ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

PRAHA 2017 Kristýna Doležalová

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE
STUDIJNÍ OBOR GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A GEOINFORMATIKA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Horní tvrz Kestřany (Písek) – měřická dokumentace vybrané části

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

Katedra geomatiky

leden 2017

Kristýna Doležalová

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Doležalová Jméno: Kristýna Osobní číslo: 423981

Zadávající katedra: Katedra geomatiky

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie a kartografie

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Horní tvrz Kestřany (Písek) - měřická dokumentace vybrané části

Název bakalářské práce anglicky: Upper fortress Kestřany (Písek) - metrical documentation of selected part

Pokyny pro vypracování:
- ve spolupráci se zadavatelem proveďte rekognoskaci zaměřované části objektu a definujte typ a parametry výstupů projektu,
- navrhněte vhodné měřické metody a technologické postupy pro vytvoření definovaných výstupů,
- proveďte měřické práce v objektu v nezbytném rozsahu s důrazem na možnosti kontroly přesnosti,
- zpracujte pořízená data do podoby výstupů,
- shrňte dosažené výsledky a zhodnoťte jejich přesnost a vypovídací schopnost v kontextu dalšího využití zadavatelem.

Seznam doporučené literatury:
Larina, Alexandra - Nový hrad u Kunratic - tvorba detailního 3D modelu vybrané části. bakalářská práce; Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Praha 2014

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 7. října 2016 Termín odevzdání bakalářské práce: 15. ledna 2017
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské 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".

Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma „Horní tvrz Kestřany (Písek) – měřická dokumentace vybrané části“ jsem vypracovala samostatně. Použitou literaturu a podkladové materiály uvádím v seznamu zdrojů.

V Praze dne . . . .

Kristýna Doležalová

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Jindřichu Hodačovi Ph.D. za vedení práce a odbornou pomoc při měření v terénu a zpracovávání závěrečné práce. Dále děkuji Ing. Jaroslavu Šedinovi a Ing. Zdeňkovi Poloprutskému za rady a pomoc při tvorbě výstupů. Dále děkuji Zuzaně Richtrové za pomoc při měření v terénu a při zpracování.

Abstrakt

Bakalářská práce má za cíl vytvoření měřické dokumentace části Horní tvrze v Kestřanech pro upřesnění vzájemných prostorových vztahů jednotlivých navazujících částí objektu. V této bakalářské práci je zpracovávána část sklepních prostorů pod přízemím věže, staré kaple a nové kaple a zmiňované nadzemní prostory. Pro zaměření objektu byla použita metoda laserového skenování přístrojem Surphaser 25HSX jako alternativní metoda ke klasickému geodetickému zaměření. Součástí dokumentace byla tvorba fotoplánů čelních stěn na nádvoří tvrze zájmových částí objektu.

Výstupy práce jsou stavební výkresy vybraných úseků, dva svislé, částečné podélné řezy a půdorys podzemních sklepních částí v měřítku 1:50 a tři fotoplány v měřítku 1:20. Tyto výstupy pak budou sloužit jako podklad pro upřesnění stavebně-historického průzkumu Horní tvrze v Kestřanech.

Klíčová slova

Laserové skenování, mračno bodů, měřická dokumentace, Geomagic Studio, fotoplán, stavební výkres

Abstract

Bachelor thesis deals with creation of a surveying documentation of the part of Upper fortress in Kestřany in order to clarify spatial relationships between differently connected parts of the object. The particular areas that this bachelor thesis deals with are the tower, the old chapel and the new chapel as well as all the cellar rooms underneath them. As an alternative method to standard surveying a terrestrial laser scanning method using Surphaser 25HSX laser scanner was used. Another part of the documentation was the creation of photoplans of several external walls located at the courtyard of the fortress.

The results of the thesis are plans of the chosen parts of the object, which include two vertical, partially longitudinal sections and a floor plan of cellar rooms in the scale of 1:50 and three photoplans in the scale of 1:20. These plans will serve the purpose of being a foundation for the clarification of construction history of the Upper fortress in Kestřany.

