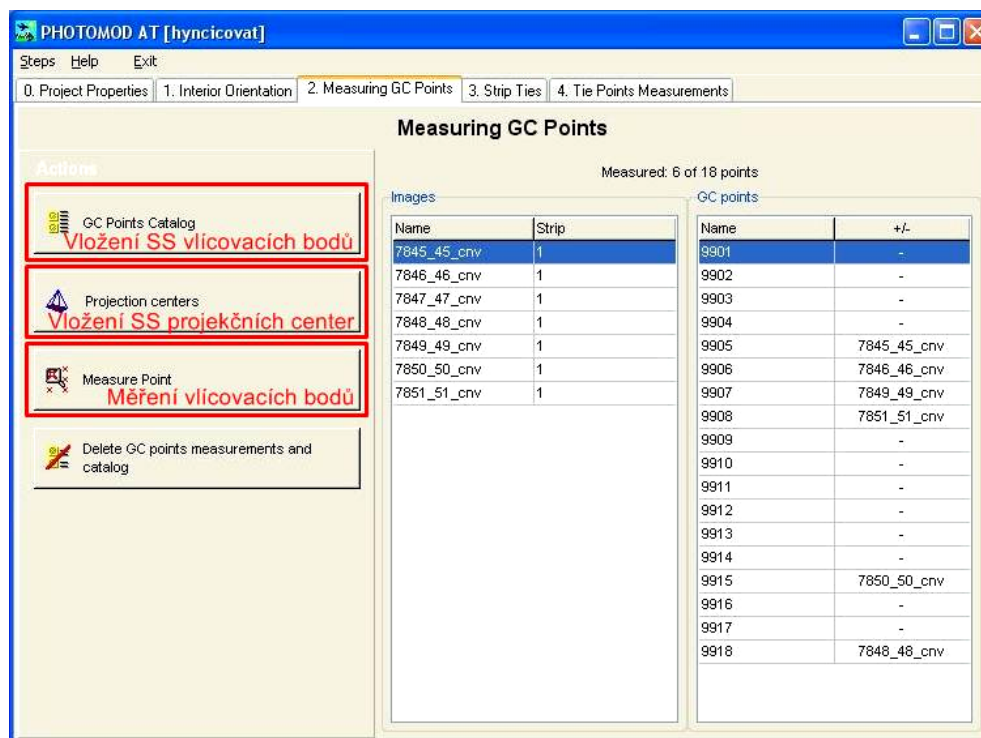
Images							Marks		
Images	M	+/-	X max	Y max	X rms	Y rms	Corr	X	Y
7846_46_cnv	8	+	0.008	0.006	0.004	0.004	0.985	0.002	0.001
7847_47_cnv	8	+	0.012	0.005	0.006	0.003	0.988	-0.005	0.004
7848_48_cnv	8	+	0.008	0.008	0.004	0.004	0.990	-0.003	-0.005
7849_49_cnv	8	+	0.010	0.008	0.005	0.005	0.988	0.002	0.004
7850_50_cnv	8	+	0.008	0.010	0.004	0.005	0.990	-0.003	0.005
7851_51_cnv	8	+	0.006	0.003	0.003	0.002	0.987	-0.003	-0.001
							0.988	0.008	-0.003
							0.987	0.002	-0.006

Obr. 24: Výsledky automatické vnitřní orientace

V této tabulce vidíme v levé části jednotlivé snímky a k nim průměrné hodnoty maximálních a středních chyb souřadnic rámových značek. V pravé části jsou pak zobrazeny hodnoty korelačního koeficientu a středních chyb pro všech osm rámových značek vybraného snímku. Výsledné hodnoty pro další snímky jsou k nahlédnutí v protokolu automatické vnitřní orientace (příloha č. 2).

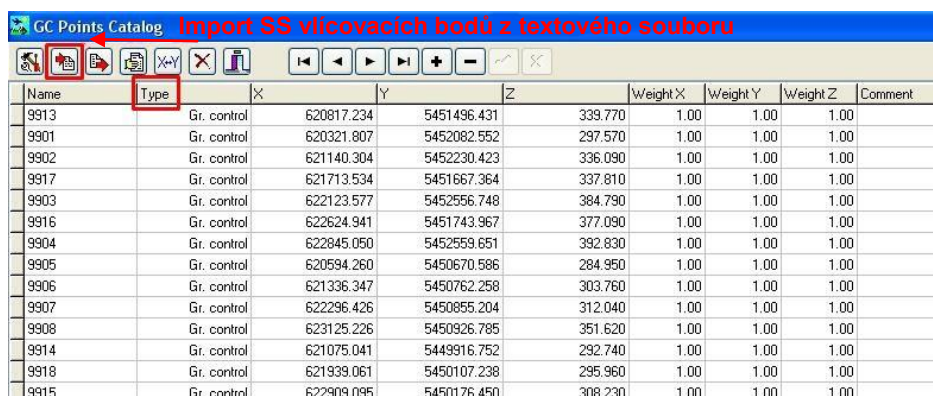
4.4.3 Měření vlčovacíků bodů (2 Measuring GC Points)

V této záložce je třeba nejprve vložit seznam souřadnic vlčovacíků bodů dle obr. 25. Ten je možno vytvořit přímo v katalogu či ho importovat ze souboru.



Obr. 25: Zložka měření vřicovacich bodů

V našem projektu byla použita druhá možnost, a to import seznamu ve formátu TXT, který tvoří přílohu č. 3, viz obr. 26. Seznam souřadnic v textovém dokumentu musí mít danou strukturu: název bodu, jeho prostorové souřadnice ve zvoleném souřadnicovém systému (UTM) a případně jejich váhy. Jako oddělovník může být použita mezera, tabelátor, dvojtečka či čárka. Je-li nějaká hodnota souřadnice neznámá, nahradí ji symbol „*“. Položka *Type* udává, zda bude bod použit ve vyrovnání bloku (*Gr. control*) nebo slouží pouze pro kontrolu vyrovnání (*Check*).

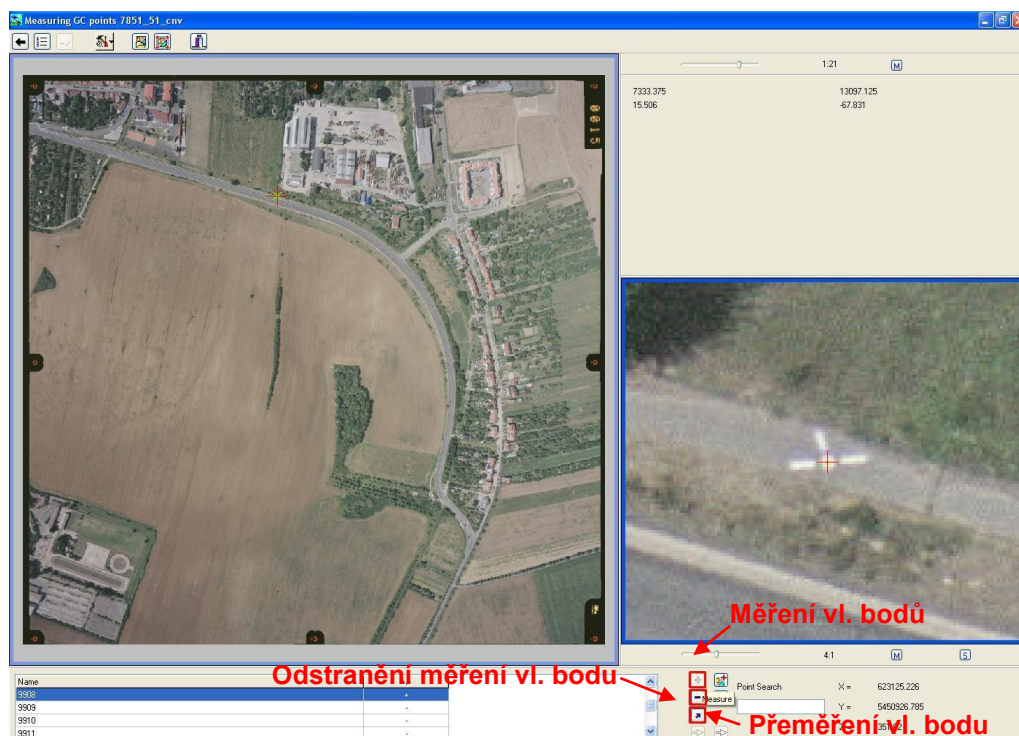


Name	Type	X	Y	Z	Weight X	Weight Y	Weight Z	Comment
9913	Gr. control	620817.234	5451496.431	339.770	1.00	1.00	1.00	
9901	Gr. control	620321.807	5452082.552	297.570	1.00	1.00	1.00	
9902	Gr. control	621140.304	5452230.423	336.090	1.00	1.00	1.00	
9917	Gr. control	621713.534	5451667.364	337.810	1.00	1.00	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	

Obr. 26: Katalog vřicovacich bodů

Byly-li přímo měřeny souřadnice projekčních center (viz kapitola 3.1.3), vložíme je do projektu dle obr. 25 stejným způsobem jako souřadnice vřicovacich bodů. Seznam souřadnic projekčních center je přílohou č. 4.

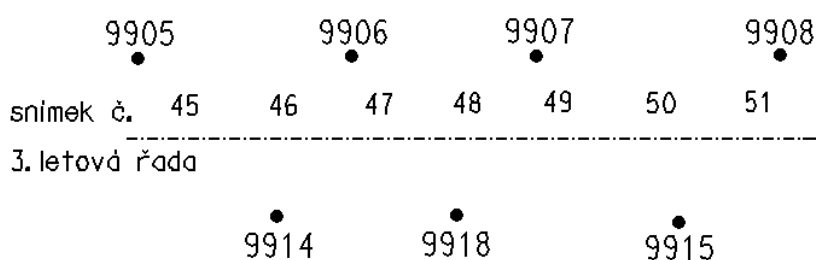
Nyní přistoupíme k měření vlíčovacích bodů. V tabulce *Images* vybereme snímek a stiskneme tlačítko pro měření vlíčovacích bodů dle obr. 25. Dojde k otevření okna:



Obr. 27: Okno měření vlíčovacích bodů

Zde v levé části dole vidíme tabulku s vloženými vlíčovacími body, nad ní vlevo zvolený snímek a vpravo detail vybrané oblasti, jehož přiblížení se nastavuje v horní liště posuvníkem. V tabulce vybereme bod, identifikujeme ho na snímku a změříme. Dodatečně je možné body příslušnými ikonami po označení přeměřit či smazat. Je nutné zdůraznit, že každý vlíčovací bod v tomto kroku se měří pouze na jednom snímku. Na dalších snímcích jsou tzv. transferovány (určeny korespondencí) v následujících krocích.

Vlíčovací body byly na snímku polohově identifikovány přibližně pomocí schématu znázorněného na obr. 28 a detailně na základě geodetických údajů v podobě výřezu ortofotomapy s daným bodem, které tvoří přílohu č. 5.

