

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

PRAHA 2016

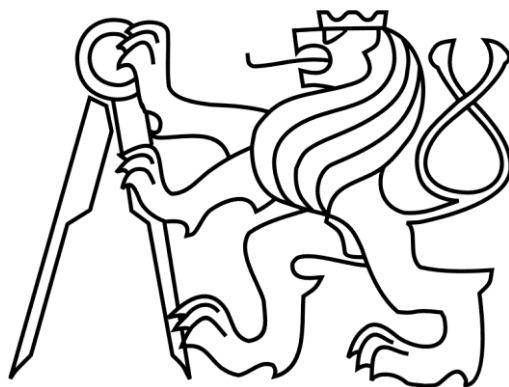
Miloslav Půbal

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program: GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

Studijní obor: GEODÉZIE A KARTOGRAFIE



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Tvorba fotoplánu rozvinutím – možnosti zpracování

Vedoucí práce: Ing. Jindřich HODAČ, Ph.D.

Katedra geomatiky

červen 2016

Miloslav Půbal



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební



Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE


Příjmení: Půbal	Jméno: Miloslav	Osobní číslo: 381489
Zadávací katedra: Katedra geomatiky		
Studijní program: Geodézie a kartografie		
Studijní obor: Geodézie a kartografie		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:	Tvorba fotoplánu rozvinutím - možnosti zpracování
Název diplomové práce anglicky:	Creation of photomap by unwrapping - processing possibilities
Pokyny pro vypracování:	
<ul style="list-style-type: none">- proveďte rešerši současného stavu technologií dostupných pro vytváření fotoplánů rozvinutím,- vytipujte vhodná a dostupná softwarová řešení pro rozvinutí za účelem testování jejich funkcionality,- prakticky se seznamte s technologickými postupy rozvinutí v získaných softwarech,- vyberte vhodný testovací objekt,- s využitím dostupných prostředků zpracujte testovací projekty,- dosažené výsledky a využití pracovní postupy/prostředky porovnejte podle vhodně zvolených kritérií,- formulujte závěry týkající se využitelnosti nástrojů a kvality výstupů získaných s jejich pomocí.	
Seznam doporučené literatury:	
Růžička, Štěpán - Možnosti tvorby fotoplánu válcového objektu. diplomová práce; Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Praha 2013	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 22. února 2016	Termín odevzdání diplomové práce: 22. května 2016
	
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

<u>25. 2. 2016</u>	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Kopie zadání

ABSTRAKT

Mezi cíle této diplomové práce patří průzkum současné situace na trhu zabývající se technologií tvorby fotoplánu rozvinutím a získání vhodných nástrojů (softwarů) do následného testování. V rámci seznámení se s danými softwary bude zkoumána jejich funkcionality, použitelnost a rozdíly dílčích výstupů pomocí jejich vzájemného porovnání. U rozvinutých snímků bude stanovena jejich relativní a absolutní přesnost a v neposlední řadě také bude posouzena jejich obrazová kvalita. Na základě těchto výsledků budou formulovány závěry a určeny výhody a nevýhody každého testovaného softwaru.

KLÍČOVÁ SLOVA

Fotoplán, rozvinutí, válcové a kuželové objekty, software PhoToPlan, software LupoScan, software PhotoUnwrap, přesnost, testování

ABSTRACT

Between the aims of this diploma thesis includes reconnaissance of current market dealing with technology of photomap creation by unwrapping method and obtaining of suitable software for subsequent testing. During familiarization with given software, its functionality, usability and differences of partial outputs will be examined using mutual comparison. Relative and absolute precision of unwrapped photos will be determined and last but not least their picture quality will be evaluated. Based on these results, advantages and disadvantages of every tested software will be determined.

KEY WORDS

Photomap, unwrapping, cylindrical and conical objects, software PhoToPlan, software LupoScan, software PhotoUnwrap, precision, testing

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení vedoucího diplomové práce Ing. Jindřicha Hodačem, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze, dne

.....

Bc. Miloslav Půbal

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce za odborné vedení a pomoc při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat Cornélii Wollmannové (spol. Faro 3D Software GmbH) a Ing. Olafu Prümmovi (spol. Lupos 3D GbR) za odborné rady týkající se poskytnutých softwarů, v neposlední řadě pak své rodině a přítelkyni za podporu při tvorbě diplomové práce i během celého studia.



Obsah

ÚVOD	8
1 TECHNOLOGICKÝ POSTUP PŘI TVORBĚ FOTOPLÁNU ROZVINUTÍM.....	10
1.1 PŘÍPRAVA A IMPORT DAT	12
1.2 PROKLÁDÁNÍ TĚLESA	13
1.3 VÝPOČET PRVKŮ VNĚJŠÍ ORIENTACE	13
1.3.1 <i>Přímá lineární transformace</i>	14
1.3.2 <i>Protínání svazků paprsků</i>	15
1.4 ROZVINUTÍ VE FOTOPLÁN A OPRAVA O DISTORZI	16
2 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA TESTOVANÝCH SOFTWAREŮ	20
2.1 PHOTOPLAN.....	20
2.2 LUPOSCAN	22
2.3 DIGICAD 3D	23
2.4 PHOTOUNWRAP.....	24
3 TVORBA FOTOPLÁNU V TESTOVANÝCH SOFTWARECH.....	25
3.1 ZPRACOVÁNÍ VE PHOTOPLAN ULTIMATE	26
3.1.1 <i>Určení distorzních parametrů objektivu</i>	32
3.2 ZPRACOVÁNÍ V LUPOSCAN PRO	33
3.3 ZPRACOVÁNÍ V DIGICAD 3D	39
3.4 ZPRACOVÁNÍ VE PHOTOUNWRAP.....	41
4 POROVNÁNÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ Z TESTOVANÝCH SOFTWAREŮ ..	43
4.1 RELATIVNÍ PŘESNOST ROZVINUTÝCH SNÍMKŮ	43
4.1.1 <i>Relativní přesnost originálních (neopravených) snímků</i>	44
4.1.2 <i>Relativní přesnost externě idealizovaných snímků</i>	46
4.2 ABSOLUTNÍ PŘESNOST ROZVINUTÝCH SNÍMKŮ	51
4.3 OBRAZOVÁ KVALITA ROZVINUTÝCH SNÍMKŮ	55
4.4 PRVKY VNĚJŠÍ ORIENTACE.....	57
4.5 PROLOŽENÍ TĚLESA.....	58



5	SHRNUTÍ VÝHOD A NEVÝHOD TESTOVANÝCH SOFTWAREŮ	60
5.1	HODNOCENÍ SOFTWARE PHOTOPLAN	60
5.2	HODNOCENÍ SOFTWARE LUPOSCAN.....	62
5.3	HODNOCENÍ SOFTWARE PHOTOUNWRAP	64
5.4	CELKOVÉ ZHODNOCENÍ POUŽITELNOSTI TESTOVANÝCH SOFTWAREŮ	65
6	ZÁVĚR.....	67
	POUŽITÁ LITERATURA	69
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	71
	SEZNAM OBRÁZKŮ	72
	SEZNAM TABULEK.....	74
	SEZNAM PŘÍLOH	75
A	PŘEHLED KONFIGURACÍ POUŽITÝCH VLÍCOVACÍCH BODŮ PRO VÝPOČET PVO	76
B	PŘÍKLAD ROZVINUTÉHO SNÍMKU VE PHOTOPLAN.....	77
C	PŘÍKLAD ROZVINUTÉHO SNÍMKU V LUPOSCAN.....	83
D	PŘÍKLAD ROZVINUTÉHO SNÍMKU VE PHOTOUNWRAP.....	88
E	RELATIVNÍ PŘESNOST ROZVINUTÝCH SNÍMKŮ	90
F	ABSOLUTNÍ PŘESNOST ROZVINUTÝCH SNÍMKŮ	101
G	OBRAZOVÁ KVALITA ROZVINUTÝCH SNÍMKŮ	108
H	OBSAH DVD-ROM	110



ÚVOD

Diplomová práce se zabývá tvorbou fotoplánu rozvinutím prostřednictvím komerčně, ale také volně dostupných softwarů, které budou získány na základě důkladného průzkumu současného trhu v oblasti softwarových nástrojů určených pro pozemní fotogrammetrii či laserové skenování. Každá nalezená společnost produkující software určený mj. k použití pro rozvinování válcových nebo kuželových plášťů bude oslovena a požádána o jeho poskytnutí pro studijní účely. Seznam a popis těchto softwarů je uveden v následujících kapitolách.

Dalším úkolem práce je nalezení adekvátního objektu, na kterém by se mohlo provést objektivní testování každého softwaru. Tímto objektem byla zvolena Malá věž na hradě Kost, jejíchž fotoplán byl již zpracováván v rámci mé bakalářské práce, viz [15]. Jeho zpracování dokázalo dostatečně prověřit software *PhotoUnwrap*. V této diplomové práci nám však nejde o vytvoření celkového fotoplánu věže, ale spíše o otestování použitelnosti a funkcionality získaných programů. Za pomoci vybraných testovacích dat bude pro každý software stanoven optimální pracovní postup pro rozvinování pořízených snímků válcového objektu do roviny fotoplánu. Výchozí datovou sadou byly snímky pořízené v rámci bakalářské práce (blíže v [15]) obsahující různé „extrémní“ situace, jako jsou například velké sklony osy záběru při pořizování snímků.

Samostatná část textu bude věnována porovnání získaných dílčích výstupů z provedených technologických úkonů, jímž jsou proložení tělesa, výpočet prvků vnější orientace a závěrečná transformace (rozvinutí) snímku do roviny fotoplánu. Jelikož jsou do testování zapojeny především komerční softwary, bude v některých případech obtížné odhadnout, jak celý proces rozvinutí probíhá (z hlediska vnitřních výpočetních algoritmů), protože společnosti své způsoby zpracování v zásadě tají. Příkladem toho, co nám není použitím komerčních softwarů zcela známo, je třeba způsob odstranění distorze objektivu, zvolená metoda pro výpočet prvků vnější orientace anebo použitá obrazová interpolační metoda. V případě obrazové interpolace bude alespoň částečně rozvedena úvaha na základě vzájemného porovnání velkého množství obrazových dat. V práci také bude zkoumána relativní a absolutní přesnost rozvinutých snímků z vytvořených přehledných grafů a tabulek, podle kterých lze odhadovat určité systematické rozdíly mezi softwary.



Na závěr se práce zaměří na shrnutí výhod a nevýhod použitých programů. Hodnocena bude například přehlednost programů, dostupné nástroje pro zpracování fotoplánu, rozsah zpracovatelnosti fotoplánu v daném softwaru, rychlost zpracování, kvalita a přesnost výstupů a další.



1 Technologický postup při tvorbě fotoplánu rozvinutím

Fotoplán, neboli překreslený fotografický snímek rovinného objektu nebo území v požadovaném měřítku (viz. Definice z [1]), je základní úlohou jednosnímkové pozemní, ale také letecké fotogrammetrie. Zpracování fotoplánu jednoduchých, málo členitých objektů (např. fasády domů) patří mezi nejzákladnější úlohy klasické jednosnímkové fotogrammetrie, jenž má podstatu v geometrickém vztahu mezi dvěma rovinami v prostoru (tzv. *Pappova věta*, popsána v [5]). V případě zpracování fotoplánu více členitých objektů (např. stavby válcového či kuželového charakteru) se jedná o technologii podstatně náročnější a to jak na výpočty, tak i na samotný sběr potřebných dat v terénu. K dispozici je nutné mít alespoň jeden snímek, minimálně čtyři vlíčovací body rovnoměrně rozmístěné na snímku, minimálně pět podrobných bodů reprezentující povrch objektu a v neposlední řadě prvky vnitřní orientace použité komory.

Pro pořízení snímků je možné využít fotografické komory měřické (dnes již využívány méně, např. *RolleiMetric*, *Wild*, *UMK*, dále v [5]), ale také neměřické (běžně dostupné digitální fotoaparáty). Volba kamery závisí především na požadované přesnosti výstupu (fotoplánu). Snímky by měly být pořízeny tak, aby osa záběru byla přibližně vodorovná a kolmá k objektu, avšak není to podmínkou (tzv. ideální konfigurace). Ve většině případů, jako je například snímkování vysokých stavebních objektů, bude osa záběru téměř vždy šikmá, pokud nebude snímkováno z oken protilehlé budovy, z teleskopických tyčí nebo dnes již hojně využívaných kvadrokoptér (dronů). Příklad snímku se šikmou osou záběru vystihuje *obr. 1*. Počet snímků je závislý na rozměrech konkrétního objektu, na typu použité fotografické komory a také na parametrech objektivu. Při pořizování více jak jednoho snímku stejného objektu je důležité, aby se snímky navzájem překrývaly.

Souřadnice vlíčovacích bodů se polohově určují metodami klasické geodézie. Mezi tyto metody patří metoda polární, protínání z úhlů či délek. Výškové určení je dáno trigonometrickým měřením. Jako souřadnicová soustava je v mnoha případech využívána soustava místní s tím, že výšky vlíčovacích bodů jsou určeny absolutně pro konečné kótování výkresu. Přesnost geodetického měření je dána požadovanou přesností výsledného fotoplánu, tj. výsledným měřítkem výkresu.



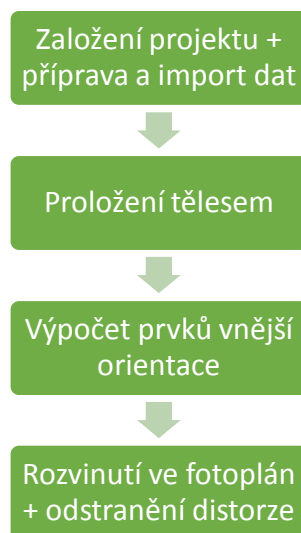
Obr. 1: Snímek se šikmou osou záběru – vrchní část Malé věže (hrad Kost)

[Zdroj: PŮBAL, Miloslav, Bakalářská práce]

Vlícovací body se volí buď přímo na objektu, nebo je možné i mimo něj. Mohou být buď přirozeně signalizované, nebo se signalizují uměle. Přirozeně signalizovanými body jsou například rohy říms, oken nebo dveří. Pro umělou signalizaci se používají nalepovací terče či obyčejná bílá křída, kterou se bod dočasně vyznačí. Jak již bylo zmíněno na začátku této kapitoly, minimální počet vlícovacích bodů je roven čtyřem pro jeden rozvíjený snímek. Je však žádoucí mít k dispozici bodů více než nutné minimum a to z důvodu zajištění vyšší přesnosti fotoplánu a v neposlední řadě také proto, že jednotlivé softwary mohou využívat různé metody pro výpočet prvků vnější orientace a tudíž se mohou lišit i počtem bodů pro korektní výpočet.

Podrobné body se zaměřují stejnými geodetickými metodami jako body vlícovací. Musí však být rovnoměrně rozloženy pouze na povrchu daného objektu, jelikož budou použity pro proložení matematickým primitivem. Jejich minimální počet je stanoven na pět, avšak zde se důrazně doporučuje tuto podmínku několikanásobně navýšit (alespoň 2x až 3x), aby bylo zajištěno kvalitní proložení.

V následujících podkapitolách budou stručně popsány technologické kroky, které je nutné vykonat v každém softwaru zabývajícím se problematikou tvorby fotoplánu válcových či kuželových objektů. Jednotlivé úkony znázorňuje *obr. 2*.



Obr. 2: Schéma technologických kroků

[Zdroj: Autor]

1.1 Příprava a import dat

Na dnešním trhu dostupné softwary pracují s běžně používanými formáty dat. Na začátku této kapitoly byly již potřebná data pro vytvoření fotoplánu zmiňována. Pro připomenutí je to minimálně jeden snímek, souřadnice vlíčovacích, resp. podrobných bodů a prvky vnitřní orientace.

Do škály hojně využívaných formátů pořízených snímků patří formát *JPEG*, *TIFF*, *PNG*, aj. Drtivá většina softwarů pracuje v *pravotočivé matematické soustavě*, a tudíž je nutné mít připraveny souřadnice všech bodů v *txt* souboru, ve kterém bude pro každý bod vyplněno: *číslo bodu, X [m], Y [m], Z [m]*. Prvky vnitřní orientace jsou většinou načítány také z *txt* souboru, avšak není to pravidlem. Odlišnosti budou popsány v dalších kapitolách týkající se bližšího testování daného softwaru.



1.2 Prokládání tělesa

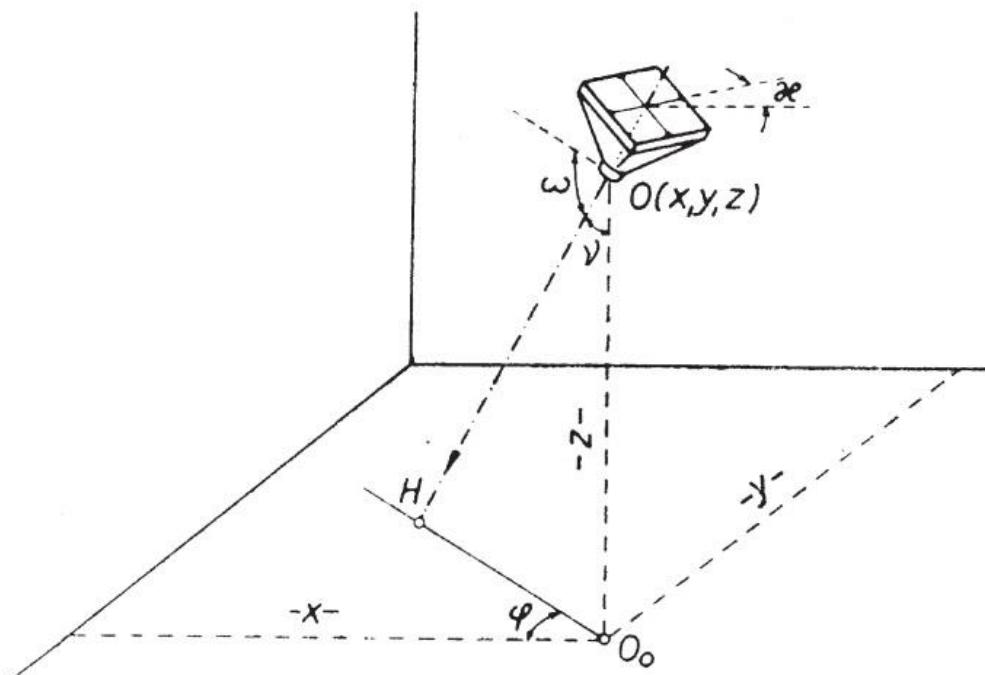
S ohledem na dříve zjištěné nevýhody u algebraického prokládání jako jsou například vážné chyby v proložení, zkrslení odhadovaných parametrů modelu, složitý převod mezi algebraickými parametry a parametry popisující těleso, obtížné testování přibližných parametrů modelu a dalších, využívají dnešní softwary prokládání ortogonální (více v [2]). Ortogonální prokládání je nutné použít vždy při nadbytečném počtu měření.

Parametry tělesa jsou určovány vyrovnáním za využití metody nejmenších čtverců, kterou stanovil slavný německý matematik Carl Friedrich Gauss roku 1795. Ortogonálním prokládáním se minimalizuje suma kvadrátů nejkratších vzdáleností bodu od tělesa. Vzdálenost je však v nelineárním vztahu s parametry objektu a proto je výpočet prováděn iteračně. Z tohoto faktu vyplývá vysoká náročnost na výpočetní techniku na rozdíl od algebraického prokládání. V dnešní době výkonných osobních počítačů však tento problém není překážkou. Na metodu ortogonálního prokládání se v současnosti kladou požadavky, jako jsou například robustnost, rychlá konvergence, nízká výpočetní a paměťová náročnost, snadná a jednotná implementace nových geometrických útvarů (bližší popis v [7]).

1.3 Výpočet prvků vnější orientace

Posledním, avšak důležitým krokem před samotným rozvinutím je výpočet prvků vnější orientace. Polohu fotogrammetrického svazku paprsků v prostoru určuje šest prvků zobrazující *obr. 3*. Těmito prvky jsou souřadnice středu promítání X_0 , Y_0 , Z_0 a úhly rotace osy záběru ω , φ , κ (bližší popis v [5]).

Metod, kterými lze určit prvky vnější orientace, je mnoho a některými z nich je možné určit současně i prvky vnitřní orientace, popřípadě také zároveň eliminovat distorzi použité fotografické komory. Každá metoda má své výhody i nevýhody a proto bývají metody často kombinovány. V následujících podkapitolách budou uvedeny dvě základní metody (přímá lineární transformace a protínání svazků paprsků), avšak jen ve stručnosti bez hlubšího matematického popisu.



Obr. 3: Prvky vnější orientace

[Zdroj: <http://igdm.vsb.cz>]

1.3.1 Přímá lineární transformace

Přímá lineární transformace neboli Direct Linear Transformation („DLT“) využívá přetvořených rovnic projektivní transformace a dle [8] je dána rovnicemi 1.1. Pomocí DLT jsou řešeny všechny orientační prvky.

$$x' = \frac{L_1X + L_2Y + L_3Z + L_4}{L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1} \quad y' = \frac{L_5X + L_6Y + L_7Z + L_8}{L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1} \quad (1.1)$$

kde: $L_1 - L_{11}$... neznámé koeficienty,

X, Y, Z ... prostorové souřadnice vlíčovacího bodu,

x', y' ... snímkové souřadnice vlíčovacího bodu.

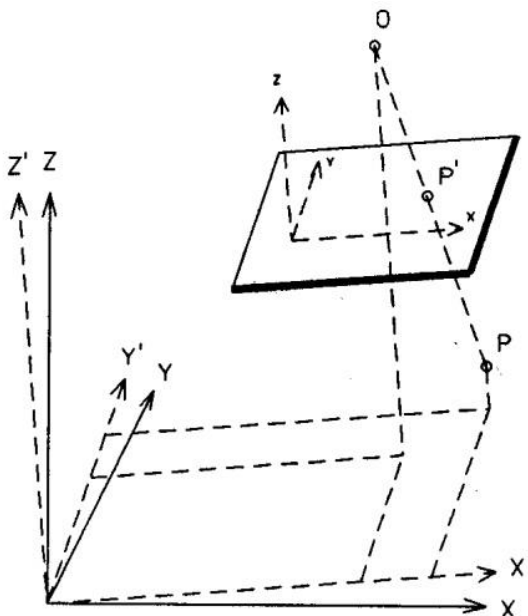
V rovnicích 1.1 se vyskytuje celkem 11 neznámých koeficientů, tudíž je nutné mít k dispozici minimálně šest vlíčovacích bodů, u kterých budeme znát jejich snímkové i geodetické souřadnice. Dle [6] nesmí vlíčovací body ležet v jedné rovině, ani se této situaci blížit, jelikož by došlo k závislosti neznámých a systém rovnic by se stal singulárním či nestabilním. Prostřednictvím vyrovnání zprostředkujících měření jsou určovány neznámé

koeficienty a následně také prvky vnitřní orientace. Pro dosažení lepších výsledků je výpočet řešen iteračně. Výhodou DLT je možnost vyhodnocení snímků bez znalosti konstanty komory nebo například snímků se srážkou v jednom směru.

1.3.2 Protínání svazků paprsků

Dle [8] odpovídá protínání svazků paprsků geometrické představě průmětu bodu do roviny snímku. Matematická formulace vychází z podmínky kolinearit, která vyjadřuje vztah mezi snímkovými a prostorovými souřadnicemi bodu. Podmínka kolinearit je dána rovnicemi 1.2 a znamená, že bodu na objektu P , jemu odpovídající snímkový bod P' a střed promítání O (projekční centrum) leží v jedné přímce. Vztah mezi souřadnicovými systémy je zobrazen na obr. 4.

$$\frac{x'-x_0}{-f} = \frac{X-X_0}{Z-Z_0} \quad \frac{y'-y_0}{-f} = \frac{Y-Y_0}{Z-Z_0} \quad (1.2)$$



Obr. 4: Vztah mezi snímkovými a prostorovými souřadnicemi

[Zdroj: <http://www.vutium.vutbr.cz>]



Rovnicemi 1.3 a 1.4 je popsán přímý vztah mezi zmiňovanými systémy obsahující i prvky vnější a vnitřní orientace.

$$x' = x'_0 - f \frac{r_{11}(X-X_0)+r_{21}(Y-Y_0)+r_{31}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0)+r_{23}(Y-Y_0)+r_{33}(Z-Z_0)} \quad (1.3)$$

$$y' = y'_0 - f \frac{r_{12}(X-X_0)+r_{22}(Y-Y_0)+r_{32}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0)+r_{23}(Y-Y_0)+r_{33}(Z-Z_0)} \quad (1.4)$$

kde: r_{ij} ... prvky rotační matice R .

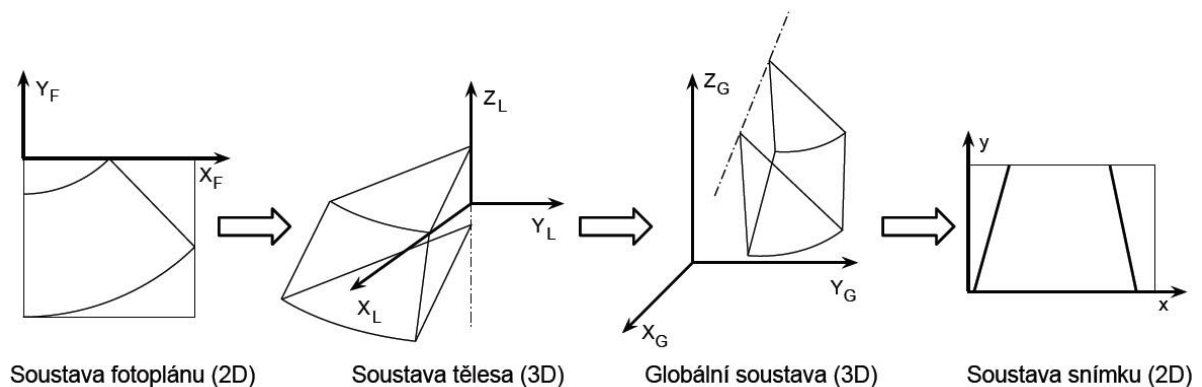
V [8] je uveden případ pro výpočet prvků vnější i vnitřní orientace pomocí vyrovnání zároveň s koeficienty radiální distorze. Celkem je tedy řešeno 12 neznámých a to konkrétně poloha středu promítání (X_0, Y_0, Z_0), úhly stočení (ω, φ, κ), poloha hlavního bodu snímku (dx', dy'), ohnisková vzdálenost (f) a koeficienty radiální distorze (K_1, K_2, K_3). V tomto případě jsou uvedené rovnice 1.3 a 1.4 doplněny o radiální distorzi a následně linearizovány pomocí Taylorova rozvoje. Pro výpočet jsou důležité dostatečně přesné přibližné hodnoty neznámých z důvodu omezení divergence výpočtu. Jako doporučená metoda pro určení přibližných hodnot se uvádí metoda DLT (popsána v podkapitole 1.3.1).

1.4 Rozvinutí ve fotoplán a oprava o distorzi

Jelikož většina společností bere své výpočetní postupy jako tzv. „know – how“, je obtížné určit, jakými metodami jsou jednotlivé technologické kroky realizovány. Proto bylo v této podkapitole čerpáno především z [2], kde je podrobně popsáno, jak probíhá transformace mezi soustavou fotoplánu a soustavou snímku v softwaru *PhotoUnwrap* a také je zde uveden jeden ze způsobů opravy distorze snímku.

Prvním krokem je příprava prázdného rastru pro výsledný fotoplán. Výpočet se liší pro každé rozvinutelné těleso, kde vstupními parametry jsou omezující intervaly tělesa a velikost pixelu. Poté je již přistoupeno k samotné transformaci, která probíhá pro každý bod zvlášť. Postup celého procesu transformace je možné vidět na obr. 5. V případě první transformace, tj. transformace ze soustavy fotoplánu do soustavy tělesa, je nutné nejprve převést jednotky soustavy fotoplánu (tedy pixely) na metry pomocí velikosti pixelu. Následně se provede výpočet souřadnic bodů X_L, Y_L, Z_L . V dalším kroku přecházíme transformací z lokální soustavy tělesa do globální soustavy tělesa, pro kterou je důležitá znalost bodu na ose tělesa

(přesněji řečeno počátek lokální soustavy tělesa) a rotačních úhlů ω , φ . Parametry tělesa se počítají během prokládání. Touto transformací se tedy získají souřadnice bodů X_G , Y_G , Z_G . Na závěr je provedena projektivní transformace (dle vztahů 1.3 a 1.4 z předchozí strany), ze které získáme snímkové souřadnice bodu x , y .



Obr. 5: Transformační kroky

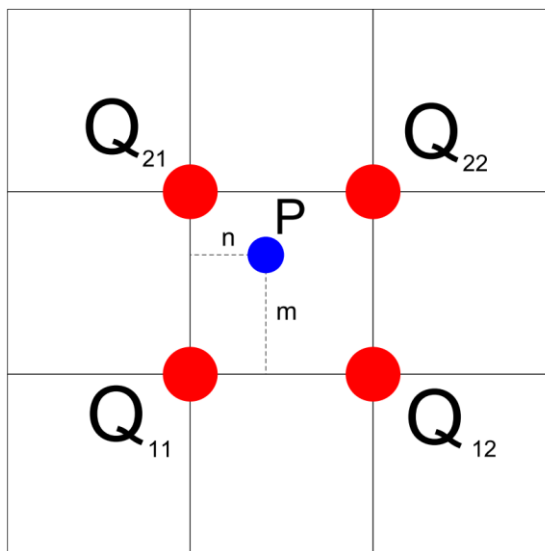
[Zdroj: RŮŽIČKA, Štěpán, Diplomová práce]

Po provedení jednotlivých transformací uvedených na obr. 5 je nutné provést v případě neidealizovaného snímku opravu o radiální distorzi například pomocí metody zpětného mapování (blíže popsáno v [4] nebo [2]), během které se postupuje od výsledného rastru k naměřeným datům.

Posledním technologickým krokem, který se provádí při tvorbě fotoplánu, je interpolace obrazu z opravených snímkových souřadnic. Existuje mnoho algoritmů, kterými lze obraz interpolovat. Dle [9] se tyto algoritmy dělí do dvou základních kategorií, konkrétně adaptivní a neadaptivní. Adaptivní kategorie obsahuje takové algoritmy, které zohledňují charakter rozdílných ploch obrazu a podle nich poté zvolí metodu interpolace. Z důvodu náročnosti se však především využívají metody z neadaptivní kategorie, kam patří například metoda nejbližšího souseda či bilineární a bikubická interpolace.

Metoda nejbližšího souseda je nejjednodušší interpolací, při které dochází pouze k replikování hodnoty intenzity barev z nejbližšího pixelu do požadovaného pixelu. Jedná se o způsob velice rychlý, nenáročný a jediný použitelný v případě indexových či černobílých obrazů. Metoda zachovává ostrost vodorovných a svislých hran obrazu, avšak nese sebou i mnoho nevýhod, jako je například „zubatost“ hran, v odborné literatuře označováno jako aliasing projevující se především při zvětšování obrazu.

Bilineární interpolace je interpolací prvního řádu (lineární interpolace ve dvou směrech) využívající matici čtyř sousedních pixelů pro výpočet parametrů nového pixelu (matice 2 x 2). Výpočet hodnoty v bodě P na *obr. 6* je možné provést dle rovnice 1.5.



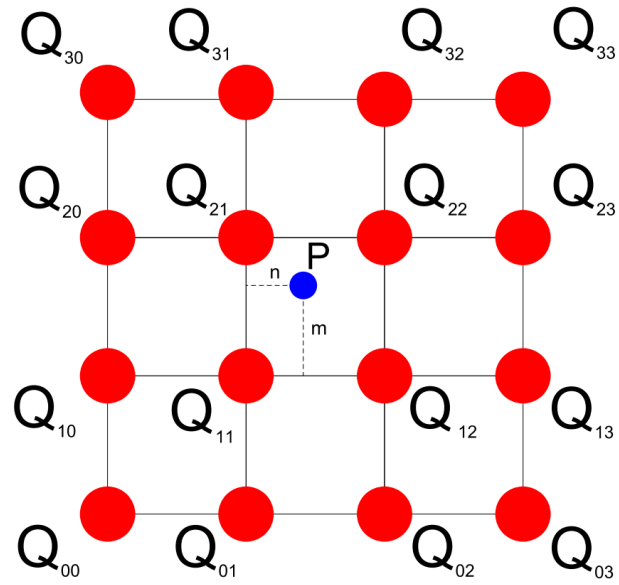
Obr. 6: Bilineární interpolace

[Zdroj: Autor]

$$P(m, n) = m \cdot (nQ_{22} + (1 - n) \cdot Q_{21}) + (1 - m) \cdot (nQ_{12} + (1 - n) \cdot Q_{11}) \quad (1.5)$$

U tohoto typu interpolace se nevyskytuje negativní účinek aliasingu jako u metody nejbližšího souseda, tudíž jsou její výsledky mnohem jemnější. Nevýhoda metody se skrývá v neostrosti hran, a proto se obraz jeví jako rozostřený.

Interpolace polynomem třetího stupně neboli bikubická interpolace využívá šestnácti okolních hodnot (matice 4 x 4). Rozdíl od předešlých metod je v prokládání interpolace kubickou křivkou čtyřmi body v jedné dimenzi. U výše popisovaných způsobů se jednalo o prokládání přímkou. Výpočet hodnoty v bodě P na *obr. 7* je realizován pomocí vztahu 1.6. K výpočtu je také nutná znalost váhových funkcí. Interpolace je oproti předchozím více výpočetně náročnější, avšak poskytuje nejlepší výsledky. Metoda je odolná proti aliasingu, vhodná pro zvětšování i zmenšování obrazu a zachovává ostrost hran. Nevýhodou může být fakt, že obraz bývá více „kostičkováný“ oproti bilineární interpolaci.



Obr. 7: Bikubická interpolace

[Zdroj: Autor]

$$P(m, n) = \sum_{i,j=0}^3 c_i \cdot (m) \cdot c_j(n) \cdot Q_{ij} \quad (1.6)$$



2 Základní charakteristika testovaných softwarů

Tvorbou fotoplánů jednoduchých objektů (fasády domů, fresky, aj.) se zabývá mnoho světových i tuzemských společností, které vyvíjejí i vlastní software. Za zmínku stojí například software *PhoToPlan* [10], *TopoL xT* [3] či freeware *SIMPPhoto* vytvořen v rámci diplomové práce Ing. Davidem Čížkem [4]. Náročnějšími objekty, co se tvorby fotoplánu týče, jsou objekty válcového či kuželového tvaru. Těmito případy se zabývá méně společností, avšak nabídka je stále dostatečně široká. Jako příklad mohu uvést společnost *Faro 3D Software GmbH* [10], *Lupos 3D GbR* [11], *Interstudio* [12], *Fokus GmbH* [13], *Ad Hoc 3D Solutions* [14], *PointCAB* [17]. Tyto firmy byly osloveny a požádány o poskytnutí jejich programů ke studijním účelům. Reakce oslovených společností byly různé a to jak pozitivní (např. spol. Faro 3D a Lupos 3D), negativní (spol. Ad Hoc 3D Solutions) nebo vůbec žádné (spol. Interstudio). Kladně se vyjádřila také německá společnost Fokus GmbH, avšak měla za požadavek osobní návštěvu v sídle firmy, kde by proběhlo základní seznámení s pracovním postupem pro zpracování fotoplánu válcových či kuželových objektů v jejich softwaru – *metigo3D*. To však bylo z časových i finančních důvodů nemožné.

Výčet získaných a do testování zahrnutých programů v rámci diplomové práce:

- *PhoToPlan* [10] (verze *Ultimate*)
- *LupoScan* [11] (verze *Pro*)
- *DigiCAD 3D* [12]
- *PhotoUnwrap* [2]

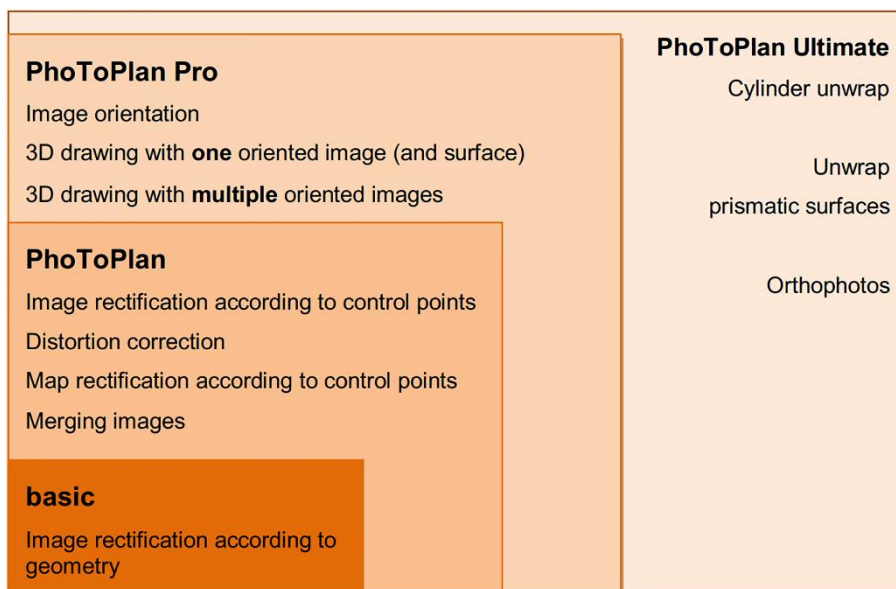
2.1 PhoToPlan

PhoToPlan je nadstavba AutoCAD, jejíž vlastníkem je jedna z předních německých firem zabývajících se fotogrammetrickým vyhodnocením snímků (viz. [10]). Účelem je zpracování digitálních snímků, map a plánů a následně jejich interpretace a hodnocení. Kromě toho, že software umí zpracovávat snímky fasád, stropů, zdí či podlah s freskami, také umí rektifikovat staré mapy a plány ve správném měřítku.

Od verze *PhoToPlan Pro* je možné orientovat snímky pomocí vřícovacích bodů a poté je využít pro 2D nebo i 3D vyhodnocení. Tímto způsobem lze jednoduše získat trojrozměrné



modely nebo 2D plány. Verze *PhoToPlan Ultimate* je rozšířena o další funkce, jakou jsou rozvinutí válcových nebo lomených ploch a tvorba ortofota. Software podporuje zpracování více snímků najednou. Jednotlivé verze a jejich možnosti využití pro fotogrammetrické účely jsou zobrazeny na *obr. 8*.



Obr. 8: Dostupné verze softwaru PhoToPlan

[Zdroj: Manuál k softwaru PhoToPlan]

Uváděné doporučené systémové požadavky na verzi PhoToPlan 16.5 jsou:

- AutoCAD (LT) 2013 a novější,
- operační systém v souladu s požadavky AutoCADu → Windows XP a novější (doporučeno 64bit systém pro práci s velkými fotografickými projekty),
- použití certifikovaných grafických karet společností AutoDesk.

V případě použití starší verze AutoCAD poskytuje společnost zákazníkům starší verze PhoToPlan.

Pronájem jedné licence softwaru *PhoToPlan Ultimate* činí 3 290 € (cca 89 000,- Kč ke dni 11. 3. 2016), následné prodloužení o rok 495 €. V ceně je zahrnut servis i technická podpora v případě výskytu problému. Dále je nutné připočíst i cenu licence samotného softwaru AutoCAD, jejíž pronájem na 1 rok aktuálně činí cca 11 700,- Kč.



2.2 LupoScan

Dalším softwarem získaným také od německé společnosti je program *LupoScan* (více v [11]). Jak již samotný název napovídá, je především určen pro vyhodnocení dat pořízených laserovým skenováním. Avšak po menších úpravách je možné použít i libovolné 3D mračno bodů určené metodami klasické geodézie. Program podporuje import i export běžných CAD formátů, což je jedna z jeho velkých výhod. LupoScan se nabízí ve třech verzích, konkrétně *Light*, *Basic* a *Pro*. Software zvládá například filtrování i eliminaci odlehlých měření, vytvoření jednoduchých objektů (linie, polygony, plochy, atd.), tvorbu ortofota, obarvení naskenovaných dat pomocí pořízené fotografie a další. Verze *Pro* podporuje mj. proložení tělesa, orientaci snímků a závěrečné rozvinutí. Pro bližší představu, co jednotlivé verze nabízí, je zde obr. 9.