Keywords

Laser scanning, point cloud, surveying documentation, Geomagic Studio, photoplan, plan

Obsah

Úvod....10

1 Historie a popis obce Kestřany a Horní tvrze....11

1.1 Obec Kestřany....11

1.2 Vývoj Horní tvrze a její podoby....13

2 Dokumentace památkových objektů....14

2.1 Uměleckohistorické hledisko....14

2.2 Vývoj dokumentace památkových objektů....14

3 Metody, přístroje a software....16

3.1 Laserové skenování....17

3.2 Jednosnímková pozemní fotogrammetrie....18

3.3 Použité přístroje....19

3.4 Software....20

4 Práce v terénu....21

4.1 Rekognoskace terénu a přístrojové vybavení....21

4.2 Laserové skenování....23

4.3 Zaměření identických bodů....24

4.4 Pořízení snímků....27

5 Zpracování dat pro tvorbu 3D modelu....28

5.1 Zpracování geodetického měření z totální stanice....28

5.2 Export dat z laserového skenování....28

5.3 Zpracování v programu Geomagic Studio....29

5.4 Transformace do S-JTSK....31

6 Tvorba řezů....35

6.1 Půdorys....35

6.2 Řezy....38

7 Tvorba fotoplánu 40
7.1 Příprava dat 40
7.1.1 Export dat 40
7.1.2 Úprava dat 40
7.1.3 Kalibrace fotoaparátu a odstranění distorze 41
7.1.4 Transformace bodů do roviny fotoplánu 43
7.2 Tvorba fotoplánu v programu TopoL 44
7.2.1 Dokončení v programu MicroStation 45
8 Zhodnocení dosažené přesnosti 45
Závěr 49
Zdroje a použitá literatura 50
Seznam obrázků 52
Seznam tabulek 53
Seznam příloh 54

Úvod

Tato bakalářská práce má za cíl vytvořit měřickou dokumentaci pro vybranou část objektu Horní tvrze v Kestřanech pro účely stavebně-historického průzkumu. Měřická dokumentace je tak důležitým podkladem pro výzkum historie staveb a pro památkovou péči. V tomto případě bylo hlavním zájmem zjistit, jak na sebe jednotlivé části objektu navazují, jaká je tloušťka zdí a jaká je návaznost mezi kaplí a sklepní částí pod ní.

Měřická dokumentace památkových objektů je jedním ze základních postupů dokumentace památkového objektu a je zároveň pramenem pro poznání historie stavby a její architektury. Její význam vyniká při nedestruktivním postupu rekonstrukce objektu. Tento postup umožňuje poznat přesnou vzájemnou polohu na sebe navazujících objektů, tloušťky zdí, stropů, nalezení zakrytých dutin či přesné umístění stavebních prvků.

Horní tvrz v Kestřanech prochází v současné době rekonstrukcí. Kvůli zjištění, že nalezená dokumentace objektu se ukázala jako v mnoha směrech nedostatečná, byl během stavebně historického průzkumu, který zde prováděli studenti FA ČVUT, zadán požadavek na vytvoření nové dokumentace pro části tvrze. Jako vhodná metoda byla zvolena metoda laserového skenování, které dokáže během krátké doby nasnímat mračno bodů, které poskytuje kvalitní podklad pro tvorbu půdorysu. Tato metoda byla zvolena jako alternativa ke klasickému geodetickému zaměření, protože geodetické zaměření poskytuje mnohem nižší podrobnost.

Výsledkem zpracování provedeného měření jsou půdorysy sklepních prostor a přízemní části a čtyři svislé řezy, které procházejí oběma úrovněmi. Kvůli přesné dokumentaci fasády čelní stěny kaple byly vytvořeny tři fotoplány. V této bakalářské práci jsou zpracovány sklepní prostory a jejich půdorys, dva svislé řezy a fotoplány. Zbylá část měření je zpracována v bakalářské práci Zuzany Richtrové.

1 Historie a popis obce Kestřany a Horní tvrze

1.1 Obec Kestřany

Obec Kestřany se nachází v Jihočeském kraji, přibližně 7 kilometrů jihovýchodně od města Písku poblíž řeky Otavy. Obec má velmi bohatou historii, která sahá až do roku 1315, ze kterého pochází první písemná zmínka o daru píseckému klášteru od Alberta z Kestřan. On i jeho tři synové tak získali přídomek z Kestřan podle svého sídla. Kestřany bývaly důležitým manským statkem (statkem, jehož držba byla vázána osobní služebnou povinností), který příslušel ke královskému hradu Zvíkov. V obci se vlivem historických událostí nacházely nakonec tvrze tři. Horní tvrz je historicky starší, ze 13. století, Dolní tvrz je ze století 14. až počátku století 15. Třetí tvrz se nedochovala, na jejím místě dnes stojí barokní zámek. Společně tvoří jedinečný komplex budov tvořený právě původně gotickými tvrzemi a raně barokním zámkem. Na stáří obou tvrzí poukazují dochované stavební prvky. Dolní tvrz byla postavena v důsledku rozvětvení rodu majitelů Kestřan. Původně jednolitý majetek byl rozdělen na několik částí včetně samotné vsi i tvrze. Již zmíněná třetí tvrz byla postavena okolo roku 1420. Ve výsledku tak došlo k tomu, že ves se dělila na tři části s různými majiteli, přičemž ke každé části patřila jedna vlastní tvrz.