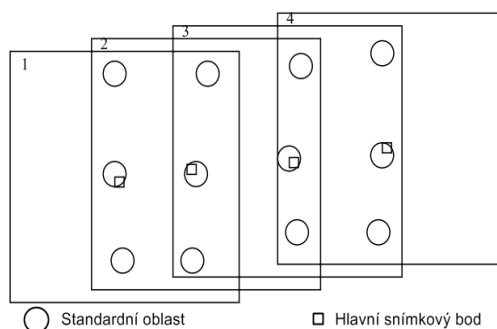


Obr. 28: Schéma rozmístění vlíčovacích bodů

4.4.4 Měření navazovacích bodů (3 Strip Ties, 4 Tie Points Measurements)

Measurements)

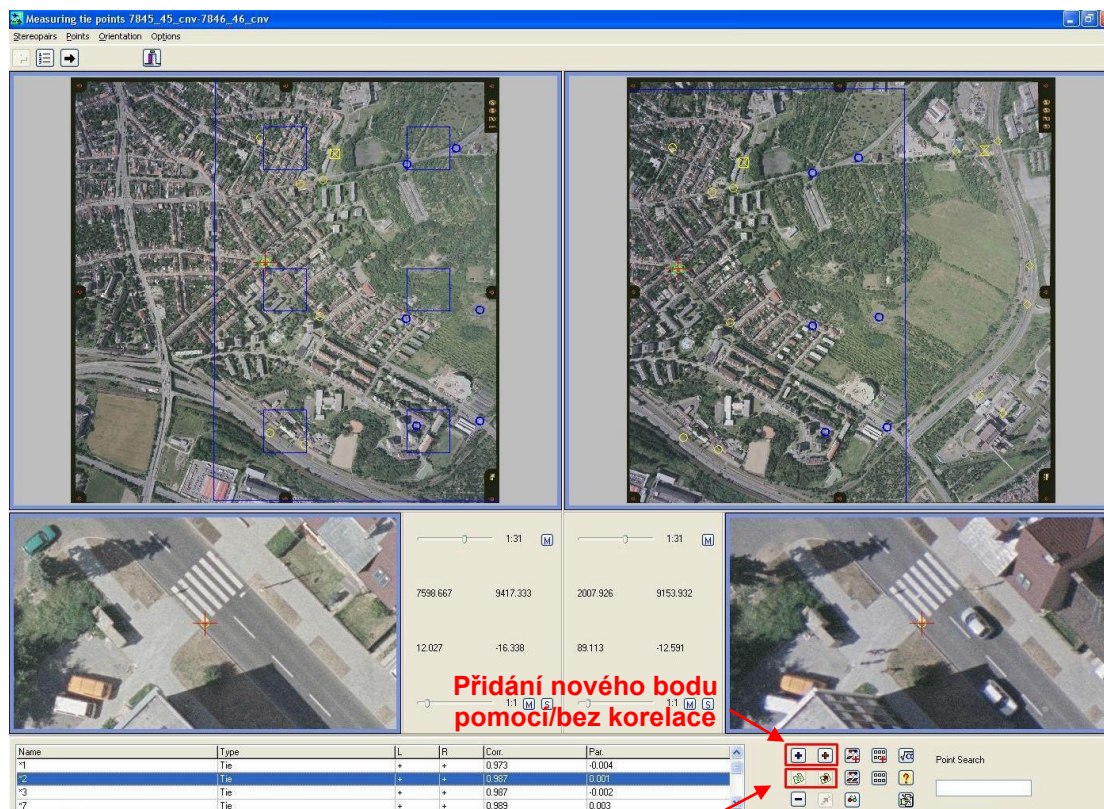
Navazovací body slouží k vytvoření modelů nejprve ze dvou sousedních snímků, z nich pak modelů letových řad a finálně k vytvoření modelu celého bloku. Měření provádíme na obou snímcích stereopáru (ve více než dvojnásobném překrytu měříme na všech dostupných snímcích) buď v manuálním či automatickém režimu. Manuálně můžeme měřit body třemi způsoby, a to umístěním značky na obou snímcích v mono režimu, umístěním značky na jednom snímku a transferem bodu na druhý snímek pomocí korelace v mono režimu či umístěním značky ve stereo režimu. V automatickém režimu jsou navazovací body měřeny pomocí korelace ve standardních oblastech zároveň na obou snímcích, viz obr. 29.



Obr. 29: Rozmístění navazovacích bodů (RACURS. Uživatelské manuály)

Při zpracování projektu byl použit druhý ze zmíněných způsobů manuálního měření navazovacích bodů za splnění podmínek, že hodnota korelačního koeficientu neklesne pod 0,900 a hodnota vertikální paralaxy nepřekročí hodnotu 0,006 mm. Za navazovací body je tedy nutné volit body struktur, které jsou jasně prostorově ohraničeny a navíc jsou kontrastní vůči svému pozadí (např. vodorovné značení na komunikacích, povrchové znaky inženýrských sítí).

Skládá-li se blok snímků z více letových řad, je nejprve nutné provázat tyto řady v záložce *3 Strip Ties*. Máme-li však blok tvořený pouze jednou řadou snímků, jak je tomu v našem případě, tuto položku automaticky vynecháváme a přistupujeme k poslední záložce *4 Tie Points Measurements* sloužící k provázání jednotlivých snímků pomocí ikony *Perform Orientation*, která vyvolá následující okno:




Převedení (transfer) bodu pomocí/bez korelace

Obr. 30: Měření navazovacích bodů

Nejprve je třeba transferovat již na jednom snímku naměřené vlčovací body na všechny příslušné snímky tak, že bod vybereme v tabulce, identifikujeme přesně jeho polohu i na druhém snímku stereopáru a provedeme transfer s korelací. Před uložením bodu zkontrolujeme hodnotu korelačního koeficientu a je-li vyhovující, bod uložíme. V případě měření navazovacích bodů postupujeme totožně. Jediný rozdíl spočívá ve faktu, že zatímco vlčovací body byly každý jednou změřeny v rámci předchozí záložky, navazovací body nově vkládáme i transferujeme v tomto kroku. Navazovací body jsou postupně číslovány a zobrazovány v tabulce současně s jejich typem *Tie* (zatímco body vlčovací jsou označeny *Gr. control*), potvrzením, zda byly/nebyly (+/-) naměřeny na levém i pravém snímku stereodvojice, hodnotou korelačního koeficientu (je-li měřeno pomocí korelace) a hodnotou vertikální paralaxy.

V každé standardní oblasti jsme naměřili 2-3 navazovací body, což je postačující pro dostatečnou přesnost následného vyrovnání.

4.5 Vyrovnání bloku snímků (*Block adjustment*)

Nyní přistupujeme k vyrovnání bloku snímků, ve kterém dojde ke zpracování dat naměřených v modulu *AT*. Do fáze *Block adjustment* se přepneme v *Project manageru*, kde máme k dispozici čtyři tlačítka, ze kterých volíme možnost *Start Solver* .

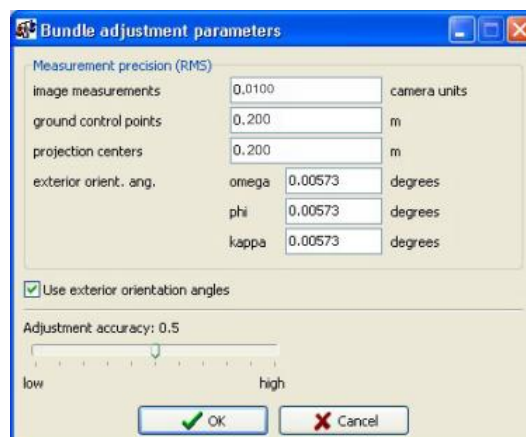
V otevřeném okně *PhotoMod Solveru* se v horní liště nachází základní tlačítka:



Obr. 31: Základní ikony *PhotoMod Solveru*

V systému *PhotoMod* máme na výběr ze tří metod vyrovnání, a to *Independent strips* (nezávislé řady), *Independent stereopairs* (nezávislé stereodvojice) a *Bundle adjustment* (vyrovnání bloku svazků), která je nejčastěji používanou metodou.

Metodu vyrovnání a další parametry je třeba nastavit v okně *Parameters* v záložkách *Adjustment* a *Report*. V záložce *Adjustment* zvolíme metodu vyrovnání *Bundle adjustment* a ikonou *Method parameters* vyvoláme okno, ve kterém se nastaví přesnost měření snímkových souřadnic, přesnost vlčovací bodů a projekčních center a hodnoty prvků vnější orientace uváděné výrobcem dle obr. 32.



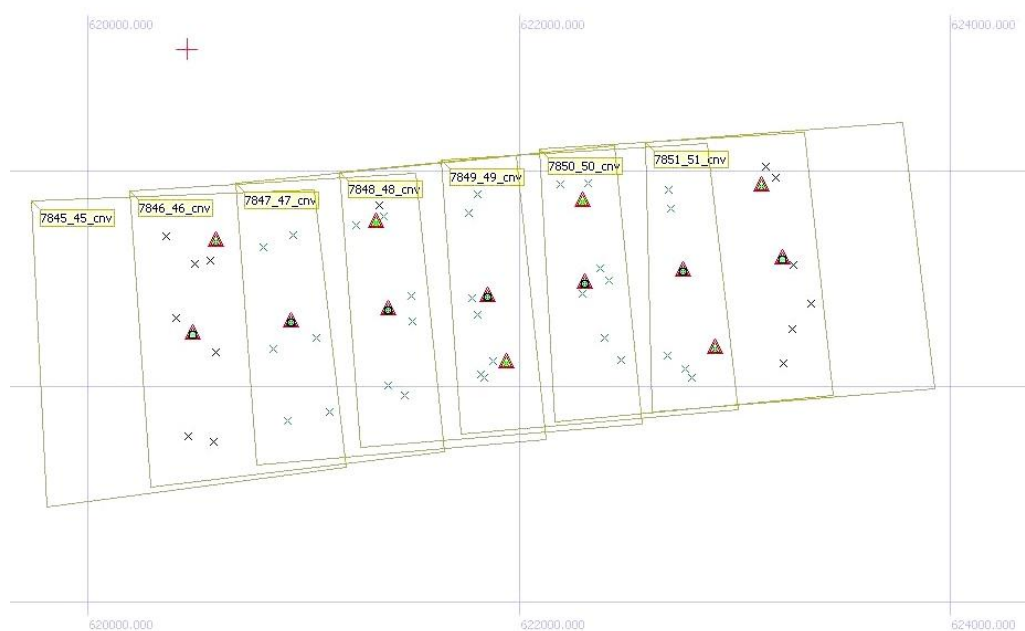
Obr. 32: Nastavení při vyrovnání bloku svazků

V záložce *Report* se nastavují parametry uváděné v protokolu vyrovnání jako např. maximální opravy, počet desetinných míst výsledných hodnot, jednotky aj. Nými nastavené hodnoty jsou zřejmé z obr. 33. Po nastavení těchto hodnot se přistoupí k výpočtu, zobrazení protokolu vyrovnání a uložení výsledků. Protokol lze exportovat do textového dokumentu a v takovéto formě je součástí práce v příloze č. 6.



Obr. 33: Nastavení protokolu vyrovnání

Součástí modulu *PhotoMod Solver* je také názorné grafické rozhraní zobrazující vyrovnaný blok snímků a rozmístění vlíčovacích a navazovacích bodů (obr. 34). Je možné tedy odhalit hrubé chyby, např. chybně vložené souřadnice vlíčovacích bodů. Tímto způsobem byl v námi zpracovávaném projektu odhalen nesoulad v souřadnicích vlíčovacího bodu 9914, který byl následně z vyrovnání vyloučen.



Obr. 34: Grafické rozhraní PhotoMod Solveru

4.6 Zpracování bloku (Block processing)

V tomto okamžiku máme k dispozici vyrovnaný blok snímků, který vidíme na obr. 35, a můžeme se přepnout zelenou šipkou v *Project manageru* do poslední části zpracování - *Zpracování bloku (Block processing)*.