Functions of <i>LupoScan</i>	Light	Basic	Pro
2D-Viewer and 3D-Viewer	✓	✓	✓
Import (Z+F, Faro, Riegl, E57, stl, obj, ply, pts, ptx, ptg, ptb...)	✓	✓	✓
Save/Export (E57, l3d, dxf, stl, vml, pts, ptx, ptg, osf, ptb, tiff...)	✓	✓	✓
Direct interface to AutoCAD, BricsCAD, ARES, progeCAD	✓	✓	✓
Direct interface to Rhino	✓	✓	✓
Direct interface to VIS-All	✓	✓	✓
Distance measurement (direct, horizontal, vertical)	✓	✓	✓
Point measurement with codes from code lists	✓	✓	✓
Interactive - easy modelling of geometric objects	✓	✓	✓
Insertion of text and links	✓	✓	✓
Quick-orthophoto	✓	✓	✓
Quick-sections	✓	✓	✓
Generation of normal- and spot-images	✓	✓	✓
Generation of Animations	✓	✓	✓
Image rectification	✓	✓	✓
Various filter functions		✓	✓
Orientation with correlation and point preview		✓	✓
Transformation		✓	✓
Mesh		✓	✓
Sections according user defined planes or polygons		✓	✓
Radial sections according a user defined axis		✓	✓
Colourizing laser scans with panoramic images		✓	✓
Adjusted solids (plane, cylinder, sphere)			✓
3D modelling tools			✓
Orthophotos			✓
Unfolded cylinder, cone and sphere			✓
Deformation analysis			✓
Volume calculation			✓
Orientation of photos			✓
Include external photos in the scans/orthophotos			✓
Batch processing			✓

Obr. 9: Přehled jednotlivých verzí softwaru *LupoScan*

[Zdroj: <http://www.lupos3d.com/downloads/info/LupoScan-Flyer-en.pdf>]

Zjištěná cena licence na 1 rok pro *LupoScan Pro* činí 6 400 € (cca 173 000,- Kč ke dni 11. 3. 2016).

2.3 DigiCAD 3D

DigiCAD 3D [12] je jeden z mnoha produktů italské společnosti Interstudio, který zvládá eliminaci perspektivní deformace, transformaci části snímků, zprůhlednění snímků, mozaikování více snímků, transformaci s použitím pouze dvou bodů, přibližnou transformaci bez jakéhokoliv měření, rozvinutí zakřivených ploch a odstranění deformace snímků pomocí geometrie, opravení a georeferencování map, digitalizování, tvorbu textur z fotografií fasád a další.

Pro bezplatné vyzkoušení softwaru nabízí společnost časově omezenou licenci na jeden měsíc (viz webové stránky společnosti [12]). Po vypršení zkušební lhůty je možné si zakoupit licenci na 1 rok, jejíž hodnota činí 450 € (cca 13 000,- Kč ke dni 11. 3. 2016).



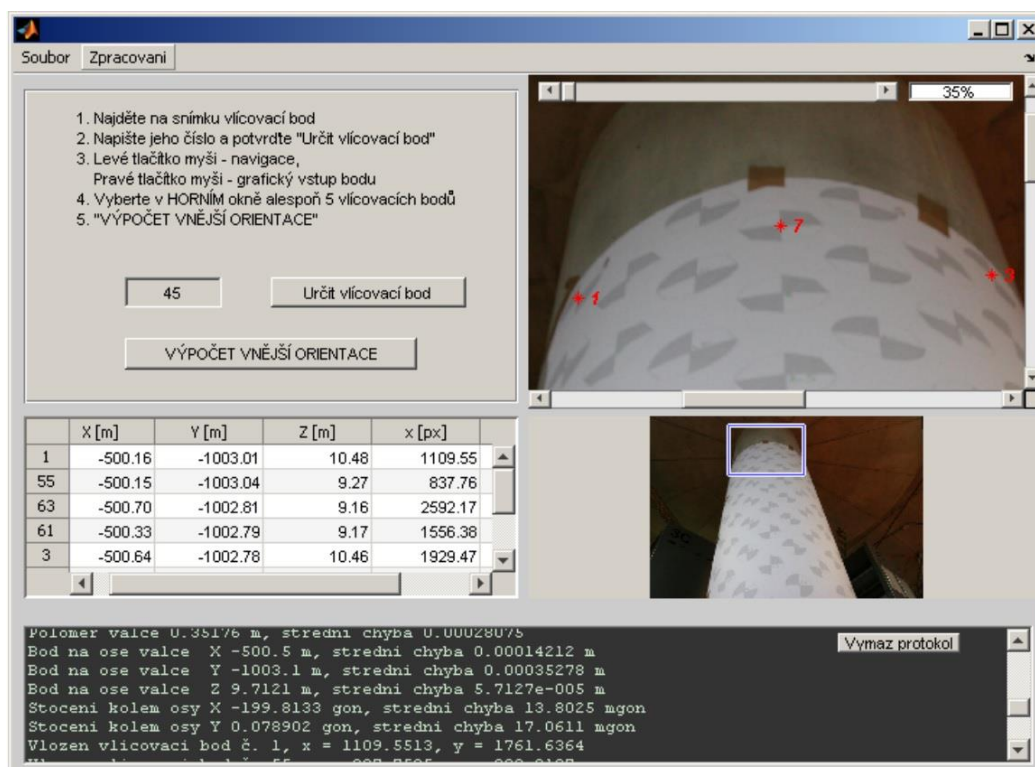
Obr. 10: Příklad rozvinutí pomocí geometrie v softwaru DigiCAD 3D

[Zdroj: <http://en.interstudio.net/DigicadE.html>]



2.4 PhotoUnwrap

Jedná se o freeware, který je na vyžádání poskytován Katedrou geomatiky na ČVUT v Praze. Vytvořen byl v rámci diplomové práce Ing. Štěpána Růžičky (viz [2]) a slouží k rozvinutí válcových nebo kuželových plášťů do roviny fotoplánu. Celý program se spouští v prostředí *Matlab* pomocí *m-file* souboru a nebo *exe* souborem, který je spustitelný pomocí *Matlab Compileru*. Software je specializován výhradně na tvorbu fotoplánu metodou rozvinováním a tudíž se zde nachází funkce jako proložení tělesem (válec, válec s daným poloměrem, kužel), výpočet prvků vnější orientace, rozvinutí snímku (volba ze tří typů interpolací, zvolení velikosti pixelu), idealizace snímku a závěrečné uložení v libovolném formátu.



Obr. 11: Pracovní prostředí PhotoUnwrap

[Zdroj: RŮŽIČKA, Štěpán, Diplomová práce]

Jak již bylo zmíněno *PhotoUnwrap* je freeware, avšak k jeho spuštění je zapotřebí software *Matlab*, jehož cena pro běžného uživatele (bez možnosti využití akademických licencí) činí cca. 72 000,- Kč. V případě použití *Matlab Compileru* je to cca. 142 000,- Kč. V obou případech se jedná o časově neomezené licence.



3 Tvorba fotoplánu v testovaných softwarech

V této kapitole bude popsán postup tvorby fotoplánu v jednotlivých softwarech s využitím vybraných testovacích dat, které byly pořízeny na hradu Kost. Mezi testovací data patří *dvě sady o devíti snímcích*. První sada obsahuje originální snímky, které jsou zatíženy zkreslením. U těchto snímků bude idealizace provedena příslušným testovaným softwarem. Druhá sada obsahuje snímky, které jsou již předem idealizovány v softwaru *SIMPhoto* s využitím parametrů z kalibrace provedené v bakalářské práci [15] a tudíž již nebude idealizace dále prováděna. Mezi vybranými testovacími daty se dále nachází *118 podrobných bodů* reprezentující povrch tělesa (slouží také jako *body vlíčovací*) a *prvky vnitřní orientace* použité fotografické komory určené kalibrací pomocí testovacího pole v softwaru *PhotoModeler Scanner*. Pro pořízení snímků byl použit fotoaparát *Canon EOS 5D Mark II* s objektivem *Canon EF 50mm f/1.8 II* a pro geodetické zaměření bodů *Trimble 3600 DR*. Blíže popsáno v [15]. Veškerá vstupní data jsou umístěna na přiloženém DVD (složka *01_TESTOVACI_DATA*).

Aby bylo zajištěno testování softwarů za stejných podmínek, bude použita vždy pro daný snímek stejná konfigurace vlíčovacích bodů pro výpočet prvků vnější orientace a na závěr bude volena velikost pixelu výsledného fotoplánu *2 mm*. Jedinou odlišností v testování bude fixace poloměru a výběr viditelných podrobných bodů na snímku při prokládání tělesem v softwaru *PhotoUnwrap*. Pokud nevybereme pouze ty podrobné body, které se nacházejí na daném snímku, skončí výpočty chybou, jenž byla odhalena při zkoumání programu a technologie rozvinutí v rámci mé bakalářské práce, podrobnější popis v [15], kapitola 8.2.2. Konfigurace použitých vlíčovacích bodů na jednotlivých snímcích je zobrazena v *Příloze A* nebo na přiloženém DVD (složka *01_TESTOVACI_DATA/03_NACRTY_PREHLEDKY*), kam byly umístěny i měřické náčrty se zákresem polohy všech měřených bodů.

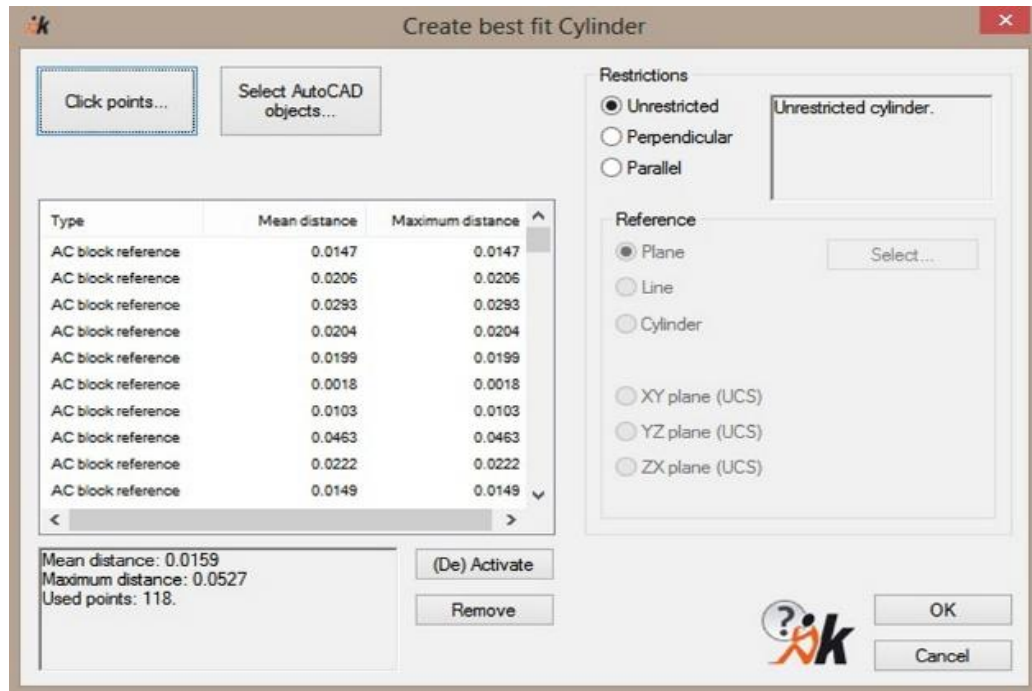


3.1 Zpracování ve PhoToPlan Ultimate

Práce začíná standartním založením nového výkresu v programu *AutoCAD*. Poté se již pracuje pouze s nadstavbou *PhoToPlan* určenou pro fotogrammetrické účely.

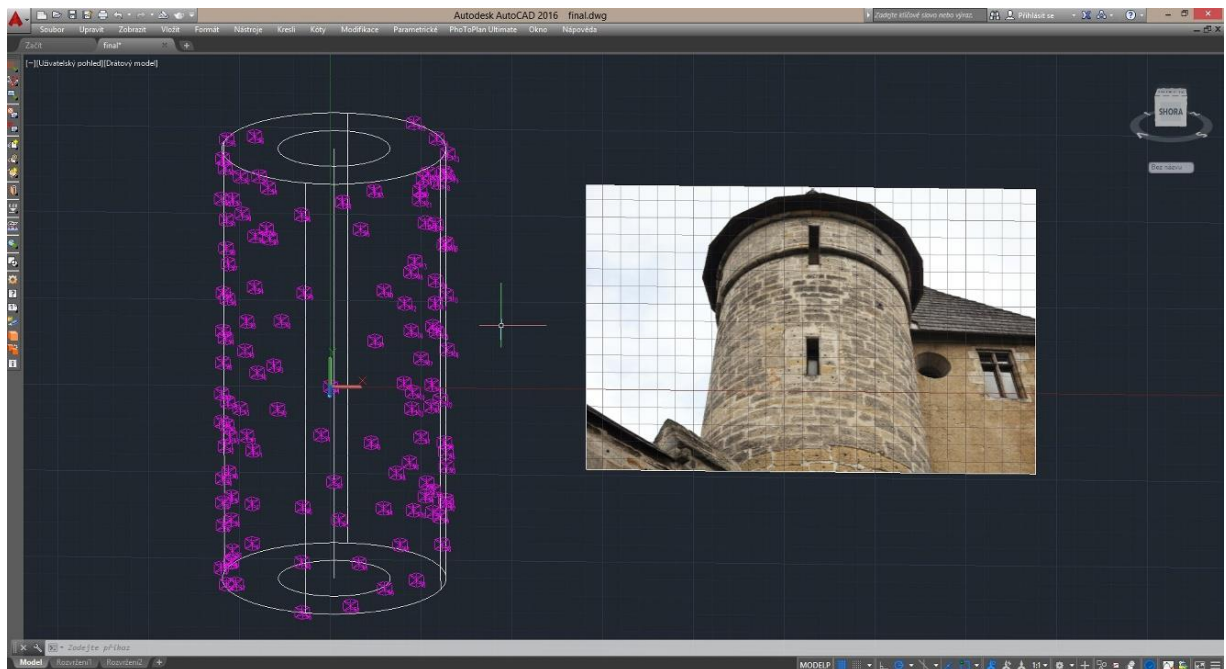
Prvním krokem je načtení souřadnic bodů pomocí nabídky *Control Points* → *Import Control Points*. Po spuštění příkazu se vybere příslušný *txt* soubor s body. Dále je doporučeno zkontrolovat atributy importovaného souboru (*File format*), kde je možné nastavit pořadí sloupců, jejich oddělovače (mezera, tabulátor, středník), použití desetinné čárky či tečky, atd. Body se po importu mohou dodatečně editovat, tj. mazat, přidávat nové, přesouvat, domodelovávat pomocí protínání přímek. Dalším doporučeným krokem je stanovení místního souřadnicového systému prostřednictvím dvou a více bodů a to v menu *UCS* → *Define rectification plane*. Použitím tohoto místního souřadnicového systému zajistíme umístění všech vkládaných dat do stejného pohledu a výrazně se tak zjednoduší práce s nimi. Na závěr se do vytvořeného výkresu vloží snímek nebo snímky ve formátu *BMP*, *JPEG*, *PNG* nebo *TIFF*, které je možné zprůhlednit, ořezávat, mazat, atd. Na *obr. 13* je možné shlédnout pracovní okno softwaru a zobrazení importovaných dat.

Import důležitých dat byl již proveden, tudíž je možné přistoupit k proložení tělesa. Požadavkem softwaru *PhoToPlan* na proložení válcem je minimálně *devět* bodů charakterizující povrch daného válcového objektu. Samotný výpočet se provádí pomocí záložky *3D Surface* → *Create best fit cylinder*, zde se vyberou veškeré body, které se použijí pro proložení. Body lze označit jednotlivě nebo hromadně pomocí „ohrady“. Výpočet je proveden metodou nejmenších čtverců. To znamená, že je minimalizován součet čtverců ortogonálních vzdáleností všech vybraných bodů z povrchu válce. Přidáním bodů do výpočtu jsou počítány jejich průměrné a maximální vzdálenosti od vymodelovaného pláště válce. Na základě těchto vzdáleností mohou být body z výpočtu vypuštěny, aby bylo zajištěno nejpřesnější proložení. Dialogové okno pro proložení válce je znázorněno na *obr. 12*, samotné proložení pak na *obr. 13* vlevo.



Obr. 12: PhoToPlan – Funkce pro proložení tělesa

[Zdroj: Autor]



Obr. 13: PhoToPlan – Pracovní okno, importovaná data (body, snímek) a proložené těleso

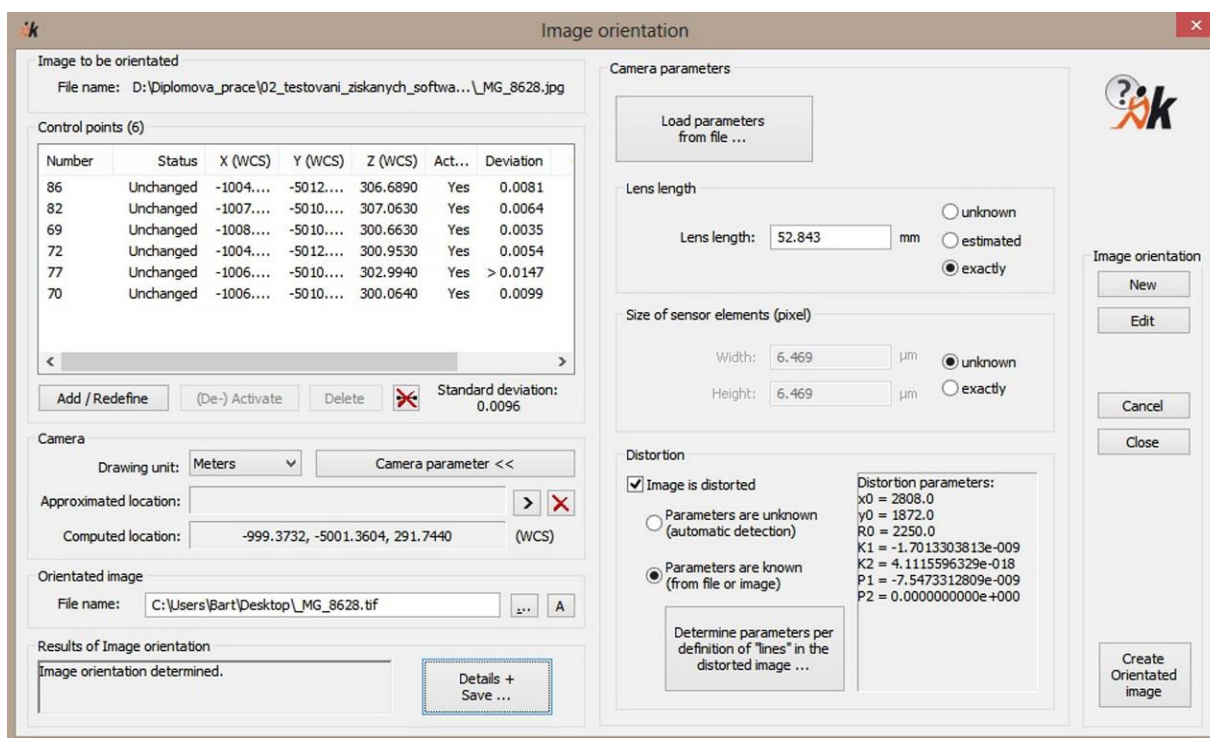
[Zdroj: Autor]

Po proložení tělesa přichází na řadu orientace snímku, která se provádí pomocí záložky *Oriented images* → *Image orientation*. Pokud už byl snímek dříve orientován, lze ho do výkresu jednoduše přidat pomocí nabídky *Load oriented image*. Spuštěním příkazu pro orientaci snímku musíme nejprve určit snímek, který chceme zpracovávat (tlačítkem *New* a označením daného



snímku) a dále pak definovat polohu vřícovacích bodů na válci a na snímku (tlačítko *Add/Redefine*). Důležité je stanovit, zda je snímek zkreslený nebo již idealizovaný. To se provádí tlačítkem *Camera parameter* a dále v sekci *Distortion*. Zde je možné si povšimnout, že software opravuje snímek zároveň při výpočtu prvků vnější orientace oproti metodě použité u softwaru PhotoUnwrap, jenž byla zmíněna v kapitole 1.4, tj. metoda zpětného mapování. Parametry distorze lze načíst z textového souboru s příponou *.vp2 nebo je určit pomocí geometrie přímo v programu (tlačítko *Determine parameters per definition of „lines“ in the distorted image...*). Dialogové okno určené pro provedení orientace snímku zobrazuje obr. 14. Určením distorzních parametrů v tomto softwaru se bude blíže věnovat podkapitola 3.1.1.

Aby bylo možné určit orientaci snímku, bude potřeba minimálně *devět vřícovacích bodů*. Potřebný počet vřícovacích bodů může být snížen na *šest*, pokud je již snímek idealizovaný nebo pokud jsou známé parametry zkreslení a tudíž nebudou počítány softwarem. Pokud je dále také známá ohnisková vzdálenost použité kamery a velikost snímacího prvku (pixelu), vystačí si výpočetní algoritmus pouze se *čtyřmi vřícovacími body*. Po zadání nutných bodů je software schopný automaticky dopočítat a graficky určit předpokládanou polohu dalších námi zadávaných bodů.



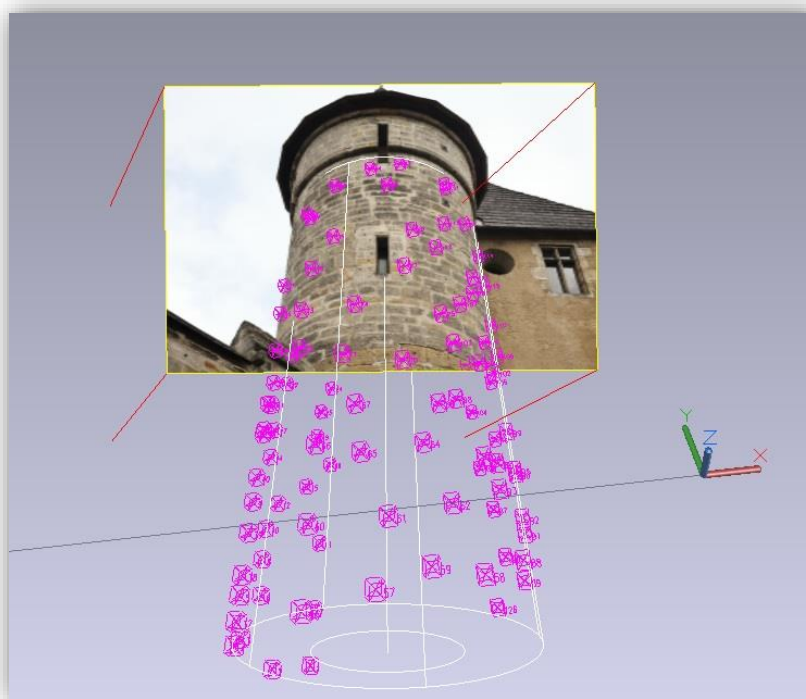
Obr. 14: PhoToPlan – Funkce orientace snímku

[Zdroj: Autor]

Na základě jednotlivých polohových odchylek a celkové směrodatné odchylky, které software počítá, je možné odlehlé či chybně identifikované body z výpočtu vynechat. V rámci testování byla stanovena mezní prostorová odchylka rovna 2 cm.

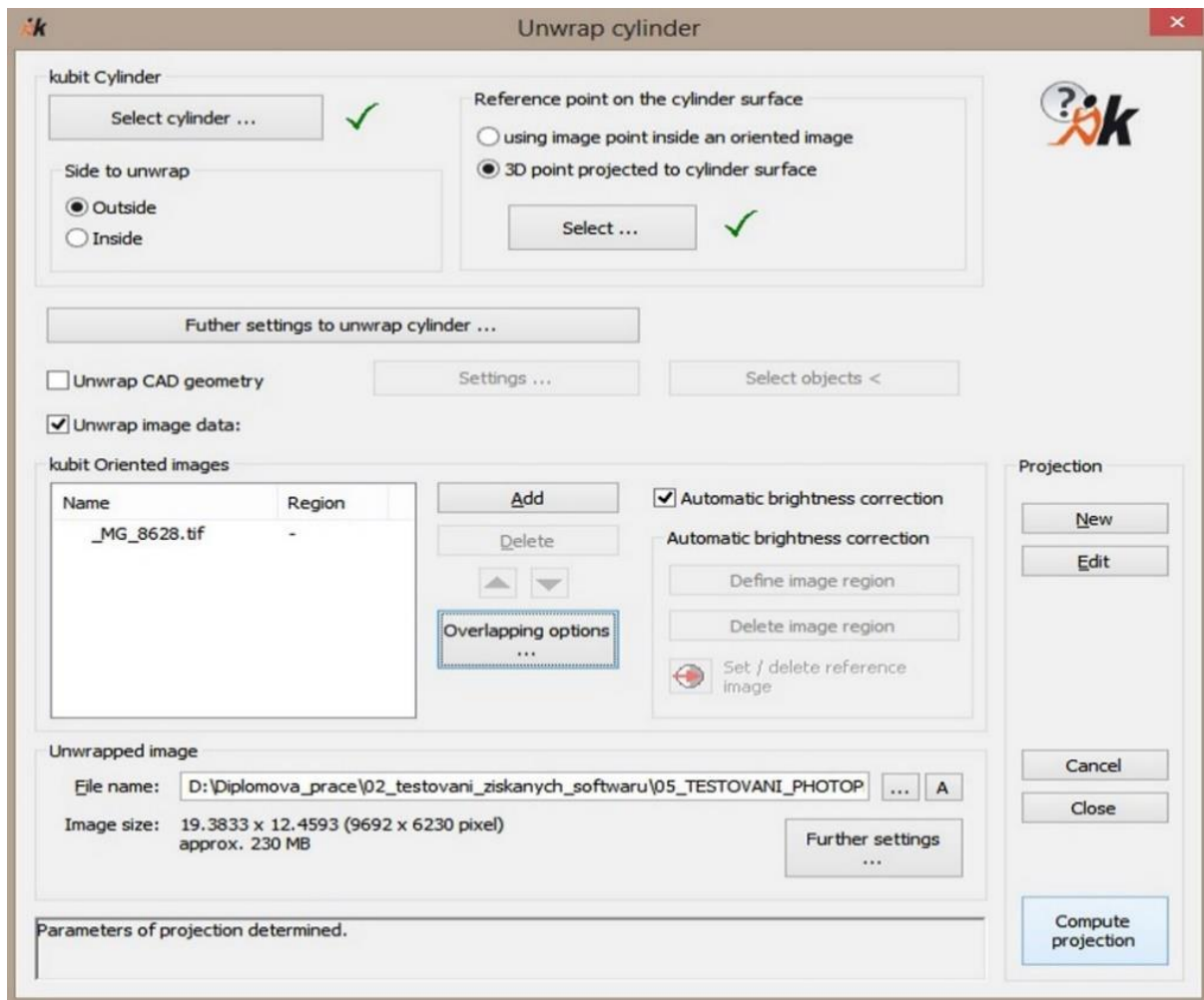
Na závěr se pouze určí místo uložení, požadovaný formát a je možné zkontrolovat vypočtené prvky vnitřní i vnější orientace pomocí tlačítka *Details + Save*. Po tomto nastavení je již možné spustit výpočty (tlačítka *Create Oriented Image*) a software provede orientaci snímku. Jako příklad provedené orientace je zde uveden obr. 15. Software ukládá spolu s orientovaným snímkem i dva protokoly o výpočtu s příponou *.ori a *.prk.

Posledním krokem je samotné rozvinutí, které se spouští pomocí příkazu *Image Computations* → *Unwrap cylinder*, náhled dialogového okna je na obr. 16. Do funkce vstupuje vytvořený válec (z proložení), orientovaný snímek (možno i více snímků) a dále je nutné vybrat referenční bod na ploše válce nacházející se přibližně uprostřed rozvíjeného pláště. Na závěr je nutné opět určit místo uložení a požadovaný formát rozvinutého snímku. Dále je optimální nastavit velikost pixelu rozvinutého snímku, pokud se pracuje s více než jedním snímkem (nastavení v *Futher settings*). Zde byla v rámci testování pro každý snímek zadávána velikost pixelu rovna 2 mm. Samotný proces rozvinutí se spouští tlačítkem *Compute projection*, příklad rozvinutí viz obr. 17.



Obr. 15: PhoToPlan – Příklad orientovaného snímku

[Zdroj: Autor]



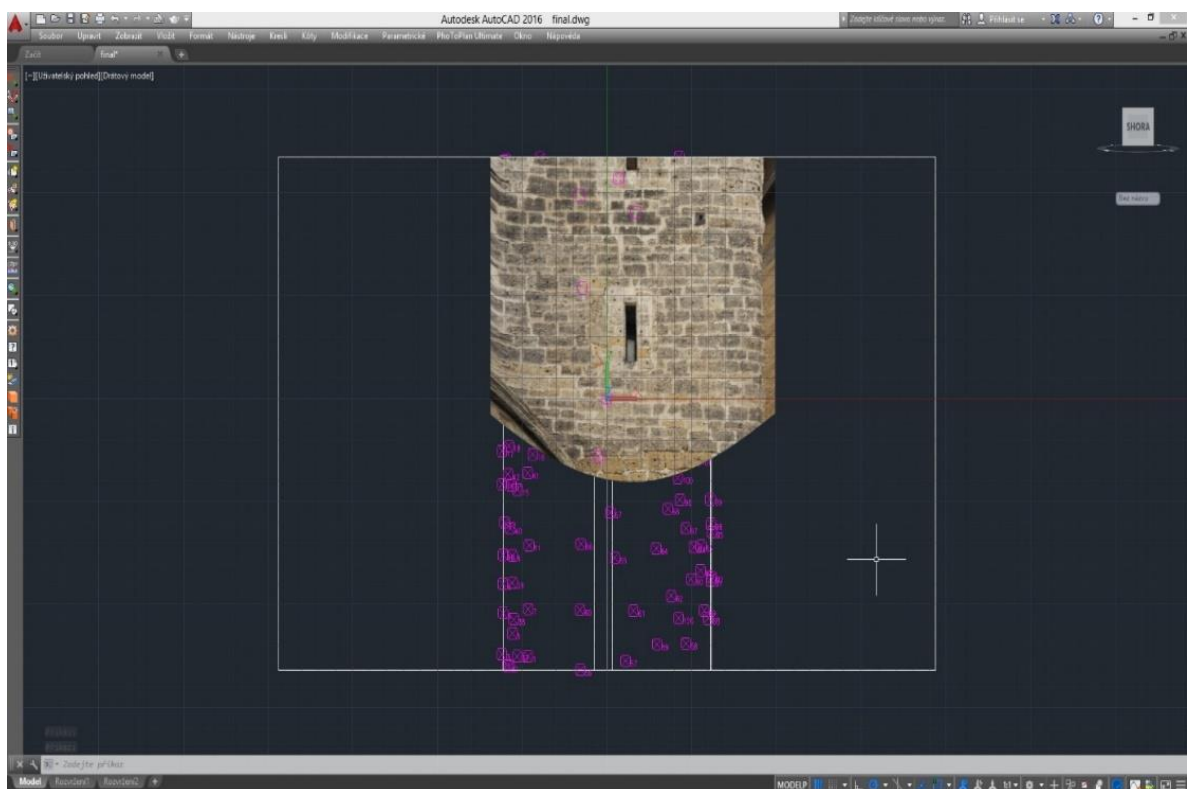
Obr. 16: PhoToPlan – Funkce rozvinutí

[Zdroj: Autor]

Software umožňuje při práci s více překrývajícími se snímky automatické ořezání a automatické vyvážení jasu tak, aby uživatel nemusel použít jiného softwaru pro jejich maskování a mozaikování. Pro využití této funkce je potřeba definovat referenční snímek a spolu s ním i oblast na snímku, podle které bude vyvažován jas na ostatních sousedících snímcích (veškeré nastavení se provádí v *Automatic brightness correction*). Dále je nutné určit, jakým způsobem bude nakládáno s překrývajícími se snímky (v *Overlapping Options*). Nabízeny jsou čtyři možnosti: použití obrazových dat podle nejlepšího úhlu dopadu, použití průměrných obrazových dat podle úhlu dopadu, použití snímků dle seřazení v seznamu, vytvoření samostatných rozvinutých snímků. Při zpracování většího projektu je však funkce velmi časově a hardwarově náročná. V rámci seznamování se se softwarem byla funkce vyzkoušena, avšak dále nepoužívána. Příklad automatického ořezání a korekce jasu pro více snímků je k nahlédnutí v *Příloze B*.



S rozvinutými snímky ukládá software také příslušný protokol v textovém formátu *.prk, dále je možné uložit se snímkem georeferenční soubor s příponou *.TFW (případně *.JGW, *.PGW, atd., záleží na formátu ukládaného obrázku) sloužící pro automatické umístění rastrového obrázku při dalším použití (příkaz *Export* → *Create ESRI World Files*). Příklad rozvinutého snímku s příslušnými protokoly je možné shlédnout v *Příloze B* a dále pak na přiloženém DVD (složka *02_ZPRACOVANI/01_PHOTOPLAN*), kde jsou umístěny celé CAD projekty, které byly vytvořeny v rámci testování.



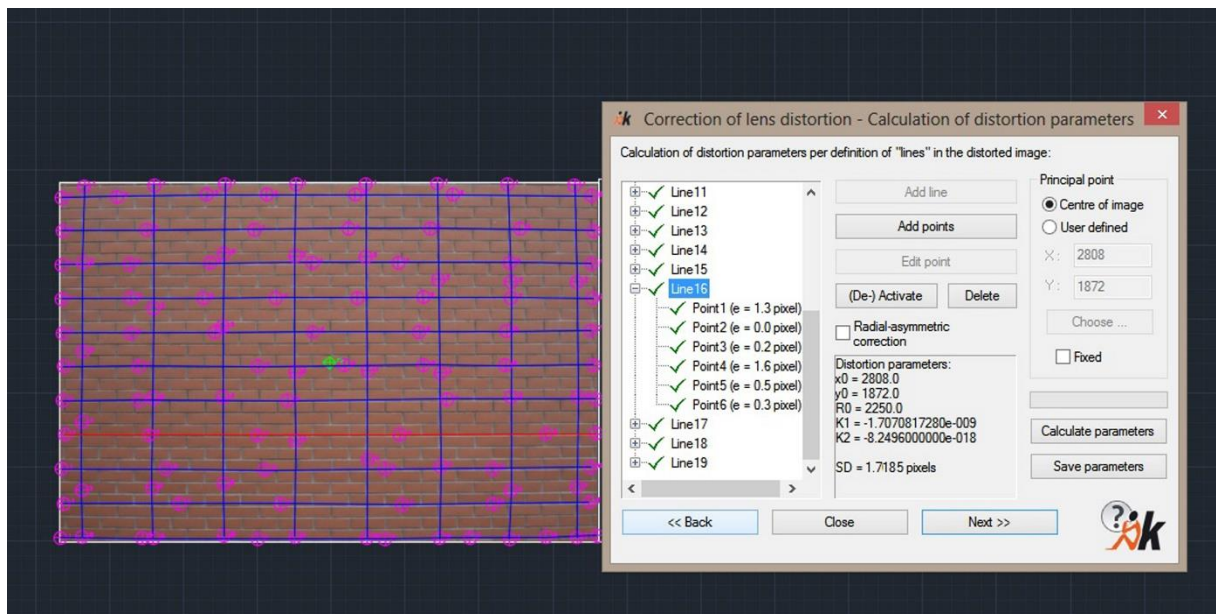
Obr. 17: PhoToPlan – Příklad rozvinutého snímku

[Zdroj: Autor]



3.1.1 Určení distorzních parametrů objektivu

Jak již bylo zmíněno, software PhoToPlan umí také určit distorzní parametry pomocí geometrie, jenž je tvořena vertikálními a horizontálními liniemi. Pro přesnější výpočet se tudíž doporučuje použít snímek, který zachycuje část např. moderní cihlové fasády, kde je zřejmá pravidelnost (rovnoběžnost/kolmost) jednotlivých vrstev stavby na rozdíl od fasády historického objektu. Funkce se spouští příkazem *Image rectification according to geometry* → *Correction of lens distortion*. Poté se vybere snímek, který bude opravován pomocí umístěných úseček. Jednotlivé linie jsou tvořeny body, u kterých jsou počítány polohové odchylky. Dle polohových odchylek mohou být body upravovány či mazány. Počet linií a bodů tvořící tyto linie není ničím definován. Obecně platí pravidlo „čím více, tím lépe a přesněji“. Je však důležité mít linie co možná nejbliže k okrajům snímku, kde se zkreslení objektivu prakticky projevuje nejvíce. Pomocí tlačítka *Calculate parameters* jsou koeficienty vypočítány a následně mohou být uloženy pro pozdější použití do textového souboru *.vp2. Pro ilustraci popisovaného zpracování je zde uveden obr. 18. Porovnání původního a opraveného snímku je možné vidět v Příloze B spolu s protokolem, kde jsou uvedeny hodnoty distorzních parametrů. Na původním snímku je zřejmé „soudkové“ zkreslení použitého objektivu, které bývá nejzřetelnější především u širokoúhlých objektivů při fotografování architektury.

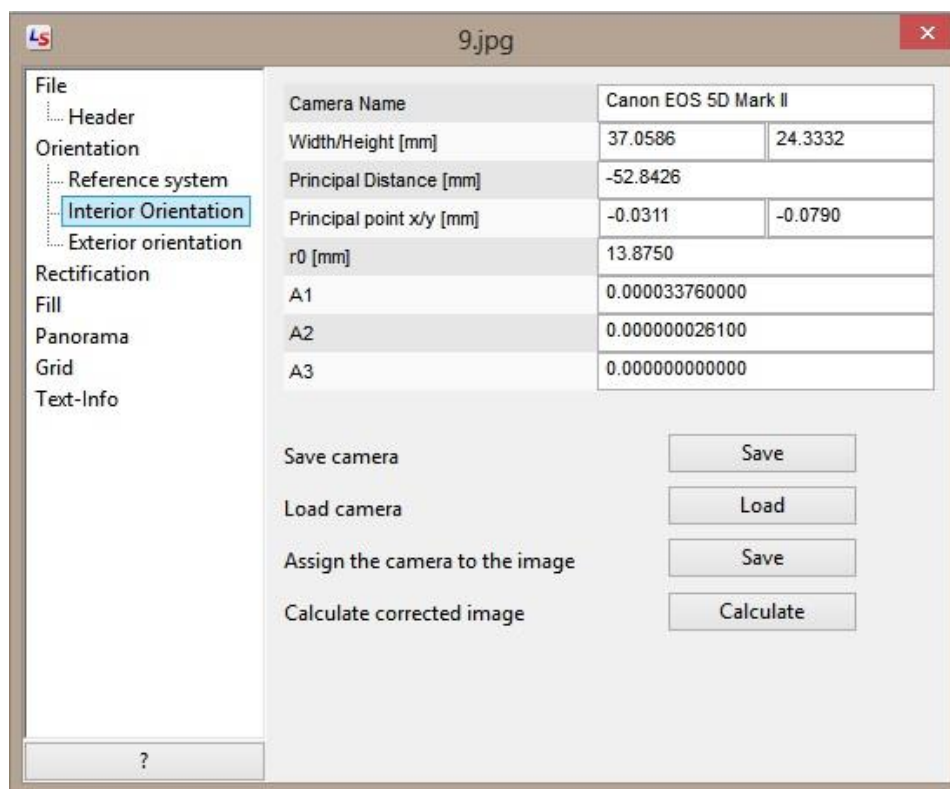


Obr. 18: PhoToPlan – Funkce oprava distorze

[Zdroj: Autor]

3.2 Zpracování v LupoScan Pro

V úvodním seznámení s tímto softwarem v kapitole 2.2 již bylo zmiňováno, že LupoScan je primárně určen pro práci s 3D mračnem bodů pořízeným pomocí laserového skenování. Při použití geodetického měření je nutné upravit vstupní textový soubor se souřadnicemi podrobných bodů určených k proložení tělesem. Každý bod musí být zastoupen hodnotami: $/ X [m] / Y[m] / Z[m] / C /$. Parametr C vyjadřuje intenzitu odrazivosti, která se však během klasického geodetického měření neurčuje, tudíž si lze hodnotu libovolně zvolit. Na závěr se uloží textový soubor s příponou *.xyz. Dále je potřeba textový soubor s příponou *.ref, který bude obsahovat souřadnice vlíčovacích bodů, ve formátu / č. b. $/ X [m] / Y[m] / Z[m] /$, určených k výpočtu prvků vnější orientace. Posledním textovým souborem, který bude použit, je soubor (s příponou *.cam) obsahující prvky vnitřní orientace použité fotografické komory. Jednotlivé parametry vnitřní orientace jsou zobrazeny na obr. 19. Způsob určení a použití těchto parametrů v softwaru LupoScan bude přiblížen v rámci hlubšího popisu dalších prováděných technologických kroků, konkrétně „Orientace snímku“ na str. 35.