Obr. 1 Horní tvrz Kestřany, zdroj: Jindřich Hodač

Horní tvrz se stala v roce 1460 majetkem Bohuslava Koktany, syna Vaňka Koktany, který k ní přikoupil i tvrz Dolní. Tvrze pak byly společně prodány roku 1491 Jindřichovi ze Švamberka, který si o rok později na králi Vladislavovi II. vymohl osvobození Kestřan od manských povinností (v té době již převedených na plat). Horní tvrz byla zvolena za hlavní panské sídlo a z důvodu pohodlí přestavěna do stylu 15. století. Dolní tvrz své uplatnění našla jako pivovar a sýpka. Obytnou funkci tak zastávala pravděpodobně méně než jedno století.

Okolí Kestřan bylo chudé na zaznamenáníhodné události, nedocházelo zde k významným potyčkám ani jiným podobným příhodám, a proto jedinou dochovanou informací v tomto duchu je zmínka o přepadení tvrze Buquoyovým vojskem z roku 1619 v první fázi třicetileté války. Útok na tvrz ale nezanechal žádné dnes patrné stopy. Jako majetek rodu Švamberků byly Kestřany uváděny až do roku 1651, kdy zemřel Jan Vilém a celý jeho majetek včetně statku a tvrzí v Kestřanech přešel na jeho dceru, provdanou hraběnku Paarovou. Tvrze tak v té době zcela přestaly plnit obytnou funkci a byly využívány již jen k hospodářským účelům. V té době začala také hraběnka Paarová stavět barokní zámek. Ani hraběnka Paarová, ani další majitelé však nebyli dobrými hospodáři, a proto kestřanské hospodářství upadalo. Shodou okolností právě v té době mocný rod Schwarzenberků budoval své jihočeské dominium a Kestřany se jim hodily do koncepce. Není proto divu, že roku 1700 byly Kestřany zakoupeny a připojeny k protivínskému panství knížetem Ferdinandem ze Schwarzenberka (Sedláček 1996, Líbal 1974). Tím ovšem zaniklo samostatné panství i potřeba zachování existence zdejšího panského sídla.

O dalším vývoji Horní tvrze v Kestřanech se toho příliš neví, nicméně lze předpokládat využití veškerých prostor pro hospodářské účely, eventuálně pro ubytování čeledě nebo nižších panských úředníků. V roce 1924, po první pozemkové reformě, byl celý areál přidělen do vlastnictví státu, v druhé polovině 20. století byly veškeré prostory přeměněny na sklady JZD a byty. Objekty byly vyklizeny až na konci 2. tisíciletí, kdy správa areálu připadla obci. Ta začala zařizovat základní rekonstrukci (kestrany.cz). V roce 2005 Horní tvrz koupil soukromý majitel, který o dva roky později koupil i zámek. Jeho cílem je objekty zrekonstruovat, tvrz zpřístupnit veřejnosti, a poté pokračovat v rekonstrukci celého areálu. Současní majitelé zde často pořádají akce pro veřejnost a snaží se zapojit tvrz do společenského života obce. Dolní tvrz přešla do soukromého vlastnictví už v roce 1989, současným vlastníkem je společnost CHERVALL. Tato tvrz veřejnosti přístupná není (tvrzkestrany.cz).

1.2 Vývoj Horní tvrze a její podoby

Základním pramenem pro popis stavebně historického vývoje tvrze jsou zjištění, která přinesl stavebně historický průzkum Horní tvrze, jejž uskutečnili v roce 1974 pracovníci Státního ústavu pro rekonstrukce památkových měst a objektů pod vedením Dobroslava Líbala (Líbal 1974).

Tvrz se nachází v severní části intravilánu obce. V okolí tvrze byla vystavěna soustava rybníků, z nichž se některé zachovaly dodnes – zejména na severozápadní straně. Před výstavbou rybníků zde byla oblast plná mokřadů a bažinatých míst. Zmíněné rybníky měly více účelů, hlavním nicméně byla ochrana tvrze ze tří stran. Ze severozápadní strany by však případnému nepříteli nebránilo v přístupu nic, a proto zde byl vytvořen umělý vodní příkop, který napájela voda z bažin v okolí (Sedláček, 1996).