Obr. 35: Vyrovnaný blok snímků

V *Project manageru* máme v této fázi zpracování na výběr ze čtyř ikon představující jednotlivé zpracovatelské moduly, ze kterých jsme při tvorbě ortofotomapy využili tři, a to:


 *PhotoMod StereoDraw* (vytváření 3D objektů ve stereomódu);

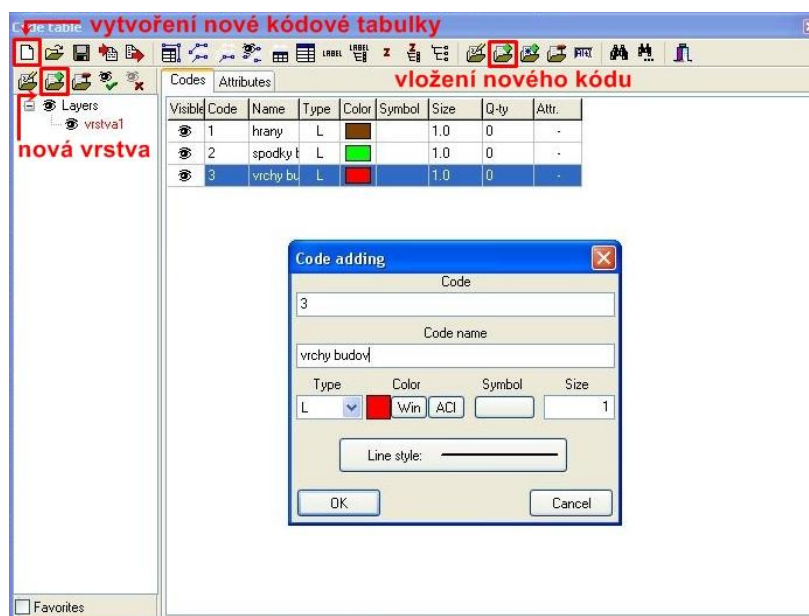
 *PhotoMod DTM* (slouží k vytvoření DMR);

 *PhotoMod Mosaic* (tvorba ortofotomapy).

Postup prací v jednotlivých modulech je popsán v následujících podkapitolách.

4.6.1 PhotoMod StereoDraw

Tento modul slouží k vytváření a editaci 3D vektorových objektů ve stereomódu, které mohou být použity pro tvorbu digitálních map nebo jako terénní hrany pro doplnění TINu, jak tomu bylo v našem případě. Všechny objekty vytvořené v tomto modulu jsou propojeny se záznamy v kódové tabulce, což je tabulka obsahující zvolené atributy pro jednotlivé klasifikace objektů. Tuto tabulku vyvoláme z nabídky *Windows » Code table* či zvolením ikony . V nově otevřeném okně nejprve vytvoříme novou kódovou tabulku, kde vložíme novou vrstvu a do ní vkládáme jednotlivé kódy dle následujícího obrázku:



Obr. 36: Vytvoření kódové tabulky

Při vytvoření nového kódu se do patřičných polí vypíše kód, název kódu, typ kódu (bodový objekt P , linie L , uzavřená linie-polygon C), styl a barva kódu, v případě bodového objektu symbol a velikost.

Jak je z obrázku patrné, v rámci našeho projektu jsme vytvořili v jedné vrstvě tři kódy odpovídající třem skupinám kreslených objektů, a to terénní hrany a spodní a horní hrany budov. Před začátkem kreslení jednotlivé skupiny objektů je třeba mít v kódové tabulce vybrán příslušný kód.

Pro kreslení objektů ve stereomódu jsme využili těchto tlačítek z horní lišty:



zapnutí/vypnutí stereovjemu;



seřízení stereovjemu (nastaví paralaxu v okolí kurzoru na nulovou hodnotu, což má za následek dosažení nejlepšího stereovjemu), také možno použít klávesu $F2$;



vložení vrcholu objektu (klávesa $Insert$);



ukončení tvorby polyline (klávesa Esc);



uzavření polyline;



zapnutí/vypnutí pravoúhlého režimu kreslení (klávesa A);



3D nájezd na bod » pohyb pouze po vrcholech v prostoru (klávesa V);



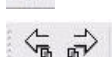
2D nájezd na bod » pohyb po vrcholech pouze v rovině XY (klávesa B);



3D nájezd na linii » pohyb po linii v prostoru (klávesa M);



2D nájezd na linii » pohyb po linii pouze v rovině XY (klávesa M);

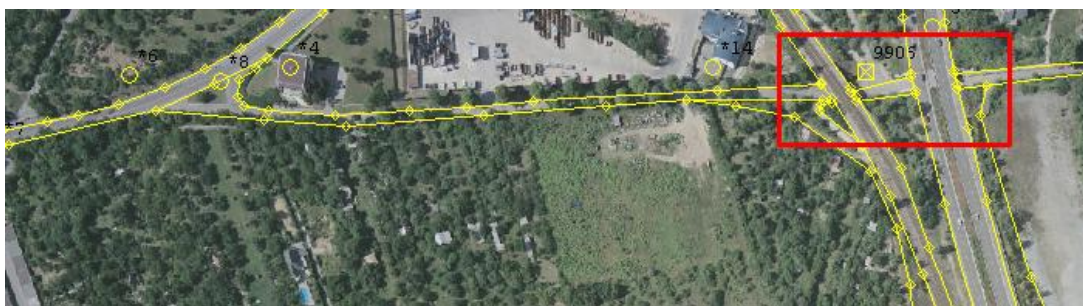


přechod na předchozí/následující stereodvojici.

V tomto okamžiku je nutné zmínit, že zpracování již nebylo provedeno v rámci celého bloku, ale pouze v rozsahu tří stereodvojicí zahrnující snímky 7845_46_cnv.tif - 7845_49_cnv.tif.

Na tomto území byly pokusně vykresleny spodní a vrchní hrany vysokých budov. Tímto jsme chtěli zjistit, zda je či není možné vytvořit DMP. Nakonec však hrany budov zahrnuté do finální podoby TINu nebyly z důvodu nekorektního vykreslení trojúhelníků s následným důkazem při vytvoření ortofotomapy s významnými deformacemi, viz str. 54.

Při vytváření významných terénních hran nastaly komplikace pouze v lokalitách s mimoúrovňovým křížením komunikací. Tento problém byl řešen vykreslením hran v jednom ze směrů. Pro zakreslení hran ve směru druhém (na terénu) bylo využito funkce 2D přichycení k již nakreslené linii prvního směru, což můžeme vidět na obr. 37. Jak si později ukážeme, ani toto řešení nevedlo ke korektnímu zobrazení míst na ortofotomapě. Proto jsme provedli odstranění hran druhého směru (v úrovni terénu) v blízkém okolí mostů jak je patrné z obr. 38. I druhé řešení nepřineslo zcela bezchybné řešení problematiky, viz str. 53.



Obr. 37: Terénní hrany - řešení 1







Obr. 38: Terénní hrany - řešení 2

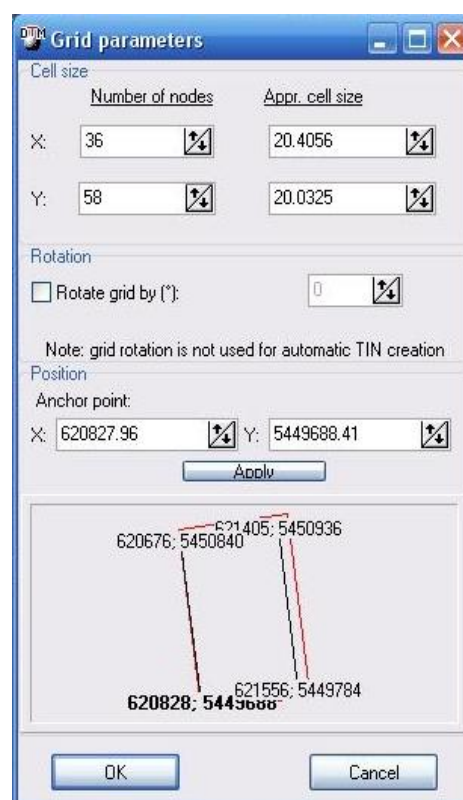
4.6.2 PhotoMod DTM

V systému *PhotoMod* se k reprezentaci DMR primárně využívá síť trojúhelníků -TIN. Systém pracuje s několika algoritmy výpočtu TINu a umožňuje vytvoření pravidelné, adaptivní či vyhlazené sítě trojúhelníků.

Stejně tak lze terén popsat množinou 3D bodů (pickets) volených v předem vymezeném rastru, ze kterých lze opět vymodelovat TIN. Pro získání dostatečně přesného TINu je třeba jej propojit s významnými terénními hranami. Takto jsme postupovali při tvorbě výškového modelu v rámci našeho projektu.



Nejprve je třeba definovat oblast vytvoření výškového modelu pomocí mřížky ikonou  .

Po vybrání ikony stiskneme klávesu **CTRL** a tažením myši označíme celý snímek mimo okrajovou oblast s rámovými značkami. V dalším kroku je třeba nastavit parametry mřížky v okně vyvolaném stiskem ikony  - viz obr. 39. Za *cell size* volíme hodnotu 20 m (určeno na základě požadované přesnosti a členitosti terénu). Mřížka nám v kombinaci se zvoleným *Pathway modem*  po aktivaci procesu měření bodů (pickets) ikonou  zajistí to, že kurzor po každém změřeném/vynechaném bodu (klávesa *Enter/Delete*) přeskočí do dalšího bodu mřížky.



Obr. 39: Grid parameters

Měření pickets probíhá ve stereomódu (musí být zapnuto tlačítko *Stereo on/off*) a je tedy nutné na každém bodě seřadit stereovjem (viz předchozí kapitola). Při měření vynecháváme ty body (doporučeno vynechat max. 3 body), jejichž polohu nelze jednoznačně identifikovat na obou snímcích (např. křoviny, lesy) a které padnou na budovy dle obr. 40. Po naměření bodů na jedné stereodvojici postupujeme stejným způsobem i na dvojicích následujících. Pro větší přehlednost doporučujeme vypnout vrstvu *Grid* v pravé dolní části okna *2D window*.

Nyní přistoupíme k vytvoření TINu z naměřených bodů ikonou  a připojení první varianty terénních hran vytvořených v předchozím kroku. Máme-li vrstvu s hranami otevřenou (záložka *Vectors* » *open*), pak stisknutím ikony  vyvoláme okno, kde vybereme položku terénních hran a potvrdíme. Takto tedy postupně vytvoříme dvě varianty TINu.



Obr. 40: Naměřené pickets

Následně je nezbytně nutné provést důkladnou editaci TINu např. pomocí těchto prostředků:

- **TIN » check TIN** - proběhne kontrola TINu (např. zda nedochází ke křížení hran trojúhelníků); jsou-li objeveny chybné body, zobrazí se jejich souřadnice; dvojklikem na ně jsme odkázáni na příslušné místo v 2D/3D window pro ruční editaci. Ta může proběhnout pomocí ikon (musí být aktivní vrstva TIN):



přesunutí vrcholu trojúhelníku do pozice kurzoru (vrchol označíme, klikneme do bodu nové pozice a zvolíme tuto ikonu);



přidání nového vrcholu trojúhelníka do pozice kurzoru;

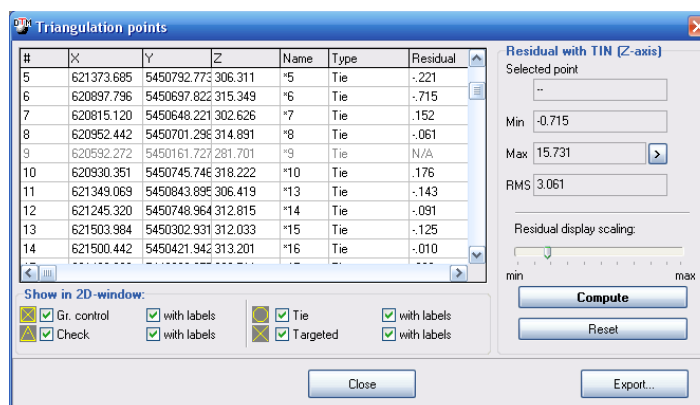


odstranění označeného vrcholu trojúhelníka.