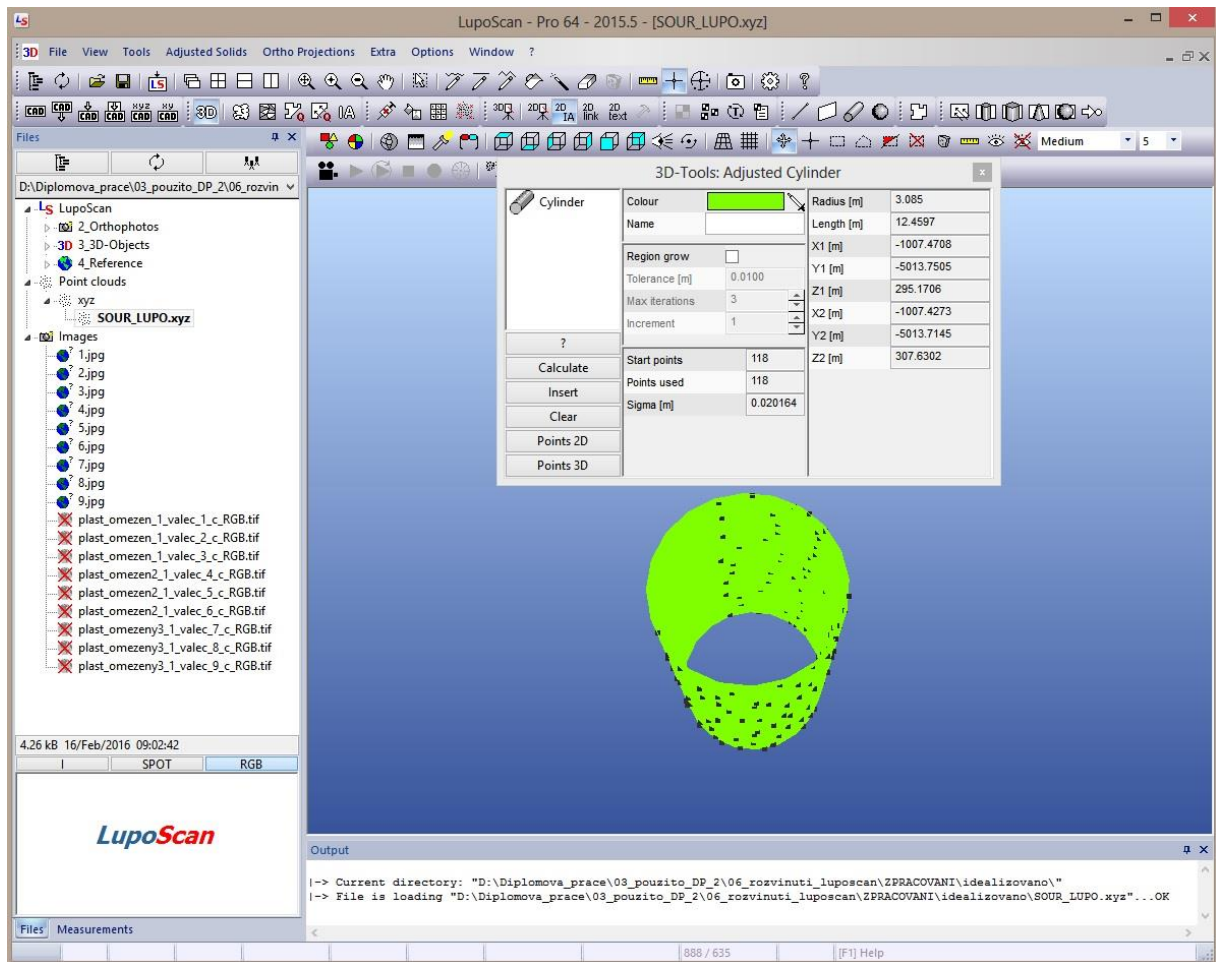


Obr. 19: LupoScan – Import prvků vnitřní orientace

[Zdroj: Autor]



Pokud máme veškerá vstupní data v jedné složce, stačí softwaru určit cílovou adresu, do které se budou následně také ukládat vytvořené výstupy projektu. Na *obr. 20* je zobrazeno pracovní okno programu LupoScan. V levém sloupci se nachází rozříděná vstupní i výstupní data dle systémového klíče softwaru (*Reference, Point clouds, Images, Orthophotos*, a další).



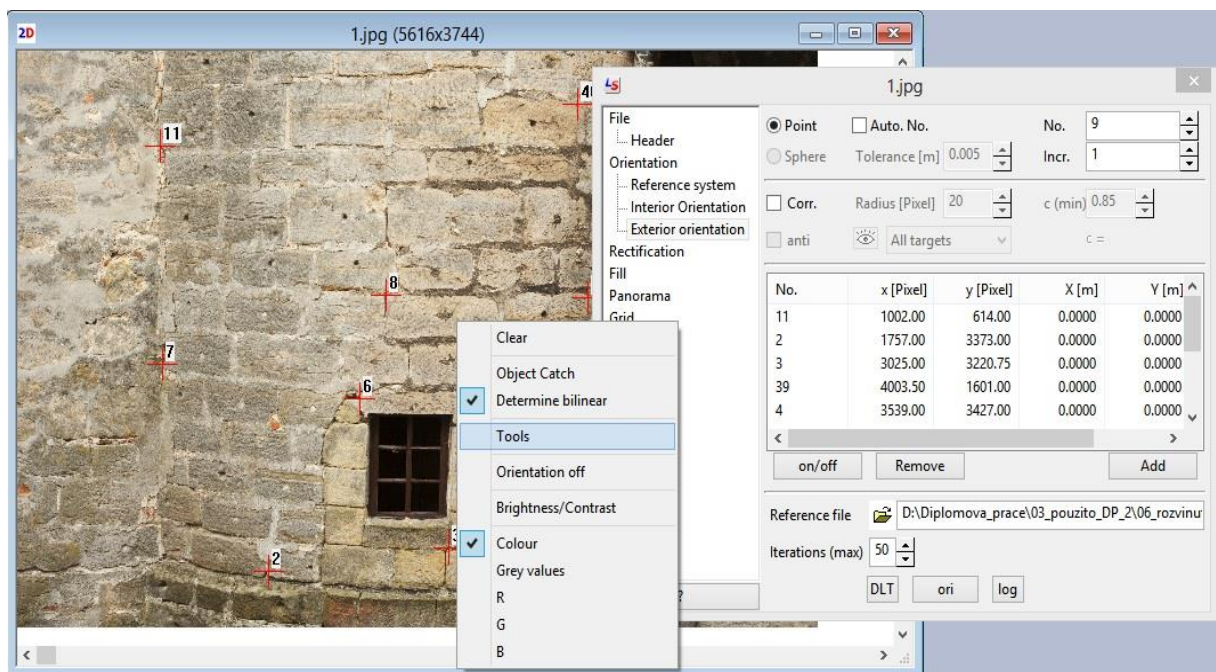
Obr. 20: LupoScan – Pracovní okno, proložení tělesa

[Zdroj: Autor]

Po základních nastaveních projektu se provede výpočet tělesa. Program nabízí celkem čtyři možnosti, a to linii, rovinu, válec a kouli. V rámci diplomové práce byl použit pouze válec. Funkce pro proložení se spouští v menu *Adjusted Solids* → *Adjusted Cylinder*. Poté je nutné vybrat všechny body, které budou reprezentovat dané těleso a určit zda se jedná o 2D, resp. 3D body (tlačítko *Points 2D*, resp. *Points 3D*). Podmínkou pro proložení tělesa v tomto softwaru je zadání minimálně *šesti* podrobných bodů. Následně se spustí výpočet (tlačítko *Calculate*) a vypočtený objekt se zobrazí do 3D pohledu (tlačítko *Insert*). Příklad proloženého tělesa je na *obr. 20*. Software vypisuje hned několik vypočtených parametrů, jako jsou souřadnice výchozího a konečného bodu osy válce, průměr a délku válce, počet bodů vstupujících do

proložení a směrodatnou odchylku proložení. Program však nezaznamenává žádný údaj týkající se reziduí na jednotlivých bodech, podle kterých by bylo možné bod, jenž například negativně ovlivňuje celé proložení, vynechat z výpočtu. Pro závěrečné rozvinutí je nutné uložit objekt s příponou *.l3d (jedná se o formát používaný výhradně software LupoScan).

Orientace snímků je dalším technologickým krokem, který se provádí pro každý snímek zvlášť a to v menu *Tools*, dále sekce *Orientation* (viz obr. 21). Zde se nejprve musí určit referenční systém (záložka *Reference system*) daný vlcovacími body, které byly uloženy do *ref* souboru v rámci přípravných prací. Pokud se pracuje se snímky, které nejsou předem opraveny o zkreslení, je nutné načíst prvky vnitřní orientace (záložka *Interior Orientation*). Software LupoScan nenabízí určení těchto prvků interně jako předchozí software PhoToPlan, tudíž musí být předem stanoveny kalibrací v externím softwaru (např. *PhotoModeler Scanner*) a poté do programu importovány. Příklad tohoto importu je možné vidět na obr. 19 ze str. 33.



Obr. 21: LupoScan – Orientace snímku

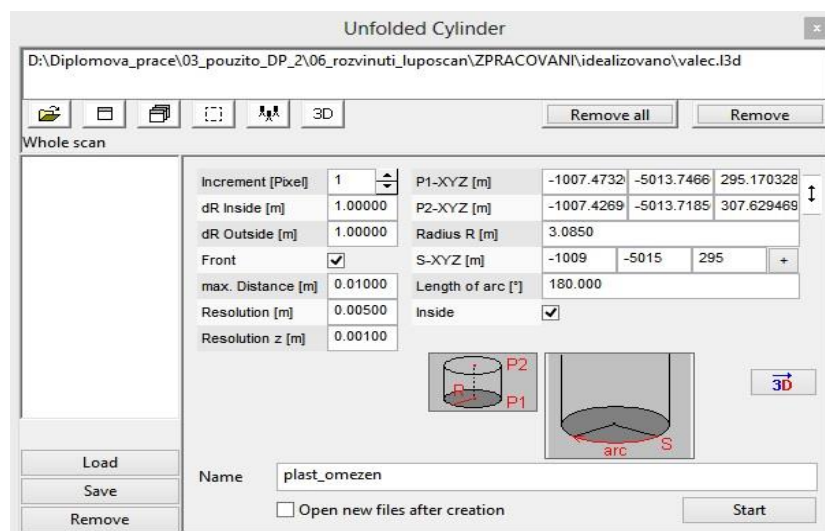
[Zdroj: Autor]

Po definování prvků vnitřní orientace následuje výpočet prvků vnější orientace (záložka *Exterior Orientation*). Pro tento výpočet musí být k dispozici minimálně čtyři vlcovací body, při použití DLT metody minimálně šest vlcovacích bodů. Identifikace bodu na snímku probíhá klasickým způsobem, tj. zadáním příslušného bodu a poté označením jeho polohy na snímku. Stejným způsobem lze polohu téhož bodu následně měnit. Při použití metody DLT (tlačítko *DLT*) jsou počítána souřadnicová rezidua každého bodu, podle kterých



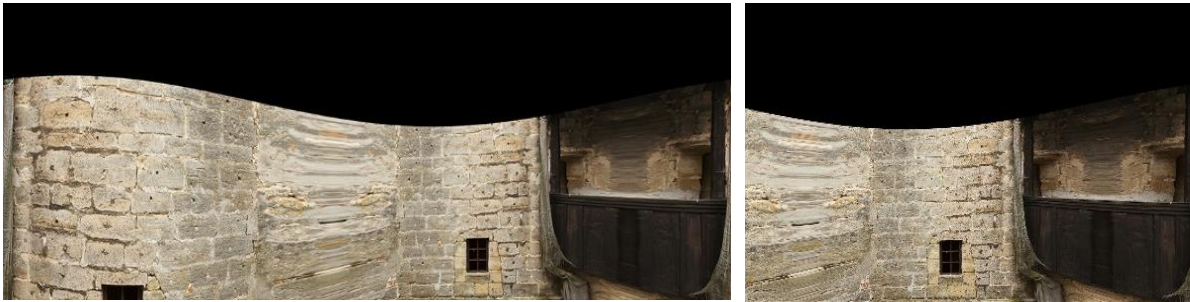
je možné bod dodatečně editovat nebo jej úplně vynechat. V rámci testování byla stanovena mezní hodnota reziduí rovna 2 px. Software ukládá přehledný textový soubor obsahující mj. také vypočtené neznámé parametry použité metody $L_1 - L_{11}$, parametry translace, úhly rotací atd. Tlačítkem *ori* se spouští samotný výpočet orientace, která je řešena iterativně. Důležitým faktorem správnosti výpočtů je informace o konvergenci či naopak nekonvergenci výpočtu a dále pak hodnota aposteriorní směrodatné odchylky. Pokud výpočet nekonverguje, musí se pozměnit konfigurace použitých vlíčovacích bodů (viz nevýhody metody DLT zmiňované v *podkapitole 1.3.1*) anebo případně zvýšit počet iterací. Software ukládá spolu s orientovaným snímkem také soubor s příponou *.ori a txt soubor s celkovým shrnutím výpočtů z této etapy.

Rozvinutí pláště již vymodelovaného válce je přípravou výstupního rastru pro samotnou projekci snímku. Tento krok se provádí v menu *Ortho Projections* → *Unfolded Cylinder*. Do výpočtu vstupuje 3D objekt (v našem případě válec) uložený s příponou *.l3d a také hodnoty několika volitelně nastavitelných parametrů. Dialogové okno s parametry zobrazuje *obr. 22*. Většina parametrů je však využitelných spíše v rámci zpracování dat z laserového měření. Důležité pro testování je nastavení hodnoty rozlišení projekce (položka *Resolution [m]*) a dále pak určení zda se jedná o vnitřní či vnější stranu válce. Dlouhodobějším testováním softwaru vyšlo najevo, že je vhodné také nastavit kritéria rozvinutí (konkrétně počáteční bod rozvinutí *S-XYZ [m]* a úhel *Length of arc [°]*), jelikož docházelo k chybám při projekci snímku. Porovnání rozvinutého snímku bez a s nastavenými kritérii je možné shlédnout na *obr. 23*. Námi vytvořené rozbalené pláště se automaticky ukládají jako soubory s příponou *.lpo a jsou dále použity pro projekci orientovaného snímku.



Obr. 22: LupoScan – Rozvinutí pláště

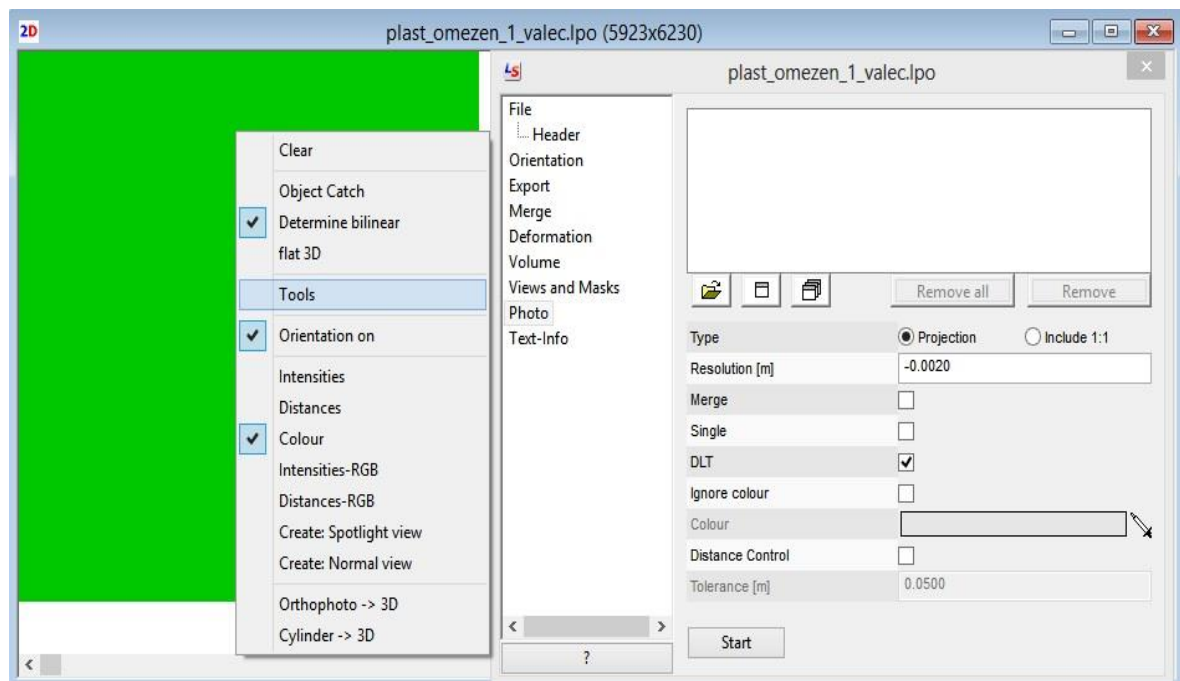
[Zdroj: Autor]



Obr. 23: LupoScan – Příklad rozvinutí bez a s nastavenými kritérii

[Zdroj: Autor]

Na obr. 23 vpravo je již pomocí projekce zobrazen orientovaný snímek na příslušný rozvinutý plášť (výstupní rastr) vytvořený v předešlém technologickém kroku. Tato projekce se provádí v nastavení jednotlivých vytvořených rastrů, tedy menu *Tools* a dále sekce *Photo* (viz obr. 24).



Obr. 24: LupoScan – Projekce

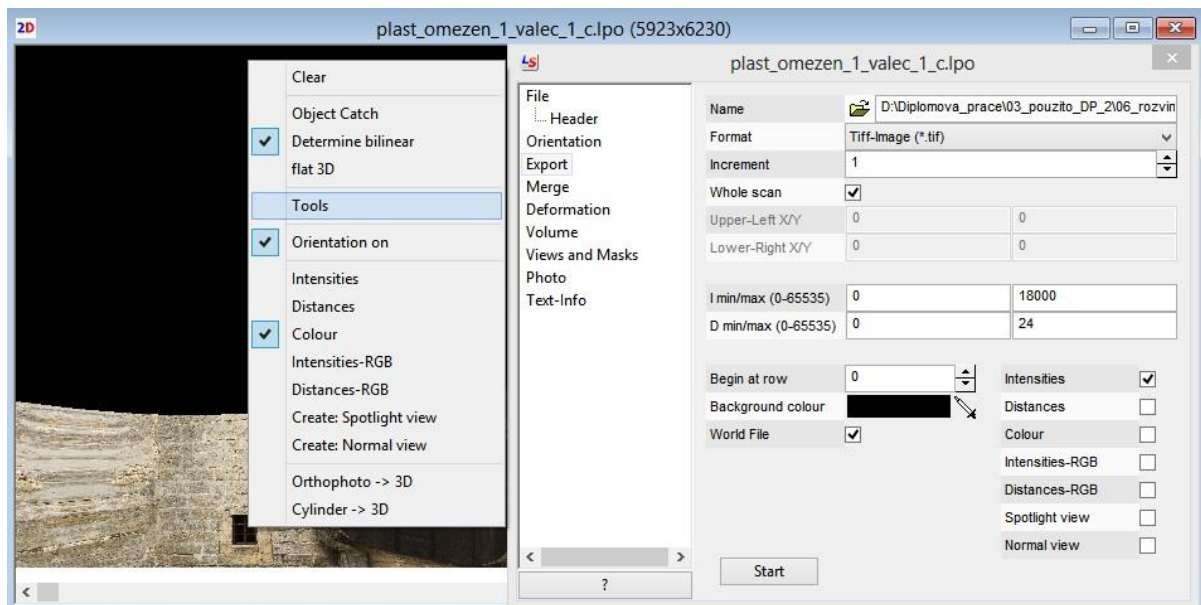
[Zdroj: Autor]

V rámci projekce je možné pracovat s více snímky najednou, avšak tato možnost nebyla využita, každý snímek byl tedy řešen samostatně. Software opět nabízí mnoho nastavení, například spojení snímků, dodatečné nastavení rozlišení, ignorování určité barvy, atd. Po nastavení a provedení projekce (tlačítkem *Start*) se uloží soubor s příponou **.lpo*, který se na závěr pouze exportuje (menu *Tools* → *Export*) do námi zvoleného formátu (např. *TIFF*) spolu



s *TFW* souborem obsahující umístění rastru. Možnosti exportu jsou pro účely testování velice nadbytečné, tudíž se použilo jen základní nastavení (formát výstupu, volba barevného modelu). Dialogové okno exportu je zobrazeno na *obr. 25*.

Příklad rozvinutého snímku a příslušné protokoly se nachází v *Příloze C*, dále pak na příloženém DVD (složka *02_ZPRACOVANI/02_LUPOSCAN*), kde je umístěno kompletně celé zpracování v softwaru LupoScan.



Obr. 25: LupoScan – Export

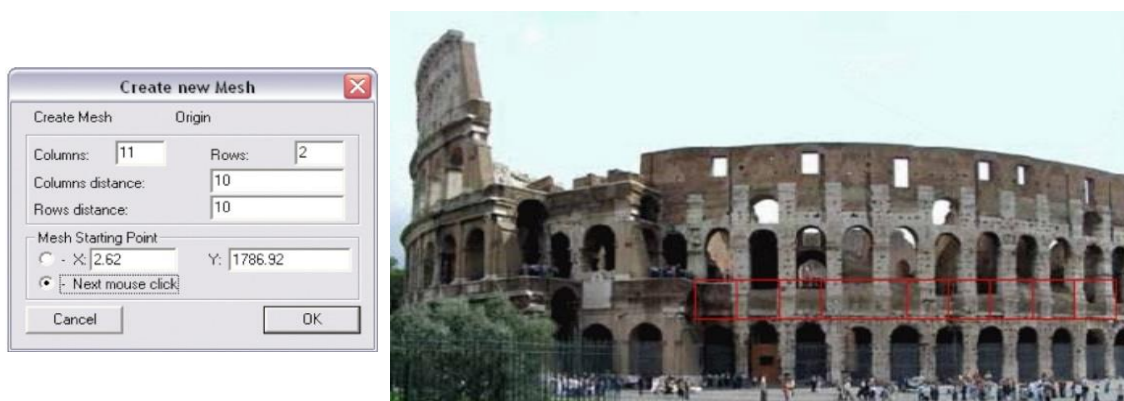
[Zdroj: Autor]



3.3 Zpracování v DigiCAD 3D

Software DigiCAD 3D je schopen provést rozvinutí použitím pouze pořízeného snímku bez jakéhokoliv přímého měření. Tato metoda je společností označovaná jako tzv. „narovnání zakřivených ploch“ (*Straightening up curved surfaces*). Po založení projektu tudíž postačí naimportovat snímek daného objektu ve zvoleném rozlišení a poté vytvořit vstupní a výstupní mřížku tvořenou vodorovnými a svislými liniemi, kterými se provede perspektivní nebo lineární transformace.

Italská společnost Interstudio metodu prezentuje na snímku světoznámé stavby – Koloseum v Římě, viz *obr. 25*. Dle proporcí objektu je nejprve přibližně vytvořena a umístěna výchozí mřížka (označovaná jako *Mesh Origin*), tvořená libovolným počtem řádků a sloupců, *obr. 26* vlevo. Následně se mřížka postupně edituje pomocí posouvání jednotlivých vrcholů na námi zvolené klíčová místa objektu, viz *obr. 27*.



Obr. 26: DigiCAD – Definování a umístění výchozí mřížky

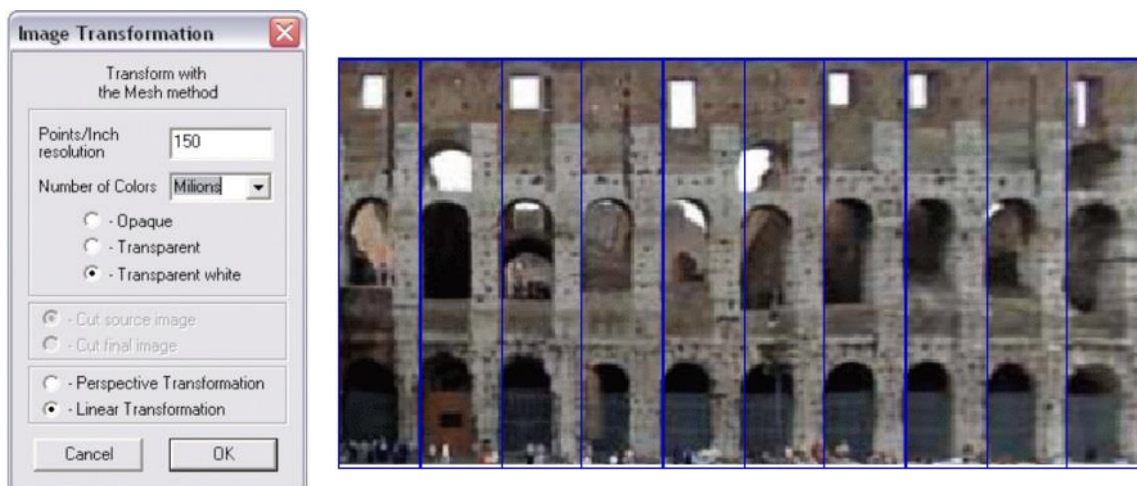
[Zdroj: <http://en.interstudio.net/DigicadE.html>]



[Zdroj: <http://en.interstudio.net/DigicadE.html>]



Dále je nutné připravit a umístit (libovolně) výstupní mřížku (*Mesh Destination*) a následně spustit transformaci (*Image Transformation*), u které je možné nastavit rozlišení, počet barev výsledného obrázku a zvolit transformační metodu. „Narovnaný“ snímek, spolu s dialogovým oknem transformace je možné vidět na *obr. 28*.



Obr. 28: DigiCAD – Výsledek transformace

[Zdroj: <http://en.interstudio.net/DigicadE.html>]

Stejným způsobem, jenž byl výše popsán, software dle výrobce dokáže eliminovat zkreslení snímku. Bohužel, jak již je možné usoudit z použitých ilustračních materiálů, se nepodařilo docílit s tímto programem rozvinutí předem vybraných testovaných snímků. Software se vždy během transformace „zasekl“ a po delší době spadl. Z tohoto důvodu bylo nutné program z testování zcela vypustit, jelikož při snaze konzultování problémů nepřišla ze strany italské společnosti žádná reakce. Co tyto problémy při transformaci způsobuje se lze jen domnívat. Může jich být hned několik. A to například velikost zpracovávaného objektu, nesprávné definování výchozí a výstupní mřížky (u historických objektů s nepravidelnou strukturou fasády), skrytá chyba v poskytované zkušební verzi softwaru a v neposlední řadě nedostatečné hardwarové vybavení počítače. Dalším problémem byla nekompatibilita s většinou operačních systémů od společnosti Windows. Software se podařilo spustit pouze na Windows XP 32 bit a na Windows 8.1 64 bit.

Po seznámení s programem usuzují, že přesnost výstupů by určitě byla daleko nižší než v případě použití softwaru PhoToPlan či LupoScan, jelikož DigiCAD pracuje pouze s geometrií bez využití geodetického měření.



3.4 Zpracování ve PhotoUnwrap

PhotoUnwrap je software zaměřený přímo na rozvinutí plášťů válcových či kuželových objektů. Oproti předchozím programům se zde nachází jen potřebné minimum funkcí pro zpracování, které již byly vyjmenovány v kapitole 2.4.

Tento software byl vytvořen a krátce otestován v [2]. Do hlubšího testování se zapojil až v rámci mé bakalářské práce [15], kde se ověřovala především jeho funkcionality a možnosti při zpracování projektu většího rozsahu. Během testování se vyskytly menší, ale i větší problémy. Problémy byly podrobeny analýze, na jejímž základě se následně určily způsoby, kterými lze tyto komplikace „obejít“.

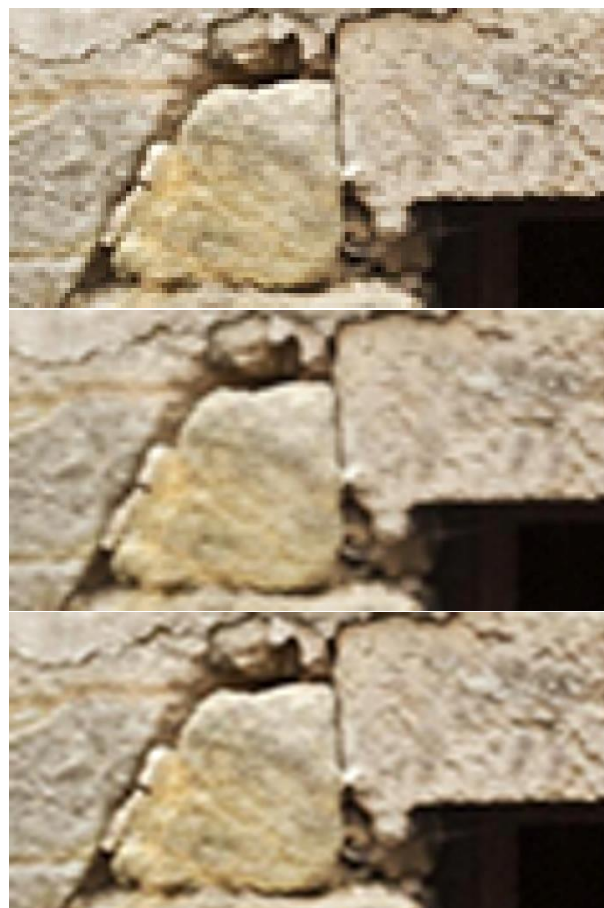
Software využívá pro ortogonální prokládání tělesa knihovnu *SPATFIG*, blíže v [7]. K výpočtu je potřeba minimálně *pěti* podrobných bodů, ale doporučuje se několikanásobně vyšší počet. Jeden ze zmiňovaných velkých problémů se vztahuje k tomuto technologickému kroku, který se však projeví až v samotném závěru při spuštění konečné transformace snímku. Program si chybně určuje viditelnou oblast na snímku, a tudíž je nutné využít k proložení pouze jen ty body, které jsou spojeny s daným snímkem. Dále je žádoucí použít volbu „válec s daným poloměrem“, aby bylo při zpracování snímků stejného objektu zajištěno rozvinutí se stejnou přesností. Na každý testovaný snímek se využilo minimálně *15 bodů* pro proložení a poloměr daný hodnotou *3,085 m*.

Prvky vnější orientace jsou určeny pomocí projektivní transformace, která je implementována do knihovny *ALLTRAN*, blíže v [16]. Výpočet je podmíněn zadáním minimálně *pěti* vřícovacích bodů, u kterých jsou známy jejich geodetické i snímkové souřadnice. Během testování bylo použito vždy minimálně *devíti* bodů na snímek, dle konfigurace zobrazující *Příloha A*. V rámci výpočtů prvků vnější orientace software také počítá souřadnicová rezidua (dx a dy) každého bodu, která splňovala zvolenou mezní souřadnicovou odchylku *2 px*.

V posledním kroku před spuštěním rozvinutí se doporučuje softwaru určit hodnotu výsledného pixelu (voleno *2 mm*), dále stanovit situaci při snímání objektu (vnější či vnitřní strana tělesa) a metodu obrazové interpolace. Uživatel si může vybrat celkem ze tří nejznámějších metod obrazové interpolace z kategorie neadaptivních, které byly popisovány v kapitole 1.4. Jedná se o metodu nejbližšího souseda, bilineární a bikubickou interpolaci. Jejich porovnání zobrazuje *obr. 29*. V případě metody nejbližšího souseda je obraz ostrý, ale zatížený

„zubatostí“ hran. U bilineární interpolace je možné vidět již hladší hrany, avšak obraz trochu ztrácí na kvalitě svojí neostrotí. Bikubická interpolace má podobné výsledky jako předchozí metoda. Hrany jsou jemnější, netrpí aliasingem. Metoda však pracuje s více okolními hodnotami, tudíž je náročnější na výpočty. Ze zmiňovaných důvodů byla zvolena do tohoto testování *interpolace bilineární*.

Příklad rozvinutého snímku spolu s protokolem o výpočtu je k dispozici v *Příloze D* nebo na přiloženém DVD (složka *02_ZPRACOVANI/03_PHOTOUNWRAP*). Na DVD jsou také uloženy původní neořezané snímky, které sloužily pro posouzení interpolací.



Metoda nejbližší sused

Bilineární interpolace

Bikubická interpolace

Obr. 29: PhotoUnwrap – Porovnání metod obrazové interpolace

[Zdroj: Autor]



4 Porovnání dosažených výsledků z testovaných softwarů

Kapitola se bude věnovat porovnání dílčích výsledků, které tvoří výstupy testovaných softwarů. Srovnání bude provedeno pro každý technologický krok, tj. proložení tělesa, výpočet prvků vnější orientace a rozvinutí. V rámci proložení se bude posuzovat vypočtený poloměr a souřadnice počátečního a koncového bodu válce. U prvků vnější orientace je možné porovnávat souřadnice středu promítání X_0 , Y_0 , Z_0 a dále úhly stočení osy záběru ω , φ , κ . U posledního technologického kroku – rozvinutí do roviny ftoplánu, je možné porovnat obrazovou kvalitu snímků vytvořených daným softwarem a stanovit jejich absolutní a relativní přesnost. V rámci této práce si dovoluji začít od poslední jmenované položky, tj. stanovení relativní a absolutní přesnosti rozvinutých snímků.

Mezi vybraná testovací data patřily mj. dvě sady o devíti snímcích, kde první sada obsahovala snímky zatížené zkreslením objektivu. Distorze se opravila interně v každém testovaném softwaru. Druhá sada snímků zahrnovala snímky již předem opravené o distorzi v softwaru SIMPhoto a tudíž již v testovaných softwarech nebyla tato oprava prováděna. Testovací snímky byly vybírány tak, aby zastupovaly spodní, prostřední a vrchní část testovacího objektu. Tento výběr tedy obsahoval snímky s různými sklony osy záběru.

4.1 Relativní přesnost rozvinutých snímků

Pro stanovení relativní přesnosti rozvinutých snímků z obou testovacích sad bylo na každém z nich zvoleno šestnáct rovnoměrně rozmístěných kontrolních bodů. Souřadnice těchto bodů byly odečteny pomocí softwaru *Microstation*, do kterého se naimportovaly jednotlivé rastry a umístily na jeden identický bod (myšleno vždy pro danou trojici rozvinutých snímků zastupující software PhoToPlan, LupoScan a PhotoUnwrap). Rovinné souřadnice se dále sestavily do přehledných tabulek a určily se jednotlivé souřadnicové rozdíly mezi porovnávanými softwary.



4.1.1 Relativní přesnost originálních (neopravených) snímků

Před porovnáním se usuzovalo, že rozdíly mezi jednotlivými softwary budou minimální, avšak dle *tab. 1*, ve které jsou porovnány souřadnicové rozdíly na originálních snímcích (distorze snímku opravena interně v daném programu), byla tato teorie vyvrácena. Rozdíly u krajních bodů jsou v některých případech až v řádu decimetrů a velké rozdíly se objevují také u bodů nacházející se uprostřed rozvinutého snímku. *Tab. 1* obsahuje porovnání provedené pouze u třech vybraných snímků zastupující jednotlivé části věže (spodní – snímek 1, střední – snímek 5 a vrchní část – snímek 9). Kompletní tabulka se zjištěnými hodnotami souřadnicových rozdílů na všech rozvinutých snímcích je k dispozici na příloženém DVD (složka *03_POROVNANI*) a také v *Příloze E*.

Na základě zjištěných velkých rozdílů mezi softwary bylo nutné si položit otázku, co tento problém způsobuje. Po pečlivém uvážení se dospělo k závěru, že byly do testu zapojeny tři různé typy softwarů, u kterých známe nebo neznáme způsob jejich opravy zkresleného snímku. V případě softwaru PhoToPlan můžeme mluvit o nezávislém řešení, ve kterém jsme schopni opravit snímek zcela bez zásahu jiných dostupných programů určených k eliminaci distorze. Způsob, kterým software snímek opravuje, je popsán v *kapitole 3.1.1*.

U softwaru PhotoUnwrap byl při jeho tvorbě použit k eliminaci distorze snímku homogenní postup, který využívá program *SIMPhoto*. Jedná se o způsob tzv. zpětného mapování, blíže popsán v [2] nebo [4]. Do obou softwarů je nutné dodat distorzní parametry, které jsou určeny kalibrací nejlépe v programu *PhotoModeler Scanner*, viz např. [15].

Software LupoScan zvládá také opravit snímek o distorzi objektivu, avšak není znám způsob této opravy. Důležitá je opět znalost předem určených hodnot distorzních parametrů jako v případě softwaru PhotoUnwrap, které se do daného projektu vkládají či načítají. Některé zadávané veličiny jsou jinak definované, než bývá obvyklé, např. hlavní bod. Ten je v softwaru definován jako odchylka mezi středem projekce a středem obrazu v projekční rovině. Během zpracování testovacích snímků docházelo k velkým reziduím na vlíčovacích bodech při výpočtu PVO. Tyto rezidua byla přičítána právě nekorektnímu postupu eliminace distorze nebo chybnému určení samotných distorzních parametrů. Proto proběhla se společností Lupos3D komunikace, na základě které bylo zjištěno, že pro snímky zatížené distorzí objektivu využívají k „předzpracování“ software *ptlens* [18], jelikož přesnost eliminování distorze tímto



softwarem je pro jejich účely, tedy účely laserového skenování, zcela postačující. Tudíž do programu LupoScan importují již opravené snímky.

Protože ne u všech testovaných softwarů jsou nám dopodrobna známe postupy opravy distorze objektivu, není hodnocení originálních snímků zcela objektivní. Z tohoto důvodu bude veškeré porovnání relativní i absolutní přesnosti směřováno pouze ke snímkům, které již byly externě idealizovány před použitím v testovaných softwarech.