Podoba samotné tvrze se vyvíjela v několika etapách. V nejstarší podobě se pravděpodobně jednalo o hrázděnou stavbu, ze které se dochovalo tzv. purkrabství, které se nyní nachází uprostřed nádvoří. Zde jsou dodnes patrné původní portály a klenby, podle průzkumu ranně gotické (Líbal, 1974). V další etapě, v době po výstavbě Dolní tvrze a výše zmíněnému rozvětvení rodu, byla tvrz doplněna o mnoho nových objektů. Jednalo se již o dvě obytné tvrze a kamennou hradbu, která obepínala jádro tvrze. Hradba byla ještě doplněna o obrannou věž na severní straně. I po této přestavbě byly součástí tvrze hrázděné části, ale v průběhu dalších let majitelé vyvinuli úsilí o vyzdění většiny hrázděných konstrukcí. Podle současného stavu je možné říci, že tyto stavební úpravy nebyly prováděny nijak odborně, neboť zdi na sebe nijak přesně nenavazují a tloušťka zdí je proměnlivá.

Dalším významným milníkem pro dnešní podobu stavby je období, kdy se nacházela v majetku rodu Švamberků, to je v 15. a 16. století. Tvrz byla přestavěna do podoby gotico-renesančního hradu (Sedláček, 1996). Tato podoba se dochovala v podstatě dodnes. Z této etapy přestavby pochází patrně i kaple sv. Máří Magdalény a palácové křídlo, jehož část se v pozdější době přestavěla na větší kapli, neboť původní kaple neměla dostatečnou kapacitu (Menclová 1972). Posledním významným zásahem do podoby tvrze byly adaptace v 19. a 20. století. Jak je již zmíněno výše, v této době se objekt využíval pro hospodářské účely. Gotickou klenbou kaple byl proražen komín a z kaple se stala kuchyně. Ve 20. století se

objekt stal majetkem JZD a to využilo palácové křídlo jako prostor pro byty (kestrany.cz). Ve zbytku tvrze byly hlavně sklady, které současnému stavu také nijak výrazně nepomohly. Rekonstrukce prováděná současnými majiteli se snaží o obnovu tvrze a vytvoření expozice „Život ve středověké tvrzi“ a doprovodné expozice o rodu Švamberků, za jejichž doby získala tvrz svoji středověkou podobu.

V roce 1974 byl v Kestřanech proveden již zmíněný stavebně historický průzkum. Během něho bylo zjištěno několik stavebních závad, a hlavně pořízen popis stavu objektu. V současné době stavební průzkum pokračuje s cílem „přispět k poznání o vývoji tvrzí a drobných sídel v jižních Čechách“ (kestrany.cz).

2 Dokumentace památkových objektů

2.1 Uměleckohistorické hledisko

Historické objekty jsou významnou součástí kulturního dědictví nejen v České republice, které je v tomto ohledu velmi rozmanité a bohaté. Jen jako součást památkového fondu je evidováno přibližně 40 tisíc objektů, z čehož je tři sta chráněno jako Národní památkové objekty. Další velké množství historických objektů není nijak chráněno, přesto i tak stojí za pozornost a zájem veřejnosti. Historické objekty tvoří jeden ze základních fundamentů české krajiny. V mnoha případech se mluví o přímém spojení mezi vzdělaností národa a jeho přístupu k ochraně památek (Patočka 2008). Organizace státní památkové péče – Národní památkový ústav (NPÚ) – plní v tomto ohledu hlavní úkoly ohledně evidence a dokumentace, zabezpečuje průzkumy, výzkumy a ochranu kulturních památek a památkových zón dle zákona o státní památkové péči č. 20/1987 Sb.

Dokumentace historických objektů stojí na úrovni ostatních dokumentačních postupů, jako je archeologie, stavebně historický průzkum, archivní nebo restaurátorský průzkum a jejich smysl je nezpochybnitelný a všeobecně respektovaný.

2.2 Vývoj dokumentace památkových objektů

Potřeba přesně zaznamenávat popis objektů, nejenom památkových, je v dějinách památkové péče poměrně dlouho zažitá. Prvotní zřetelnější vlna zájmu o zdokumentování historických objektů přišla již s renesancí (14. – 16. století). V době raného novověku byl

velký zájem o zachycení pozůstatků antických staveb, a to pro možnost jejich napodobení. Dle Národního památkového ústavu je dalším významným mezníkem v historii dokumentace objektů péče o šlechtická sídla. Tyto dokumentační práce vznikaly na objednávku majitelů zejména ze strachu před zničením stavby válkou nebo přírodní katastrofou. Výsledná dokumentace se vyznačuje velkou přesností a vysokou vypovídací hodnotou, nicméně o metodách práce toho moc známého není. Další vývoj památkové péče na území habsburské monarchie v 19. století přinesl povinnost dokumentace objektů s významnou kulturní hodnotou. V této době se využívá zejména poměrných metod k získání hodnot, ale své místo zde má i geodézie.