Editace TINu může také proběhnout prostřednictvím změny polohy, odstraněním či vložením pickets. Tato metoda je však zdlouhavější, jelikož pokaždé musíme vytvořit TIN a propojit jej s hranami.


- **TIN » Accuracy control** - po zvolení této položky se zobrací tabulka s odchylkami na vlíčovacích a navazovacích bodech. Tato odchylka představuje rozdíl mezi Z-ovou souřadnicí bodu určenou z vyrovnání

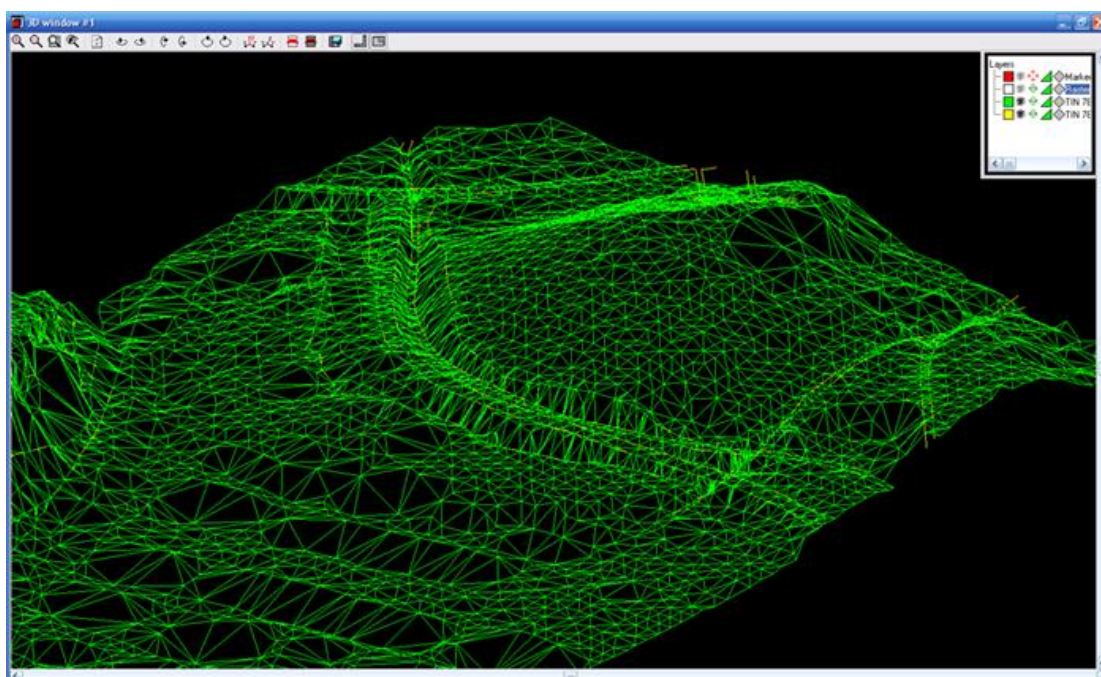
a této poloze odpovídající (totožná souřadnice X a Y) poloze bodu na TINu. Na obr. 41 vidíme, že maximální odchylka dosahuje hodnoty 15,741 m, což je způsobeno tím, že navazovací bod č. 4 je umístěn na střeše výškové budovy, zatímco model probíhá v úrovni reliéfu. Je tedy logické, že difference nabývá této extrémní hodnoty. Na základě zjištěných odchylek byla opět provedena ruční editace TINu s využitím již zmíněných metod.



#	X	Y	Z	Name	Type	Residual
5	621373.685	5450792.773	306.311	*5	Tie	-.221
6	620897.796	5450697.822	315.349	*6	Tie	-.715
7	620815.120	5450648.221	302.626	*7	Tie	-.152
8	620952.442	5450701.298	314.891	*8	Tie	-.061
9	620592.272	5450161.727	281.701	*9	Tie	N/A
10	620930.351	5450745.748	318.222	*10	Tie	.176
11	621349.069	5450843.895	306.419	*11	Tie	-.143
12	621245.320	5450748.964	312.815	*12	Tie	-.091
13	621503.984	5450302.931	312.033	*13	Tie	-.125
14	621500.442	5450421.942	313.201	*14	Tie	-.010

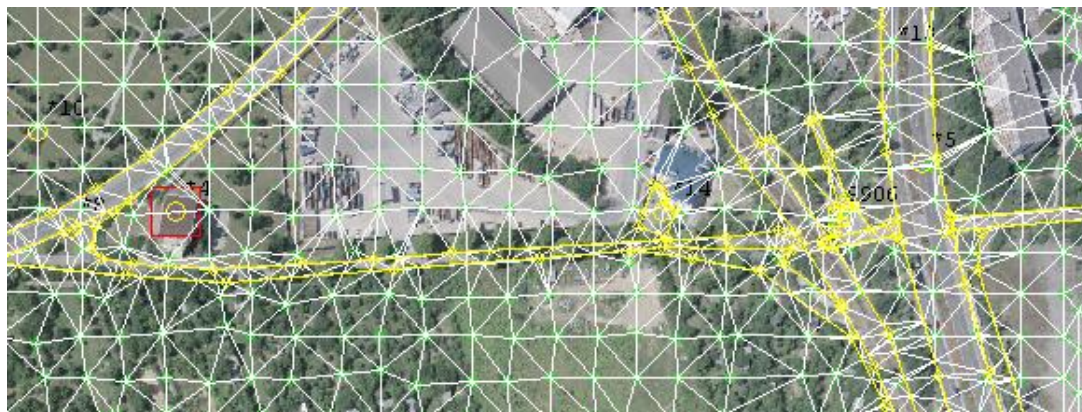
Obr. 41: Accuracy control

- **vizuální editace TINu** - velmi názorné je zobrazení TINu v 3D okně (obr. 42) vyvolané ikonou . Při tomto trojrozměrném pohledu je jasně patrné prostorové uspořádání jednotlivých trojúhelníků, které nemusí být z 2D pohledu vždy zřejmé. Na základě těchto zjištění případně opět provedeme editaci.



Obr. 42: 3D pohled na TIN

Na následujícím obrázku je již výřez finální podoby TINu se zahrnutými hranami v oblasti mostů. V levé části můžeme vidět navazovací bod č. 4 umístěný na střeše výškové budovy vykazující max. odchylku při kontrole přesnosti, viz předchozí strana.




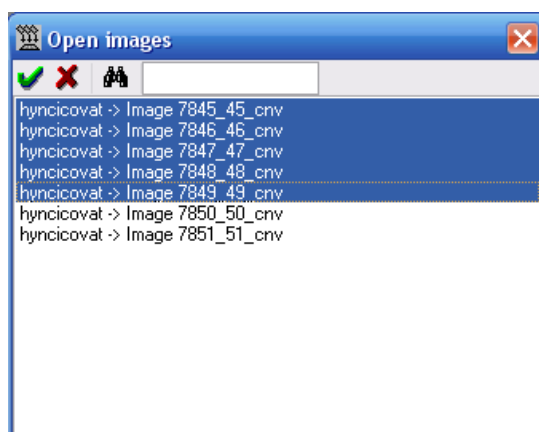
Obr. 43: Výsledný TIN

Modul *PhotoMod DTM* v nabídce *TIN » Import/Export* podporuje export TINu např. do formátů DXF, DGN či ASCII.

4.6.3 PhotoMod Mosaic





Tento modul slouží k ortorektifikaci a mozaikování snímků do výsledné ortofotomozaiky (ortofotomapy). Modul také podporuje jasové korekce a vytváření tzv. ROI (Regions of interest), což jsou oblasti jednotlivých snímků, které se budou ve výsledku podílet na složení ortofotomapy.


Prvním krokem je načtení snímků, které proběhne prostřednictvím okna *Open Images* vyvolaného stisknutím ikony  či v nabídce *Image » Open*. Zde vybere požadované snímky a ikonou  provedeme jejich načtení dle obr. 44.

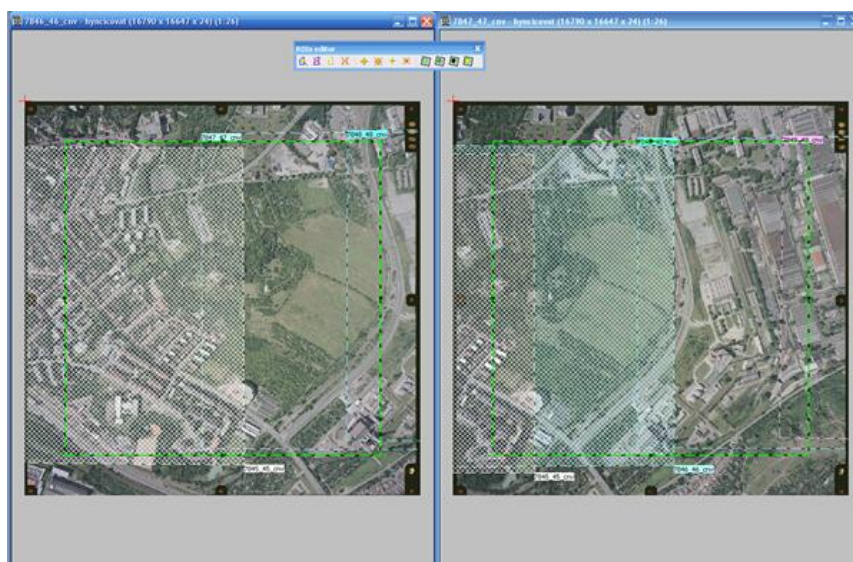


Obr. 44: Načtení snímků

Po načtení snímků je důležité snímky uspořádat a pro přehlednost zobrazit snímkové dvojice, což umožňují ikony:

-  posun na další snímek;
-  zobrazí současný a následující snímek vedle sebe;
-  posun na předchozí snímek;
-  zobrazí současný a předchozí snímek vedle sebe.

Před začátkem mozaikování je tedy ideální mít zobrazen první a druhý snímek vedle sebe dle následujícího obrázku. Na něm také vidíme vyšrafované oblasti značící překryty mezi sousedními snímky, které nám umožní jejich snadnou identifikaci. Tyto překryty se na snímcích zobrací po zvolení možnosti *View » Cutlines*. V horní části obrázku také vidíme panel *ROIs editor*, který spustíme ikonou  či v nabídce *ROIs » ROIs editor*. Ikony tohoto panelu slouží k editaci spojovací čáry mezi dvěma snímky.



Obr. 45: Uspořádání snímků se zobrazením překrytů

Při editaci spojovací čáry (zeleného čtverce) je nejprve nutné jej aktivovat v nabídce *ROIs » Polygon rectangle for all*. Následný dvojklik na pravý horní roh zeleného čtverce (zbarví se na bílo) nám jej umožní editovat. Svislou pravou hranu čtverce na prvním snímku tedy editujeme vkládáním nových bodů (pátá ikona v panelu *ROIs editor* či zkráceně klávesa *Insert*) nebo mazáním vrcholů (šestá ikona v panelu *ROIs editor* či klávesa *Delete*) dle následujících doporučení:

- za ROI volíme pouze tu část snímku, která se nachází co nejbližší hlavnímu bodu snímku z důvodu zvýšení geometrické přesnosti při spojování snímků;


- spojovací čáry by neměly křížit objekty jednoznačně vyčnívající nad úroveň terénu (budovy, sloupy, lampy, komíny, mosty či vedení el. napětí), viz následující obrázek, v opačném případě může dojít k deformaci těchto objektů či jejich úplnému zmizení z ortofotomapy, viz str. 56;
- spojovací čáry by neměly ležet těsně podél dlouhých objektů (hranice lesa, komunikace) s výrazně odlišným jasem vůči pozadí, je doporučeno čáry volit s malým odstupem od této hranice.