SN	č.b.	PhoToPlan (PTP)		LupoScan (LS)		PhotoUnwrap (PUW)		PUW/PTP		PUW/LS		PTP/LS		pozn.
		X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	dX [mm]	dY [mm]	dX [mm]	dY [mm]	dX [mm]	dY [mm]	
1_o	1	100,0259	298,5970	100,0657	298,5580	100,0311	298,5868	5,2	-10,2	-34,6	28,8	-39,8	39,0	okraj
	2	101,1666	298,6589	101,2060	298,5881	101,1759	298,6330	9,3	-25,9	-30,1	44,9	-39,4	70,8	
	3	102,5503	298,7691	102,5464	298,7174	102,5361	298,7394	-14,2	-29,7	-10,3	22,0	3,9	51,7	
	4	104,0413	298,7042	104,0515	298,7621	104,0532	298,7022	11,9	-2,0	1,7	-59,9	-10,2	-57,9	okraj
	5	103,7318	298,0832	103,7316	298,1227	103,7322	298,0794	0,4	-3,8	0,6	-43,3	0,2	-39,5	okraj
	6	101,9392	297,9773	101,9461	297,9430	101,9354	297,9610	-3,8	-16,3	-10,7	18,0	-6,9	34,3	
	7	100,9808	297,9543	101,0117	297,9213	100,9914	297,9429	10,6	-11,4	-20,3	21,6	-30,9	33,0	
	8	100,0855	297,9785	100,1077	297,9626	100,0845	297,9707	-1,0	-7,8	-23,2	8,1	-22,2	15,9	okraj
	9	100,1132	296,6133	100,0871	296,6162	100,0950	296,5939	-18,2	-19,4	7,9	-22,3	26,1	-2,9	okraj
	10	101,8543	296,4538	101,8550	296,4562	101,8568	296,4524	2,5	-1,4	1,8	-3,8	-0,7	-2,4	
	11	103,2755	296,7416	103,2755	296,7638	103,2782	296,7398	2,7	-1,8	2,7	-24,0	0,0	-22,2	
	12	104,4257	297,1107	104,5296	297,1855	104,5241	297,0970	98,4	-13,7	-5,5	-88,5	-103,9	-74,8	okraj
	13	103,9084	295,5364	103,9582	295,5337	103,9741	295,4919	65,7	-44,5	15,9	-41,8	-49,8	2,7	okraj
	14	102,8626	295,5078	102,8566	295,5141	102,8680	295,4945	5,4	-13,3	11,4	-19,6	6,0	-6,3	
	15	102,1930	295,7806	102,1853	295,7888	102,1926	295,7787	-0,4	-1,9	7,3	-10,1	7,7	-8,2	
	16	100,0537	295,5322	100,0005	295,5683	100,0195	295,5240	-34,2	-8,2	19,0	-44,3	53,2	-36,1	okraj
5_o	65	106,9819	297,0767	107,0188	297,0582	106,9750	297,0641	-6,9	-12,6	-43,8	5,9	-36,9	18,5	okraj
	66	109,1638	296,9030	109,1702	296,8862	109,1772	296,8904	13,4	-12,6	7,0	4,2	-6,4	16,8	okraj
	67	110,0110	296,9986	109,9728	297,1294	110,0286	296,9869	17,6	-11,7	55,8	-142,5	38,2	-130,8	okraj
	68	111,4230	298,2101	111,4230	298,1039	111,4350	298,1940	12,0	-16,1	12,0	90,1	0,0	106,2	okraj
	69	112,5093	300,6465	112,5395	300,5773	112,5251	300,6413	15,8	-5,2	-14,4	64,0	-30,2	69,2	okraj
	70	109,5185	300,7890	109,5124	300,7785	109,5219	300,7848	3,4	-4,2	9,5	6,3	6,1	10,5	
	71	107,9711	300,5172	107,9724	300,5168	107,9694	300,5148	-1,7	-2,4	-3,0	-2,0	-1,3	0,4	
	72	106,8464	300,3264	106,8538	300,3187	106,8340	300,3369	-12,4	10,5	-19,8	18,2	-7,4	7,7	okraj
	73	106,9711	302,5292	106,9615	302,5330	106,9569	302,5402	-14,2	11,0	-4,6	7,2	9,6	-3,8	okraj
	74	107,9357	302,6800	107,9419	302,6750	107,9312	302,6790	-4,5	-1,0	-10,7	4,0	-6,2	5,0	
	75	110,4861	302,9866	110,4858	302,9786	110,4939	302,9839	7,8	-2,7	8,1	5,3	0,3	8,0	
	76	113,2385	303,0525	113,2851	303,0135	113,2415	303,0280	3,0	-24,5	-43,6	14,5	-46,6	39,0	okraj
	77	113,8331	305,6003	113,9005	305,6007	113,8004	305,5396	-32,7	-60,7	-100,1	-61,1	-67,4	-0,4	okraj
	78	110,8481	305,1772	110,8507	305,1682	110,8450	305,1699	-3,1	-7,3	-5,7	1,7	-2,6	9,0	
79	109,1761	305,5352	109,1828	305,5329	109,1813	305,5299	5,2	-5,3	-1,5	-3,0	-6,7	2,3		
80	106,9255	305,6698	107,0848	305,4216	106,8776	305,6937	-47,9	23,9	-207,2	272,1	-159,3	248,2	okraj	
9_o	129	109,1862	303,9433	109,4576	303,8730	109,2055	303,9245	19,3	-18,8	-252,1	51,5	-271,4	70,3	okraj
	130	110,9753	303,3332	110,9581	303,3036	110,9709	303,3279	-4,4	-5,3	12,8	24,3	17,2	29,6	
	131	112,4210	303,2313	112,4223	303,1873	112,4117	303,2160	-9,3	-15,3	-10,6	28,7	-1,3	44,0	
	132	114,6072	303,5130	114,6105	303,5005	114,6136	303,5023	6,4	-10,7	3,1	1,8	-3,3	12,5	okraj
	133	114,6623	304,9378	114,6701	304,9553	114,6787	304,9488	16,4	11,0	8,6	-6,5	-7,8	-17,5	okraj
	134	112,4004	304,7839	112,4005	304,7711	112,4045	304,7881	4,1	4,2	4,0	17,0	-0,1	12,8	
	135	110,7540	304,6905	110,7926	304,6773	110,7682	304,6819	14,2	-8,6	-24,4	4,6	-38,6	13,2	
	136	109,0091	305,1302	109,3541	304,9823	109,3163	304,9791	307,2	-151,1	-37,8	-3,2	-345,0	147,9	okraj
	137	109,2811	306,1439	109,6859	305,9818	109,6571	305,9673	376,0	-176,6	-28,8	-14,5	-404,8	162,1	okraj
	138	112,0794	306,1314	112,1045	306,1214	112,0929	306,1217	13,5	-9,7	-11,6	0,3	-25,1	10,0	
	139	113,4538	305,9523	113,4637	305,9591	113,4611	305,9585	7,3	6,2	-2,6	-0,6	-9,9	-6,8	
	140	114,6660	306,1260	114,6754	306,1450	114,6761	306,1324	10,1	6,4	0,7	-12,6	-9,4	-19,0	okraj
	141	114,7064	307,4305	114,7134	307,4223	114,7127	307,4183	6,3	-12,2	-0,7	-4,0	-7,0	8,2	okraj
	142	113,2767	307,4921	113,2906	307,4631	113,2846	307,4717	7,9	-20,4	-6,0	8,6	-13,9	29,0	
143	111,1286	307,2096	111,2360	307,1649	111,2152	307,1418	86,6	-67,8	-20,8	-23,1	-107,4	44,7		
144	109,1236	307,6393	109,6630	307,3827	109,6042	307,3655	480,6	-273,8	-58,8	-17,2	-539,4	256,6	okraj	

Tab. 1: Relativní přesnost – sada originálních snímků – výběr výsledků

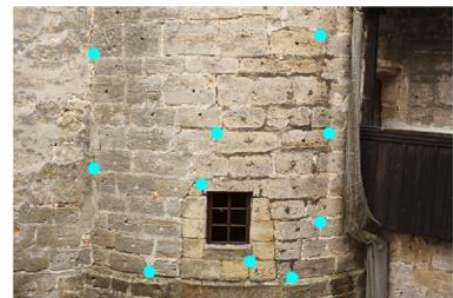
[Zdroj: Autor]

4.1.2 Relativní přesnost externě idealizovaných snímků

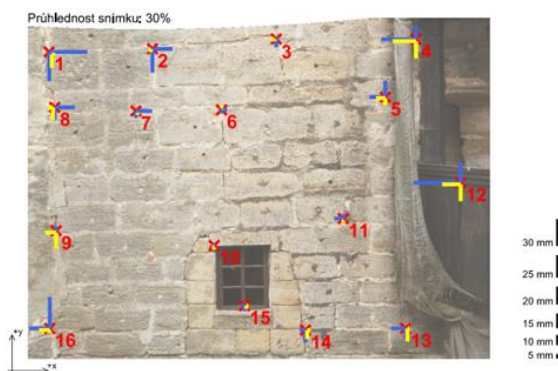
Z tab. 2 je již patrné výrazné zlepšení týkající se rozdílů mezi jednotlivými softwary. Tabulka opět obsahuje pouze hodnoty pro tři vybrané snímky (stejný výběr jako v kapitole 4.1.1), kompletní tabulka je k dispozici v Příloze E nebo na přiloženém DVD. Zlepšení se projevilo především u bodů, které se nacházejí na okrajích rozvinutých snímků. Je však nutné podotknout, že např. u snímku č. 5 se vyskytuje stále velká četnost vyšších rozdílů. Proto byl pro každý snímek vytvořen výkres v měřítku 1 : 50 obsahující zvolený rozvinutý snímek (označen jako referenční), graficky i číselně vyjádřené rozdíly mezi testovanými softwary a také zmenšený snímek s přehledem použitých vřícovacích bodů pro výpočet PVO. Příklad vytvořeného výkresu je možné shlédnout na obr. 30 (měřítko je neplatné – jedná se pouze o ilustraci). Tyto výkresy dále sloužily k podrobnějšímu zkoumání a zjištění, zda souřadnicové rozdíly nepoukazují například na systematickou deformaci porovnávaného snímku oproti referenčnímu.

R1. Relativní přesnost - porovnání pro snímek 1

Referenční snímek: PhoToPlan
Porovnání s: LupoScan a PhotoUnwrap
Měřítko souřadnicových rozdílů: 10 : 1
Měřítko rozvinutého snímku: 1 : 50
Formát: A4



Obr.: Zmenšený původní snímek a přehled použitých vřícovacích bodů



Obr.: Ořiznutý rozvinutý snímek a rozdíly na zvolených kontrolních bodech

ID bodu	LupoScan		PhotoUnwrap	
	dX [mm]	dY [mm]	dX [mm]	dY [mm]
1	42,3	-32,5	3,7	-15,0
2	22,2	-26,6	1,4	-3,8
3	2,5	-9,1	-3,6	-2,3
4	-38,8	15,0	-25,9	-19,3
5	-17,8	18,1	-10,5	-8,2
6	6,4	-4,0	1,3	3,8
7	18,1	-7,7	0,1	-2,2
8	22,2	-13,9	-5,8	-13,8
9	-3,5	4,8	-12,5	-17,6
10	-2,0	1,8	-2,2	2,1
11	-9,9	4,7	-1,2	-2,2
12	-52,3	22,7	-20,6	-18,7
13	-16,3	-10,9	1,8	-14,7
14	-6,4	-13,6	3,9	-9,7
15	-4,6	-6,2	2,1	-3,7
16	-22,8	34,7	-12,2	-2,0

*pozn.: souřadnicové rozdíly jsou určeny ze vztahu "porovnávaný - referenční snímek"

Tab.: Číselné hodnoty souřadnicových rozdílů na zvolených kontrolních bodech

Obr. 30: Příklad vytvořeného výkresu - relativní přesnost rozvinutého snímku

[Zdroj: Autor]



Z důvodu zachování plynulosti hlavního textu bylo dílčí hodnocení každého výkresu umístěno v Příloze E, spolu s výkresy R1 – R9, které jsou dále také dostupné na přiloženém DVD (složka 03_POROVNANI). Na následující straně se nachází celkové hodnocení této etapy porovnání (tj. posouzení relativní přesnosti rozvinutých snímků).

SN	č.b.	PhoToPlan (PTP)		LupoScan (LS)		PhotoUnwrap (PUW)		PUW/PTP		PUW/LS		PTP/LS		pozn.
		X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	dX [mm]	dY [mm]	dX [mm]	dY [mm]	dX [mm]	dY [mm]	
1_j	1	100,0237	298,6031	100,0660	298,5706	100,0274	298,5881	-3,7	15,0	38,6	-17,5	42,3	-32,5	okraj
	2	101,1696	298,6373	101,1918	298,6107	101,1710	298,6335	-1,4	3,8	20,8	-22,8	22,2	-26,6	
	3	102,5439	298,7465	102,5464	298,7374	102,5403	298,7442	3,6	2,3	6,1	-6,8	2,5	-9,1	
	4	104,0966	298,7433	104,0578	298,7583	104,0707	298,7240	25,9	19,3	-12,9	34,3	-38,8	15,0	okraj
	5	103,7572	298,1022	103,7394	298,1203	103,7467	298,0940	10,5	8,2	-7,3	26,3	-17,8	18,1	okraj
	6	101,9370	297,9613	101,9434	297,9573	101,9383	297,9651	-1,3	-3,8	5,1	-7,8	6,4	-4,0	
	7	100,9858	297,9463	101,0039	297,9386	100,9859	297,9441	-0,1	2,2	18,0	-5,5	18,1	-7,7	
	8	100,0849	297,9875	100,1071	297,9736	100,0791	297,9737	5,8	13,8	28,0	-0,1	22,2	-13,9	okraj
	9	100,1012	296,6160	100,0977	296,6208	100,0887	296,5984	12,5	17,6	9,0	22,4	-3,5	4,8	okraj
	10	101,8556	296,4521	101,8536	296,4539	101,8534	296,4542	2,2	-2,1	0,2	-0,3	-2,0	1,8	
	11	103,2898	296,7521	103,2799	296,7568	103,2886	296,7499	1,2	2,2	-8,7	6,9	-9,9	4,7	
	12	104,5875	297,1466	104,5352	297,1693	104,5669	297,1279	20,6	18,7	-31,7	41,4	-52,3	22,7	okraj
	13	103,9816	295,5307	103,9653	295,5198	103,9834	295,5160	-1,8	14,7	-18,1	3,8	-16,3	-10,9	okraj
	14	102,8698	295,5126	102,8634	295,4990	102,8737	295,5029	-3,9	9,7	-10,3	-3,9	-6,4	-13,6	
	15	102,1928	295,7843	102,1882	295,7781	102,1949	295,7806	-2,1	3,7	-6,7	-2,5	-4,6	-6,2	
	16	100,0296	295,5316	100,0068	295,5663	100,0174	295,5296	12,2	2,0	-10,6	36,7	-22,8	34,7	okraj
5_j	65	106,9884	297,0756	107,0241	297,0215	106,9675	297,0658	20,9	9,8	56,6	-44,3	35,7	-54,1	okraj
	66	109,1561	296,9134	109,1630	296,9309	109,1750	296,8935	-18,9	19,9	-12,0	37,4	6,9	17,5	okraj
	67	110,0076	297,0066	109,9876	297,0636	110,0301	296,9907	-22,5	15,9	-42,5	72,9	-20,0	57,0	okraj
	68	111,4133	298,2158	111,3422	298,2852	111,4429	298,2076	-29,6	8,2	-100,7	77,6	-71,1	69,4	okraj
	69	112,5129	300,6550	112,3925	300,6437	112,5293	300,6471	-16,4	7,9	-136,8	-3,4	-120,4	-11,3	okraj
	70	109,5127	300,7949	109,5156	300,7457	109,5210	300,7913	-8,3	3,6	-5,4	-45,6	2,9	-49,2	
	71	107,9642	300,5203	107,9724	300,4768	107,9661	300,5186	-1,9	1,7	6,3	-41,8	8,2	-43,5	
	72	106,8406	300,3210	106,8441	300,2989	106,8267	300,3406	13,9	-19,6	17,4	-41,7	3,5	-22,1	okraj
	73	106,9633	302,5350	106,9464	302,5816	106,9510	302,5466	12,3	-11,6	-4,6	35,0	-16,9	46,6	okraj
	74	107,9403	302,6774	107,9331	302,6837	107,9346	302,6780	5,7	-0,6	-1,5	5,7	-7,2	6,3	
	75	110,4838	302,9921	110,4858	302,9386	110,4970	302,9880	-13,2	4,1	-11,2	-49,4	2,0	-53,5	
	76	113,2454	303,0606	113,1278	303,0085	113,2481	303,0312	-2,7	29,4	-120,3	-22,7	-117,6	-52,1	okraj
	77	113,8489	305,6231	113,7581	305,5942	113,7950	305,5305	53,9	92,6	-36,9	63,7	-90,8	-28,9	okraj
	78	110,8492	305,1711	110,8590	305,1508	110,8506	305,1674	-1,4	3,7	8,4	-16,6	9,8	-20,3	
79	109,1791	305,5411	109,1955	305,5872	109,1850	305,5324	-5,9	8,7	10,5	54,8	16,4	46,1		
80	106,9469	305,6503	107,0176	305,6664	106,8842	305,6820	62,7	-31,7	133,4	-15,6	70,7	16,1	okraj	
9_j	129	109,4749	303,8697	109,4808	303,8634	109,2111	303,9172	263,8	-47,5	269,7	-53,8	5,9	-6,3	okraj
	130	110,9870	303,3285	110,9674	303,3139	110,9689	303,3239	18,1	4,6	-1,5	-10,0	-19,6	-14,6	
	131	112,4187	303,2183	112,4256	303,2008	112,4085	303,2140	10,2	4,3	17,1	-13,2	6,9	-17,5	
	132	114,6120	303,5243	114,6141	303,5084	114,6200	303,5074	-8,0	16,9	-5,9	1,0	2,1	-15,9	okraj
	133	114,6582	304,9597	114,6749	304,9653	114,6769	304,9538	-18,7	5,9	-2,0	11,5	16,7	5,6	okraj
	134	112,4025	304,7820	112,4004	304,7792	112,4069	304,7908	-4,4	-8,8	-6,5	-11,6	-2,1	-2,8	
	135	110,7980	304,6792	110,7963	304,6844	110,7851	304,6834	12,9	-4,2	11,2	1,0	-1,7	5,2	
	136	109,2739	304,9981	109,3704	304,9724	109,3172	304,9726	-43,3	25,5	53,2	-0,2	96,5	-25,7	okraj
	137	109,5947	306,0023	109,6994	305,9734	109,6533	305,9673	-58,6	35,0	46,1	6,1	104,7	-28,9	okraj
	138	112,0865	306,1245	112,1024	306,1282	112,0990	306,1188	-12,5	5,7	3,4	9,4	15,9	3,7	
	139	113,4502	305,9624	113,4606	305,9647	113,4575	305,9581	-7,3	4,3	3,1	6,6	10,4	2,3	
	140	114,6577	306,1419	114,6723	306,1542	114,6713	306,1354	-13,6	6,5	1,0	18,8	14,6	12,3	okraj
	141	114,6942	307,4418	114,7054	307,4351	114,7060	307,4120	-11,8	29,8	-0,6	23,1	11,2	-6,7	okraj
	142	113,2781	307,4843	113,2948	307,4758	113,2803	307,4638	-2,2	20,5	14,5	12,0	16,7	-8,5	
143	111,1870	307,1662	111,2310	307,1607	111,2099	307,1464	-22,9	19,8	21,1	14,3	44,0	-5,5		
144	109,4924	307,4586	109,6726	307,3661	109,6051	307,3615	-112,7	97,1	67,5	4,6	180,2	-92,5	okraj	

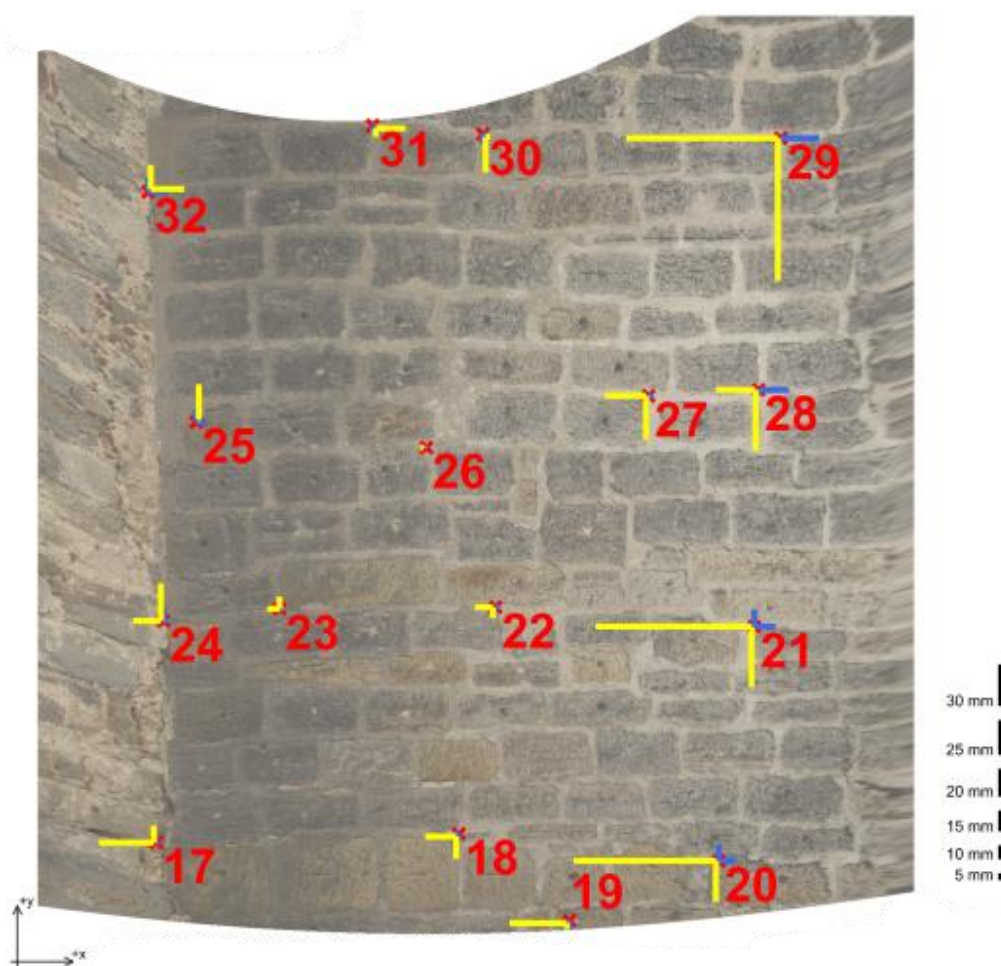
Tab. 2: Relativní přesnost – sada idealizovaných snímků – výběr výsledků

[Zdroj: Autor]

Celkové hodnocení relativní přesnosti rozvinutých snímků:

Referenčním snímkem v rámci ověřování relativní přesnosti testovaných softwarů byl vždy zvolen rozvinutý snímek vytvořený programem PhoToPlan. Důvodem bylo bezproblémové zpracování testovaných snímků, například ve fázi výpočtů prvků vnější orientace či eliminování distorze oproti zbylým testovaným softwarům.

Z provedeného porovnání a dílčích závěrů vyplývá, že na výsledcích získaných softwarem PhotoUnwrap je oproti softwaru PhoToPlan patrná tendence systematického posunu bodů v ose X (tj. v horizontálním směru) směrem doleva (výjimka nalezena ve výkresu R9). To však nelze definitivně prokázat u rozdílů v ose Y (tj. vertikálním směru). Lze však říci, že se vzrůstajícím sklonem osy záběru převažují tendenční posuny bodů směrem dolů ve vertikálním směru. Příklad těchto tendenčních posunů zobrazuje *obr. 31* (výřez výkresu R2). Souřadnicové rozdíly softwaru PhotoUnwrap zastupují vektory žluté barvy.



Obr. 31: Výřez výkresu R2 – systematický posun bodů – software PhotoUnwrap

[Zdroj: Autor]

Z porovnání bylo také zjištěno, že software PhotoUnwrap pracuje za podmínek snímkování blížící se ideálu (zobrazující např. výkres R1, R4 a R5) se stejnou přesností jako ostatní testované softwary (viz *obr. 32* – PhotoUnwrap – vektory žluté barvy), avšak to neplatí při použití snímků s vyšším sklonem osy záběru (zobrazující např. výkres R2, R3, R7). U těchto snímků se nachází podstatně vyšší souřadnicové rozdíly, patrné na *obr. 31* (software PhotoUnwrap – vektory žluté barvy, software LupoScan – vektory modré barvy).

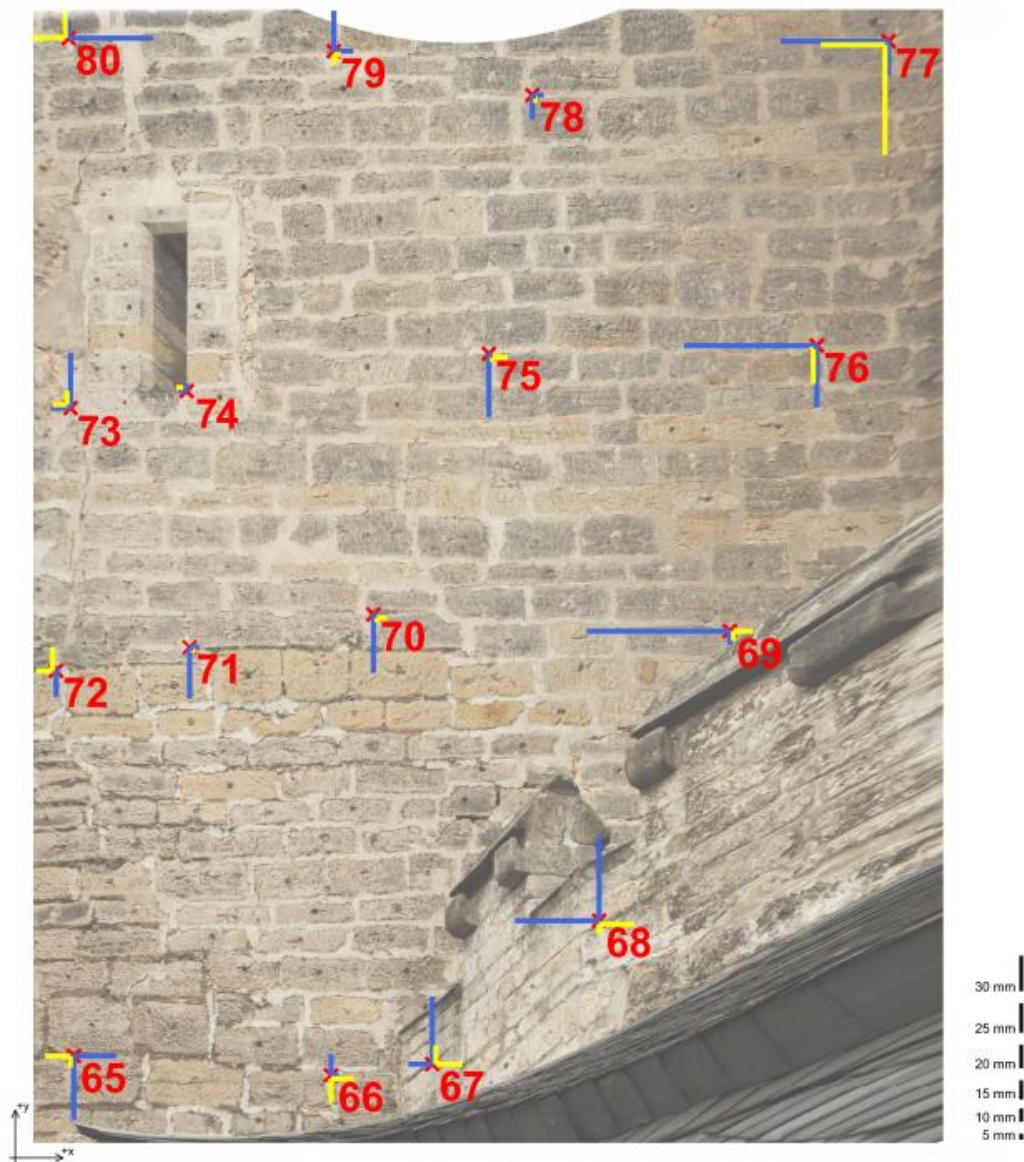


Obr. 32: Výřez výkresu R4 – téměř ideální situace snímkování – porovnání testovaných softwarů

[Zdroj: Autor]

Pokud se zaměříme na software LupoScan, zjistíme určitou směrovou nesourodost souřadnicových rozdílů v porovnání se softwarem PhoToPlan. Ze statistického hlediska jsou snímky globálně systematicky deformovány směrem doleva a dolů oproti referenčnímu snímku. Z pohledu jednotlivých snímků však toto říct nelze, jelikož směry rozdílů na bodech jsou různé

i v rámci daného snímku. U tohoto softwaru však bylo prokázáno to, že nedokáže příliš důvěryhodně pracovat při použití snímku, který pojímá většinou plochu daného objektu (viz výkres R8 – snímek zachycuje cca 50% objektu). Z tabulky uváděné ve výkresu R8 je patrná nejvyšší četnost rozdílů (i v centrální části) oproti ostatním rozvinutým snímkům tímto softwarem. Obr. 33 zobrazuje zjištěné velké souřadnicové rozdíly v případě softwaru LupoScan (vektory modré barvy).



Obr. 33: Výřez výkresu R8 – souřadnicové rozdíly – software LupoScan

[Zdroj: Autor]



Celkově bylo také porovnáním dokázáno to, že se největší souřadnicové rozdíly vyskytují v těch částech snímků, kde se objekt začíná více hloubkově členit (zaoblovat). Toto tvrzení je možné ověřit například na výkresu R2 (pravá část rozvinutého snímku – viz *obr. 31*) nebo na výkresu R7 (levá část rozvinutého snímku).

Tato etapa porovnání výsledků z testovaných softwarů ukázala, že je nutné při pořizování snímků dbát na to, aby osa záběru byla v ideálním případě vodorovná a kolmá na daný objekt. Nabízí se zde varianta použití teleskopických tyčí nebo případně dronů. Dále je vhodné snímkovat objekt z více stanovisek, aby byl zajištěn dostatečný překryt snímků. Dle [2] je uváděno minimálně 8 směrů pro nasnímání celého válce kolem dokola.

4.2 Absolutní přesnost rozvinutých snímků

V rámci absolutní přesnosti rozvinutých snímků (pouze již pro druhou sadu snímků, tj. předem idealizované v softwaru SIMPhoto) byly zjišťovány souřadnicové odchylky na vlíčovacích bodech v rovině fotoplánu pro každý testovaný software. Odečtení souřadnic na rozvinutém snímku probíhalo podobně jako u zkoumání relativní přesnosti, tj. prostřednictvím softwaru *Microstation*. Jednotlivé hodnoty byly opět sestaveny do přehledné tabulky, viz *tab. 3* obsahující pouze tři vybrané snímky. Kompletní tabulka je k nalezení v *Příloze F* nebo na přiloženém DVD (složka *03_POROVNANI*).

Z *tab. 3* jsou patrné, až na výjimky, minimální souřadnicové odchylky na vlíčovacích bodech, jenž byly určeny z geodetického měření a bodech odečtených na daném snímku v softwaru *Microstation*. Výjimky tvoří body, které byly zřejmě chybně identifikovány během zpracování či chybně geodeticky zaměřeny. Takovými body jsou například body č. 7 a 12 na snímku 1, na kterých se vyskytují velké systematické chyby u všech testovaných softwarů. Zde je nutné poznamenat, že geodetické měření neprobíhalo za zcela ideálních podmínek, jelikož bylo nutné měřit v těsné blízkosti testovacího objektu. To sebou neslo riziko velice strmých záměr a použití bezhranolového měření pomocí laserové stopy, která byla při slunečném počasí na objektu takřka neviditelná. Avšak např. u bodů č. 105 a 109 na snímku 5 se v případě softwaru *LupoScan* již o systematické chybě mluvit nedá, protože souřadnicové odchylky v ose X na těchto bodech dosahují hodnot až 17 cm. Pro bližší analýzu zjištěných souřadnicových odchylek byly, podobně jako v případě relativní přesnosti, vytvořeny výkresy *A1 – A9* v měřítku *1 : 50* (viz *Příloha F* nebo DVD), které zobrazují rozvinuté snímky spolu s vektory



odchylek na vlíčovacích bodech a dále tabulku s číselnými hodnotami. Dílčí hodnocení každého výkresu je umístěno také v Příloze F z důvodu zachování plynulosti hlavního textu.

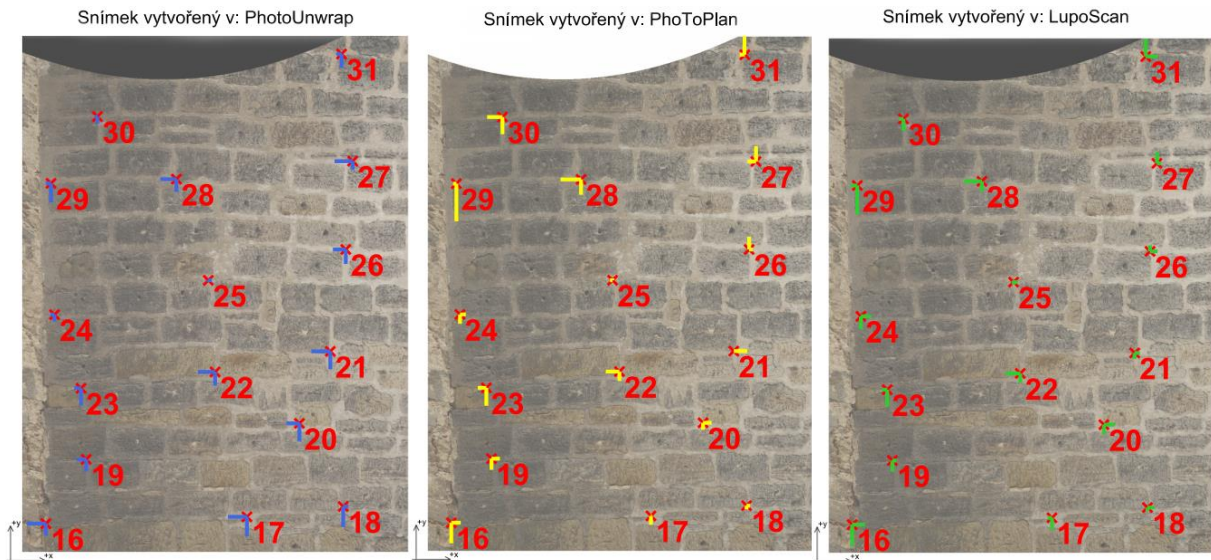
SN	č.b.	Geodetické souřadnice		PhotoUnwrap				PhoToPlan				LupoScan			
		X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	dX [mm]	dY [mm]	X [m]	Y [m]	dX [mm]	dY [mm]	X [m]	Y [m]	dX [mm]	dY [mm]
1	1	100,000	295,510	100,012	295,498	12	-12	100,040	295,537	40	27	100,015	295,527	15	17
	2	101,100	295,270	101,098	295,258	-2	-12	101,107	295,280	7	10	101,092	295,272	-8	2
	3	102,480	295,550	102,489	295,528	9	-22	102,487	295,532	7	-18	102,477	295,527	-3	-23
	4	103,070	295,270	103,085	295,255	15	-15	103,079	295,268	9	-2	103,078	295,252	8	-18
	5	103,500	296,050	103,494	296,054	-7	4	103,493	296,057	-7	7	103,491	296,056	-9	6
	6	101,790	296,550	101,787	296,554	-3	3	101,788	296,552	-2	2	101,786	296,554	-4	4
	7	100,010	296,660	100,087	296,596	77	-64	100,102	296,617	92	-43	100,099	296,624	89	-36
	8	101,970	297,270	101,957	297,269	-13	-1	101,957	297,264	-13	-6	101,960	297,265	-10	-5
	9	103,540	297,940	103,521	297,950	-19	10	103,528	297,953	-12	13	103,518	297,963	-22	23
	10	101,970	297,970	101,948	297,967	-22	-3	101,950	297,963	-20	-7	101,959	297,961	-11	-9
	11	99,990	298,200	99,997	298,195	7	-5	99,997	298,219	7	19	100,031	298,195	41	-5
	12	101,530	298,760	101,527	298,708	-3	-52	101,524	298,717	-6	-43	101,541	298,699	11	-61
	37	103,800	295,500	103,797	295,491	-3	-9	103,792	295,502	-8	2	103,780	295,490	-20	-10
	38	103,600	296,400	103,586	296,403	-14	3	103,590	296,410	-10	10	103,579	296,416	-21	16
40	103,360	298,600	103,337	298,588	-23	-12	103,348	298,596	-12	-4	103,336	298,602	-24	2	
5	61	107,860	296,600	107,834	296,573	-26	-27	107,836	296,582	-24	-18	107,851	296,569	-9	-31
	62	109,130	296,960	109,124	296,938	-6	-22	109,106	296,949	-24	-11	109,114	296,962	-16	2
	64	108,590	298,110	108,581	298,126	-9	16	108,574	298,131	-16	21	108,585	298,099	-5	-12
	67	107,150	298,990	107,166	298,995	16	5	107,174	298,995	24	5	107,158	298,979	8	-11
	70	108,200	300,070	108,174	300,075	-26	5	108,170	300,080	-30	10	108,181	300,033	-19	-37
	77	108,320	303,000	108,316	302,995	-4	-5	108,317	302,997	-3	-3	108,324	302,997	4	-3
	85	107,890	306,280	107,885	306,284	-5	4	107,901	306,282	11	2	107,890	306,398	0	118
	102	111,000	300,690	110,991	300,705	-9	15	110,980	300,705	-20	15	110,983	300,670	-17	-20
	105	113,310	301,900	113,301	301,922	-9	22	113,300	301,940	-10	40	113,135	301,895	-175	-5
	109	113,400	303,360	113,378	303,370	-22	10	113,388	303,383	-12	23	113,266	303,326	-135	-34
111	110,610	303,600	110,601	303,626	-9	25	110,592	303,623	-18	23	110,604	303,595	-7	-5	
118	113,160	306,270	113,105	306,217	-55	-53	113,139	306,275	-21	5	113,134	306,256	-26	-14	
108	114,530	303,300	114,519	303,277	-11	-23	114,516	303,293	-14	-7	114,521	303,286	-9	-14	
111	110,610	303,600	110,602	303,593	-8	-7	110,614	303,591	4	-9	110,604	303,587	-6	-13	
114	111,360	305,050	111,354	305,069	-6	19	111,350	305,070	-10	20	111,354	305,074	-6	24	
115	112,400	304,760	112,387	304,767	-13	7	112,386	304,769	-14	9	112,386	304,774	-14	14	
116	113,940	304,880	113,913	304,858	-27	-22	113,902	304,853	-38	-27	113,910	304,855	-30	-25	
117	114,030	306,130	114,031	306,116	1	-14	114,017	306,113	-13	-17	114,026	306,121	-4	-9	
119	112,340	306,740	112,321	306,721	-19	-19	112,324	306,729	-16	-11	112,332	306,732	-8	-8	
120	111,250	307,200	111,232	307,180	-18	-20	111,205	307,175	-46	-25	111,233	307,177	-17	-23	
121	109,820	306,820	109,832	306,801	12	-19	109,769	306,852	-51	32	109,838	306,808	18	-12	
124	113,300	307,510	113,288	307,487	-12	-23	113,279	307,494	-21	-16	113,288	307,490	-12	-20	

Tab. 3: Absolutní přesnost – výběr výsledků

[Zdroj: Autor]

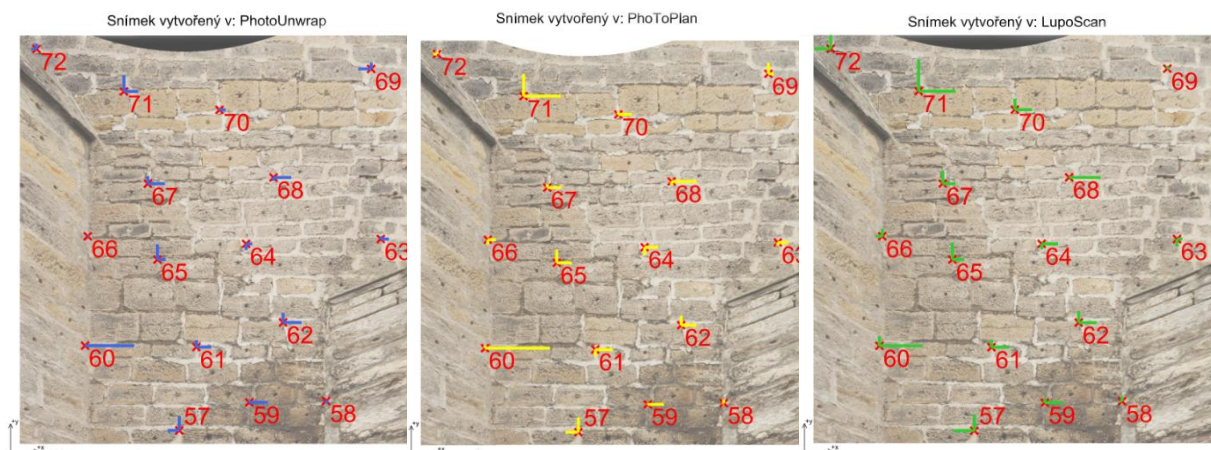
Celkové hodnocení absolutní přesnosti rozvinutých snímků:

Z výše provedeného zkoumání bylo zjištěno, že se v rámci daného rozvinutého snímku většinou testované softwary shodují v orientaci souřadnicových odchylek. Nelze však říci, že by softwary systematicky deformovaly každý snímek stejným způsobem. Jako příklad lze uvést rozvinutý snímek 2 (výkres A2) v porovnání s rozvinutým snímkem 4 (výkres A4). Na výkresu A2 jsou patrné systematické posuny bodů směrem doleva a dolů (viz obr. 34), oproti tomu výkres A4 obsahuje systematické posuny bodů směrem doprava a nahoru (viz obr. 35).