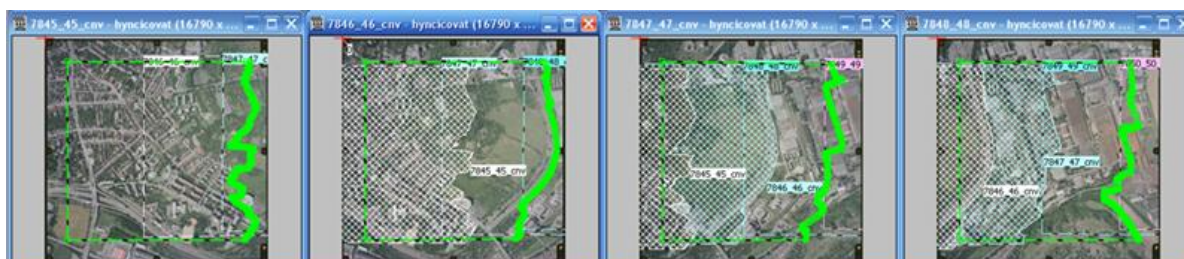


Obr. 46: Detail vedení spojovací čáry


Případnou dodatečnou editaci cutlines nám umožní dvojklik myši (třetí ikona v panelu *ROIs editor* či zkráceně klávesa *S*) na tuto čáru. Opět můžeme již popsaným způsobem vkládat či mazat vrcholy cutlines. Po označení stávajícího vrcholu cutlines (jednoduchý klik myši na bod nebo sedmá ikona v panelu *ROIs editor*) je také možné se stlačenou klávesou *CTRL* s vrcholem libovolně pohybovat myši. Obdobným způsobem je možné přesouvat i skupinu vrcholů cutlines. Vrcholy označíme tažením myši se stisklou klávesou *SHIFT*.

Možný je též import *ROIs* z vektorových souborů ve formátu DXF či Shapefile v nabídce *ROIs » Import ROIs*. Během importu je nejdůležitější zadání parametrů georeference *ROIs* do jednotlivých snímků. V rámci formátu Shapefile jsou již informace o georeferenci zaznamenány v samostatném souboru s příponou DBF.

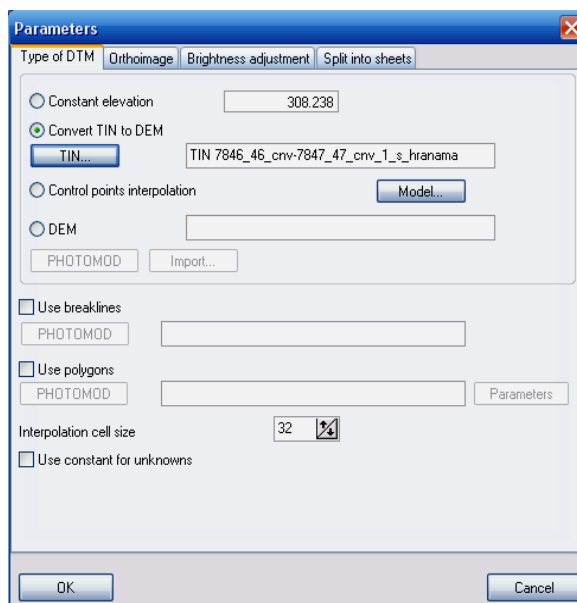
Pomocí ikony  můžeme snímky zobrazit do bloku vedle sebe a přehledně znázornit již vykreslené spojovací linie dle obr. 47.



Obr. 47: Schéma snímků

Nyní již může přistoupit k nastavení parametrů vytvoření výsledné ortofotomapy. Okno parametrů vyvoláme z nabídky *Mosaic » Parametres* či zvolením ikony  .

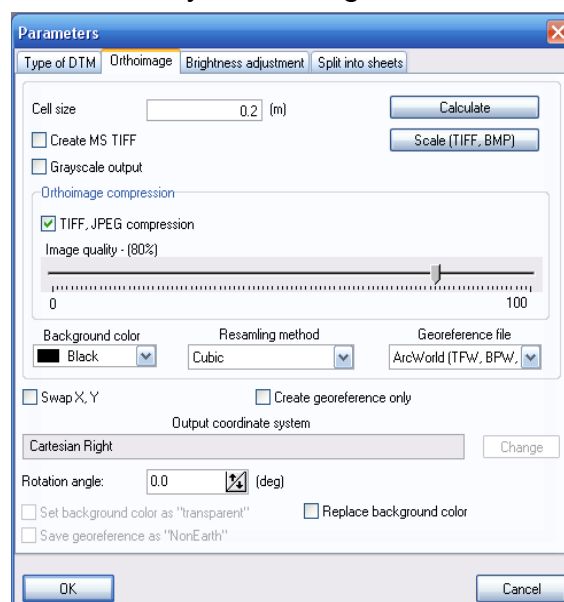
V první ze čtyř záložek *Type od DTM* (obr. 48) zvolíme možnost *Convert TIN to DEM* a kliknutím na ikonu *TIN* se zobrazí dialogové okno, ve kterém v levé části v adresářové struktuře projektu vyhledáme vytvořený TIN, označíme ho a jednoduchou šipkou ze středového panelu jej přesuneme do pravé části a potvrdíme. Ve spodní části okna se nachází položka *Interpolation cell size* vyjadřující vzdálenost mezi jednotlivými body DEM, který je přepočítán ze zdrojového TINu. Tuto hodnotu lze odhadnout z velikosti nejmenšího trojúhelníka TINu. Implicitně nastavená hodnota je 32, což znamená, že velikost buňky vypočteného DEM je 32x32krát větší než buňka výsledné ortofotomapy, která se nastavuje v následující záložce. Zvolí-li se větší hodnota, proces ortorektifikace se sice urychlí, ale výsledná ortofotomapy je méně přesná.



Obr. 48: Nastavení parametrů - DTM

Na následujícím obrázku vidíme okno další záložky *Orthoimage*:

Zde se nastavuje velikost buňky ortofotomapy (*Cell size*), za kterou volíme hodnotu 0,2 m. Dále je zde možnost zvolení komprese (*TIFF, JPEG compression*) - zvoleno 80%, barvy pozadí (*Background color*) - zvolena černá barva, výstupního formátu ortofotomapy (*Georeference file*). Máme na výběr ze tří možností, z nichž volíme nejběžnější formát *ArcWorld*.



Obr. 49: Nastavení parametrů - Orthoimage

Při výběru metody vzorkování (*Resampling method*) se nabízí tři alternativy výpočtu intenzit nových prvků:

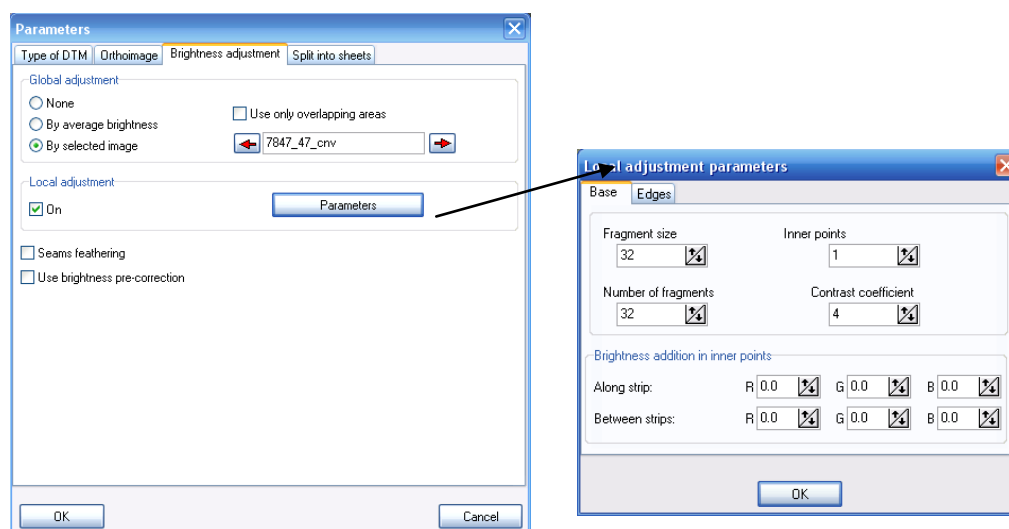
- **nearest neighbour (nejbližší soused)** - hodnota je převzata z nejbližšího pixelu, výsledný obraz je tím pádem mírně rozostřený;
- **bilinear (bilineární)** - intenzita je získána z nejbližších čtyř pixelů původního snímku;
- **cubic (bikubická)** - námi volený způsob, jde o interpolaci vyššího stupně, pro výpočet hodnoty je užito 16 okolních pixelů, což zvyšuje výpočetní čas.

Třetí záložka *Brightness adjustment* umožňuje nastavení globální jasové korekce pro celou výslednou ortofotomapu a také lokální jasové vyrovnání jednotlivých výchozích snímků.

Při volbě globální jasové korekce máme na výběr ze tří alternativ:

- **none (žádná)** - umožňuje vytvoření mozaiky bez zavedení jasové korekce;
- **by average brightness** - jas a kontrast je vyrovnán na základě znalosti průměrných hodnot vstupních snímků, doporučeno použít, jsou-li hodnoty jasu snímků výrazně odlišné a zároveň v rámci snímku konzistentní;
- **by selected image** - hodnoty jasu a kontrastu jsou vyrovnány podle hodnot zvoleného referenčního snímku, který dle doporučení má ležet ve střední části bloku snímků.



Při prvotním nastavení jsme zvolili možnost *By average brightness*. Na výsledné mozaice byly však znatelné hranice jednotlivých snímků a jejich barevná nesourodost (viz str. 56). Proto jsme volili možnost *By selected image* doplněnou lokální jasovou korekcí, viz obr. 50.

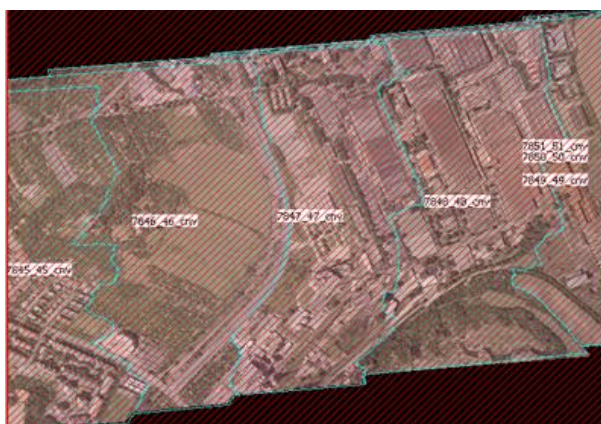


Obr. 50: Nastavení radiometrických úprav


Lokální vyrovnání jasu snímků provede jasové transformace podél spojovacích čar snímků, které se směrem k hlavním bodům snímků a okraji mozaiky zjemňují. Kliknutím na ikonu *Parametres* se zobrazí okno s nastavením, kde jsme v záložce *Base* (obsahuje parametry mající vliv na změnu jasu uvnitř snímků a mezi nimi) nastavili v poli *Contrast coefficient* úroveň 4. Toto nastavení již vedlo k jasové vyváženosti celé vzniklé mozaiky.

Čtvrtou záložku nastavené bychom volili, kdybychom výslednou mapu chtěli rozdělit do několika mapových listů.

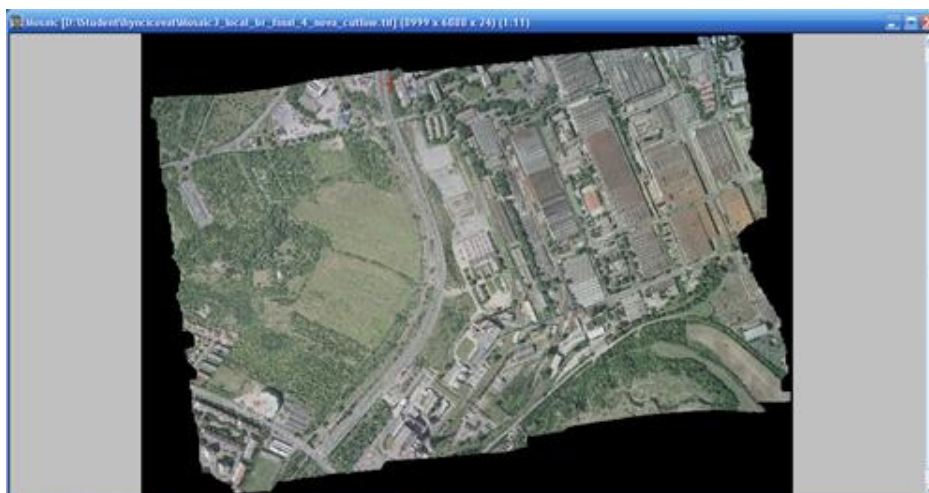
Po nastavení všech zmíněných parametrů se můžeme aktivací ikony , která zvýrazní oblast pokrytou DEM, přesvědčit, že pro celé území výsledné mozaiky je dostupný výškový model. Máme také možnost zobrazit předběžný náhled mozaiky s nízkou přesností, a to ikonou . Tento náhled vidíme na obr. 51, kde červené šrafy představují pokrytí DEM a linie spojovací čáry mezi snímky.




Obr. 51: Náhled na mozaiku

Nyní nám už nic nebrání spuštění procesu tvorby ortofotomapy, tedy procesu ortorektifikace a mozaikování, který spustíme ikonou  nebo z nabídky *Mosaic* » *Build*. Zobrazí se notoricky známé okno s výběrem adresáře uložení mapy, jejím názvem a příponou (na výběr je např. z formátů TIFF, BMP, JPEG, PNG či DGN). Jako primární výstupní formát byl zvolen formát GeoTIFF, který zajistí georeferenci ortofotomapy. Jako druhý byl vybrán formát JPEG. Verze mapy tohoto formátu byla pro lepší vizuální vjem v softwaru Adobe Photoshop ořezána.

Po výpočtu mapy trvající několik málo minut (v závislosti na nastavení parametrů a výstupním formátu) se zobrazí mozaika, viz následující obrázek:




Obr. 52: Výsledná ortofotomapa

Modul také umožňuje kontrolu provedené ortorektifikace, a to výpočtem odchylek na vlíčovacích a navazovacích bodech či na spojovacích čárách. Námí byla zvolena první z možností - *Accuracy control* spuštěná ikonou  .

N	Name	Type	Use	Ex	Ey	E _{xy}
14	*14	Tie	<input checked="" type="checkbox"/>	0.012	0.011	0.016
15	*15	Tie	<input checked="" type="checkbox"/>	0.073	-0.002	0.073
16	*16	Tie	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0e+00	0.0e+00	0.0e+00
17	*17	Tie	<input checked="" type="checkbox"/>	-0.067	0.368	0.374
18	*18	Tie	<input checked="" type="checkbox"/>	-0.009	-0.015	0.018
19	*19	Tie	<input checked="" type="checkbox"/>	-0.171	0.102	0.199
20	*20	Tie	<input checked="" type="checkbox"/>	-0.050	0.048	0.069
21	*21	Tie	<input checked="" type="checkbox"/>	-0.007	0.064	0.064
22	*22	Tie	<input checked="" type="checkbox"/>	-2.146	0.108	2.149
23	*23	Tie	<input checked="" type="checkbox"/>	-2.661	-0.369	2.686
24	*24	Tie	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0e+00	0.0e+00	0.0e+00
25	*25	Tie	<input checked="" type="checkbox"/>	-0.044	-0.057	0.072
26	*27	Tie	<input checked="" type="checkbox"/>	-0.042	-0.096	0.104
27	*28	Tie	<input checked="" type="checkbox"/>	0.077	0.012	0.078
28	*29	Tie	<input checked="" type="checkbox"/>	-0.025	-0.028	0.037

RMS: X 0.668 Y 1.405 XY 1.556 Max: X -2.661 Y -7.654 XY 7.746

Obr. 53: Kontrola na navazovacích a vlíčovacích bodech

V tomto okně, viz obr. 53, vidíme odchylky na jednotlivých bodech. Zvolením ikon v levé části dolní lišty dojde k vyhledání bodů s maximálními odchylkami ve směru osy $X(E_x)$, $Y(E_y)$ či bodu s největší polohovou chybou (E_{xy}). Ikona  v levém dolním rohu nám umožní export tohoto protokolu, který tvoří přílohu č. 7. Zde můžeme opět pozorovat maximální chybu na již zmiňovaném navazovacím bodě č. 4 ($E_{xy}=7,746\text{ m}$) a dále na navazovacích bodech č. 22 a 23 ležících v prostorech firmy Zetor tractors a. s. Chyby na těchto bodech ($E_{xy22}=2,149\text{ m}$ a $E_{xy23}=2,686\text{ m}$) mohou být způsobeny nevykreslením terénních hran z důvodu nemožnosti provedení rekognoskace oblasti a jejím umístěním na okraji snímku.

4.6.3.1 Korekce ortofotomapy

Smysl této kapitoly spočívá ve shrnutí problémů a jejich řešení při tvorbě ortofotomapy s důrazem kladeným na obrazovou dokumentaci.

Jak již bylo zmíněno, byli jsme nuceni řešit problematiku zobrazení mimoúrovňových křižovatek na ortofotomapě. Při ortorektifikaci s použitím TINu s terénními hranami došlo v těchto oblastech k následujícím deformacím:



Obr. 54: Deformace na mostech

Na obrázcích můžeme pozorovat na první pohled znatelné deformace způsobené nedostatečnou kvalitou výškového modelu v těchto oblastech (především nekorektní zapracování hran do TINu). Podíl na deformacích má jistě i fakt, že obě lokality se nachází na krajích snímků. Patrné je i to, že deformován je více ten kraj komunikace, který je vzdálenější od středu snímku.

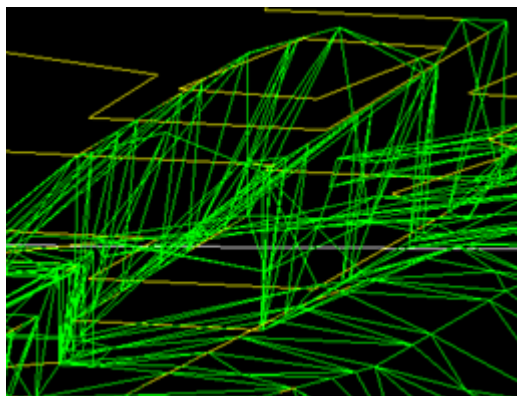
Při ortorektifikaci s použitím TINu bez hran v daných oblastech jsme dospěli k těmto výsledkům:



Obr. 55: Zobrazení mostů bez hran

Jak jsme předpokládali, deformace se pouze rozptýlila do okolí mostů, což má za následek např. vytvoření vizuálního efektu sníženiny pod levým mostem a obecně celkovou degradaci obrazu dané oblasti.

Jako další problematiku bychom chtěli zmínit pokus o vytvoření DMP pomocí propojení TINu s horními a spodními hranami budov. Již při propojení TINu s hranami byly zřejmé nedostatky, např. trojúhelníky neleží ve svislých hranách budov, ale v šikmé rovině „uvnitř budovy“, viz obr. 56. Tyto chyby byly plně prokázány („zvlnění budov“) v pokusně vytvořené mapě, jejíž výřez vidíme na obr. 57. Tím jsme se přesvědčili, že v systému *PhotoMod* nelze popsáním způsobem vytvořit „true ortofotomapu“.



Obr. 56: TIN s budovami



Obr. 57: Deformace na budovách

Pro vytvoření ortofotomapy byl doposud použit jako DMR (či DMP v případě připojení hran budov) TIN propojený s hranami, z něhož byl při importu v modulu *Mosaic* vytvořen DEM. Jak bylo zmíněno v kapitole 3.4.1, DEM je pouze 2,5D rastrový model, z čehož vyplývá, že ke každému bodu o souřadnicích X, Y přiřadí pouze jednu souřadnici Z a tím pádem připojení hran k TINu postrádá smysl.

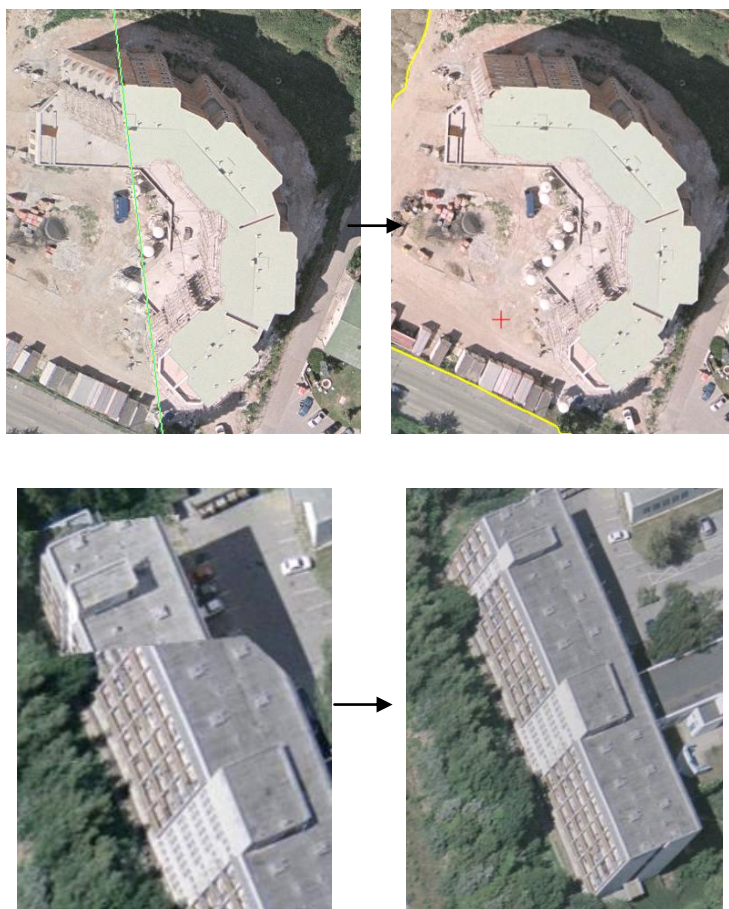
Řešením situace by mohla být možnost vytvoření DEM (v modulu *DTM*) z TINu bez připojení hran a jeho načtení zvolením možnosti DEM, viz obr. 48. V tomto okně je totiž možné samostatně připojit i *Breaklines* (terénní hrany).

Od tohoto kroku jsme očekávali definitivně korektní vykreslení v oblasti mostů a minimálně zlepšení zobrazení budov (pokus o „true ortofoto“). V oblasti mostů však došlo k podobným deformacím jako při dřívějších pokusech, viz obr. 54, a budovy byly stále zobrazeny „zvlněně“. Na některých domech však byly konečně, i když velmi mírně, patrné náznaky ortogonální projekce.