Obr. 34: Výřez výkresu A2 - absolutní přesnost rozvinutého snímku 2

[Zdroj: Autor]



Obr. 35: Výřez výkresu A4 - absolutní přesnost rozvinutého snímku 4

[Zdroj: Autor]

U snímků, které byly pořízené za téměř ideální situace (např. snímek 4 – výkres A4 a snímek 7 – výkres A7), se projevuje systematický posun směrem nahoru ve vertikálním směru (tj. v ose Y), ale u snímků s vyšším sklonem osy záběru (cca nad 20 gon) se u softwarů vyskytuje tendenční posun bodů směrem dolů. V ose X se však nedá jednoznačně určit směr příslušných odchylek v žádné ze zmiňovaných situací.

Během zkoumání výkresu A5 byly u softwaru LupoScan odhaleny značné nepřesnosti rozvinutého snímku především na jeho pravém okraji (viz obr. 36 – vpravo), kde se již nachází velké zaoblení věže. Jelikož se tyto nepřesnosti v tak velké míře u ostatních testovaných softwarů nevyskytují, je tedy otázkou, čím je to způsobováno (např. odlišný způsob transformace snímků v softwaru LupoScan oproti softwarům PhoToPlan a PhotoUnwrap).



Obr. 36: Výřez výkresu A5 – absolutní přesnost rozvinutého snímku 5

[Zdroj: Autor]

Na základě zjištěných souřadnicových odchylek na vlíčovacích bodech byly spočítány jejich průměrné hodnoty v obou směrech pro každý testovaný software, viz tab. 4. Z tabulky je patrné, že testované softwary vykazují velice podobnou průměrnou souřadnicovou odchylku, jak v ose X, tak i v ose Y.

Software	ϕ_{dx} [m]	ϕ_{dy} [m]
PhotoUnwrap	0,014	0,014
PhoToPlan	0,015	0,014
LupoScan	0,016	0,016

Tab. 4: Absolutní přesnost - průměrné souřadnicové odchylky

[Zdroj: Autor]



Dle dílčích výkresů, jejich podrobné analýze a celkového shrnutí v rámci porovnání absolutní přesnosti testovaných softwarů bych doporučoval použití softwaru PhotoUnwrap. Zjištěné souřadnicové odchylky na vřícovacích bodech (viz *Příloha F* – tabulka hodnot souřadnicových odchylek) nabývají ve většině případech poměrně malé hodnoty oproti ostatním testovaným softwarům.

4.3 Obrazová kvalita rozvinutých snímků

Do této etapy porovnání byly vybrány tři snímky zastupující jednotlivé úrovně testovaného objektu – spodní, prostřední a vrchní část. Důvodem tohoto výběru je ověření hypotézy o vlivu narůstajícího sklonu osy záběru na změnu obrazové kvality. V *tab. 5* se nachází přibližné hodnoty sklonů pro jednotlivé snímky a dále také vzdálenosti stanovisek snímání od daného objektu. Do porovnání se tedy zapojil snímek 1, 6 a 8, zastupující výše zmíněné části.

ID snímku	Vzdálenost od objektu [m]	Sklon osy záběru [gon]
1	8,4	6,9
2	10,4	30,3
3	11,2	33,9
4	11,0	26,2
5	16,0	42,2
6	11,7	52,7
7	12,1	8,2
8	12,3	27,0
9	12,0	32,1
Minimum	8,4	6,9
Maximum	16,0	52,7
Průměr	11,7	28,8

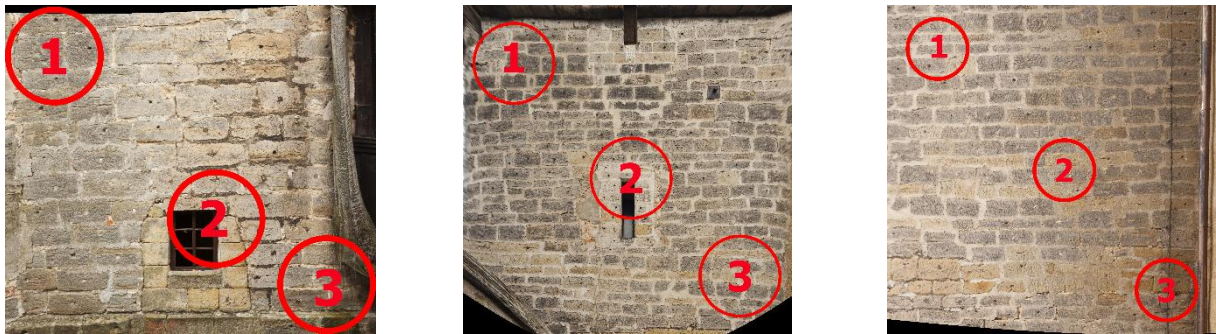
Tab. 5: Sklon osy záběru jednotlivých snímků

[Zdroj: Autor]

Na každém z vybraných snímků se dále náhodně určily tři oblasti (především na okrajích a ve středu snímku), ve kterých se pořídily detaily pro zkoumání struktury interpolovaného obrazu. V případě softwaru LupoScan a PhoToPlan sloužily také pro odhadnutí použité interpolační metody. Vybrané snímky se zákresem zkoumaných oblastí je možné vidět na *obr. 30*, v pořadí zleva – snímek 1, 6 a 8. Snímky již byly předem oříznuty tak,

aby zobrazovaly pouze zájmové území bez „rozmazaných“ částí, které vznikly transformací snímku. Původní neupravované rozvinuté snímky se nachází na příloženém DVD.

Z důvodu lepšího srovnání obrazové kvality rozvinutých snímků byly vytvořeny výkresy obsahující veškeré výše zmiňované detaily vybraných oblastí. Tyto výkresy *O1 – O3* jsou k nalezení v *Příloze G* spolu s jejich hodnocením. Jednotlivé výkresy jsou dále k dispozici na příloženém DVD (složka *O3_POROVNANI*).



Obr. 37: Oříznuté vybrané snímky a zakres oblasti zkoumání obrazové kvality snímků – snímky č. 1, 6, 8

[Zdroj: Autor]

Celkové hodnocení obrazové kvality testovaných softwarů:

V rámci porovnání obrazové kvality rozvinutých snímku vytvořených testovacími softwary bylo zjištěno, že každý program pracuje s jinou metodou obrazové interpolace. V případě softwaru PhoToPlan je to metoda bikubická a u LupoScan metoda nejbližšího souseda. U softwaru PhotoUnwrap je nám použita metoda předem známá, jelikož program nabízí výběr ze tří variant.

Ukázalo se, že rozdíly mezi obrazy jsou minimální pouze v případě, kdy je snímkování objektu provedeno za situace blízké se ideální (tj. osa záběru vodorovná a kolmá k objektu). Se vzrůstajícím sklonem osy záběru se začaly více projevovat rozdíly ve struktuře obrazu mezi softwary, na základě kterých proběhl odhad použité metody obrazové interpolace. Je nutné si uvědomit, že rozdíly jsou znatelné až při několikanásobném zvětšení, tudíž použitelnost jednotlivých softwarů závisí na požadované přesnosti celého fotoplánu a jeho budoucím využití. Například při použití fotoplánu k hlubšímu zkoumání fasády daného objektu bych doporučoval použití softwaru PhoToPlan, jelikož jeho metoda obrazové interpolace produkuje jemné přechody a obraz se prezentuje s konstantní kvalitou v celé ploše rozvinutého snímku, což je mj. velkou výhodou při maskování a mozaikování více sousedících snímků stejného objektu.



4.4 Prvky vnější orientace

Z hlediska prováděných technologických úkonů při zpracování fotoplánu válcových či kuželových objektů bylo doposud realizováno porovnání výsledků závěrečné etapy zpracování (tj. rozvinutí snímku) posouzením relativní a absolutní přesnosti a také obrazové kvality rozvinutých snímků vytvořenými testovanými softwary.

V této podkapitole budou porovnány vypočtené prvky vnější orientace a to konkrétně vypočtené souřadnice středu promítání X_0 , Y_0 , Z_0 a hodnoty úhlů rotací osy záběru ω , φ , κ .

Tab. 6 obsahuje vypočtené souřadnice středu promítání X_0 , Y_0 , Z_0 každým testovaným softwarem pro všechny snímky, jenž byly zahrnuty do testování. Jelikož nejsou k dispozici žádná referenční data, je porovnání realizováno prostřednictvím vypočtených průměrných souřadnic pro každý snímek a následných oprav od tohoto průměru, viz tab. 7.

SN	PhoToPlan			LupoScan			PhotoUnwrap		
	X_0 [m]	Y_0 [m]	Z_0 [m]	X_0 [m]	Y_0 [m]	Z_0 [m]	X_0 [m]	Y_0 [m]	Z_0 [m]
1	-999,742	-5022,362	297,866	-999,980	-5022,281	298,031	-999,791	-5022,400	298,107
2	-1002,289	-5025,725	298,153	-1002,070	-5026,062	297,662	-1002,012	-5026,420	297,672
3	-1001,998	-5026,927	297,659	-1002,176	-5026,174	297,873	-1002,075	-5026,607	297,835
4	-999,273	-5002,396	291,842	-999,442	-5002,312	291,711	-999,168	-5002,089	291,714
5	-1011,905	-4995,332	290,479	-1011,890	-4995,161	290,171	-1012,001	-4995,120	290,375
6	-999,160	-5001,188	291,206	-999,585	-5001,911	291,875	-999,354	-5001,589	291,657
7	-1019,908	-5005,651	297,741	-1019,811	-5005,336	297,341	-1020,251	-5005,149	297,829
8	-1020,061	-5005,177	297,880	-1019,772	-5005,116	297,781	-1020,312	-5005,157	297,914
9	-1019,629	-5005,622	298,378	-1019,723	-5005,093	297,919	-1020,316	-5005,040	297,955

Tab. 6: Porovnání testovaných softwarů – vypočtené hodnoty PVO (střed promítání)

[Zdroj: Autor]

SN	Průměrné souřadnice			Opravy - PhoToPlan			Opravy - LupoScan			Opravy - PhotoUnwrap		
	X [m]	Y [m]	Z [m]	v_x [m]	v_y [m]	v_z [m]	v_x [m]	v_y [m]	v_z [m]	v_x [m]	v_y [m]	v_z [m]
1	-999,838	-5022,348	298,001	-0,096	0,014	0,135	0,142	-0,067	-0,030	-0,047	0,052	-0,106
2	-1002,124	-5026,069	297,829	0,165	-0,344	-0,324	-0,054	-0,007	0,167	-0,112	0,351	0,157
3	-1002,083	-5026,569	297,789	-0,085	0,358	0,130	0,093	-0,395	-0,084	-0,008	0,038	-0,046
4	-999,294	-5002,266	291,756	-0,021	0,130	-0,086	0,148	0,046	0,045	-0,126	-0,177	0,042
5	-1011,932	-4995,204	290,342	-0,027	0,128	-0,137	-0,042	-0,043	0,171	0,069	-0,084	-0,033
6	-999,366	-5001,563	291,579	-0,206	-0,375	0,373	0,219	0,348	-0,296	-0,012	0,026	-0,078
7	-1019,990	-5005,379	297,637	-0,082	0,272	-0,104	-0,179	-0,043	0,296	0,261	-0,230	-0,192
8	-1020,048	-5005,150	297,858	0,013	0,027	-0,022	-0,276	-0,034	0,077	0,264	0,007	-0,056
9	-1019,889	-5005,252	298,084	-0,260	0,370	-0,294	-0,166	-0,159	0,165	0,427	-0,212	0,129

Tab. 7: Průměrné souřadnice středu promítání a opravy pro každý software

[Zdroj: Autor]



Ze zjištěných oprav od průměru je patrné, že především u softwaru PhoToPlan se vyskytuje větší četnost oprav s poměrně vyššími hodnotami (cca 0,380 m) oproti ostatním srovnávaným softwarům. Tyto rozdíly může způsobovat např. chybná identifikace vřícovacích bodů na snímku, která se však projevila až při porovnání absolutní přesnosti, viz kapitola 4.2. Z tab. 7 je také zřejmé, že největší opravy se nacházejí zejména u orientovaných snímků, které zachycují vyšší části testovacího objektu (prostřední a horní část), tudíž je možné usuzovat, že použitá metoda pro výpočet PVO v softwaru PhoToPlan je náchylnější na zvolenou konfiguraci vřícovacích bodů a konfiguraci při snímkování oproti metodě pro výpočet PVO použité v softwaru PhotoUnwrap a LupoScan.

V rámci této etapy porovnání by bylo vhodné konfrontovat také vypočtené úhly rotací osy záběru ω , φ , κ . Z důvodu nejednotného definování a značení úhlů rotací testovaných softwarů se však nepodařilo toto srovnání provést. Vysvětlení, k jaké ose se úhly vztahují a v jakém směru jsou jednotlivé úhly orientovány, není bohužel uvedeno ani v příložených manuálech získaných komerčních softwarů.

4.5 Proložení tělesa

Posledními možnými porovnávanými aspekty v rámci tohoto testování jsou vypočtené hodnoty (průměr, souřadnice bodů na ose válce) z technologického kroku – proložení tělesa. Plnohodnotně porovnávat však lze pouze softwary PhoToPlan a LupoScan, jelikož u softwaru PhotoUnwrap probíhá proložení pro každý snímek zvlášť prostřednictvím výběru viditelných podrobných bodů na daném snímku a fixováním poloměru válce na předem známou hodnotu. Důvod již byl několikrát zmiňován, například v [15] nebo v kapitole 3.4 této diplomové práce. Nejedná se přímo o chybu týkající se knihovny *SPATFIG*, jež zprostředkovává proložení tělesem v tomto softwaru, tudíž je možné alespoň pro názornost vypočítat parametry válce, které by byly použity při bezchybném fungování následujících interních algoritmů softwaru PhotoUnwrap. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tab. 8.



ID softwaru	Vypočtený průměr		Výchozí bod			Konečný bod			Počet bodů
	<i>r</i> [m]	σ [m]	<i>X</i> [m]	<i>Y</i> [m]	<i>Z</i> [m]	<i>X</i> [m]	<i>Y</i> [m]	<i>Z</i> [m]	
PhoToPlan	3,085	-	-1007,470	-5013,747	295,171	-1007,425	-5013,716	307,630	118
LupoScan	3,085	0,020	-1007,473	-5013,747	295,170	-1007,427	-5013,719	307,629	118
			Bod na ose válce						
			<i>X</i> [m]		<i>Y</i> [m]		<i>Z</i> [m]		
PhotoUnwrap	3,085	0,002	-1007,45		-5013,73		301,516		118

*pozn.: hodnoty souřadnic bodu na ose válce a počet použitých bodů u softwaru PUW jsou uvedeny pouze pro ilustraci funkčnosti knihovny SPATFIG

Tab. 8: Porovnání testovaných softwarů - proložení tělesa

[Zdroj: Autor]

Z porovnání softwaru PhoToPlan a LupoScan jsou patrné minimální rozdíly v souřadnicích výchozího a konečného bodu osy válce. V případě souřadnic těchto bodů se jedná o souřadnicové rozdíly, jejichž hodnota činí maximálně **3 mm**. Hodnota vypočteného průměru válce softwarem PhoToPlan je totožná jako v případě softwaru LupoScan, avšak software PhoToPlan žádným způsobem neuvádí směrodatnou odchylku proložení na rozdíl od svých konkurentů.

Software PhotoUnwrap nepočítá výchozí a konečný bod na ose válce, ale pouze blíže nespecifikovaný bod ležící na této ose, tudíž není možné uskutečnit porovnání s ostatními testovanými softwary. Hodnota vypočteného průměru tímto softwarem se shoduje s hodnotami určenými softwarem PhoToPlan i LupoScan. Z *tab. 8* je však možné vidět, že PhotoUnwrap provádí proložení se směrodatnou odchylkou **2 mm**, přičemž software LupoScan se směrodatnou odchylkou o jeden řád větší, čili **2 cm**.



5 Shrnutí výhod a nevýhod testovaných softwarů

Tato kapitola bude věnována vyjmenování zjištěných kladů i záporů každého softwaru, jenž byly zaznamenány během testování provedeného v této diplomové práci. Pozitiva, resp. negativa budou vyslovena k samotnému prostředí daného softwaru, k použitelnosti a funkčnosti potřebných funkcí pro tvorbu fotoplánu rozvinutím a také k přesnosti vytvořených výstupů.

5.1 Hodnocení softwaru PhoToPlan

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.1, software PhoToPlan funguje pouze jako nadstavba softwaru AutoCAD a je tedy nutné zajistit si licence obou jmenovaných programů. Ze samotného názvu softwaru je možné odhadovat účely, pro které byl tento software vytvořen, tj. tvorba fotoplánu.

Výhody:

- velice intuitivní prostředí – jednoduchá orientace i bez hlubší znalosti softwaru AutoCAD
- import/export běžně používaných formátů dat
- importované snímky lze ořezávat, zprůhledňovat, spojovat přímo v nadstavbě
- oprava snímku o distorzi objektivu pomocí definování geometrie – buď samostatně, nebo během zpracování při orientaci snímku
- proložení tělesem – možnost kontroly proložení, jak v podobě číselné (výpis reziduí), tak i vizuální (3D náhled)
- orientace snímku – po zadání nutného počtu vřícovacích bodů funkce automaticky dopočítává předpokládanou polohu námi zadávaného následujícího bodu (i s grafickým vyznačením místa na snímku)
- samostatné ukládání orientovaného snímku spolu s protokolem pro pozdější použití



- rozvinutí snímku – možnost rozvinutí více snímků pouze v jednom kroku + volba automatického mozaikování a maskování sousedících snímků
- možnost vytvoření celého fotoplánu tzv. „od A do Z“ s použitím klasických 2D nástrojů v programu AutoCAD (např. pro doplnění souřadnicových os, kót, popisů, atd.)
- možnost použití softwaru nejen pro tvorbu fotoplánu válcových objektů (např. vytvoření ortofota, oprava starých map, ...)
- rychlost výpočtů a ukládání potřebných protokolů
- do detailu propracovaný manuál i s příklady + v případě problémů vstřícnost ze strany společnosti Faro 3D System
- oproti porovnávaným softwarům nebyl zaznamenán větší nárůst souřadnicových rozdílů v rámci zkoumání relativní přesnosti (např. při zvyšujícím se sklonu osy záběru)
- konstantní obrazová kvalita rozvinutého snímku v celé jeho ploše

Nevýhody:

- při porovnání vypočtených PVO jednotlivými testovanými softwary (konkrétně souřadnic středu promítání) byly zaznamenány vyšší souřadnicové rozdíly především u snímků zachycující střední a horní část objektu
- příliš „těsné“ ořezání rozvinutých snímků podle rozbaleného pláště válce (z takto oříznutých snímků není zřejmá návaznost na okolní prostředí – stavbu)
- chybí možnost volby obrazové interpolace
- rozvinuté snímky jsou ukládány s kompresí (v softwaru zcela chybí možnost kompresi vypnout) – tento fakt byl zjištěn až při zpracování snímků v softwaru Microstation, který neumožňuje import komprimovaných obrázků, tudíž musely být všechny snímky „přeuloženy“ do standardního formátu bez komprese pomocí grafického softwaru PhotoShop
- objem dat v případě ukládaných snímků (s kompresí cca 40 MB, bez komprese až 230 MB)
- vyšší náročnost (časová i hardwarová) při použití funkce pro automatické mozaikování a maskování více sousedících snímků (při testování docházelo k pádu systému – zřejmě nedostatečný výkon PC)



Tento software využitelný především v oblasti jednosnímkové pozemní fotogrammetrie považuji za velmi zdařilý. Prostředí softwaru je uživatelsky přívětivé a přesnost získaných výstupů je také na vysoké úrovni, což se prokázalo hlubším testováním softwaru v rámci této diplomové práce.

5.2 Hodnocení softwaru LupoScan

V případě tohoto softwaru je nutné nejprve připomenout, že se jedná o program primárně určený pro zpracování dat z laserového měření. Z tohoto důvodu bylo například důležité upravit vstupní txt soubory se souřadnicemi podrobných, resp. vlíčovacích bodů (úpravy popsány v kapitole 3.2). Dále se v softwaru vyskytuje mnoho nástrojů pro práci s velkými 3D mračny bodů, které jsou v rámci tohoto testování zcela nadbytečné. To však nelze, dle mého názoru, přičítat softwaru LupoScan jako nevýhodu. Hodnoceny jsou tedy jen funkce, které se přímo podílí na tvorbě fotoplánu válcových objektů.

Výhody:

- přehledné třídění vstupních, ale i výstupních dat dle systémového klíče (např. ortofota, mračna bodů, 3D objekty, snímky, atd.)
- import/export běžně používaných formátů dat (podpora exportu standartních CAD formátů, např. DWG, DGN, aj.)
- proložení tělesa – kontrola pomocí 3D vizualizace, avšak bez číselné podpory (v rámci výpočtů je vypisována pouze hodnota směrodatné odchylky proložení, ne však odchylky na jednotlivých bodech)
- orientace snímku – pro pozdější použití orientovaného snímku je ukládán příslušný protokol, tudíž není nutné provádět výpočet opakovaně (soubor *ori*)
- rozvinutí snímku – možnost nastavení omezujících parametrů výstupního rastru (počáteční bod a úhel)
- možnost rozvinutí více snímků najednou (u snímků lze nastavit např. ignorování určité barvy)
- konstantní obrazová kvalita daného rozvinutého snímku po celé jeho ploše



- malé souřadnicové rozdíly v souřadnicích středu promítání oproti porovnávaným softwarům
- ukládání důležitých protokolů o výpočtech
- v případě problémů vstřícnost ze strany společnosti Lupos3D

Nevýhody:

- jednotlivé funkce a jejich nastavitelné parametry nejsou zcela jasně vysvětleny ani v softwaru, ani v manuálu
- občasný pád softwaru (i ve chvíli, kdy zrovna není používán)
- orientace snímku – časově velice náročná etapa v tomto softwaru, v porovnání s ostatními softwary se jedná i o desítky minut (neustálé pozměňování a hledání správné konfigurace vřícovacích bodů pro korektní výpočet – konkrétně zajištění jeho konvergence)
- s orientací snímku související stálé potvrzování „vyskakovacího“ okna zda je již orientace snímku v pořádku po každém jejím výpočtu
- rozvinutí snímku – pokud nejsou nastaveny omezující parametry výstupního rastru, tak probíhá jakási „dvojitá“ projekce a rozvinutý snímek následně obsahuje „nesmysly“ (viz př. obr. 23 v kapitole 3.2)
- chybějící volba obrazové interpolace
- neznámý postup eliminace distorze objektivu
- velké souřadnicové rozdíly na zvolených kontrolních bodech v porovnání s ostatními softwary – zejména na okrajích snímků, který zachycují větší „zaoblení“ daného objektu (v případě použití interní opravy distorze snímku se tyto rozdíly ještě více zvětšují)
- velké ztráty obrazové kvality snímků s narůstajícím sklonem osy záběru oproti snímkům pořízeným za téměř ideální situace
- objem vytvořených dat – připravený rastr (pouze rozvinutý samotný plášť válce) výsledného fotoplánu cca 250 MB, rozvinutý snímek ve formátu TIFF cca 150 MB



Software LupoScan je primárně určen pro účely laserového skenování a tudíž obsahuje mnoho funkcí umožňující kvalitní a rychlé zpracování obsáhlých mračen bodů. V rámci diplomové práce však bylo využito jen minimum nabízených nástrojů (zejména funkce pro tvorbu fotoplánu válcových nebo kuželových objektů). Každý z využitých nástrojů softwaru je plně funkční, avšak v porovnání s předchozím softwarem (PhoToPlan) je práce s nimi časově náročnější a získané výstupy (rozvinuté snímky) ztrácejí kvalitu s narůstajícím sklonem osy záběru.

5.3 Hodnocení softwaru PhotoUnwrap

V případě tohoto softwaru se jedná o jediného zástupce z řad freewarových, který byl vytvořen v rámci diplomové práce, viz [2]. Oproti ostatním testovaným softwarům není tedy jeho vývoj nikterak dotován (od jeho vzniku neproběhl žádný upgrade) a jeho jediným účelem je rozvíjení válcových či kuželových plášťů.

Výhody:

- přehledné a velice intuitivní prostředí
- import/export běžných formátů obrazových dat
- možnost opravy snímku o zkreslení metodou zpětného mapování (avšak až po načtení předem známých hodnot distorzních parametrů)
- proložení tělesa – kontrola prostřednictvím směrodatných odchylek vypočteného průměru, stočení a souřadnic bodu na ose válce (není však možná vizuální kontrola, a ani číselná pomocí odchylek na jednotlivých bodech)
- orientace snímku – rychlé výpočty, kontrola dle reziduí na vřícovacích bodech
- rozvinutí snímku – volba ze tří nejběžnějších typů obrazových interpolací
- ukládání protokolu o výpočtu
- v rámci porovnání absolutní přesnosti zjištěné nejlepší výsledky oproti ostatním testovaným softwarům
- v diplomové práci [2] dostatečný popis veškerých funkcí softwaru



Nevýhody:

- při použití funkce pro eliminování distorze se na rozvinutém snímku (mimo oblast zájmu) objeví rozmazané artefakty, viz [15], obr. 36 na str. 47
- chybná identifikace viditelné oblasti na snímku a následné neuskutečnění výpočtů
- neukládá orientovaný snímek anebo alespoň systémový protokol o jejím provedení (soubor *ori*) pro pozdější použití
- neukládá soubor *TFW* (či soubor jemu příbuzný, např. *JGW*, *PGW*, ...)
- velké souřadnicové rozdíly na zvolených kontrolních bodech v porovnání s ostatními softwary zejména při zpracování snímku s vyšším sklonem osy záběru
- ztráta obrazové kvality rozvinutého snímku s narůstajícím sklonem osy záběru a s ním související odlišná obrazová kvalita v různých částech daného snímku

Software PhotoUnwrap zaujme především svojí jednoduchostí a rychlostí zpracování snímku. Nachází se v něm však několik vážných nedostatků, které ztlačně ovlivňují plynulost a přesnost prací. Především se jedná o druhou jmenovanou položku v seznamu nevýhod tohoto programu (viz výše). Dalším zásadním nedostatkem, jenž byl zjištěn v rámci srovnání s ostatními konkurenty, je ztráta obrazové kvality rozvinutých snímku s narůstajícím sklonem osy záběru.

5.4 Celkové zhodnocení použitelnosti testovaných softwarů

Do testování byl také zapojen software DigiCAD 3D. Avšak z důvodu jeho nefunkčnosti a nekomunikování ze strany společnosti Interstudio bylo nutné software z testování vynechat. Přesný postup práce (bez vlastních výsledků) byl popsán v kapitole 3.3. Software disponuje svým přehledným a jednoduchým prostředím, jenž může být také spuštěno prostřednictvím operačního systému *iOS*. Práce v něm, po prostudování manuálu, se jevila jako velice jednoduchá a je tedy velká škoda, že se nepodařilo získat výsledky, které by bylo možné porovnat s jeho konkurenty. Jak již bylo zmiňováno v kapitole 3.3, software umí eliminovat zkreslení snímku pomocí tzv. „narovnání linií“ (pravděpodobně obdobným způsobem jako



v případě softwaru PhoToPlan). Tímto způsobem program pracuje i při rozvinování pláště válce či kuželu. Z toho se domnívám, že přesnost vytvořených výstupů by byla mnohem horší než v případě ostatních testovaných softwarů, které provádějí výpočty za pomoci přímého měření v terénu (tj. zaměřené vřícovací a podrobné body).

Na základě provedeného testování každého ze získaných softwarů a porovnání dílčích výstupů bych doporučil software PhoToPlan, který se oproti ostatním testovaným softwarům choval stabilně, a nebyly u něho zjištěny zásadní nedostatky, které by negativně ovlivňovaly zpracování pořízených snímků. Přesnost získaných výsledků se s ohledem na změny situací snímkování výrazně neměnila, a tudíž je software PhoToPlan vhodný pro zpracování více překrývajících se snímků stejného objektu. U zbylých dvou testovaných softwarů (PhotoUnwrap, LupoScan) se projevíly velké rozdíly především u snímků, které byly pořízeny s velkým sklonem osy záběru (cca 25 – 50 gon) a z velké vzdálenosti od objektu (nad 10 m). Tyto softwary bych tedy doporučoval použít zejména pro zpracování snímků, které byly pořízeny za situace blížící se ideální (tj. osa záběru vodorovná a kolmá na objekt). U takto pořízených snímků nebyly mezi testovanými softwary nalezeny zásadní rozdíly.



6 Závěr

Na základě důkladného průzkumu současné situace na trhu se softwary zabývající se mj. tvorbou fotoplánu rozvinutím byly získány celkem tři komerční softwary, konkrétně software PhoToPlan, LupoScan a DigiCAD 3D. K těmto softwarům byl do testování přidán jeden software z řad volně dostupných, a to software PhotoUnwrap.

V každém softwaru (kromě softwaru DigiCAD 3D) bylo provedeno zpracování několika testovacích snímků válcového objektu – malé věže na hradě Kost, zahrnující různé situace snímkování (např. velké sklony osy záběru, zachycení většího zaoblení či plochy objektu). V rámci zpracování byla testována funkčnost poskytovaných nástrojů a dílčích funkcí každého softwaru. V softwaru DigiCAD 3D se bohužel nepovedlo rozvinutí ani jednoho z testovacích snímků z důvodu nestability softwaru a tudíž musel být z dalších testů úplně vyřazen.

Získané výstupy dále sloužily k porovnání jednotlivých etap technologického procesu, který se provádí během tvorby fotoplánu válcových či kuželových objektů, tj. proložení tělesa, výpočet prvků vnější orientace, rozvinutí snímku. Důležité porovnání proběhlo především u posledního zmiňovaného technologického kroku – rozvinutí snímku. Zde byla stanovena relativní a absolutní přesnost spolu s obrazovou kvalitou rozvinutých snímků získaných prostřednictvím testovaných softwarů. Na základě těchto parametrů se prokázalo to, že ne vždy softwary pracují se shodnými metodami, ať již např. v rámci výpočtu prvků vnější orientace či metody obrazové interpolace. Stanovením relativní a absolutní přesnosti bylo zjištěno, že mezi softwary dochází k velkým rozdílům především na krajích rozvinutých snímků, které jsou pořízeny s velkým sklonem osy záběru nebo zachycují větší zaoblení daného objektu. V těchto místech docházelo k souřadnicovým rozdílům mezi softwary s hodnotami dosahující i 27 cm v obou směrech (tj. v ose X i v ose Y). Porovnáním pořízených detailů zvolených oblastí na rozvinutých snímcích zastupující tři výškové úrovně objektu (spodní, prostřední a horní část) bylo dokázáno, že se obrazová kvalita u všech testovaných softwarů podstatně zhoršuje s přibývajícím sklonem osy záběru. Dále bylo zjištěno nekonstantní chování obrazové interpolace v různých částech rozvinutého snímku a to především u softwaru PhotoUnwrap. Jednotlivé dílčí, ale i celkové závěry k dané fázi porovnání jsou k dispozici v předchozích kapitolách.



Z nabytých zkušeností a výsledků, které přinesly testované softwary, bych jednoznačně doporučil software *PhoToPlan*. Tento software se choval stabilně, prostředí se jeví jednoduše, práce v něm je rychlá a je možné vytvořit kompletní fotoplán bez nutnosti použití jiného fotogrammetrického softwaru. Také výsledky dílčích porovnání byly v drtivé většině mnohem lepší než výsledky jeho softwarových konkurentů.

Práce také ukazuje na to, že je důležité věnovat zvýšenou pozornost výběru metod určených k pořízení potřebných dat (snímky, vlíčovací, resp. podrobné body) a řídit se pokud možno dle těchto zásad:

- a) pořízení snímků za situace, kdy je osa záběru vodorovná a kolmá na objekt (tzv. ideální situace),
- b) pořízení snímků z nejkratší možné vzdálenosti od objektu (samozřejmě v závislosti na použitém objektivu),
- c) snímkovat objekt z více stanovisek než je nutné minimum (tj. válec → minimum 8 stanovisek)
- d) geodetické zaměření vlíčovacích a podrobných bodů s minimální strmostí záměry a z nejkratší vzdálenosti od objektu,
- e) kontrolní zaměření alespoň několika vybraných vlíčovacích bodů,
- f) zaměření většího počtu bodů než je nutné minimum (především v případě podrobných bodů určených k proložení tělesa).

Na základě testování softwaru LupoScan se nabízí také varianta použití laserového skeneru pro zaměření podrobných bodů reprezentující povrch tělesa a poskytnout tak softwaru optimální podmínky pro jeho hlubší testování.

Získané výstupy a vyslovené závěry k jejich přesnosti považuji za velice zajímavé a v některých případech i překvapující, jelikož jsem předpokládal, že mezi výstupy z testovaných softwarů nebudou tak velké rozdíly, jaké se nakonec prokázaly. Proto bych nepovažoval toto testování za definitivně uzavřené. Avšak je nutné podotknout, že je obtížné testovat software, o kterém není zcela známé, jak a za pomoci jakých výpočetních metod funguje (případ komerčních softwarů).



Použitá literatura

- [1] *Terminologický slovník zeměměřičství a katastru nemovitostí* [online]. [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: https://www.vugtk.cz/slovník/3872_fotoplan
- [2] RŮŽIČKA, Štěpán. *Možnosti tvorby fotoplánu válcového objektu*. Praha, 2013. Diplomová práce. ČVUT. Vedoucí práce Prof. Dr. Ing. Karel Pavelka.
- [3] *Software TopoL* [online]. [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <http://www.topol.eu/articles/photopol>
- [4] ČÍŽEK, David. *Tvorba software pro jednosnímkovou fotogrammetrii - 2. etapa*. Praha, 2011. Diplomová práce. ČVUT. Vedoucí práce Ing. Jindřich Hodač, Ph. D
- [5] PAVELKA, Karel. *Fotogrammetrie 1*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2009. 200 s. ISBN 978-80-01-04249-6
- [6] PAVELKA, Karel. *Fotogrammetrie 2*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2011. 160 s. ISBN 978-80-01-04719-4
- [7] KOSKA, Bronislav. *Veřejná knihovna tříd a funkcí SPATFIG k ortogonálnímu prokládání obecných geometrických útvarů mračnem bodů* [online]., 22 [cit. 2016-03-07]. Dostupné z: http://k154.fsv.cvut.cz/~koska/publikace/soubory/spatfig_foto.pdf
- [8] ŠTRONER, Martin; POSPÍŠIL, Jiří. *Terestrické skenovací systémy*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2008. 187 s. ISBN 978-80-01-0414-3
- [9] *Prezentace - Obrazové senzory* [online]. , 67 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://radio.feld.cvut.cz/courses/E37EAA/materialy.php?akce=dlf..>
- [10] *Faro 3D Software* [online]. [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: http://www.faro-3d-software.com/CAD/Products/PhoToPlan_Camera/CAD_photogrammetry.php
- [11] *Lupos3D* [online]. [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: http://www.lupos3d.com/software_en/
- [12] *Interstudio* [online]. [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: <http://en.interstudio.net/DigicadE.html>
- [13] *Fokus GmbH* [online]. [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: http://www.fokus-gmbh-leipzig.de/metigo_stereo.php?lang=en



- [14] *Ad Hoc 3D Solutions* [online]. [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: <http://www.adhoc3d.com/>
- [15] PŮBAL, Miloslav. *Hrad Kost (okr. Jičín) – Tvorba fotoplánu pláště malé věže*. Praha, 2014. Bakalářská práce. ČVUT. Vedoucí práce Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.
- [16] KOSKA, Bronislav. *Dokumentace knihovny Alltran* [online]. [cit. 2016-04-07]. Dostupné z: http://k154.fsv.cvut.cz/koska/projekty/alltran/alltran_dokumentace_1_01.pdf
- [17] *PointCAB* [online]. [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: <http://www.pointcab-software.com/>
- [18] *PTLENS* [online]. [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: [http:// www.epaperpress.com/ptlens/](http://www.epaperpress.com/ptlens/)



Seznam použitých zkratek

ČVUT	České Vysoké Učení Technické
FSv	Fakulta Stavební
JPEG	Joint Photographic Experts Group
TIFF	Tagged Image File Format
BMP	Windows Bitmap
PNG	Portable Network Graphics
DVD	Digital Versatile Disc
EXE	Executable
TXT	Textový soubor
PVO	Prvky Vnější Orientace
PUW	PhotoUnwrap
PTP	PhoToPlan
LS	LupoScan



Seznam obrázků

Obr. 1: Snímek se šikmou osou záběru – vrchní část Malé věže (hrad Kost).....	11
Obr. 2: Schéma technologických kroků	12
Obr. 3: Prvky vnější orientace	14
Obr. 4: Vztah mezi snímkovými a prostorovými souřadnicemi	15
Obr. 5: Transformační kroky.....	17
Obr. 6: Bilineární interpolace	18
Obr. 7: Bikubická interpolace	19
Obr. 8: Dostupné verze softwaru PhoToPlan.....	21
Obr. 9: Přehled jednotlivých verzí softwaru LupoScan	22
Obr. 10: Příklad rozvinutí pomocí geometrie v softwaru DigiCAD 3D	23
Obr. 11: Pracovní prostředí PhotoUnwrap	24
Obr. 12: PhoToPlan – Funkce pro proložení tělesa	27
Obr. 13: PhoToPlan – Pracovní okno, importovaná data (body, snímek) a proložené těleso	27
Obr. 14: PhoToPlan – Funkce orientace snímku	28
Obr. 15: PhoToPlan – Příklad orientovaného snímku.....	29
Obr. 16: PhoToPlan – Funkce rozvinutí	30
Obr. 17: PhoToPlan – Příklad rozvinutého snímku	31
Obr. 18: PhoToPlan – Funkce oprava distorze	32
Obr. 19: LupoScan – Import prvků vnitřní orientace	33
Obr. 20: LupoScan – Pracovní okno, proložení tělesa.....	34
Obr. 21: LupoScan – Orientace snímku	35
Obr. 22: LupoScan – Rozvinutí pláště.....	36
Obr. 23: LupoScan – Příklad rozvinutí bez a s nastavenými kritérii	37
Obr. 24: LupoScan – Projekce.....	37
Obr. 25: LupoScan – Export	38
Obr. 26: DigiCAD – Definování a umístění výchozí mřížky.....	39
Obr. 27: DigiCAD – Adaptace mřížky	39
Obr. 28: DigiCAD – Výsledek transformace.....	40
Obr. 29: PhotoUnwrap – Porovnání metod obrazové interpolace.....	42
Obr. 30: Příklad vytvořeného výkresu - relativní přesnost rozvinutého snímku.....	46
Obr. 31: Výřez výkresu R2 – systematický posun bodů – software PhotoUnwrap	48
Obr. 32: Výřez výkresu R4 – téměř ideální situace snímkování – porovnání testovaných softwarů	49



Obr. 33: Výřez výkresu R8 – souřadnicové rozdíly – software LupoScan	50
Obr. 34: Výřez výkresu A2 - absolutní přesnost rozvinutého snímku 2.....	53
Obr. 35: Výřez výkresu A4 - absolutní přesnost rozvinutého snímku 4	53
Obr. 36: Výřez výkresu A5 – absolutní přesnost rozvinutého snímku 5	54
Obr. 37: Oříznuté vybrané snímky a zakres oblastí zkoumání obrazové kvality snímků – snímky č. 1, 6, 8	56



Seznam tabulek

Tab. 1: Relativní přesnost – sada originálních snímků – výběr výsledků.....	45
Tab. 2: Relativní přesnost – sada idealizovaných snímků – výběr výsledků.....	47
Tab. 3: Absolutní přesnost – výběr výsledků	52
Tab. 4: Absolutní přesnost - průměrné souřadnicové odchylky	54
Tab. 5: Sklon osy záběru jednotlivých snímků	55
Tab. 6: Porovnání testovaných softwarů – vypočtené hodnoty PVO (střed promítání)	57
Tab. 7: Průměrné souřadnice středu promítání a opravy pro každý software.....	57
Tab. 8: Porovnání testovaných softwarů - proložení tělesa	59

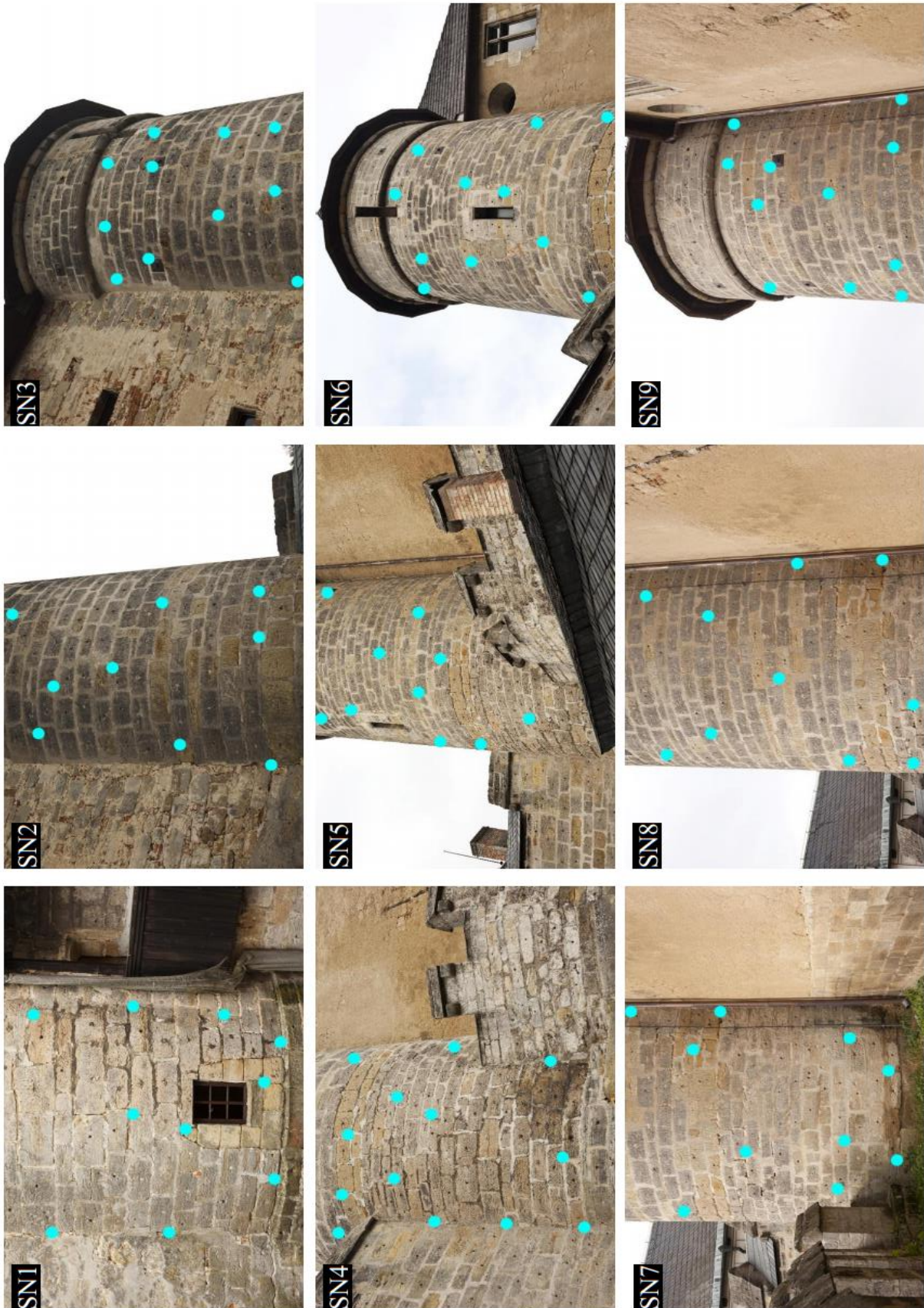


Seznam příloh

A Přehled konfigurací použitých vlíčovacích bodů pro výpočet PVO	76
B Příklad rozvinutého snímku ve PhoToPlan	77
C Příklad rozvinutého snímku v LupoScan	83
D Příklad rozvinutého snímku ve PhotoUnwrap	88
E Relativní přesnost rozvinutých snímků.....	90
F Absolutní přesnost rozvinutých snímků	101
G Obrazová kvalita rozvinutých snímků	108
H Obsah DVD-ROM	110



A Přehled konfigurací použitých vlíčovacích bodů pro výpočet PVO

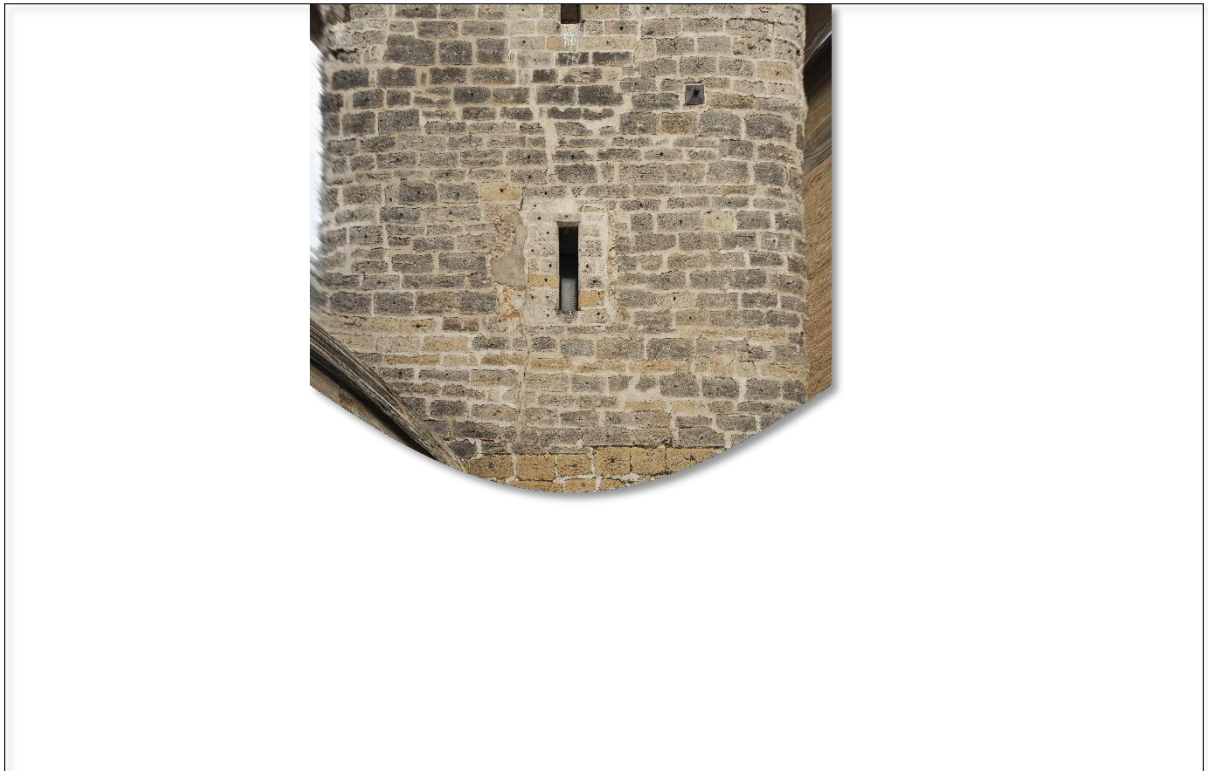




B Příklad rozvinutého snímku ve PhoToPlan

Tato část přílohy obsahuje:

- rozvinutý snímek
- protokol o orientaci snímku
- protokol o rozvinutí snímku
- porovnání originálního a opraveného snímku o distorzi
- protokol s distorzními parametry
- příklad automatického ořezání a korekce jasů při zpracování více snímků



Obr. B.1: Rozvinutý snímek ve PhoToPlan

[Zdroj: Autor]



Protocol of kubit image orientation v16.5.17.15922 from středa, 23. březen 2016, 09:36

Image to be orientated:

Name:

D:\Diplomova_prace\03_pouzito_DP_2\02_opravene_snimky\6.jpg

Size:

3.0228 x 2.0152 (5616 x 3744 Pixel)

Used control points for image orientation:

Number	x (WCS)	y (WCS)	z (WCS)	Columns	Lines	Error
82	-1007.6960	-5010.6460	307.0630	3657.8	1313.0	0.0073
83	-1006.1830	-5010.9150	307.3460	3062.5	1025.1	0.0097
77	-1006.2170	-5010.9180	302.9940	3116.2	2369.0	0.0068
74	-1005.2000	-5011.6370	301.7440	2454.5	2859.8	0.0069
72	-1004.4580	-5012.9500	300.9530	1728.2	3433.4	0.0057
76	-1008.3380	-5010.7830	302.9540	4003.5	2746.2	0.0060
69	-1008.2510	-5010.7630	300.6630	4097.4	3653.9	0.0043
71	-1005.0420	-5011.8350	300.3330	2293.6	3504.1	0.0013
86	-1004.7120	-5012.2760	306.6890	2207.2	1312.0	0.0014
53	-1004.3230	-5013.5350	307.5950	1828.1	1352.3	0.0087
79	-1004.7540	-5012.2220	304.4270	2177.6	1969.7	0.0073
80	-1006.4580	-5010.8140	304.4190	3220.3	1891.8	0.0070

AutoCAD unit:

Meters

Orientated image:

Name:

D:\Diplomova_prace\03_pouzito_DP_2\05_rozvinuti_photoplan\03_rozvin_opravene_sn\01_orientovane_sn\6.tif

Size:

14.0448 x 9.3632 (5616 x 3744 Pixel)

Origin:

x = -1003.0580, y = -5019.9922, z = 303.8774

X-axis:

x = -11.7332, y = 7.7192, z = 0.0628

Y-axis:

x = 3.8341, y = 5.7767, z = 6.2928

Parameters of inner orientation

Image width [Pixels]	5616
Image height [Pixels]	3744
Lens length [mm]	52.843
Size of sensor element X [μm]	6.174
Size of sensor element Y [μm]	6.174
Sensor size in X [mm]	34.674
Sensor size in Y [mm]	23.116

Parameters of outer orientation

Camera position (WCS-X)	-999.1604
Camera position (WCS-Y)	-5001.1875
Camera position (WCS-Z)	291.2061
Viewing direction (vertical angle)	48
Direction of view (horizontal angle)	237
Viewing direction (twist angle)	0

B.2 – Protokol o orientaci snímku ve PhoToPlan

[Zdroj: Autor]



Protocol of Unwrapping a kubit Cylinder v16.5.17.15922 from středa, 23. březen 2016, 10:00

kubit Cylinder:

Start point (WCS):

x = -1007.4704, y = -5013.7469, z = 295.1705

End point (WCS):

x = -1007.4249, y = -5013.7160, z = 307.6297

Diameter:

6.1699

Side to be unwrapped:

Outside

Reference point on the cylinder surface (WCS):

x = -1006.2090, y = -5010.8996, z = 302.9939

Position of the unwrapping:

at the cylinder

Width of the unwrapping:

complete perymeter of the cylinder

kubit Oriented Images:

Name:

D:\Diplomova_prace\03_pouzito_DP_2\05_rozvinuti_photoplan\03_rozvin_opravene_sn\01_orientovane_sn\6.tif

Overlapping options:

Create separate images

Automatic brightness correction:

No

Unwrapped image:

Name:

D:\Diplomova_prace\03_pouzito_DP_2\05_rozvinuti_photoplan\03_rozvin_opravene_sn\02_rozvinute_sn\6.tif

Size:

19.3833 x 12.4593 (9692 x 6230 Pixel)

Origin:

x = -997.3535, y = -5014.7922, z = 295.1361

X-axis:

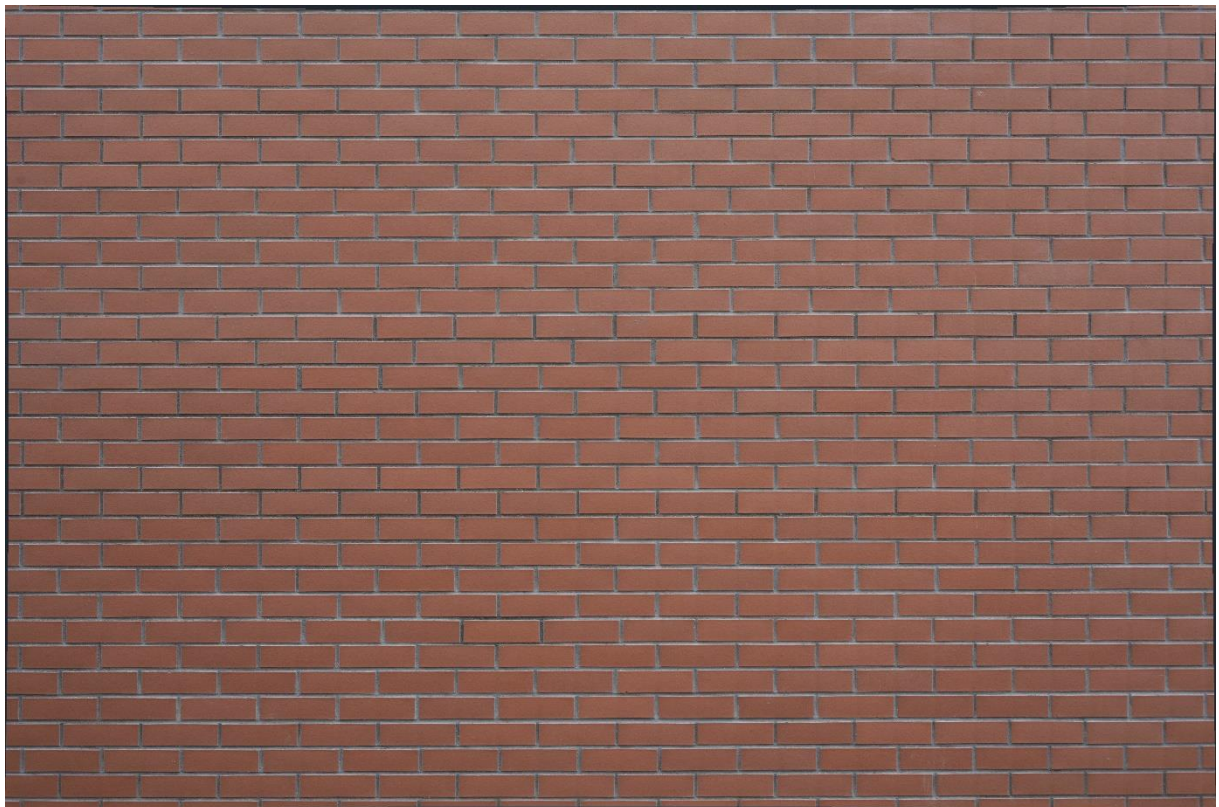
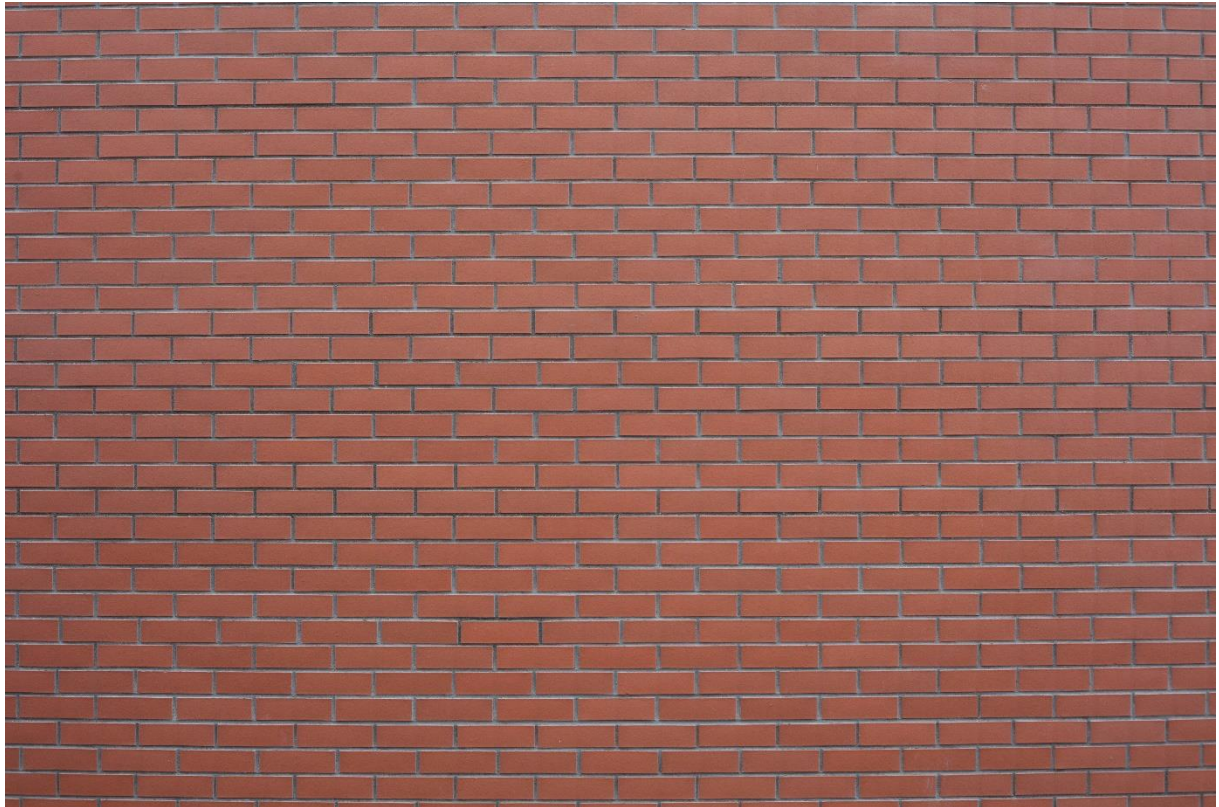
x = -17.7681, y = 7.7463, z = 0.0457

Y-axis:

x = 0.0455, y = 0.0309, z = 12.4592

B.3 – Protokol o rozvinutí snímku ve PhoToPlan

[Zdroj: Autor]



Obr. B.4: Porovnání původního (horní) a opraveného (dolní) snímku o distorzi objektivu

[Zdroj: Autor]



Name	kalibracni_protokol
ImageWidth	5616
ImageHeight	3744
BHPx	2808.0000000
BHPy	1872.0000000
R0	2250.0000000
K1	-1.7013303813e-009
K2	4.1115596329e-018
K3	0.0000000000e+000
K4	0.0000000000e+000
P1	-7.5473312809e-009
P2	0.0000000000e+000
LensLength_MM	52.843000000e+000
SensorElementSizeX_MM	0.0000000000e+000
SensorElementSizeY_MM	0.0000000000e+000

B.5 – Protokol s distorzními parametry určenými ve PhoToPlan

[Zdroj: Autor]



Obr. B.6: Příklad automatického ořezání a korekce jasu při zpracování více snímků ve PhoToPlan

[Zdroj: Autor]



C Příklad rozvinutého snímku v LupoScan

Tato část přílohy obsahuje:

- rozvinutý snímek
- protokol o výpočtu parametrů DLT metody
- protokol o vnější orientaci snímku
- výsledný protokol o vnější orientaci



Obr. C.1: Rozvinutý snímek v LupoScan

[Zdroj: Autor]



LupoScan DLT
Time : Tue Mar 22 15:38:55 2016

Adjusted DLT - Parameter

L 1 = -447.26413440
L 2 = 180.41908427
L 3 = 120.75474656
L 4 = 2812.68585144
L 5 = -230.19935695
L 6 = -362.45787410
L 7 = -243.60577749
L 8 = 2187.20262290
L 9 = -0.01907354
L10 = -0.03372058
L11 = 0.04247792

Offset:x = -1005.969333
Offset:y = -5011.607833
Offset:z = 303.931667
Meanpoint:x0 = 2292.25748429
Meanpoint:y0 = 1895.51061937
Cameraconst:c(x) = 8338.40301316
Cameraconst:c(y) = 8375.05779358
Axis-shear:d = -0.02703211
Axis-scale:m = -1.00403207
Translation:X = -999.01429070
Translation:Y = -5001.60450683
Translation:Z = 291.45401441
Rotation:Omega = 2.40217051
Rotation:Phi = 5.22715684
Rotation:Kappa = 3.06925525

c(x) / c(y) = 0.99562334

No.		value [pixel]	residual [pixel]
53	x =	1825.000	v = 0.727
53	y =	1358.000	v = -0.601
69	x =	4094.000	v = 0.809
69	y =	3654.000	v = 0.910
71	x =	2295.000	v = 1.217
71	y =	3510.000	v = -1.526
72	x =	1728.000	v = -1.875
72	y =	3431.000	v = -1.869
74	x =	2459.750	v = 1.661
74	y =	2847.750	v = 0.474
76	x =	4003.000	v = -0.407
76	y =	2739.000	v = -1.148
77	x =	3119.250	v = -1.496
77	y =	2365.000	v = -1.359
79	x =	2180.000	v = -1.365
79	y =	1965.000	v = 0.887
80	x =	3221.000	v = 1.842
80	y =	1889.000	v = -1.900
82	x =	3649.000	v = 0.431
82	y =	1297.000	v = 0.079
83	x =	3062.750	v = -1.331
83	y =	1026.000	v = -1.502
86	x =	2204.000	v = 0.789
86	y =	1320.000	v = -1.446

C.2 – Protokol o výpočtu parametrů DLT metody v LupoScan

[Zdroj: Autor]



```
[exterior_orientation]
target = SOUR_LUPO.ref
source =
D:\Diplomova_prace\03_pouzito_DP_2\06_rozvinuti_luposcan\ZPRACOVANI\idealizovano\6.jpg
adjust_scale = 0
iterations_max = 0

[camera]
file = C:\ProgramData\LupoScan\camera\Canon EOS 5D Mark II.cam

[image_coordinates]
74 = 2459.75 2847.75 0 0.0000 0.0000 0.0000
76 = 4003.00 2739.00 0 0.0000 0.0000 0.0000
77 = 3119.25 2365.00 0 0.0000 0.0000 0.0000
83 = 3062.75 1026.00 0 0.0000 0.0000 0.0000
86 = 2204.00 1320.00 0 0.0000 0.0000 0.0000
82 = 3649.00 1297.00 0 0.0000 0.0000 0.0000
80 = 3221.00 1889.00 0 0.0000 0.0000 0.0000
79 = 2180.00 1965.00 0 0.0000 0.0000 0.0000
72 = 1728.00 3431.00 0 0.0000 0.0000 0.0000
71 = 2295.00 3510.00 0 0.0000 0.0000 0.0000
69 = 4094.00 3654.00 0 0.0000 0.0000 0.0000
53 = 1825.00 1358.00 0 0.0000 0.0000 0.0000

[DLT]
L1 = -447.26413440
L2 = 180.41908427
L3 = 120.75474656
L4 = 2812.68585144
L5 = -230.19935695
L6 = -362.45787410
L7 = -243.60577749
L8 = 2187.20262290
L9 = -0.01907354
L10 = -0.03372058
L11 = 0.04247792
Offset:x = -1005.9693333333
Offset:y = -5011.6078333333
Offset:z = 303.9316666667
Meanpoint:x0 = 2292.25748429
Meanpoint:y0 = 1895.51061937
Cameraconst:c(x) = 8338.40301316
Cameraconst:c(y) = 8375.05779358
Axis-shear:d = -0.02703211
Axis-scale:m = -1.00403207
Translation:X = -999.0142906987
Translation:Y = -5001.6045068254
Translation:Z = 291.4540144098
Rotation:Omega = 2.40217
Rotation:Phi = 5.22716
Rotation:Kappa = 3.06926
neg = 1

[orientation_parameter]
id_points = 0
iterations_count = 0
m0 = 0.0000000000
X(m) = -999.58471937
Y(m) = -5001.91067831
Z(m) = 291.87520523
Omega(rad) = 0.64246486
Phi(rad) = 2.76757796
Kappa(rad) = 0.45730811
scale = 1.00000000
```

C.3 – Protokol o vnější orientaci snímku v LupoScan

[Zdroj: Autor]



MAdjustment (c) M.Pospis
Time of start: Tue Mar 22 15:40:31 2016

----- INPUT -----

Type of adjustment : 3D Resection
m0(a priori) : 0.010000
Number of unknowns : 6
Number of observations : 24
Redundancy : 18
Maximum number of iterations : 99

----- KNOWNNS -----

Focallength	mm	1	-1	-52.842600
CoordinateX	m	86	-1	-1004.712000
CoordinateY	m	86	-1	-5012.276000
CoordinateZ	m	86	-1	306.689000
CoordinateX	m	83	-1	-1006.183000
CoordinateY	m	83	-1	-5010.915000
CoordinateZ	m	83	-1	307.346000
CoordinateX	m	82	-1	-1007.696000
CoordinateY	m	82	-1	-5010.646000
CoordinateZ	m	82	-1	307.063000
CoordinateX	m	80	-1	-1006.458000
CoordinateY	m	80	-1	-5010.814000
CoordinateZ	m	80	-1	304.419000
CoordinateX	m	79	-1	-1004.754000
CoordinateY	m	79	-1	-5012.222000
CoordinateZ	m	79	-1	304.427000
CoordinateX	m	77	-1	-1006.217000
CoordinateY	m	77	-1	-5010.918000
CoordinateZ	m	77	-1	302.994000
CoordinateX	m	76	-1	-1008.338000
CoordinateY	m	76	-1	-5010.783000
CoordinateZ	m	76	-1	302.954000
CoordinateX	m	74	-1	-1005.200000
CoordinateY	m	74	-1	-5011.637000
CoordinateZ	m	74	-1	301.744000
CoordinateX	m	72	-1	-1004.458000
CoordinateY	m	72	-1	-5012.950000
CoordinateZ	m	72	-1	300.953000
CoordinateX	m	71	-1	-1005.042000
CoordinateY	m	71	-1	-5011.835000
CoordinateZ	m	71	-1	300.333000
CoordinateX	m	69	-1	-1008.251000
CoordinateY	m	69	-1	-5010.763000
CoordinateZ	m	69	-1	300.663000
CoordinateX	m	53	-1	-1004.323000
CoordinateY	m	53	-1	-5013.535000
CoordinateZ	m	53	-1	307.595000

----- APPROXIMATE VALUES -----

CoordinateX	m	9001	-1	-999.014291
CoordinateY	m	9002	-1	-5001.604507
CoordinateZ	m	9003	-1	291.454014
Omega	rad	9004	-1	2.402171
Phi	rad	9005	-1	5.227157
Kappa	rad	9006	-1	3.069255

----- ITERATIONS -----

Convergency reached after 44 iterations!

m0 a posteriori = 0.006486

----- OBSERVATIONS -----

EV	GF	GRZW	L	V	NV	
ImageX	mm	86	-1	-3.980305	0.061029	0.679798
0.805957	-0.075722	-0.512434				
ImageY	mm	86	-1	3.689773	0.057553	0.653027
0.776737	-0.074096	-0.531712				



ImageX	mm	83	-1	1.722702	-0.073441	0.814340
0.813335	0.090297		-0.507786			
ImageY	mm	83	-1	5.611937	-0.023791	0.269657
0.778402	0.030564		-0.530574			
ImageX	mm	82	-1	5.613223	-0.087866	1.003831
0.766161	0.114683		-0.539052			
ImageY	mm	82	-1	3.838003	-0.080555	0.977734
0.678803	0.118672		-0.608424			
ImageX	mm	80	-1	2.776031	-0.040794	0.432175
0.890996	0.045785		-0.463526			
ImageY	mm	80	-1	-0.032284	0.043282	0.461256
0.880486	-0.049156		-0.469059			
ImageX	mm	79	-1	-4.141422	0.016592	0.177635
0.872442	-0.019018		-0.473384			
ImageY	mm	79	-1	-0.529588	0.012951	0.140198
0.853371	-0.015176		-0.483963			
ImageX	mm	77	-1	2.099308	-0.052399	0.561203
0.871764	0.060106		-0.473752			
ImageY	mm	77	-1	-3.147512	0.083696	0.897744
0.869169	-0.096294		-0.475167			
ImageX	mm	76	-1	7.948786	-0.039779	0.463560
0.736386	0.054020		-0.560847			
ImageY	mm	76	-1	-5.578844	0.016276	0.187970
0.749742	-0.021709		-0.550856			
ImageX	mm	74	-1	-2.280515	0.007464	0.083316
0.802478	-0.009301		-0.514656			
ImageY	mm	74	-1	-6.300173	-0.022815	0.255435
0.797746	0.028599		-0.517709			
ImageX	mm	72	-1	-7.108071	-0.013088	0.163272
0.642528	0.020369		-0.642774			
ImageY	mm	72	-1	-10.071131	-0.040171	0.477354
0.708176	0.056724		-0.583188			
ImageX	mm	71	-1	-3.363956	-0.004641	0.058227
0.635176	0.007306		-0.650214			
ImageY	mm	71	-1	-10.597893	0.002143	0.026047
0.677130	-0.003165		-0.609927			
ImageX	mm	69	-1	8.512477	0.101561	1.390010
0.533851	-0.190243		-0.773624			
ImageY	mm	69	-1	-11.496362	-0.065615	0.816207
0.646258	0.101531		-0.639064			
ImageX	mm	53	-1	-6.491739	0.123314	1.567073
0.619226	-0.199143		-0.666961			
ImageY	mm	53	-1	3.438292	0.027051	0.351087
0.593680	-0.045566		-0.695661			

0.0<NV<2.5	blunder not recognisable		1.0=EV	fully controled
2.5<NV<4.0 *	blunder possible		1.0>EV>0.4	good controled
4.0<NV	*** blunder probable		0.4>EV>0.1 *	controled
			0.1>EV>0.01 **	bad controled
			EV>0.01 ***	not controled

----- UNKNOWNNS -----

CoordinateX	m	9001	-1	-999.58472 +-	0.07187	
CoordinateY	m	9002	-1	-5001.91068 +-	0.08199	
CoordinateZ	m	9003	-1	291.87521 +-	0.03704	
Omega	rad	9004	-1	0.64246 +-	0.00475	40.90058 gon
+-	0.30221					
Phi	rad	9005	-1	2.76758 +-	0.00416	176.18949 gon
+-	0.26497					
Kappa	rad	9006	-1	0.45731 +-	0.00454	29.11314 gon
+-	0.28883					

----- END -----

finished: Tue Mar 22 15:40:31 2016

time: < 0.001 sec

C.4 – Výsledný protokol o vnější orientaci v LupoScan

[Zdroj: Autor]



D Příklad rozvinutého snímku ve PhotoUnwrap

Tato část přílohy obsahuje:

- rozvinutý snímek
- protokol o výpočtu



Obr. D.1: Rozvinutý snímek ve PhotoUnwrap

[Zdroj: Autor]



Zaznam vypoctu programu Photo UnWrap, 2016/03/23 17:05:37

1. Proloženi telesa: Valec

Body použite pro proloženi:

c.b	X[m]	Y[m]	Z[m]
1	-1007.320	-5016.791	295.504
2	-1006.264	-5016.549	295.265
3	-1005.118	-5015.800	295.545
4	-1004.815	-5015.289	295.263
5	-1004.617	-5014.912	296.050
6	-1005.649	-5016.239	296.549
7	-1007.306	-5016.774	296.655
8	-1005.509	-5016.124	297.264
9	-1004.590	-5014.877	297.941
10	-1005.509	-5016.125	297.965
11	-1007.333	-5016.769	298.199
12	-1005.860	-5016.390	298.754
13	-1004.623	-5014.963	299.651
14	-1005.321	-5015.979	299.687
15	-1006.781	-5016.725	299.556
:	:	:	:
116	-1010.501	-5013.229	304.875
117	-1010.513	-5013.326	306.124
118	-1010.259	-5012.492	306.257
119	-1009.858	-5011.766	306.731
120	-1009.034	-5011.059	307.189
121	-1007.672	-5010.628	306.812
122	-1008.037	-5010.675	307.480
123	-1009.665	-5011.541	307.459
124	-1010.323	-5012.615	307.499
125	-1010.532	-5013.708	307.641
126	-1010.504	-5013.692	296.443

Polomer valce 3.085 m, stredni chyba 4.4046e-06

Bod na ose valce X -1007.44 m, stredni chyba 0.0044291 m

Bod na ose valce Y -5013.73 m, stredni chyba 0.0038702 m

Bod na ose valce Z 304.064 m, stredni chyba 0.0034022 m

Stoceni kolem osy X 199.9502 gon, stredni chyba 107.7492 mgon

Stoceni kolem osy Y -0.37109 gon, stredni chyba 114.3757 mgon

2. Prvky vnejsi orientace

Body použite pro vypocet kllice:

c.b	X[m]	Y[m]	Z[m]	x[px]	y[px]	dx[px]	dy[px]		
53	-1004.323	-5013.535	307.595	1832.0	2397.0	0.1	0.0		
69	-1008.251	-5010.763	300.663	4108.0	86.0	0.1	-0.5		
71	-1005.042	-5011.835	300.333	2295.0	237.0	-1.3	1.3		
74	-1005.200	-5011.637	301.744	2459.0	885.0	0.8	-0.0		
76	-1008.338	-5010.783	302.954	4007.0	1000.0	0.6	-1.3		
77	-1006.217	-5010.918	302.994	3116.0	1381.0	0.9	-0.2		
79	-1004.754	-5012.222	304.427	2178.0	1776.0	-0.5	-0.6		
80	-1006.458	-5010.814	304.419	3224.0	1854.0	-0.7	0.7		
82	-1007.696	-5010.646	307.063	3653.0	2435.0	-0.8	1.5		
83	-1006.183	-5010.915	307.346	3061.0	2715.0	-0.6	0.4		
86	-1004.712	-5012.276	306.689	2207.0	2433.0	1.4	-1.3		

Hlavni bod: X[m] Y[m] Z[m]
-999.354 -5001.589 291.657

r11 r12 r13 r21 r22 r23 r31 r32 r33
0.55199 -0.83384 0.0036381 -0.6157 -0.41052 -0.67259 0.56233 0.36902 -0.74
Aposteriorni smerodatna odchylka souradnicova $\sqrt{([vv]/\text{pocet_nadbytecných_souradnic} = 1$

3. Rozvinuti snimku

Fotoplan vytvoren ze snimku "6.jpg". Radialni distorze: Idealizovano.
Rozmer vysledneho rastru: 8868x4845 px
Velikost pixelu 0.002 m
Zvoleny zpusob interpolace: Bilinearni interpolace

D.2 – Protokol o výpočtu

[Zdroj: Autor]



E Relativní přesnost rozvinutých snímků

Tato část přílohy obsahuje:

- tabulka – relativní přesnost originálních snímků
- tabulka – relativní přesnost externě idealizovaných snímků
- výkresy R1 – R9 pro externě idealizované snímky (volně přiloženy k této práci formátu A4, výkres R8 a R9 ve formátu A3)
- dílčí hodnocení výkresů R1 – R9



SN	č.b.	PhoToPlan (PTP)		LupoScan (LS)		PhotoUnwrap (PUW)		PUW/PTP		PUW/LS		PTP/LS		pozn.
		X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	dX [mm]	dY [mm]	dX [mm]	dY [mm]	dX [mm]	dY [mm]	
1_o	1	100,0259	298,5970	100,0657	298,5580	100,0311	298,5868	5,2	-10,2	-34,6	28,8	-39,8	39,0	okraj
	2	101,1666	298,6589	101,2060	298,5881	101,1759	298,6330	9,3	-25,9	-30,1	44,9	-39,4	70,8	
	3	102,5503	298,7691	102,5464	298,7174	102,5361	298,7394	-14,2	-29,7	-10,3	22,0	3,9	51,7	
	4	104,0413	298,7042	104,0515	298,7621	104,0532	298,7022	11,9	-2,0	1,7	-59,9	-10,2	-57,9	okraj
	5	103,7318	298,0832	103,7316	298,1227	103,7322	298,0794	0,4	-3,8	0,6	-43,3	0,2	-39,5	okraj
	6	101,9392	297,9773	101,9461	297,9430	101,9354	297,9610	-3,8	-16,3	-10,7	18,0	-6,9	34,3	
	7	100,9808	297,9543	101,0117	297,9213	100,9914	297,9429	10,6	-11,4	-20,3	21,6	-30,9	33,0	
	8	100,0855	297,9785	100,1077	297,9626	100,0845	297,9707	-1,0	-7,8	-23,2	8,1	-22,2	15,9	okraj
	9	100,1132	296,6133	100,0871	296,6162	100,0950	296,5939	-18,2	-19,4	7,9	-22,3	26,1	-2,9	okraj
	10	101,8543	296,4538	101,8550	296,4562	101,8568	296,4524	2,5	-1,4	1,8	-3,8	-0,7	-2,4	
	11	103,2755	296,7416	103,2755	296,7638	103,2782	296,7398	2,7	-1,8	2,7	-24,0	0,0	-22,2	
	12	104,4257	297,1107	104,5296	297,1855	104,5241	297,0970	98,4	-13,7	-5,5	-88,5	-103,9	-74,8	okraj
	13	103,9084	295,5364	103,9582	295,5337	103,9741	295,4919	65,7	-44,5	15,9	-41,8	-49,8	2,7	okraj
	14	102,8626	295,5078	102,8566	295,5141	102,8680	295,4945	5,4	-13,3	11,4	-19,6	6,0	-6,3	
	15	102,1930	295,7806	102,1853	295,7888	102,1926	295,7787	-0,4	-1,9	7,3	-10,1	7,7	-8,2	
	16	100,0537	295,5322	100,0005	295,5683	100,0195	295,5240	-34,2	-8,2	19,0	-44,3	53,2	-36,1	okraj
2_o	17	99,7603	300,4041	99,7777	300,4047	99,7321	300,4212	-28,2	17,1	-45,6	16,5	-17,4	-0,6	okraj
	18	101,9469	300,4683	101,9401	300,4571	101,9305	300,4650	-16,4	-3,3	-9,6	7,9	6,8	11,2	
	19	102,7407	299,8382	102,7344	299,8246	102,7187	299,8330	-22,0	-5,2	-15,7	8,4	6,3	13,6	okraj
	20	103,8181	300,2684	103,8216	300,2354	103,7288	300,2547	-89,3	-13,7	-92,8	19,3	-3,5	33,0	okraj
	21	104,0629	301,9561	104,1053	301,9223	103,9688	301,9257	-94,1	-30,4	-136,5	3,4	-42,4	33,8	okraj
	22	102,2142	302,1012	102,2115	302,0938	102,2012	302,0975	-13,0	-3,7	-10,3	3,7	2,7	7,4	
	23	100,6559	302,0976	100,6540	302,0938	100,6495	302,1064	-6,4	8,8	-4,5	12,6	1,9	3,8	
	24	99,8127	302,0050	99,8231	302,0000	99,8026	302,0295	-10,1	24,5	-20,5	29,5	-10,4	5,0	
	25	100,0498	303,4369	100,0609	303,4305	100,0581	303,4496	8,3	12,7	-2,8	19,1	-11,1	6,4	
	26	101,7093	303,2533	101,7110	303,2509	101,7097	303,2497	0,4	-3,6	-1,3	-1,2	-1,7	2,4	
	27	103,3077	303,6190	103,3190	303,6134	103,2872	303,5948	-20,5	-24,2	-31,8	-18,6	-11,3	5,6	
	28	104,0914	303,6597	104,1423	303,6551	104,0758	303,6400	-15,6	-19,7	-66,5	-15,1	-50,9	4,6	okraj
	29	104,2522	305,4622	104,2940	305,4658	104,1533	305,3575	-98,9	-104,7	-140,7	-108,3	-41,8	-3,6	okraj
	30	102,1209	305,4959	102,1254	305,4945	102,1162	305,4822	-4,7	-13,7	-9,2	-12,3	-4,5	1,4	okraj
	31	101,3276	305,5633	101,3326	305,5571	101,3448	305,5521	17,2	-11,2	12,2	-5,0	-5,0	6,2	okraj
	32	99,7069	305,0902	99,7320	305,0671	99,7351	305,0912	28,2	1,0	3,1	24,1	-25,1	23,1	okraj
3_o	33	99,9255	303,1403	99,9421	303,1316	99,9176	303,1789	-7,9	38,6	-24,5	47,3	-16,6	8,7	okraj
	34	101,2193	302,8538	101,2226	302,8505	101,2003	302,8278	-19,0	-26,0	-22,3	-22,7	-3,3	3,3	okraj
	35	102,3956	303,0110	102,3977	303,0053	102,3868	303,0204	-8,8	9,4	-10,9	15,1	-2,1	5,7	okraj
	36	104,1134	303,9714	104,1284	303,9729	104,1253	303,9424	11,9	-29,0	-3,1	-30,5	-15,0	-1,5	okraj
	37	104,2039	304,7316	104,2174	304,7285	104,1498	304,6891	-54,1	-42,5	-67,6	-39,4	-13,5	3,1	okraj
	38	102,6284	304,7475	102,6226	304,7361	102,6156	304,7431	-12,8	-4,4	-7,0	7,0	5,8	11,4	
	39	101,3229	304,3985	101,3242	304,4012	101,3248	304,4065	1,9	8,0	0,6	5,3	-1,3	-2,7	
	40	99,7748	304,7824	99,7822	304,7644	99,7643	304,8210	-10,5	38,6	-17,9	56,6	-7,4	18,0	
	41	100,1918	305,8864	100,1902	305,8740	100,1939	305,9169	2,1	30,5	3,7	42,9	1,6	12,4	
	42	101,4134	306,2450	101,4078	306,2447	101,4173	306,2644	3,9	19,4	9,5	19,7	5,6	0,3	
	43	102,8441	306,2064	102,8508	306,1984	102,8417	306,2014	-2,4	-5,0	-9,1	3,0	-6,7	8,0	
	44	104,0226	305,8436	104,0421	305,8461	103,9800	305,8095	-42,6	-34,1	-62,1	-36,6	-19,5	-2,5	okraj
	45	103,8232	307,3127	103,8384	307,3203	103,8083	307,2876	-14,9	-25,1	-30,1	-32,7	-15,2	-7,6	okraj
	46	102,8412	307,5106	102,8427	307,5127	102,8441	307,5026	2,9	-8,0	1,4	-10,1	-1,5	-2,1	
	47	101,2478	307,3096	101,2453	307,3106	101,2550	307,3193	7,2	9,7	9,7	8,7	2,5	-1,0	
	48	99,6115	307,3096	99,6175	307,2896	99,6072	307,3481	-4,3	38,5	-10,3	58,5	-6,0	20,0	