Tímto jsme problematiku DMR (DMP) ukončili a vzhledem k nejlepší vizuální stránce ortofotomapy vypočtené bez zapojení hran v blízkosti mostů (viz obr. 55), byla tato podoba vybrána jako finální verze. Musíme však zdůraznit, že tato varianta není přesnější a korektnější než ostatní pokusy. Ortoforomapa tvoří přílohu č. 8 (formát GeoTIFF) a přílohu č. 9 (formát JPEG).

Další demonstrativní skupinu ukázek tvoří deformace způsobené porušením pravidel při kreslení spojovacích čar mezi jednotlivými ortofotosnímky (viz str. 48):

- vedení cutline přes budovy:



Obr. 58: Vedení cutline přes budovy

V těchto případech bylo překreslení spojovací linie mimo budovy a tím odstranění deformací poměrně snadné. Vyskytly se však i případy, ve kterých nebylo jiné řešení než vést cutline přes objekty neležící v úrovni terénu.

Tyto případy nastaly v areálu firmy Zetor tractors a. s., kde se nachází nespočetné množství různých druhů vedení. I když jsme vyvinuli velké úsilí, aby spojovací čáry vedení neprotínala, na těchto dvou místech (viz obr. 59) jsme se tomu nedokázali vyhnout. Na pravém snímku jsme se, s ne příliš valným výsledkem, pokusili vést cutline podél budovy s cílem snadnějšího přehlédnutí této deformace.



Obr. 59: Deformace teplovodů

Důležitou problematikou při tvorbě ortofotomapy jsou též radiometrické korekce. V naší práci jsme se setkali s nepatrným problémem při spojování snímků zobrazující zalesněné území Bílé hory, viz obr. 60. Tento nedostatek byl odstraněn nastavením doplňkových lokálních parametrů vyrovnání (viz str. 50). Obecně jsme se však snažili neprotínat jasné struktury či rozlehlé, vizuálně homogenní plochy (komunikace, pole).



Obr. 60: Jasové korekce



5 Testování přesnosti výsledné ortofotomapy

Třetí část práce je věnována posouzení kvality vytvořené ortofotomapy pomocí nezávislého kontrolního měření. Samotné testování spočívá v porovnání souřadnic jednoznačně identifikovatelných bodů změřených na ortofotomapě se souřadnicemi určenými geodetickými metodami a výpočtu výběrové střední souřadnicové chyby souborů měření.

5.1 Měřické práce v terénu

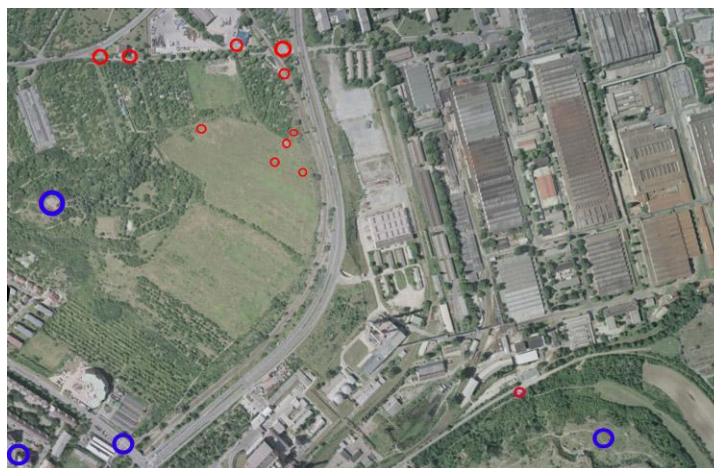
Naším cílem bylo zaměřit podrobné body rovnoměrně v oblasti pokryté ortofotomapou, abychom případně odhalili lokální nepřesnosti její tvorby. Výjimku jsme však museli učinit v areálu firmy Zetor tractors a. s., kde jsme neměli přístup.

Jako metoda podrobného měření byla zvolena metoda tachymetrická s využitím totální stanice Topcon GPS 310 a metoda GNSS, konkrétně metoda RTK (real time kinematic - relativní metoda měření v reálném čase) za využití přijímače TOPCON GRS-1 a antény TOPCON PG-A1.

Po vyhledání geodetických údajů bodů polohového bodového pole jsme provedli rekognoskaci zájmového území. Tam, kde bylo bodové pole dostačující, byla využita metoda tachymetrická. Bylo-li třeba, stávající bodové pole bylo doplněno rajony. Nové body byly stabilizovány hřeby a označeny signalizační barvou. Z měření touto metodou bylo pro testování využito 31 bodů. V lokalitách s nedostatečně hustým bodovým polem byla aplikována metoda RTK. Každý bod byl měřen dvakrát v pěti epochách. Z měření touto metodou bylo pro testování využito 21 bodů. Schematicky jsou lokality měření zobrazeny na obr. 61, na kterém modrá barva značí tachymetrickou metodu měření a barva červená metodu měření RTK.

Předmětem měření byly nejčastěji kontrastní rozhraní druhu povrchů, pozemní znaky inženýrských sítí či vodorovné značení na komunikacích. Jako měřické náčrty byly využity výřezy leteckých snímků. Díky tomu jsme v terénu mohli identifikovat, zda předmět měření je či není na snímcích zobrazen.

Naskenované měřické náčrty tvoří přílohu č. 10 a zápisníky z měření přílohu č. 11.



Obr. 61: Schéma lokalit měření



Obr. 62: Fotodokumentace měření

5.2 Výpočetní práce

Nejprve byla provedena editace zápisníku podrobného měření a vytvoření seznamu souřadnic daných bodů. Pro výpočet rajonů a podrobných bodů z tachymetrického měření byl zvolen software VKM 4. 1. 0. 2. Protokol o výpočtu souřadnic tvoří přílohu č. 12.

Pro transformaci souřadnic naměřených metodou RTK do S-JTSK byl použit globální transformační klíč. Jelikož byl každý bod měřen dvakrát, výsledné souřadnice byly určeny jako aritmetický průměr.

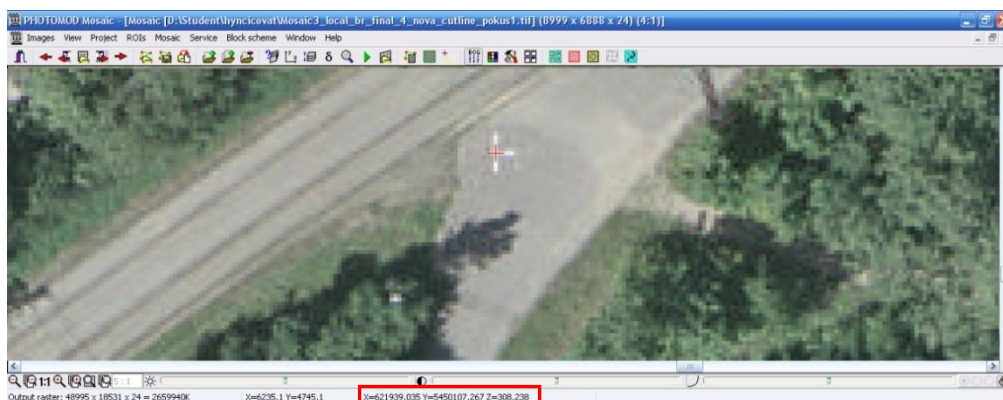
Protože je výsledná ortofotomapa zpracována v systému UTM (Univerzální transverzální Mercatorův systém souřadnic), bylo potřeba souřadnice z kontrolního měření transformovat z S-JTSK do tohoto systému. Pro výpočet podobnostní transformace jsme zvolili software Groma 7. 0. Jako identické body byly vybrány vlčovací body (8), jejichž souřadnice v S-JTSK jsme určili v rámci

kontrolního zaměření. Transformační klíč tvoří přílohu č. 13 a seznam souřadnic po transformaci přílohu č. 14. O aposteriorní přesnosti transformace svědčí hodnota střední souřadnicové chyby klíče $m_0=0,013$ m.

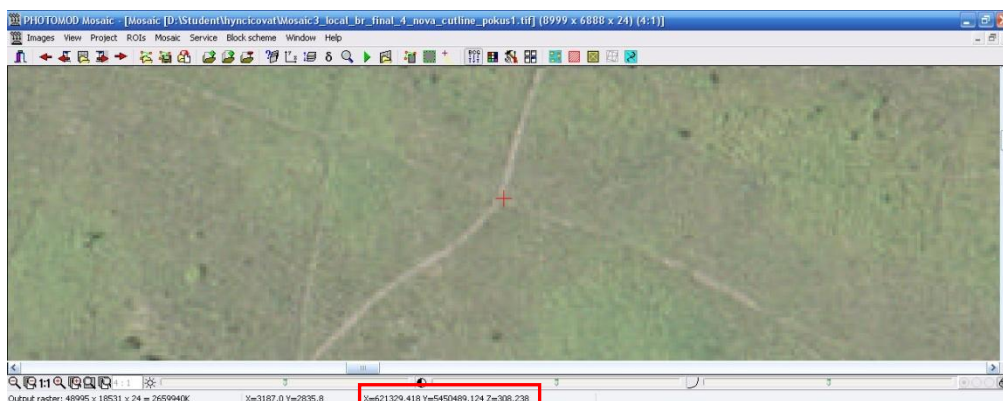
5.3 Testování přesnosti

Pro potřeby testování jsme naměřený soubor bodů rozdělili na dva menší soubory. První soubor tvoří 28 bodů na zpevněném povrchu v rovinném terénu (ulice Líšeňská a Bělohorská). Druhý soubor představuje 24 bodů na nezpevněném povrchu v členitějším terénu (Bílá hora, Stránská skála).

Následně byly v prostředí softwaru PhotoMod změřeny snímkové souřadnice testovaných bodů. U první skupiny bodů jsme převážně snadno identifikovali požadované místo na ortofotomapě, nastavení kurzoru bylo tedy bezproblémové, viz obr. 63. V druhém případě však nastavení kurzoru pro změření souřadnic bylo více či méně nejednoznačné, viz obr. 64. To potvrzuje i výsledná hodnota střední souřadnicové chyby tohoto souboru, viz následující strana.



Obr. 63: Měření souřadnic - 1. soubor bodů



Obr. 64: Měření souřadnic - 2. soubor bodů



V dalším kroku jsme v softwaru Microsoft Excel provedli analýzu souřadnicových rozdílů na testovaných bodech a výpočet výběrových středních souřadnicových chyb souborů dle ČSN 01 3410:

$$s_{xy} = \sqrt{\frac{s_x^2 + s_y^2}{2}} \quad (5.1),$$

kde s_x a s_y jsou střední chyby jednotlivých souřadnic vypočtené ze vzorce:

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{k \cdot N} \sum_{i=1}^N \Delta x_i^2} \quad s_y = \sqrt{\frac{1}{k \cdot N} \sum_{i=1}^N \Delta y_i^2} \quad (5.2),$$

kde $\Delta x_i, \Delta y_i$ jsou rozdíly souřadnic změřených na ortofotomapě a souřadnic z kontrolního zaměření, $k=2$ (kontrolní určení má stejnou přesnost jako metoda měření) a N počet nadbytečných měření.

V následující tabulce jsou přehledně seřazeny výsledné hodnoty:

Soubor č.	s_x [m]	s_y [m]	s_{xy} [m]
1 (zpevněný terén)	0,046	0,046	0,046
2 (nezpevněný terén)	0,183	0,148	0,167

Tab. 3: Výsledné střední souřadnicové chyby

Z hodnot je patrný rozdíl mezi výslednými souřadnicovými chybami jednotlivých vyhodnocovaných souborů. Velikost střední souřadnicové chyby druhého souboru je zřejmě způsobena nepřesností výškového modelu, který má největší vliv na kvalitu výsledné ortofotomapy, podpořený nejistotou nastavení kurzoru při měření snímkových souřadnic testovaných bodů. Pro představu připomínáme, že velikost pixelu výsledné ortofotomapy je 0,20 m (viz str. 49).