E.1 – Relativní přesnost – sada originálních snímků (část 1/3)

[Zdroj: Autor]



SN	č.b.	PhoToPlan (PTP)		LupoScan (LS)		PhotoUnwrap (PUW)		PUW/PTP		PUW/LS		PTP/LS		pozn.
		X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	dX [mm]	dY [mm]	dX [mm]	dY [mm]	dX [mm]	dY [mm]	
4_o	49	106,2000	295,5454	106,2086	295,5353	106,2070	295,5382	7,0	-7,2	-1,6	2,9	-8,6	10,1	okraj
	50	107,6513	295,4147	107,6571	295,3972	107,6583	295,4047	7,0	-10,0	1,2	7,5	-5,8	17,5	
	51	109,2053	295,7333	109,2158	295,7295	109,2098	295,7275	4,5	-5,8	-6,0	-2,0	-10,5	3,8	
	52	109,7444	295,4654	109,7331	295,4655	109,7407	295,4658	-3,7	0,4	7,6	0,3	11,3	-0,1	okraj
	53	110,3661	297,5891	110,3640	297,5768	110,3706	297,6008	4,5	11,7	6,6	24,0	2,1	12,3	okraj
	54	109,3777	297,9891	109,3975	297,9817	109,3853	297,9930	7,6	3,9	-12,2	11,3	-19,8	7,4	
	55	107,3730	297,8953	107,3813	297,8923	107,3729	297,8909	-0,1	-4,4	-8,4	-1,4	-8,3	3,0	
	56	106,3277	298,1822	106,3374	298,1833	106,3374	298,1761	9,7	-6,1	0,0	-7,2	-9,7	-1,1	okraj
	57	106,5597	298,9595	106,5645	298,9610	106,5642	298,9538	4,5	-5,7	-0,3	-7,2	-4,8	-1,5	okraj
	58	107,9058	299,0027	107,9240	298,9995	107,9076	299,0003	1,8	-2,4	-16,4	0,8	-18,2	3,2	
	59	109,4323	298,7969	109,4544	298,7877	109,4286	298,8000	-3,7	3,1	-25,8	12,3	-22,1	9,2	
	60	110,5655	299,3351	110,5745	299,3237	110,5628	299,3459	-2,7	10,8	-11,7	22,2	-9,0	11,4	okraj
	61	110,9607	300,4002	110,9737	300,3926	110,9712	300,4159	10,5	15,7	-2,5	23,3	-13,0	7,6	okraj
	62	109,1175	300,0555	109,1484	300,0514	109,1121	300,0617	-5,4	6,2	-36,3	10,3	-30,9	4,1	
	63	107,2904	300,5777	107,3144	300,5897	107,2888	300,5808	-1,6	3,1	-25,6	-8,9	-24,0	-12,0	
	64	105,9801	300,5836	105,9971	300,6002	105,9866	300,5868	6,5	3,2	-10,5	-13,4	-17,0	-16,6	okraj
5_o	65	106,9819	297,0767	107,0188	297,0582	106,9750	297,0641	-6,9	-12,6	-43,8	5,9	-36,9	18,5	okraj
	66	109,1638	296,9030	109,1702	296,8862	109,1772	296,8904	13,4	-12,6	7,0	4,2	-6,4	16,8	okraj
	67	110,0110	296,9986	109,9728	297,1294	110,0286	296,9869	17,6	-11,7	55,8	-142,5	38,2	-130,8	okraj
	68	111,4230	298,2101	111,4230	298,1039	111,4350	298,1940	12,0	-16,1	12,0	90,1	0,0	106,2	okraj
	69	112,5093	300,6465	112,5395	300,5773	112,5251	300,6413	15,8	-5,2	-14,4	64,0	-30,2	69,2	okraj
	70	109,5185	300,7890	109,5124	300,7785	109,5219	300,7848	3,4	-4,2	9,5	6,3	6,1	10,5	
	71	107,9711	300,5172	107,9724	300,5168	107,9694	300,5148	-1,7	-2,4	-3,0	-2,0	-1,3	0,4	
	72	106,8464	300,3264	106,8538	300,3187	106,8340	300,3369	-12,4	10,5	-19,8	18,2	-7,4	7,7	okraj
	73	106,9711	302,5292	106,9615	302,5330	106,9569	302,5402	-14,2	11,0	-4,6	7,2	9,6	-3,8	okraj
	74	107,9357	302,6800	107,9419	302,6750	107,9312	302,6790	-4,5	-1,0	-10,7	4,0	-6,2	5,0	
	75	110,4861	302,9866	110,4858	302,9786	110,4939	302,9839	7,8	-2,7	8,1	5,3	0,3	8,0	
	76	113,2385	303,0525	113,2851	303,0135	113,2415	303,0280	3,0	-24,5	-43,6	14,5	-46,6	39,0	okraj
	77	113,8331	305,6003	113,9005	305,6007	113,8004	305,5396	-32,7	-60,7	-100,1	-61,1	-67,4	-0,4	okraj
	78	110,8481	305,1772	110,8507	305,1682	110,8450	305,1699	-3,1	-7,3	-5,7	1,7	-2,6	9,0	
	79	109,1761	305,5352	109,1828	305,5329	109,1813	305,5299	5,2	-5,3	-1,5	-3,0	-6,7	2,3	
	80	106,9255	305,6698	107,0848	305,4216	106,8776	305,6937	-47,9	23,9	-207,2	272,1	-159,3	248,2	okraj
6_o	81	105,4058	300,9115	105,4027	300,9266	105,3794	300,9346	-26,4	23,1	-23,3	8,0	3,1	-15,1	okraj
	82	107,2365	300,5667	107,2332	300,5695	107,2323	300,5813	-4,2	14,6	-0,9	11,8	3,3	-2,8	okraj
	83	108,7249	300,4810	108,7162	300,4827	108,7178	300,4877	-7,1	6,7	1,6	5,0	8,7	-1,7	okraj
	84	110,3709	300,6726	110,3681	300,6873	110,3683	300,6582	-2,6	-14,4	0,2	-29,1	2,8	-14,7	okraj
	85	110,4806	302,9700	110,5012	302,9838	110,4800	302,9513	-0,6	-18,7	-21,2	-32,5	-20,6	-13,8	okraj
	86	108,3202	302,9980	108,3228	303,0001	108,3212	302,9979	1,0	-0,1	-1,6	-2,2	-2,6	-2,1	
	87	106,1056	303,0493	106,1022	303,0681	106,0967	303,0589	-8,9	9,6	-5,5	-9,2	3,4	-18,8	
	88	104,6065	302,6040	104,6213	302,6191	104,5552	302,6457	-51,3	41,7	-66,1	26,6	-14,8	-15,1	okraj
	89	104,6387	305,1911	104,6564	305,2384	104,5984	305,2290	-40,3	37,9	-58,0	-9,4	-17,7	-47,3	okraj
	90	106,7365	305,0234	106,7394	305,0567	106,7410	305,0258	4,5	2,4	1,6	-30,9	-2,9	-33,3	
	91	109,1797	304,2312	109,1799	304,2367	109,1815	304,2284	1,8	-2,8	1,6	-8,3	-0,2	-5,5	
	92	111,0908	304,2669	111,0791	304,3437	111,0512	304,2773	-39,6	10,4	-27,9	-66,4	11,7	-76,8	okraj
	93	110,9237	307,3644	110,9977	307,4289	110,9669	307,3852	43,2	20,8	-30,8	-43,7	-74,0	-64,5	okraj
	94	108,0711	306,8540	108,0792	306,8716	108,0827	306,8524	11,6	-1,6	3,5	-19,2	-8,1	-17,6	
	95	105,6605	306,6492	105,6657	306,7016	105,6497	306,6534	-10,8	4,2	-16,0	-48,2	-5,2	-52,4	
	96	104,7933	307,3692	104,8176	307,4192	104,7758	307,3862	-17,5	17,0	-41,8	-33,0	-24,3	-50,0	okraj

E.1 – Relativní přesnost – sada originálních snímků (část 2/3)

[Zdroj: Autor]



SN	č.b.	PhoToPlan (PTP)		LupoScan (LS)		PhotoUnwrap (PUW)		PUW/PTP		PUW/LS		PTP/LS		pozn.
		X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	dX [mm]	dY [mm]	dX [mm]	dY [mm]	dX [mm]	dY [mm]	
7_o	97	110,4112	297,3821	110,3940	297,4103	110,4012	297,3824	-10,0	0,3	7,2	-27,9	17,2	-28,2	okraj
	98	111,7955	296,9884	111,7969	296,9968	111,7915	296,9857	-4,0	-2,7	-5,4	-11,1	-1,4	-8,4	
	99	113,2144	296,6986	113,2167	296,6895	113,2137	296,7073	-0,7	8,7	-3,0	17,8	-2,3	9,1	
	100	114,5653	296,9512	114,5642	296,9299	114,5502	296,9707	-15,1	19,5	-14,0	40,8	1,1	21,3	okraj
	101	114,6015	298,4175	114,5965	298,4014	114,5792	298,4154	-22,3	-2,1	-17,3	14,0	5,0	16,1	okraj
	102	112,5336	298,4304	112,5358	298,4333	112,5279	298,4369	-5,7	6,5	-7,9	3,6	-2,2	-2,9	
	103	110,9960	298,2447	110,9918	298,2614	110,9793	298,2401	-16,7	-4,6	-12,5	-21,3	4,2	-16,7	
	104	109,8690	298,7695	109,8294	298,8021	109,8439	298,7726	-25,1	3,1	14,5	-29,5	39,6	-32,6	okraj
	105	109,8204	299,5746	109,8294	299,6054	109,8186	299,5792	-1,8	4,6	-10,8	-26,2	-9,0	-30,8	okraj
	106	111,0935	299,6106	111,0973	299,6188	111,0823	299,6087	-11,2	-1,9	-15,0	-10,1	-3,8	-8,2	
	107	113,2906	299,8105	113,2897	299,8175	113,2781	299,8168	-12,5	6,3	-11,6	-0,7	0,9	-7,0	
	108	114,5080	300,0508	114,4864	300,0562	114,4821	300,0561	-25,9	5,3	-4,3	-0,1	21,6	-5,4	okraj
109	114,5769	301,4936	114,5307	301,5019	114,5213	301,4755	-55,6	-18,1	-9,4	-26,4	46,2	-8,3	okraj	
110	111,3108	301,2829	111,3205	301,2567	111,2929	301,2844	-17,9	1,5	-27,6	27,7	-9,7	26,2		
111	110,8330	301,0022	110,8371	300,9819	110,8093	301,0033	-23,7	1,1	-27,8	21,4	-4,1	20,3		
112	109,8075	301,7110	109,8198	301,6752	109,7496	301,7156	-57,9	4,6	-70,2	40,4	-12,3	35,8	okraj	
8_o	113	109,3032	299,5779	109,2870	299,5798	109,3245	299,5631	21,3	-14,8	37,5	-16,7	16,2	-1,9	okraj
	114	111,7710	299,3543	111,7699	299,3348	111,7884	299,3505	17,4	-3,8	18,5	15,7	1,1	19,5	
	115	112,9500	299,2279	112,9505	299,2119	112,9671	299,2295	17,1	1,6	16,6	17,6	-0,5	16,0	
	116	114,4529	299,5745	114,4547	299,5639	114,4739	299,5791	21,0	4,6	19,2	15,2	-1,8	10,6	okraj
	117	114,2783	301,4107	114,2832	301,4017	114,2832	301,4036	4,9	-7,1	0,0	1,9	-4,9	9,0	okraj
	118	112,1386	301,3005	112,1439	301,2788	112,1486	301,2980	10,0	-2,5	4,7	19,2	-5,3	21,7	
	119	110,9274	301,6331	110,9158	301,6151	110,9326	301,6344	5,2	1,3	16,8	19,3	11,6	18,0	
	120	109,2694	301,3182	109,2112	301,3211	109,2778	301,3078	8,4	-10,4	66,6	-13,3	58,2	-2,9	okraj
	121	109,3257	303,5758	109,2546	303,5948	109,3187	303,5621	-7,0	-13,7	64,1	-32,7	71,1	-19,0	okraj
	122	110,7339	303,6470	110,7202	303,6380	110,7309	303,6399	-3,0	-7,1	10,7	1,9	13,7	9,0	
	123	112,7222	303,6695	112,7191	303,6485	112,7212	303,6655	-1,0	-4,0	2,1	17,0	3,1	21,0	
	124	114,6739	303,5320	114,6794	303,5199	114,6657	303,5266	-8,2	-5,4	-13,7	6,7	-5,5	12,1	okraj
125	114,7063	305,2280	114,7201	305,2054	114,6900	305,2106	-16,3	-17,4	-30,1	5,2	-13,8	22,6	okraj	
126	112,1816	305,1132	112,1843	305,0811	112,1780	305,1045	-3,6	-8,7	-6,3	23,4	-2,7	32,1		
127	110,8978	305,1520	110,8940	305,1240	110,8918	305,1385	-6,0	-13,5	-2,2	14,5	3,8	28,0		
128	109,5103	305,3242	109,4817	305,3189	109,4890	305,3121	-21,3	-12,1	7,3	-6,8	28,6	5,3	okraj	
9_o	129	109,1862	303,9433	109,4576	303,8730	109,2055	303,9245	19,3	-18,8	-252,1	51,5	-271,4	70,3	okraj
	130	110,9753	303,3332	110,9581	303,3036	110,9709	303,3279	-4,4	-5,3	12,8	24,3	17,2	29,6	
	131	112,4210	303,2313	112,4223	303,1873	112,4117	303,2160	-9,3	-15,3	-10,6	28,7	-1,3	44,0	
	132	114,6072	303,5130	114,6105	303,5005	114,6136	303,5023	6,4	-10,7	3,1	1,8	-3,3	12,5	okraj
	133	114,6623	304,9378	114,6701	304,9553	114,6787	304,9488	16,4	11,0	8,6	-6,5	-7,8	-17,5	okraj
	134	112,4004	304,7839	112,4005	304,7711	112,4045	304,7881	4,1	4,2	4,0	17,0	-0,1	12,8	
	135	110,7540	304,6905	110,7926	304,6773	110,7682	304,6819	14,2	-8,6	-24,4	4,6	-38,6	13,2	
	136	109,0091	305,1302	109,3541	304,9823	109,3163	304,9791	307,2	-151,1	-37,8	-3,2	-345,0	147,9	okraj
	137	109,2811	306,1439	109,6859	305,9818	109,6571	305,9673	376,0	-176,6	-28,8	-14,5	-404,8	162,1	okraj
	138	112,0794	306,1314	112,1045	306,1214	112,0929	306,1217	13,5	-9,7	-11,6	0,3	-25,1	10,0	
	139	113,4538	305,9523	113,4637	305,9591	113,4611	305,9585	7,3	6,2	-2,6	-0,6	-9,9	-6,8	
	140	114,6660	306,1260	114,6754	306,1450	114,6761	306,1324	10,1	6,4	0,7	-12,6	-9,4	-19,0	okraj
141	114,7064	307,4305	114,7134	307,4223	114,7127	307,4183	6,3	-12,2	-0,7	-4,0	-7,0	8,2	okraj	
142	113,2767	307,4921	113,2906	307,4631	113,2846	307,4717	7,9	-20,4	-6,0	8,6	-13,9	29,0		
143	111,1286	307,2096	111,2360	307,1649	111,2152	307,1418	86,6	-67,8	-20,8	-23,1	-107,4	44,7		
144	109,1236	307,6393	109,6630	307,3827	109,6042	307,3655	480,6	-273,8	-58,8	-17,2	-539,4	256,6	okraj	

E.1 – Relativní přesnost – sada originálních snímků (část 3/3)

[Zdroj: Autor]



SN	č.b.	PhoToPlan (PTP)		LupoScan (LS)		PhotoUnwrap (PUW)		PUW/PTP		PUW/LS		PTP/LS		pozn.
		X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	dX [mm]	dY [mm]	dX [mm]	dY [mm]	dX [mm]	dY [mm]	
1 _j	1	100,0237	298,6031	100,0660	298,5706	100,0274	298,5881	-3,7	15,0	38,6	-17,5	42,3	-32,5	okraj
	2	101,1696	298,6373	101,1918	298,6107	101,1710	298,6335	-1,4	3,8	20,8	-22,8	22,2	-26,6	
	3	102,5439	298,7465	102,5464	298,7374	102,5403	298,7442	3,6	2,3	6,1	-6,8	2,5	-9,1	
	4	104,0966	298,7433	104,0578	298,7583	104,0707	298,7240	25,9	19,3	-12,9	34,3	-38,8	15,0	okraj
	5	103,7572	298,1022	103,7394	298,1203	103,7467	298,0940	10,5	8,2	-7,3	26,3	-17,8	18,1	okraj
	6	101,9370	297,9613	101,9434	297,9573	101,9383	297,9651	-1,3	-3,8	5,1	-7,8	6,4	-4,0	
	7	100,9858	297,9463	101,0039	297,9386	100,9859	297,9441	-0,1	2,2	18,0	-5,5	18,1	-7,7	
	8	100,0849	297,9875	100,1071	297,9736	100,0791	297,9737	5,8	13,8	28,0	-0,1	22,2	-13,9	okraj
	9	100,1012	296,6160	100,0977	296,6208	100,0887	296,5984	12,5	17,6	9,0	22,4	-3,5	4,8	okraj
	10	101,8556	296,4521	101,8536	296,4539	101,8534	296,4542	2,2	-2,1	0,2	-0,3	-2,0	1,8	
	11	103,2898	296,7521	103,2799	296,7568	103,2886	296,7499	1,2	2,2	-8,7	6,9	-9,9	4,7	
	12	104,5875	297,1466	104,5352	297,1693	104,5669	297,1279	20,6	18,7	-31,7	41,4	-52,3	22,7	okraj
	13	103,9816	295,5307	103,9653	295,5198	103,9834	295,5160	-1,8	14,7	-18,1	3,8	-16,3	-10,9	okraj
	14	102,8698	295,5126	102,8634	295,4990	102,8737	295,5029	-3,9	9,7	-10,3	-3,9	-6,4	-13,6	
	15	102,1928	295,7843	102,1882	295,7781	102,1949	295,7806	-2,1	3,7	-6,7	-2,5	-4,6	-6,2	
	16	100,0296	295,5316	100,0068	295,5663	100,0174	295,5296	12,2	2,0	-10,6	36,7	-22,8	34,7	okraj
2 _j	17	99,7700	300,4119	99,7719	300,4141	99,7307	300,4242	39,3	-12,3	41,2	-10,1	1,9	2,2	okraj
	18	101,9459	300,4756	101,9423	300,4699	101,9234	300,4595	22,5	16,1	18,9	10,4	-3,6	-5,7	
	19	102,7410	299,8526	102,7398	299,8447	102,7000	299,8287	41,0	23,9	39,8	16,0	-1,2	-7,9	okraj
	20	103,8150	300,2808	103,8279	300,2925	103,7127	300,2512	102,3	29,6	115,2	41,3	12,9	11,7	okraj
	21	104,0706	301,9638	104,0861	301,9760	103,9583	301,9205	112,3	43,3	127,8	55,5	15,5	12,2	okraj
	22	102,2104	302,1035	102,2134	302,1026	102,1976	302,0959	12,8	7,6	15,8	6,7	3,0	-0,9	
	23	100,6557	302,0914	100,6586	302,0970	100,6468	302,1003	8,9	-8,9	11,8	-3,3	2,9	5,6	
	24	99,8210	302,0045	99,8245	302,0136	99,8010	302,0302	20,0	-25,7	23,5	-16,6	3,5	9,1	
	25	100,0549	303,4334	100,0614	303,4425	100,0558	303,4587	-0,9	-25,3	5,6	-16,2	6,5	9,1	
	26	101,7114	303,2516	101,7118	303,2533	101,7095	303,2523	1,9	-0,7	2,3	1,0	0,4	1,7	
	27	103,3105	303,6224	103,3142	303,6237	103,2810	303,5909	29,5	31,5	33,2	32,8	3,7	1,3	
	28	104,1009	303,6661	104,1230	303,6619	104,0725	303,6222	28,4	43,9	50,5	39,7	22,1	-4,2	okraj
	29	104,2615	305,4738	104,2890	305,4725	104,1523	305,3713	109,2	102,5	136,7	101,2	27,5	-1,3	okraj
	30	102,1176	305,5032	102,1208	305,4964	102,1210	305,4777	-3,4	25,5	-0,2	18,7	3,2	-6,8	okraj
	31	101,3262	305,5653	101,3283	305,5687	101,3478	305,5591	-21,6	6,2	-19,5	9,6	2,1	3,4	okraj
	32	99,7093	305,0884	99,7236	305,0993	99,7334	305,1058	-24,1	-17,4	-9,8	-6,5	14,3	10,9	okraj
3 _j	33	99,9220	303,1317	99,9365	303,1244	99,9245	303,1727	-2,5	-41,0	12,0	-48,3	14,5	-7,3	okraj
	34	101,2194	302,8421	101,2317	302,8452	101,1983	302,8221	21,1	20,0	33,4	23,1	12,3	3,1	okraj
	35	102,3986	303,0029	102,4082	303,0073	102,3842	303,0183	14,4	-15,4	24,0	-11,0	9,6	4,4	okraj
	36	104,1277	303,9810	104,1182	303,9670	104,1292	303,9451	-1,5	35,9	-11,0	21,9	-9,5	-14,0	okraj
	37	104,2086	304,7272	104,1952	304,7147	104,1481	304,6954	60,5	31,8	47,1	19,3	-13,4	-12,5	okraj
	38	102,6241	304,7451	102,6273	304,7498	102,6053	304,7390	18,8	6,1	22,0	10,8	3,2	4,7	
	39	101,3238	304,3945	101,3314	304,3995	101,3223	304,4131	1,5	-18,6	9,1	-13,6	7,6	5,0	
	40	99,7701	304,7748	99,7758	304,7733	99,7753	304,8107	-5,2	-35,9	0,5	-37,4	5,7	-1,5	
	41	100,1907	305,8806	100,1922	305,8777	100,1919	305,9082	-1,2	-27,6	0,3	-30,5	1,5	-2,9	
	42	101,4109	306,2441	101,4129	306,2481	101,4157	306,2586	-4,8	-14,5	-2,8	-10,5	2,0	4,0	
	43	102,8446	306,2043	102,8475	306,2007	102,8420	306,1993	2,6	5,0	5,5	1,4	2,9	-3,6	
	44	104,0229	305,8515	104,0106	305,8394	103,9891	305,8175	33,8	34,0	21,5	21,9	-12,3	-12,1	okraj
	45	103,8275	307,3115	103,8080	307,2962	103,8101	307,2907	17,4	20,8	-2,1	5,5	-19,5	-15,3	okraj
	46	102,8415	307,5087	102,8355	307,5067	102,8476	307,5056	-6,1	3,1	-12,1	1,1	-6,0	-2,0	
	47	101,2447	307,2995	101,2491	307,3018	101,2589	307,3194	-14,2	-19,9	-9,8	-17,6	4,4	2,3	
	48	99,6136	307,2995	99,6096	307,2967	99,6153	307,3332	-1,7	-33,7	-5,7	-36,5	-4,0	-2,8	

E.2 – Relativní přesnost – sada externě idealizovaných snímků (část 1/3)

[Zdroj: Autor]



SN	č.b.	PhoToPlan (PTP)		LupoScan (LS)		PhotoUnwrap (PUW)		PUW/PTP		PUW/LS		PTP/LS		pozn.
		X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	dX [mm]	dY [mm]	dX [mm]	dY [mm]	dX [mm]	dY [mm]	
4_j	49	106,2111	295,5511	106,1883	295,5696	106,2003	295,5424	10,8	8,7	-12,0	27,2	-22,8	18,5	okraj
	50	107,6597	295,4124	107,6520	295,4155	107,6541	295,4101	5,6	2,3	-2,1	5,4	-7,7	3,1	
	51	109,2108	295,7318	109,2069	295,7340	109,2071	295,7342	3,7	-2,4	-0,2	-0,2	-3,9	2,2	
	52	109,7376	295,4673	109,7395	295,4624	109,7426	295,4647	-5,0	2,6	-3,1	-2,3	1,9	-4,9	okraj
	53	110,3652	297,5936	110,3555	297,5904	110,3675	297,5923	-2,3	1,3	-12,0	-1,9	-9,7	-3,2	okraj
	54	109,3904	297,9868	109,3931	297,9893	109,3818	297,9952	8,6	-8,4	11,3	-5,9	2,7	2,5	
	55	107,3762	297,8977	107,3741	297,9067	107,3703	297,8983	5,9	-0,6	3,8	8,4	-2,1	9,0	
	56	106,3377	298,1791	106,3287	298,2005	106,3318	298,1801	5,9	-1,0	-3,1	20,4	-9,0	21,4	okraj
	57	106,5664	298,9583	106,5562	298,9733	106,5552	298,9601	11,2	-1,8	1,0	13,2	-10,2	15,0	okraj
	58	107,9152	299,0005	107,9129	299,0144	107,9067	299,0057	8,5	-5,2	6,2	8,7	-2,3	13,9	
	59	109,4441	298,7980	109,4546	298,8014	109,4305	298,8021	13,6	-4,1	24,1	-0,7	10,5	3,4	
	60	110,5719	299,3461	110,5647	299,3391	110,5539	299,3400	18,0	6,1	10,8	-0,9	-7,2	-7,0	okraj
	61	110,9968	300,4212	110,9626	300,3939	110,9544	300,3952	42,4	26,0	8,2	-1,3	-34,2	-27,3	okraj
	62	109,1306	300,0593	109,1360	300,0648	109,1094	300,0592	21,2	0,1	26,6	5,6	5,4	5,5	
	63	107,3010	300,5803	107,2933	300,5996	107,2856	300,5778	15,4	2,5	7,7	21,8	-7,7	19,3	
	64	105,9893	300,5900	105,9788	300,6092	105,9820	300,5826	7,3	7,4	-3,2	26,6	-10,5	19,2	okraj
5_j	65	106,9884	297,0756	107,0241	297,0215	106,9675	297,0658	20,9	9,8	56,6	-44,3	35,7	-54,1	okraj
	66	109,1561	296,9134	109,1630	296,9309	109,1750	296,8935	-18,9	19,9	-12,0	37,4	6,9	17,5	okraj
	67	110,0076	297,0066	109,9876	297,0636	110,0301	296,9907	-22,5	15,9	-42,5	72,9	-20,0	57,0	okraj
	68	111,4133	298,2158	111,3422	298,2852	111,4429	298,2076	-29,6	8,2	-100,7	77,6	-71,1	69,4	okraj
	69	112,5129	300,6550	112,3925	300,6437	112,5293	300,6471	-16,4	7,9	-136,8	-3,4	-120,4	-11,3	okraj
	70	109,5127	300,7949	109,5156	300,7457	109,5210	300,7913	-8,3	3,6	-5,4	-45,6	2,9	-49,2	
	71	107,9642	300,5203	107,9724	300,4768	107,9661	300,5186	-1,9	1,7	6,3	-41,8	8,2	-43,5	
	72	106,8406	300,3210	106,8441	300,2989	106,8267	300,3406	13,9	-19,6	17,4	-41,7	3,5	-22,1	okraj
	73	106,9633	302,5350	106,9464	302,5816	106,9510	302,5466	12,3	-11,6	-4,6	35,0	-16,9	46,6	okraj
	74	107,9403	302,6774	107,9331	302,6837	107,9346	302,6780	5,7	-0,6	-1,5	5,7	-7,2	6,3	
	75	110,4838	302,9921	110,4858	302,9386	110,4970	302,9880	-13,2	4,1	-11,2	-49,4	2,0	-53,5	
	76	113,2454	303,0606	113,1278	303,0085	113,2481	303,0312	-2,7	29,4	-120,3	-22,7	-117,6	-52,1	okraj
	77	113,8489	305,6231	113,7581	305,5942	113,7950	305,5305	53,9	92,6	-36,9	63,7	-90,8	-28,9	okraj
	78	110,8492	305,1711	110,8590	305,1508	110,8506	305,1674	-1,4	3,7	8,4	-16,6	9,8	-20,3	
	79	109,1791	305,5411	109,1955	305,5872	109,1850	305,5324	-5,9	8,7	10,5	54,8	16,4	46,1	
	80	106,9469	305,6503	107,0176	305,6664	106,8842	305,6820	62,7	-31,7	133,4	-15,6	70,7	16,1	okraj
6_j	81	105,4002	300,9130	105,4105	300,9226	105,3969	300,9273	3,3	-14,3	13,6	-4,7	10,3	9,6	okraj
	82	107,2397	300,5633	107,2477	300,5728	107,2333	300,5741	6,4	-10,8	14,4	-1,3	8,0	9,5	okraj
	83	108,7231	300,4681	108,7199	300,4784	108,7087	300,4807	14,4	-12,6	11,2	-2,3	-3,2	10,3	okraj
	84	110,3725	300,6667	110,3791	300,6840	110,3423	300,6518	30,2	14,9	36,8	32,2	6,6	17,3	okraj
	85	110,4772	302,9673	110,5013	302,9760	110,4708	302,9590	6,4	8,3	30,5	17,0	24,1	8,7	okraj
	86	108,3180	302,9957	108,3205	302,9984	108,3191	302,9933	-1,1	2,4	1,4	5,1	2,5	2,7	
	87	106,1074	303,0542	106,1108	303,0678	106,1101	303,0528	-2,7	1,4	0,7	15,0	3,4	13,6	
	88	104,6142	302,6100	104,6483	302,6049	104,5580	302,6247	56,2	-14,7	90,3	-19,8	34,1	-5,1	okraj
	89	104,6512	305,2021	104,6836	305,2139	104,5981	305,1936	53,1	8,5	85,5	20,3	32,4	11,8	okraj
	90	106,7388	305,0324	106,7423	305,0539	106,7442	305,0238	-5,4	8,6	-1,9	30,1	3,5	21,5	
	91	109,1758	304,2362	109,1818	304,2312	109,1780	304,2321	-2,2	4,1	3,8	-0,9	6,0	-5,0	
	92	111,0713	304,2682	111,0745	304,3340	111,0414	304,2875	29,9	-19,3	33,1	46,5	3,2	65,8	okraj
	93	110,9177	307,3448	110,9998	307,4402	110,9923	307,4549	-74,6	-110,1	7,5	-14,7	82,1	95,4	okraj
	94	108,0750	306,8634	108,0858	306,8709	108,0895	306,8676	-14,5	-4,2	-3,7	3,3	10,8	7,5	
	95	105,6665	306,6645	105,6603	306,6989	105,6618	306,6574	4,7	7,1	-1,5	41,5	-6,2	34,4	
	96	104,8096	307,3780	104,8253	307,4121	104,8044	307,3764	5,2	1,6	20,9	35,7	15,7	34,1	okraj

E.2 – Relativní přesnost – sada externě idealizovaných snímků (část 2/3)

[Zdroj: Autor]



SN	č.b.	PhoToPlan (PTP)		LupoScan (LS)		PhotoUnwrap (PUW)		PUW/PTP		PUW/LS		PTP/LS		pozn.
		X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	dX [mm]	dY [mm]	dX [mm]	dY [mm]	dX [mm]	dY [mm]	
7_j	97	110,4073	297,3807	110,3971	297,4019	110,4034	297,3796	3,9	1,1	-6,3	22,3	-10,2	21,2	okraj
	98	111,7977	296,9980	111,7911	296,9978	111,7895	296,9891	8,2	8,9	1,6	8,7	-6,6	-0,2	
	99	113,2107	296,7098	113,2190	296,6939	113,2110	296,7101	-0,3	-0,3	8,0	-16,2	8,3	-15,9	
	100	114,5474	296,9591	114,5511	296,9514	114,5454	296,9693	2,0	-10,2	5,7	-17,9	3,7	-7,7	okraj
	101	114,5871	298,4115	114,5827	298,4139	114,5772	298,4127	9,9	-1,2	5,5	1,2	-4,4	2,4	okraj
	102	112,5290	298,4388	112,5297	298,4334	112,5248	298,4387	4,2	0,1	4,9	-5,3	0,7	-5,4	
	103	110,9919	298,2474	110,9875	298,2553	110,9817	298,2384	10,2	9,0	5,8	16,9	-4,4	7,9	
	104	109,8618	298,7627	109,8337	298,7974	109,8484	298,7673	13,4	-4,6	-14,7	30,1	-28,1	34,7	okraj
	105	109,8200	299,5648	109,8148	299,5974	109,8301	299,5736	-10,1	-8,8	-15,3	23,8	-5,2	32,6	okraj
	106	111,0931	299,6070	111,0866	299,6100	111,0796	299,6060	13,5	1,0	7,0	4,0	-6,5	3,0	
	107	113,2818	299,8124	113,2818	299,8124	113,2748	299,8169	7,0	-4,5	7,0	-4,5	0,0	0,0	
	108	114,4862	300,0455	114,4714	300,0548	114,4751	300,0504	11,1	-4,9	-3,7	4,4	-14,8	9,3	okraj
109	114,5479	301,4682	114,5220	301,4840	114,5177	301,4728	30,2	-4,6	4,3	11,2	-25,9	15,8	okraj	
110	111,3126	301,2681	111,3004	301,2651	111,2895	301,2797	23,1	-11,6	10,9	-14,6	-12,2	-3,0		
111	110,8294	300,9846	110,8199	300,9840	110,8120	300,9910	17,4	-6,4	7,9	-7,0	-9,5	-0,6		
112	109,8041	301,6988	109,7635	301,6979	109,7621	301,6927	42,0	6,1	1,4	5,2	-40,6	-0,9	okraj	
8_j	113	109,3225	299,5689	109,3201	299,5724	109,3079	299,5502	14,6	18,7	12,2	22,2	-2,4	3,5	okraj
	114	111,7799	299,3405	111,7742	299,3420	111,7868	299,3433	-6,9	-2,8	-12,6	-1,3	-5,7	1,5	
	115	112,9555	299,2172	112,9392	299,2183	112,9697	299,2203	-14,2	-3,1	-30,5	-2,0	-16,3	1,1	
	116	114,4630	299,5693	114,4384	299,5764	114,4793	299,5738	-16,3	-4,5	-40,9	2,6	-24,6	7,1	okraj
	117	114,2831	301,4114	114,2654	301,4187	114,2869	301,4127	-3,8	-1,3	-21,5	6,0	-17,7	7,3	okraj
	118	112,1428	301,2956	112,1389	301,2821	112,1488	301,2999	-6,0	-4,3	-9,9	-17,8	-3,9	-13,5	
	119	110,9311	301,6286	110,9311	301,6086	110,9306	301,6226	0,5	6,0	0,5	-14,0	0,0	-20,0	
	120	109,2712	301,3142	109,2682	301,2967	109,2586	301,3027	12,6	11,5	9,6	-6,0	-3,0	-17,5	okraj
	121	109,3064	303,5885	109,3044	303,5419	109,3031	303,5599	3,3	28,6	1,3	-18,0	-2,0	-46,6	okraj
	122	110,7257	303,6485	110,7345	303,6122	110,7280	303,6350	-2,3	13,5	6,5	-22,8	8,8	-36,3	
	123	112,7164	303,6723	112,7286	303,6582	112,7146	303,6623	1,8	10,0	14,0	-4,1	12,2	-14,1	
	124	114,6764	303,5432	114,6677	303,5560	114,6678	303,5226	8,6	20,6	-0,1	33,4	-8,7	12,8	okraj
	125	114,7006	305,2415	114,7131	305,2838	114,6974	305,2038	3,2	37,7	15,7	80,0	12,5	42,3	okraj
	126	112,1749	305,1160	112,1824	305,1021	112,1747	305,1018	0,2	14,2	7,7	0,3	7,5	-13,9	
	127	110,8861	305,1475	110,8983	305,1177	110,8874	305,1361	-1,3	11,4	10,9	-18,4	12,2	-29,8	
	128	109,4771	305,3413	109,4966	305,2977	109,4758	305,3006	1,3	40,7	20,8	-2,9	19,5	-43,6	okraj
9_j	129	109,4749	303,8697	109,4808	303,8634	109,2111	303,9172	263,8	-47,5	269,7	-53,8	5,9	-6,3	okraj
	130	110,9870	303,3285	110,9674	303,3139	110,9689	303,3239	18,1	4,6	-1,5	-10,0	-19,6	-14,6	
	131	112,4187	303,2183	112,4256	303,2008	112,4085	303,2140	10,2	4,3	17,1	-13,2	6,9	-17,5	
	132	114,6120	303,5243	114,6141	303,5084	114,6200	303,5074	-8,0	16,9	-5,9	1,0	2,1	-15,9	okraj
	133	114,6582	304,9597	114,6749	304,9653	114,6769	304,9538	-18,7	5,9	-2,0	11,5	16,7	5,6	okraj
	134	112,4025	304,7820	112,4004	304,7792	112,4069	304,7908	-4,4	-8,8	-6,5	-11,6	-2,1	-2,8	
	135	110,7980	304,6792	110,7963	304,6844	110,7851	304,6834	12,9	-4,2	11,2	1,0	-1,7	5,2	
	136	109,2739	304,9981	109,3704	304,9724	109,3172	304,9726	-43,3	25,5	53,2	-0,2	96,5	-25,7	okraj
	137	109,5947	306,0023	109,6994	305,9734	109,6533	305,9673	-58,6	35,0	46,1	6,1	104,7	-28,9	okraj
	138	112,0865	306,1245	112,1024	306,1282	112,0990	306,1188	-12,5	5,7	3,4	9,4	15,9	3,7	
	139	113,4502	305,9624	113,4606	305,9647	113,4575	305,9581	-7,3	4,3	3,1	6,6	10,4	2,3	
	140	114,6577	306,1419	114,6723	306,1542	114,6713	306,1354	-13,6	6,5	1,0	18,8	14,6	12,3	okraj
	141	114,6942	307,4418	114,7054	307,4351	114,7060	307,4120	-11,8	29,8	-0,6	23,1	11,2	-6,7	okraj
	142	113,2781	307,4843	113,2948	307,4758	113,2803	307,4638	-2,2	20,5	14,5	12,0	16,7	-8,5	
	143	111,1870	307,1662	111,2310	307,1607	111,2099	307,1464	-22,9	19,8	21,1	14,3	44,0	-5,5	
	144	109,4924	307,4586	109,6726	307,3661	109,6051	307,3615	-112,7	97,1	67,5	4,6	180,2	-92,5	okraj

E.2 – Relativní přesnost – sada externě idealizovaných snímků (část 3/3)

[Zdroj: Autor]



Dílčí hodnocení výkresů R1 – R9:

Výkres R1

Graf v příloze zobrazuje mj. rozvinutý snímek, jehož originál byl pořízen téměř za ideálního situace, tj. osa záběru je vodorovná a kolmá k objektu, vzdálenost od objektu je poměrně malá (cca 8 m).

Na grafu je patrné, že u výsledku softwaru LupoScan (dále jen LS) v porovnání se softwarem PhoToPlan (dále jen PTP) dochází k největším souřadnicovým rozdílům na bodech především v horizontálním směru (osa X) s orientací dovnitř rozvinutého snímku (tj. snímek z LS je oproti PTP smršťován). Tento jev se týká např. bodů č. 1, 2, 4, 8, 12, 13. Ve vertikálním směru (osa Y) dochází k největším rozdílům zejména v rozích snímku, avšak nelze jednoznačně určit jejich systematický směr jako v předchozím případě. Například vlevo nahoře (tj. bod č. 1 a 2) se jedná o záporný směr v ose Y, vpravo nahoře (tj. bod č. 4 a 5) o kladný směr v ose Y.

V případě softwaru PhotoUnwrap (dále jen PUW) jsou souřadnicové rozdíly v drtivé většině i nekolinárně menší a jejich směr lze poměrně jednoduše stanovit v obou osách. Na krajních bodech se rozdíly v ose X orientují směrem vlevo (tj. záporný směr v této ose) a v ose Y směrem dolů (tj. záporný směr v této ose). Z toho vyplývá, že snímek je systematicky deformován směrem vlevo dolů.

U bodů nacházející se v centrální části (body č. 6, 10, 15) rozvinutého snímku jsou rozdíly minimální v řádu jednotek milimetrů.

Výkres R2

Originální snímek byl pořízen z krátké vzdálenosti (cca 10 m), ale pod podstatně vyšším sklonem osy záběru oproti předchozímu případu (cca 30 gon).

Při porovnání výsledků softwarů LS a PTP zjistíme, že souřadnicové rozdíly jsou velice malé. Největší změny nastávají na pravém kraji rozvinutého snímku, kde dochází k posunům v ose X směrem doprava a v ose Y směrem dovnitř snímku (body č. 29, 28 směrem dolů a body č. 20, 21 směrem nahoru). Snímek je tudíž smršťován ve smyslu vertikální osy.

U softwaru PUW došlo k razantnímu zvýšení rozdílů a to především na krajích snímku. Nejvíce však v pravé a dolní části (body č. 17, 18, 19, 20, 21, 28, 29), kde rozdíly dosahují hodnot přes 10 cm. Je možné zaznamenat určitý systematický posun bodů v horizontální směru



s orientací doprava. Ve vertikálním směru se orientace rozdílů různí – v levé části snímku směřují nahoru (body č. 17, 24, 25, 32), v pravé dolu (body č. 20, 21, 28, 29).

K nejmenším odlišnostem u všech softwarů dochází především od svislé osy snímku směrem doleva. Směrem doprava se naopak začínají projevovat rozdílů větší. V této části může být přesnost rozvinutých snímků značně ovlivněna větší hloubkovou členitostí (zaoblením) objektu.

Výkres R3

Podmínky pořízení snímku jsou téměř shodné jako v předchozím případě.

Z tabulky číselných hodnot je patrné, že v případě softwaru LS se jedná o rozdílů minimální – jednotky milimetrů. U bodů č. 36, 37, 44, 45 se vyskytují rozdílů vyšší s tendenčním posunem směrem doleva a dolů.

U softwaru PUW lze zaznamenat podobnost v charakteru souřadnicových rozdílů jako u výkresu R2. Na krajních bodech (především vpravo a dole – body č. 34, 36, 37, 44, 45) nabývají rozdílů v ose X záporných hodnot. V ose Y jsou opět rozdílů orientovány oběma směry – v levé části snímku nahoru (body č. 33, 40, 41, 48), v pravé dolu (body č. 37, 38, 44, 45).

V centrální části rozvinutého snímku jsou rozdílů minimální především v porovnání LS a PTP. Při porovnání PUW a PTP jsou rozdílů mírně vyšší s orientací směrem nahoru (tj. body č. 39 a 42). Celkově se největší rozdílů vyskytují opět v pravé části rozvinutého snímku, kde se objekt začíná více zaoblovat.

Výkres R4

Originální snímek byl pořízen ze vzdálenosti 11 m a se sklonem osy záběru 26 gon.

Z porovnání softwarů je zřejmé, že většina souřadnicových rozdílů v ose X se systematicky orientuje směrem doleva. V ose Y dochází ke změnám především vlevo a vpravo nahoře (u bodů č. 60, 61, 63, 64). V případě LS se orientace rozdílů v této ose liší – vlevo směřují nahoru (body č. 63 a 64), vpravo dolů (body č. 60 a 61). U softwaru PUW se spíše jedná o směr dolu v obou částech snímku.



Výkres R5

Situace při snímkování objektu byla v tomto případě téměř za ideální situace, tj. vzdálenost od objektu činila 12 m a sklon osy záběru 8 gon.

Z grafu a tabulky s číselnými hodnotami je zřejmé, že softwary až na výjimky (levá část snímku – body č. 97, 104, 105, 112) transformují snímek s podobnou přesností. U softwaru LS se vyskytují v levé části tendenční posuny bodů směrem doleva a nahoru oproti PTP. To lze říci i v případě PUW, avšak je nutné k levé části přidat i část horní (body č. 110, 111 a 119), kde se tyto rozdíly nacházejí také.

V prostřední části snímku (body č. 102, 103, 106, 107) se rozdíly u porovnávaných softwarů oproti referenčnímu orientují především směrem doleva v ose X. Ve vertikálním směru dochází k určitému „natahování“ snímku. Rozdíly jsou však v této části minimální, takřka nerozeznatelné.

Výkres R6

Originální snímek byl pořízen ze vzdálenosti 12 m a se sklonem osy záběru 27 gon.

Největší rozdíly se na rozvinutém snímku nacházejí v jeho horní polovině (body č. 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127 a 128), kde software LS má body oproti PTP posunuty systematicky směrem doprava a dolů. U softwaru PUW se na těchto bodech rozdíly nacházejí také, ale spíše jen v ose Y směrem dolů.

Ve spodní polovině snímku jsou rozdíly (např. body č. 113, 114, 115, 118) mezi softwary v řádu jednotek milimetrů se stejnými tendenčními posuny jako v jeho horní části.

Výkres R7

Pořízení originálního snímku proběhlo ze vzdálenosti 12 m a se sklonem osy záběru cca 32 gon.

Na grafu je možné vidět, že jeho levá strana (strana zachycující větší oblost objektu) obsahuje největší souřadnicové rozdíly a to až v řádu desítek centimetrů (body č. 136, 137, 143 a 144). Vyskytují se zde systematické posuny v rámci všech porovnávaných softwarů, konkrétně v kladném směru v ose X a v záporném směru v ose Y. Snímek je tedy deformován směrem doprava a dolů.



Ve zbylé části snímku se nacházejí rozdíly na bodech menší, avšak postupně se zvyšují směrem k pravému okraji snímku (body č. 132, 133, 140 a 141). Rozdíly jsou charakterizovány stejnou systematickou deformací, tj. směrem doprava a dolů.

Výkres R8

Originální snímek byl pořízen ze vzdálenosti cca 16 m a se sklonem osy záběru 53 gon. Snímek, oproti předchozím, zachycuje přibližně 50% celé plochy testovaného objektu. Tuto situaci snímkování lze označit jako „extrémní“, jelikož sklon osy záběru je opravdu velký.

Porovnáním softwaru LS a PTP se projeví výrazné rozdíly a to i na bodech v centrální části snímku. Největší rozdíly se nacházejí na bodech ležících v pravé části snímku (body č. 68, 69, 76 a 77), jejichž hodnoty dosahují až 12 cm. V této části snímku jsou rozdíly v ose X orientovány směrem doleva. U rozdílů v ose Y by se dalo mluvit o určité systematičnosti, jelikož většina je zatížena tendenčním posunem směrem dolů.

Při porovnání softwaru PUW a PTP byly zjištěny minimální rozdíly, kromě bodů č. 77 a 80, které se nachází v levém, resp. v pravém horním rohu snímku. Směry rozdílů na jednotlivých bodech jsou různé. V pravé horní části jsou rozdíly směřovány doleva a dolů (př. body č. 76 a 77), v pravé dolní části pak doprava a dolů (př. body č. 66 a 68). V celé levé části se rozdíly orientují směrem doleva a nahoru (př. body č. 72, 73, 80).

Výkres R9

Pořízení snímku proběhlo za podobné situace jako v předchozím případě, avšak s kratší vzdáleností (cca 12 m), tudíž originální snímek zachycuje přibližně 1/3 celé plochy objektu.

Z porovnání vyplývá, že se největší souřadnicové rozdíly nachází v horní polovině snímku, kde software LS i PUW vykazují systematické posuny bodů (body č. 90, 92, 93, 94, 95, 96) v ose Y směrem nahoru. V horizontálním směru jsou body určené softwarem LS posouvány spíše směrem doprava, u softwaru PUW je to směr opačný (body č. 81, 84, 85, 88, 89, 92).

V centrální části snímku pracují softwary s minimálními rozdíly, viz např. body č. 86, 87, 90, 91.



F Absolutní přesnost rozvinutých snímků

Tato část přílohy obsahuje:

- tabulka – absolutní přesnost snímků
- výkresy A1 – A9 (volně přiloženy k této práci ve formátu A3)
- dílčí hodnocení výkresů A1 – A9

SN	č.b.	Geodetické souřadnice		PhotoUnwrap				PhoToPlan				LupoScan			
		X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	dX [mm]	dY [mm]	X [m]	Y [m]	dX [mm]	dY [mm]	X [m]	Y [m]	dX [mm]	dY [mm]
1	1	100,000	295,510	100,012	295,498	12	-12	100,040	295,537	40	27	100,015	295,527	15	17
	2	101,100	295,270	101,098	295,258	-2	-12	101,107	295,280	7	10	101,092	295,272	-8	2
	3	102,480	295,550	102,489	295,528	9	-22	102,487	295,532	7	-18	102,477	295,527	-3	-23
	4	103,070	295,270	103,085	295,255	15	-15	103,079	295,268	9	-2	103,078	295,252	8	-18
	5	103,500	296,050	103,494	296,054	-7	4	103,493	296,057	-7	7	103,491	296,056	-9	6
	6	101,790	296,550	101,787	296,554	-3	3	101,788	296,552	-2	2	101,786	296,554	-4	4
	7	100,010	296,660	100,087	296,596	77	-64	100,102	296,617	92	-43	100,099	296,624	89	-36
	8	101,970	297,270	101,957	297,269	-13	-1	101,957	297,264	-13	-6	101,960	297,265	-10	-5
	9	103,540	297,940	103,521	297,950	-19	10	103,528	297,953	-12	13	103,518	297,963	-22	23
	10	101,970	297,970	101,948	297,967	-22	-3	101,950	297,963	-20	-7	101,959	297,961	-11	-9
	11	99,990	298,200	99,997	298,195	7	-5	99,997	298,219	7	19	100,031	298,195	41	-5
	12	101,530	298,760	101,527	298,708	-3	-52	101,524	298,717	-6	-43	101,541	298,699	11	-61
	37	103,800	295,500	103,797	295,491	-3	-9	103,792	295,502	-8	2	103,780	295,490	-20	-10
	38	103,600	296,400	103,586	296,403	-14	3	103,590	296,410	-10	10	103,579	296,416	-21	16
40	103,360	298,600	103,337	298,588	-23	-12	103,348	298,596	-12	-4	103,336	298,602	-24	2	
2	16	99,820	300,410	99,798	300,396	-22	-14	99,831	300,387	11	-24	99,835	300,385	15	-25
	17	102,160	300,490	102,138	300,467	-22	-23	102,161	300,481	1	-10	102,155	300,476	-5	-14
	18	103,280	300,610	103,286	300,586	6	-24	103,284	300,606	4	-4	103,288	300,606	8	-4
	19	100,290	301,160	100,279	301,146	-11	-14	100,301	301,147	10	-13	100,295	301,147	5	-13
	20	102,770	301,580	102,755	301,559	-15	-21	102,780	301,572	10	-8	102,783	301,569	13	-11
	21	103,130	302,420	103,108	302,399	-22	-21	103,146	302,427	16	7	103,136	302,413	6	-7
	22	101,790	302,180	101,770	302,164	-20	-16	101,774	302,169	-16	-11	101,773	302,169	-17	-11
	23	100,230	301,990	100,222	301,970	-8	-20	100,220	301,970	-10	-21	100,224	301,970	-6	-20
	24	99,920	302,850	99,915	302,842	-5	-8	99,927	302,839	7	-11	99,932	302,835	12	-15
	25	101,710	303,250	101,714	303,252	4	2	101,707	303,252	-3	2	101,715	303,247	5	-3
	26	103,310	303,610	103,295	303,593	-15	-17	103,314	303,625	4	15	103,319	303,617	9	7
	27	103,390	304,640	103,369	304,627	-21	-13	103,380	304,658	-10	18	103,395	304,653	5	13
	28	101,340	304,430	101,322	304,415	-19	-15	101,316	304,412	-24	-18	101,319	304,418	-21	-12
	29	99,880	304,380	99,874	304,358	-6	-22	99,876	304,336	-4	-44	99,872	304,346	-8	-34
30	100,420	305,160	100,417	305,152	-3	-8	100,402	305,140	-18	-20	100,415	305,146	-5	-14	
31	103,260	305,890	103,255	305,874	-6	-16	103,254	305,913	-6	23	103,275	305,911	14	21	
3	25	101,710	303,250	101,715	303,253	5	3	101,720	303,231	10	-19	101,723	303,237	13	-13
	26	103,310	303,610	103,305	303,596	-5	-14	103,317	303,600	7	-10	103,325	303,600	15	-10
	27	103,390	304,640	103,382	304,630	-8	-10	103,404	304,645	14	5	103,406	304,638	16	-2
	28	101,340	304,430	101,327	304,418	-13	-12	101,327	304,404	-13	-26	101,334	304,407	-6	-23
	29	99,880	304,380	99,877	304,354	-3	-26	99,873	304,320	-7	-60	99,876	304,305	-4	-75
	30	100,420	305,160	100,424	305,148	4	-13	100,413	305,136	-7	-24	100,418	305,137	-2	-23
	31	103,260	305,890	103,268	305,878	8	-12	103,280	305,887	20	-3	103,269	305,870	9	-20
	32	100,500	306,250	100,486	306,235	-14	-15	100,476	306,216	-24	-34	100,479	306,216	-21	-34
	33	102,590	306,260	102,593	306,255	3	-5	102,595	306,255	5	-5	102,593	306,256	3	-4
	34	102,840	307,520	102,846	307,504	6	-16	102,845	307,509	5	-11	102,834	307,513	-6	-7
35	101,280	307,560	101,271	307,568	-9	8	101,257	307,556	-23	-4	101,260	307,554	-20	-6	
36	99,920	307,280	99,927	307,254	7	-26	99,926	307,190	6	-90	99,916	307,197	-4	-83	

F.1 – Absolutní přesnost snímků (část 1/3)

[Zdroj: Autor]



SN	č.b.	Geodetické souřadnice		PhotoUnwrap				PhoToPlan				LupoScan			
		X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	dX [mm]	dY [mm]	X [m]	Y [m]	dX [mm]	dY [mm]	X [m]	Y [m]	dX [mm]	dY [mm]
4	57	107,610	295,380	107,593	295,401	-17	21	107,591	295,402	-19	22	107,579	295,404	-31	24
	58	109,760	295,810	109,765	295,806	4	-4	109,759	295,815	-2	5	109,757	295,817	-3	7
	59	108,630	295,780	108,657	295,783	27	3	108,654	295,782	24	2	108,656	295,787	26	7
	60	106,230	296,620	106,302	296,621	72	1	106,326	296,624	96	4	106,294	296,635	63	14
	61	107,860	296,600	107,882	296,610	22	10	107,886	296,590	26	-10	107,886	296,611	26	11
	62	109,130	296,960	109,157	296,974	27	14	109,153	296,974	23	14	109,156	296,977	26	17
	63	110,560	298,180	110,572	298,184	12	4	110,576	298,175	16	-5	110,568	298,169	8	-11
	64	108,590	298,110	108,599	298,101	9	-9	108,610	298,098	20	-12	108,614	298,102	24	-8
	65	107,290	297,880	107,302	297,902	12	22	107,312	297,899	22	19	107,307	297,905	17	25
	66	106,270	298,220	106,272	298,222	2	2	106,282	298,213	12	-7	106,261	298,232	-9	11
	67	107,150	298,990	107,175	299,001	25	11	107,171	298,995	21	5	107,169	299,009	19	19
	68	108,990	299,080	109,016	299,075	26	-5	109,027	299,075	37	-5	109,036	299,081	46	1
	69	110,420	300,670	110,401	300,679	-19	9	110,428	300,686	8	16	110,423	300,674	3	4
	70	108,200	300,070	108,209	300,072	9	2	108,220	300,074	20	4	108,225	300,086	25	16
71	106,800	300,340	106,821	300,364	21	24	106,855	300,373	55	33	106,854	300,386	54	46	
72	105,520	300,960	105,512	300,968	-8	8	105,515	300,964	-5	4	105,491	300,996	-29	36	
5	61	107,860	296,600	107,834	296,573	-26	-27	107,836	296,582	-24	-18	107,851	296,569	-9	-31
	62	109,130	296,960	109,124	296,938	-6	-22	109,106	296,949	-24	-11	109,114	296,962	-16	2
	64	108,590	298,110	108,581	298,126	-9	16	108,574	298,131	-16	21	108,585	298,099	-5	-12
	67	107,150	298,990	107,166	298,995	16	5	107,174	298,995	24	5	107,158	298,979	8	-11
	70	108,200	300,070	108,174	300,075	-26	5	108,170	300,080	-30	10	108,181	300,033	-19	-37
	77	108,320	303,000	108,316	302,995	-4	-5	108,317	302,997	-3	-3	108,324	302,997	4	-3
	85	107,890	306,280	107,885	306,284	-5	4	107,901	306,282	11	2	107,890	306,398	0	118
	102	111,000	300,690	110,991	300,705	-9	15	110,980	300,705	-20	15	110,983	300,670	-17	-20
	105	113,310	301,900	113,301	301,922	-9	22	113,300	301,940	-10	40	113,135	301,895	-175	-5
	109	113,400	303,360	113,378	303,370	-22	10	113,388	303,383	-12	23	113,266	303,326	-135	-34
111	110,610	303,600	110,601	303,626	-9	25	110,592	303,623	-18	23	110,604	303,595	-7	-5	
118	113,160	306,270	113,105	306,217	-55	-53	113,139	306,275	-21	5	113,134	306,256	-26	-14	
6	74	107,050	301,750	107,048	301,766	-2	16	107,052	301,755	2	5	107,051	301,764	1	14
	75	109,250	301,630	109,239	301,617	-11	-13	109,233	301,611	-17	-19	109,244	301,615	-6	-15
	77	108,320	303,000	108,318	302,994	-2	-6	108,322	302,997	2	-3	108,319	302,995	-1	-5
	78	105,640	303,540	105,654	303,560	14	20	105,652	303,562	12	22	105,655	303,572	15	32
	79	106,310	304,440	106,262	304,460	-48	20	106,259	304,463	-52	23	106,265	304,475	-45	35
	80	108,580	304,430	108,571	304,432	-9	2	108,573	304,437	-7	7	108,574	304,435	-7	5
	82	109,850	307,070	109,868	307,125	18	55	109,837	307,094	-13	24	109,856	307,086	6	16
	83	108,290	307,350	108,302	307,375	11	24	108,295	307,360	4	10	108,297	307,364	7	14
	84	107,390	307,100	107,379	307,115	-11	15	107,396	307,109	6	9	107,400	307,123	10	23
	85	107,890	306,280	107,905	306,299	15	19	107,894	306,296	4	16	107,897	306,301	7	21
86	106,240	306,700	106,257	306,687	17	-13	106,252	306,680	12	-20	106,250	306,694	10	-6	
7	88	111,230	296,420	111,228	296,428	-2	7	111,233	296,434	3	14	111,238	296,441	7	21
	89	113,070	296,630	113,065	296,637	-5	7	113,066	296,640	-4	10	113,075	296,620	5	-10
	90	113,850	297,390	113,825	297,398	-25	8	113,829	297,394	-21	4	113,835	297,380	-15	-10
	91	112,340	297,350	112,321	297,365	-19	15	112,321	297,363	-19	13	112,325	297,359	-15	9
	92	111,730	297,440	111,723	297,438	-7	-2	111,722	297,444	-8	4	111,725	297,444	-5	4
	93	110,500	297,590	110,480	297,601	-20	11	110,485	297,598	-15	8	110,478	297,614	-22	24
	94	110,100	298,160	110,083	298,177	-17	17	110,093	298,170	-7	10	110,077	298,201	-23	41
	95	111,740	298,530	111,724	298,533	-16	3	111,730	298,533	-10	3	111,731	298,537	-9	7
	96	112,370	298,730	112,349	298,751	-22	21	112,347	298,744	-23	14	112,350	298,747	-20	17
	97	114,130	298,620	114,111	298,614	-19	-6	114,117	298,610	-13	-10	114,117	298,610	-13	-10
99	111,420	299,320	111,404	299,328	-16	8	111,421	299,326	1	5	111,415	299,330	-5	10	
100	114,440	299,850	114,433	299,840	-7	-10	114,455	299,833	15	-17	114,438	299,846	-2	-4	
101	113,590	300,290	113,575	300,301	-16	11	113,576	300,296	-14	6	113,575	300,299	-15	9	
102	111,000	300,690	110,991	300,688	-9	-2	111,012	300,685	12	-5	110,994	300,686	-7	-4	
104	114,530	301,600	114,543	301,596	13	-4	114,553	301,592	23	-8	114,536	301,608	6	8	
126	114,400	296,440	114,389	296,460	-11	20	114,388	296,453	-12	13	114,406	296,436	6	-4	

F.1 – Absolutní přesnost snímků (část 2/3)

[Zdroj: Autor]



SN	č.b.	Geodetické souřadnice		PhotoUnwrap				PhoToPlan				LupoScan			
		X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	dX [mm]	dY [mm]	X [m]	Y [m]	dX [mm]	dY [mm]	X [m]	Y [m]	dX [mm]	dY [mm]
8	101	113,590	300,290	113,599	300,286	9	-4	113,587	300,281	-4	-9	113,582	300,280	-8	-10
	102	111,000	300,690	111,017	300,677	17	-13	111,013	300,677	13	-13	111,017	300,666	17	-24
	104	114,530	301,600	114,545	301,587	15	-13	114,548	301,581	18	-19	114,540	301,586	10	-14
	105	113,310	301,900	113,331	301,909	21	9	113,331	301,903	21	3	113,330	301,897	20	-3
	106	111,960	301,830	111,971	301,848	11	18	111,967	301,830	7	0	111,964	301,832	4	2
	107	109,890	302,200	109,870	302,206	-20	6	109,864	302,216	-26	16	109,869	302,193	-21	-7
	108	114,530	303,300	114,533	303,283	2	-17	114,551	303,294	21	-6	114,540	303,314	10	13
	109	113,400	303,360	113,408	303,341	8	-19	113,413	303,344	13	-16	113,411	303,344	11	-16
	112	109,260	303,940	109,244	303,924	-17	-17	109,250	303,958	-10	18	109,266	303,921	6	-19
	113	109,760	305,080	109,735	305,066	-25	-14	109,723	305,118	-37	38	109,738	305,064	-23	-16
	114	111,360	305,050	111,377	305,087	17	37	111,395	305,099	35	49	111,383	305,069	23	19
	115	112,400	304,760	112,425	304,783	25	23	112,426	304,788	26	28	112,423	304,783	23	23
	116	113,940	304,880	113,953	304,868	13	-12	113,955	304,861	15	-19	113,958	304,866	18	-14
	108	114,530	303,300	114,519	303,277	-11	-23	114,516	303,293	-14	-7	114,521	303,286	-9	-14
	111	110,610	303,600	110,602	303,593	-8	-7	110,614	303,591	4	-9	110,604	303,587	-6	-13
	114	111,360	305,050	111,354	305,069	-6	19	111,350	305,070	-10	20	111,354	305,074	-6	24
115	112,400	304,760	112,387	304,767	-13	7	112,386	304,769	-14	9	112,386	304,774	-14	14	
9	116	113,940	304,880	113,913	304,858	-27	-22	113,902	304,853	-38	-27	113,910	304,855	-30	-25
	117	114,030	306,130	114,031	306,116	1	-14	114,017	306,113	-13	-17	114,026	306,121	-4	-9
	119	112,340	306,740	112,321	306,721	-19	-19	112,324	306,729	-16	-11	112,332	306,732	-8	-8
	120	111,250	307,200	111,232	307,180	-18	-20	111,205	307,175	-46	-25	111,233	307,177	-17	-23
	121	109,820	306,820	109,832	306,801	12	-19	109,769	306,852	-51	32	109,838	306,808	18	-12
	124	113,300	307,510	113,288	307,487	-12	-23	113,279	307,494	-21	-16	113,288	307,490	-12	-20

F.1 – Absolutní přesnost snímků (část 3/3)

[Zdroj: Autor]

Dílčí hodnocení výkresů A1 – A9:

Výkres A1

V případě výsledku získaného ze softwaru PhotoUnwrap (dále jen PUW) jsou patrné systematické odchylky bodů oproti geodetickému podkladu především v ose Y (tj. vertikální směr) směrem dolů (např. body č. 1, 3, 4, 10, 40). V ose X (tj. horizontálním směru) se jedná o odchylky orientované doleva, výjimku tvoří body č. 3, 4, 7 a 11. Lze tedy říci, že převládající směr deformace je doleva a dolů.

U výsledku ze softwaru PhoToPlan (dále jen PTP) by se dalo mluvit o smršťování rozvinutého snímku v horizontálním směru, protože u bodů v pravé části snímku (body č. 5, 9, 37, 38 a 40) jsou odchylky orientovány doleva a v levé části doprava (body č. 1, 2, 7, 11). Ve vertikálním směru se odchylky orientují ve většině případech směrem nahoru.

Výsledky softwaru LupoScan (dále jen LS) vykazují podobné tendenční posuny na bodech jako v případě PTP, avšak především v pravé části snímku (body č. 5, 9, 37, 38, 40) jsou odchylky větší v obou směrech.



Celkově jsou souřadnicové odchylky u všech softwarů velice malé, vyjma bodu č. 7 (v obou směrech) a č. 12 (ve vertikálním směru). Na těchto bodech zřejmě došlo buď ke špatné identifikaci bodů během zpracování snímku, nebo k jejich chybnému geodetickému zaměření již v terénu.

Výkres A2

Z výsledků softwaru PUW je okamžitě viditelný systematický posun směrem doleva a dolů. Především v pravé a dolní části rozvinutého snímku se na bodech č. 16, 17, 18, 20, 21, 26, 27, 31 objevují vyšší souřadnicové odchylky.

Výsledky softwarů PTP vykazují větší odchylky na bodech převážně v horní části snímku (body č. 29, 30, 31). U jednotlivých bodů se orientace souřadnicových odchylek různí, avšak stejně jako v předchozím případě (výsledky z PUW) dominuje směr doleva a dolů. Celkově jsou však odchylky na bodech menší než v případě výsledků PUW. Jejich hodnota roste směrem k okrajům snímku.

V případě výsledků softwaru LS jsou souřadnicové odchylky nejmenší v pravé části snímku a zvyšují se směrem doleva. V horizontálním směru jsou odchylky systematicky orientovány u většiny bodů směrem doprava (např. body č. 16, 19, 20, 24, 31). Ve vertikálním směru převládá směr dolů, kromě pravého horního rohu, kde jsou odchylky v této ose orientovány opačným směrem (body č. 26, 27, 31).

Výkres A3

Z grafů v této příloze je patrné, že software PUW vykazuje nejmenší souřadnicové odchylky z porovnávaných programů. Odchylky jsou orientovány v ose X od středu snímku směrem k okrajům, tj. snímek vytvořený PUW je roztahován. V ose Y se odchylky orientují směrem dolů (např. body č. 26, 29, 30, 31, 34). Směrem k levému okraji snímku roste hodnota odchylek především ve vertikálním směru.

U výsledků PTP je orientace odchylky totožná jako v případě výsledků softwaru PUW, avšak odchylky v levé části snímku (na bodech č. 29, 30, 32, 36) jsou ve vertikálním směru daleko větší oproti PUW.

Na výsledcích softwaru LS se projevují stejné systematické deformace jako u výsledků konkurenčních programů. V porovnání velikostí jednotlivých souřadnicových odchylek je však software LS nejbližší softwaru PTP.



Výkres A4

Na grafech v tomto výkresu se vyskytuje stejná systematická deformace u všech porovnávaných softwarů. Deformace je charakterizována směrem doprava v ose X a směrem nahoru v ose Y. Softwary si také velice odpovídají ve velikostech jednotlivých souřadnicových odchylek.

Největší odchylky se nacházejí na bodech č. 60, 68 a 71, u kterých zřejmě došlo k chybné identifikaci, avšak je nutné podotknout, že se v obou směrech orientují totožně jako již zmiňovaná systematická deformace.

Výkres A5

V případě výsledků softwaru PUW se souřadnicové odchylky orientují především v horizontálním směru doleva a ve vertikálním směru nahoru. Na spodním okraji snímku se však souřadnicové odchylky v ose Y (tj. vertikální směr) orientují opačným směrem – dolů (body č. 61 a 62). Celkově se odchylky zvětšují nejvíce k pravému okraji snímku, kde se vlivem transformace projevuje větší zkreslení rozvinutého snímku.

Souřadnicové odchylky u výsledků ze softwaru PTP potvrzují systematickou deformaci zjištěnou u softwaru PUW, tj. ve směru doleva a nahoru.

Výsledky softwaru LS se v horizontálním směru projevují totožně jako v případě výsledku PUW i PTP. Avšak u souřadnicových odchylek ve vertikálním směru došlo k celoplošné změně orientace směrem dolů. Velké odchylky se vyskytují v horizontálním směru na bodech u pravého okraje snímku (body č. 105, 109), jejíž hodnota dosahuje až 17,5 cm.

Výkres A6

Výsledky určené softwarem PUW vykazují větší souřadnicové odchylky v horní a levé části snímku. Ve vertikálním směru převládá orientace odchylek směrem nahoru. V horizontálním směru se však orientace odchylek velice liší. Za zmínku stojí pravý horní roh snímku, ve kterém se v horizontálním směru odchylky orientují doprava (body č. 82, 83, 84, 85). V pravém dolním rohu se objevují body s nejmenšími souřadnicovými odchylkami v řádu milimetrů (body č. 74, 75, 77, 80).

Tendenci vertikálního posunu směrem nahoru potvrzují také výsledky ze softwaru PTP. V horizontálním směru se spíše projevuje určité smršťování snímku, jelikož v levé části



snímku jsou souřadnicové odchylky orientovány doprava (body č. 74, 78, 86) a v pravé části směrem doleva (body č. 75, 77, 80, 82).

U výsledků softwaru LS se jedná o stejné systematické posouvání bodů v ose Y (tj. směr nahoru), avšak v ose X je většina odchylek orientována směrem doprava.

Výkres A7

Souřadnicové odchylky výsledků softwaru PUW jsou orientovány směrem doleva v horizontálním směru a směrem nahoru ve směru vertikálním. Odchylky nabývají malých hodnot v řádu jednotek milimetrů.

U výsledků softwaru PTP se projevují stejné orientace odchylek jako v případě výsledků PUW (tj. směr doleva a nahoru), avšak u levého okraje snímku se jejich orientace v ose Y mění (tj. směr dolů u bodů č. 97, 100, 101, 104 a 126).

V případě výsledků softwaru LS je zřejmý nárůst velikostí souřadnicových odchylek směrem od pravého okraje snímku k levému. V levé části snímku (body č. 90, 97, 100) jsou odchylky orientovány směrem dolů v ose Y a směrem doleva v ose X. Od střední části snímku se orientace v ose Y mění na směr nahoru. Oproti ostatním softwarům jsou u výsledků z LS patrné vyšší odchylky v levé části snímku (body č. 93, 94).

Výkres A8

Z tabulky číselných hodnot umístěné v tomto výkresu je patrné, že převažuje u výsledků z PUW systematický posun bodů směrem doprava v ose X, u levého okraje je však orientace opačná (tj. doleva – body č. 107, 112, 113). Ve vertikálním směru se odchylky orientují především dolů, výjimku tvoří body na horním okraji (body č. 114, 115). Zde se souřadnicové odchylky orientují směrem nahoru.

Z výsledků softwarů PTP a LS vzešli souřadnicové odchylky s totožnou orientací jako v případě výsledků z PUW.

Výkres A9

V případě softwaru PUW se jedná o systematický posun bodů směrem doleva v ose X (kromě bodů č. 117 a 121) a směrem dolů v ose Y (kromě bodů č. 114 a 115). Hodnoty souřadnicových odchylek rostou především k hornímu a pravému okraji rozvinutého snímku.



Výsledky ze softwaru PTP potvrzují stejný systematický posun směrem doleva a dolů jako v případě softwaru PUW, avšak souřadnicové odchylky nabývají vyšších hodnot a to především v levé horní části (body č. 119, 120, 121, 124).

Software LupoScan v tomto případě vykazuje velice podobné výsledky jako software PUW a to jak orientací jednotlivých souřadnicových odchylek, tak i jejich velikostí.



G Obrazová kvalita rozvinutých snímků

Tato část přílohy obsahuje:

- výkresy O1 – O3 (volně přiloženy k této práci ve formátu A3)
- dílčí hodnocení výkresů O1 – O3

Dílčí hodnocení detailů vybraných oblastí:

Výkres O1

Výkres obsahuje rozvinutý snímek, jehož originál byl pořízen téměř za ideální situace a zachycuje spodní část testovacího objektu.

Na první pohled se na detailech první oblasti zkoumání (levý horní roh rozvinutého snímku) neprojevují zásadní rozdíly mezi obrazy vytvořenými jednotlivými softwary. Při pečlivějším ohledání je však zejména u obrazu vytvořeného softwarem LupoScan znatelná o něco větší „zubatost“ hran, např. v levém horním rohu této oblasti (místo vyznačeno šipkou). U zbylých softwarů se jeví obraz poněkud měkčeji v přechodech mezi povrchy, avšak působí neostře.

V druhé oblasti (centrální část rozvinutého snímku) jsou k nalezení již výše zmiňované rozdíly, zejména např. na „spárách“ mezi kameny, které jsou na tomto detailu zobrazeny. Začíná se také slabě projevovat rozdílnost v intenzitě jednotlivých barev v celé ploše obrazu. Za zmínku stojí např. světlý kámen v pravém dolním rohu.

Při porovnání třetí oblasti (pravý dolní roh rozvinutého snímku) zjistíme, že software PhoToPlan produkuje nejhladší obraz s nejjemnějšími přechody ze všech porovnávaných softwarů. To je vidět především na strukturách u horního okraje zkoumaného detailu. Obraz vytvořený softwarem LupoScan se jeví v celé ploše nejvíce „kostičkováný“.

Výkres O2

Do porovnání byl zapojen rozvinutý snímek, jehož originál zachycuje střední část testovacího objektu a byl pořízen ze vzdálenosti cca 12 m a se sklonem osy záběru 27 gon.



Při pohledu na detaily první oblasti zkoumání v tomto výkresu jsou okamžitě markantní rozdíly mezi obrazy vytvořenými testovacími softwary. Obraz vytvořený v softwaru LupoScan se jeví ostrý, avšak na liniích trpí velkým aliasingem (např. levý horní roh detailu – označeno šipkou). Celkově obraz působí velice zrnitě. Obraz vytvořený softwarem PhotoUnwrap již není tolik zatížen „zubatostí“ na hranách, je hladší, avšak neostrý. V případě obrazu poskytovaného softwarem PhoToPlan se jedná o nejjemnější obraz s plynulými tónovými přechody. Na hranách se aliasing téměř nevyskytuje.

V případě detailu druhé oblasti jsou nejméně znatelné obrazové rozdíly mezi softwarem PhoToPlan a PhotoUnwrap. U obrazu získaného softwarem LupoScan je opět znatelná vyšší zrnitost a také odlišná intenzita především světlejších barev.

Detail třetí oblasti potvrzuje výše popisované rozdíly mezi testovanými softwary. Lze tedy na základě zjištěných faktů již odhadnout použitou metodu obrazové interpolace v případě softwaru PhoToPlan a LupoScan. U softwaru PhotoUnwrap byla volena metoda bilineární a porovnáním s ostatními softwary je možné tuto metodu potvrdit. V případě softwaru PhoToPlan odhaduji použití metody bikubické nebo metody jí blízké. Pro interpolaci obrazu v softwaru LupoScan byla zřejmě použita nejjednodušší interpolační metoda, tj. metoda nejbližšího souseda.

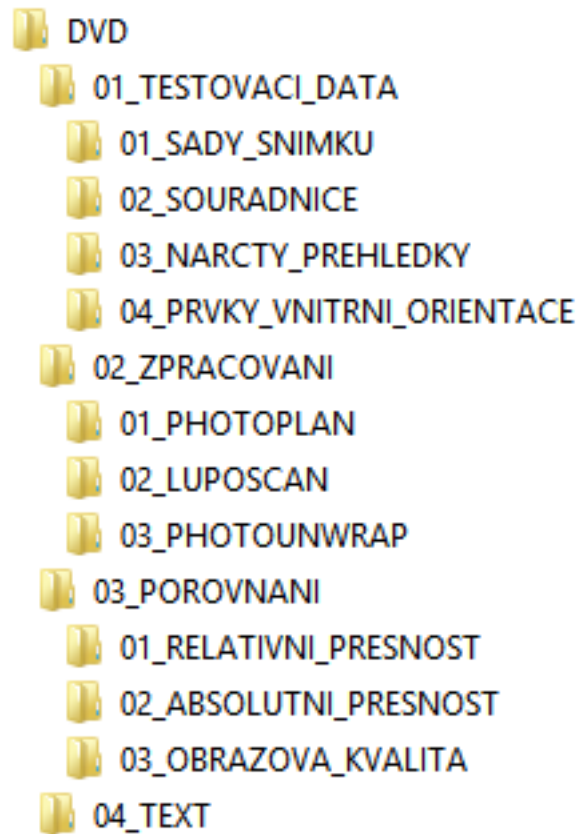
Výkres O3

Rozvinutý snímek, jenž je zahrnut do zkoumání v tomto výkresu, byl pořízen ze vzdálenosti 12 m, ale pod velkým sklonem osy záběru, tj. cca 52 gon.

Všechny vytvořené detaily vybraných oblastí potvrzují charakteristické rysy obrazových interpolací, které již byly zjištěny v předchozích případech. Je však nutné podotknout, že jejich kvalita se podstatně zhoršila a to především na krajích rozvinutého snímku (oblast 1 a 3), kde již dochází k velkému zkreslení obrazu a k „slévání“ jednotlivých pixelů. Projevuje se to zejména u softwarů PhoToPlan a PhotoUnwrap, viz oblast 1 – levý horní roh či oblast 3 – pravý dolní roh. Z porovnání je také patrné, že softwary PhoToPlan a LupoScan zachovávají konstantní kvalitu obrazu po celé ploše snímku. To se však nedá tvrdit u obrazu vytvořeného softwarem PhotoUnwrap, u kterého jsou rozdíly mezi částmi příslušného snímku evidentní (např. porovnání oblasti 1 a 3 daného softwaru).



H Obsah DVD-ROM



H.1 – Stromová struktura přiloženého DVD

[Zdroj: Autor]