V rámci prvního souboru byl testován i bod z bezprostřední blízkosti problémové lokality mimoúrovňového křížení mostů. Na tomto bodě dosahoval rozdíl mezi souřadnicemi hodnot $\Delta_x = 0,19$ m a $\Delta_y = 0,59$ m. Je tedy naprosto zřejmé, že oblast je díky nekorektnímu výškovému modelu polohově deformována. Z tohoto důvodu byl bod 036000040204 vyloučen z testovaného souboru, viz příloha č. 15 - výpočet v programu Microsoft Excel.



6 Závěr

Cílem této práce bylo vytvoření ortofotomapy ze zadaných leteckých snímků v programu *PhotoMod 4.3*. Kromě výsledné digitální ortofotomapy s velikostí pixelu 0,20 m, byl v rámci práce vytvořen i DMR.

V úvodní části práce jsou dle uvedené literatury stručně popsány teoretické základy tvorby ortofotomapy.

Větší pozornost byla věnována prostřední části, která představuje detailní návod pro tvorbu ortofotomapy v systému *PhotoMod 4.3*, který např. může posloužit jako doplňkový výukový materiál, jelikož oficiální manuály nejsou v ucelené formě v českém jazyce dostupné.

V rámci této kapitoly je řešen i pokus tvorby tzv. true ortofotomapy a s tím související problém tvorby DMP v systému *PhotoMod 4.3*. Na základě našich zkušeností můžeme tvrdit, že námi výše popsaným způsobem nelze tzv. true ortofotomapu vytvořit. Podrobně komentována je problematika spojená s vytvářením TINu, DMR a DEM, volbou cutlines a nastavením radiometrických korekcí v systému *PhotoMod 4.3*. Přehledně jsou i uvedeny komentáře doplněné obrázkovou dokumentací k jednotlivým řešeným problémům vzniklým v průběhu tvorby ortofotomapy.

Závěrečná část je věnována posouzení kvality výsledné ortofotomapy pomocí nezávislého kontrolního měření. Na základě dosažených souřadnicových rozdílů byly vypočteny výběrové střední souřadnicové chyby, které svědčí o přesnosti ortofotomapy.



Seznam literatury

- ČSN ISO 690. *Informace a dokumentace - Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 40 s. Třídící znak 01 0197.
- ČSN 01 3410. *Mapy velkých měřítek - Základní a účelové mapy*. Praha: Vydavatelství norem, 1990. 19 s. Třídící znak 01 3410.
- DAVID, P., SOUKUP, V. *Brno, okolí Brna*. Praha: Nakladatelství S&D s. r. o, 2004. 244 s. ISBN 80-86050-79-3.
- FALT, J. Ortofotomapy a chyby při jejich pořizování. *Gis.vsb.cz*. [online]. [cit. 2011-1-28]. Dostupné z:
http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2003/Sbornik/Referaty/falt.htm
- GISAT s. r. o. *Obrazová mozaika*. *Gisat.cz* [online]. [cit. 2012-1-25]. Dostupné z: <http://www.gisat.cz/content/cz/sluzby/zpracovani-dat/obrazova-mozaika>
- HANZL, V. *Fotogrammetrie Modul 01*. *Moodle.fce.vutbr.cz* [online]. [cit. 2011-12-20]. Dostupné z: http://moodle.fce.vutbr.cz/file.php/262/GE15_M011.pdf
- HANZL, V., SUKUP, K. *Fotogrammetrie I*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. 94 s. ISBN 80-214-2049-9.
- KALVODA, P. *GE10 - Mapování I, Přednáška 10*. *Moodle.fce.vutbr.cz* [online]. © 2011 [cit. 2011-3-20]. Dostupné z:
http://moodle.fce.vutbr.cz/file.php/281/Prednasky/Barevne/10_GE10_DMT.pdf
- KALVODA, P. *Subpixelová detekce posunů pro určování objemových změn stavebních látek s využitím digitálního mikroskopu*. Veřejná verze. 2010. 88 s., 8 s. příl. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí disertační práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.
- MAPY. CZ. *Letecká mapa Brno - Židenice*. [online] © Geodis © Seznam.cz [cit. 2011-10-20]. Dostupné z:
<http://www.mapy.cz/#x=16.671213&y=49.193510&z=13&l=15>
- MARŠÍK, Z. *Dějiny zeměměřičtví*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 1998. 109 s. ISBN 80-214-0972-X.
- PAVELKA, K. *Fotogrammetrie 10*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2009. 200 s. ISBN 978-80-01-04249-6.
- RACURS. *Modules and Process Workflow*. *Racurs.ru* [online]. © 2004-2012 [cit. 2012-1-28]. Dostupné z: <http://www.racurs.ru/?page=555>



- RACURS. Uživatelské manuály. *Racurs.ru* [online]. © 2004-2012 [cit. 2012-2-2].
Dostupné z:
http://www2.racurs.ru/download/photomod44/ph_en_doc_080625.rar
- RAPANT, P. Digitální modely reliéfu. *Gis.vsb.cz* [online]. © 2009 [cit. 2011-12-16]. Dostupné z: http://gis.vsb.cz/rapant/vyukove_materialy/LS/DMR/DMR.htm
- SFP fotogrammetrické práce, s.r.o. Ortofotomapy. *Sfpsro.cz* [online]. © 2007-2008 [cit. 2011-12-18]. Dostupné z:
<http://www.sfpsro.cz/prezentace/Ortofotomapy.pdf>
- VÚGTK. Odborný slovník. *Vugtk.cz* [online]. © 2005-2012 [cit. 2012-1-16].
Dostupné z: <http://www.vugtk.cz/slovník/>

Seznam zkratk

GIS	Geografický informační systém
DMR	Digitální model reliéfu
GNSS	Globální navigační družicový systém
ISPRS	Mezinárodní společnosti pro fotogrammetrii a dálkový průzkum
SS	Souřadnicový systém
PVO	Prvky vnější orientace
MNČ	Metoda nejmenších čtverců
RMS	Root mean square (střední chyba)
TIN	Triangulated irregular network (nepravidelná trojúhelníková síť)
DMP	Digitální model povrchu
DEM	Digitální výškový model
ROI	Regions of interest (zájmové oblasti snímků)
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
RTK	Real time kinematic (metoda měření v reálném čase)
UTM	Univerzální transversální Mercatorův systém souřadnic

Seznam obrázků

Obr. 1: Lokalita na výřezu mapy	11
Obr. 2: Letecký snímek lokality	11
Obr. 3: Vliv výšky letu a konstanty kamery na zastínění prostoru	14
Obr. 4: Snímkový a objektový souřadnicový systém	15

Obr. 5: Princip vyrovnání bloku svazků	18
Obr. 6: Princip aerotriangulace	19
Obr. 7: Zkreslení vzdálenosti	23
Obr. 8: Vliv převýšení a způsob jeho korekce	23
Obr. 9: Porovnání barevně nehomogenní a homogenní ortofotomapy	24
Obr. 10: Systém Stereopixel	25
Obr. 11: Struktura systému	27
Obr. 12: Control Panel - vytvoření skladiště	27
Obr. 13: Okno Montage Desktop	28
Obr. 14: Okno vytvoření nového projektu	28
Obr. 15: Project manager	28
Obr. 16: Panel Block forming	29
Obr. 17: Import snímků ze souboru	29
Obr. 18: Importované snímky v 2D Window	30
Obr. 19: Modul AT	30
Obr. 20: Záložka vnitřní orientace	31
Obr. 21: Měření souřadnic rámových značek	32
Obr. 22: Dosažené maximální a střední chyby	32
Obr. 23: Automatické měření rámových značek	32
Obr. 24: Výsledky automatické vnitřní orientace	33
Obr. 25: Záložka měření vlíčovacích bodů	34
Obr. 26: Katalog vlíčovacích bodů	34
Obr. 27: Okno měření vlíčovacích bodů	35
Obr. 28: Schéma rozmístění vlíčovacích bodů	35
Obr. 29: Rozmístění navazovacích bodů	36
Obr. 30: Měření navazovacích bodů	37
Obr. 31: Základní ikony PhotoMod Solveru	38
Obr. 32: Nastavení při vyrovnání bloku svazků	38
Obr. 33: Nastavení protokolu vyrovnání	39
Obr. 34: Grafické rozhraní PhotoMod Solveru	39
Obr. 35: Vyrovnaný blok snímků	40
Obr. 36: Vytvoření kódové tabulky	41
Obr. 37: Terénní hrany - řešení 1	42
Obr. 38: Terénní hrany - řešení 2	42



Obr. 39: Grid parameters	43
Obr. 40: Naměřené pickets.....	44
Obr. 41: Accuracy control	45
Obr. 42: 3D pohled na TIN	45
Obr. 43: Výsledný TIN	46
Obr. 44: Načtení snímků	46
Obr. 45: Uspořádání snímků se zobrazením překrytů	47
Obr. 46: Detail vedení spojovací čáry.....	48
Obr. 47: Schéma snímků.....	48
Obr. 48: Nastavení parametrů - DTM	49
Obr. 49: Nastavení parametrů - Orthoimage	49
Obr. 50: Nastavení radiometrických úprav	50
Obr. 51: Náhled na mozaiku.....	51
Obr. 52: Výsledná ortofotomapa.....	52
Obr. 53: Kontrola na navazovacích a vlíčovacích bodech.....	52
Obr. 54: Deformace na mostech	53
Obr. 55: Zobrazení mostů bez hran.....	53
Obr. 56: TIN s budovami	54
Obr. 57: Deformace na budovách	54
Obr. 58: Vedení cutline přes budovy	55
Obr. 59: Deformace teplovodů	56
Obr. 60: Jasové korekce	56
Obr. 61: Schéma lokalit měření	58
Obr. 62: Fotodokumentace měření.....	58
Obr. 63: Měření souřadnic - 1. soubor bodů.....	59
Obr. 64: Měření souřadnic - 2. soubor bodů.....	59

Seznam tabulek

Tab. 1: Parametry kamery	14
Tab. 2: Přesnost ortofotomap.....	22
Tab. 3: Výsledné střední souřadnicové chyby	60



Seznam příloh

- Příloha č. 1: Parametry kamery Zeiss RMK TOP 15
- Příloha č. 2: Protokol automatické vnitřní orientace
- Příloha č. 3: Seznam souřadnic vlíčovacích bodů
- Příloha č. 4: Seznam souřadnic projekčních center
- Příloha č. 5: Geodetické údaje vlíčovacích bodů
- Příloha č. 6: Protokol vyrovnání bloku svazků
- Příloha č. 7: Protokol kontroly přesnosti ortofotomapy
- Příloha č. 8: Ortofotomapa ve formátu GeoTIFF
- Příloha č. 9: Ortofotomapa ve formátu JPEG
- Příloha č. 10: Měřické náčrty
- Příloha č. 11: Zápisníky podrobného měření
- Příloha č. 12: Protokol výpočtu souřadnic bodů
- Příloha č. 13: Transformační klíč
- Příloha č. 14: Souřadnice pro transformaci (v systému UTM)
- Příloha č. 15: Výpočet výběrových středních souřadnicových chyb

Přílohy

Všechny výše uvedené přílohy jsou součástí elektronické formy VŠKP a pro úplnost tištěné verze VŠKP jsou dostupné na přiloženém CD.