Po první světové válce se již začala usazovat jako běžná metoda průseková fotogrammetrie. Během druhé světové války byly památkové objekty mapovány zejména mimochodem, během leteckého snímkování, i tak ale byly zachyceny důležité informace pro pozdější případné rekonstrukce.

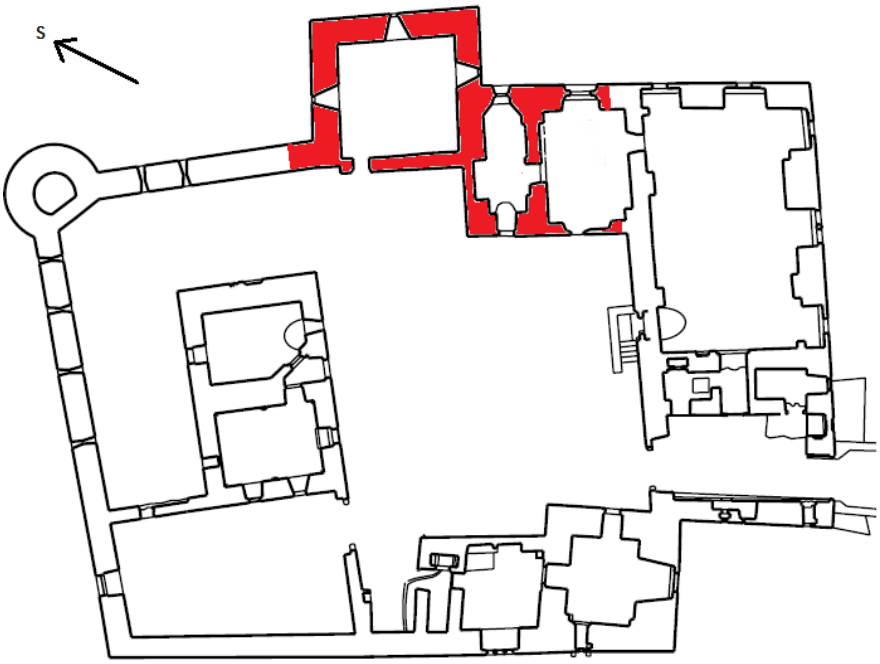
Po druhé světové válce se obor dokumentace památkových objektů dále rozvíjel (na rozdíl od samotné péče o tyto památky). Jako samostatné oddělení při Státním ústavu památkové péče a ochrany přírody se postupně vytvořilo mj. měřičské oddělení, které mělo tvorbu technicky správné dokumentace památkových objektů na starosti. Byly vydány první metodické pokyny a závazné postupy. Problémy přišly po zrušení ústavu po sametové revoluci v roce 1989, kdy si měřičskou dokumentaci začali vlastníci vyhotovovat sami a ta byla na různé úrovni. Došlo tak ke kvalitativním rozporům ve výstupech dokumentace a ke ztrátě unifikace, kterou původní metodika zajišťovala. Současně probíhal rychlý vývoj „počítačových“ technologií a snižování jejich cen. Tak se staly nástroje pro dokumentaci staveb stále dostupnější i pro širší veřejnost.

Současným trendem v památkové péči v oblasti dokumentace staveb je využití automatizovaných postupů. Nejrozšířenějším způsobem měření je využití polárního zaměření, oměrná a kolmicová metoda. Poměrně novou technologií v dokumentaci památkových objektů je využití 3D skenování. Skenování může být prováděno jak pomocí statického skeneru umístěného na zemi, tak využitím speciálních skenovacích dronů, které se tak dostanou i na jinak nesnadno přístupná místa.

Podle NPÚ (Veselý, 2014) je dnes vytvořen všeobecně uznávaný standard, který vychází právě z předchozích zkušeností a starších metodik. Nicméně legislativně se dokumentace řídí stavebním zákonem č. 183/2006 Sb. a ČSN 013420 - Výkresy pozemkových staveb – kreslení výkresů stavební části.

3 Metody, přístroje a software

Požadovanými výstupy práce bylo vytvoření dokumentace pro upřesnění stavebně-historického průzkumu. Hlavním výstupem práce bude půdorys a dva svislé řezy v měřítku 1:50, jako vedlejší výstup práce má být vytvořen model vybrané části tvrze tvořený mračnem bodů. Metoda práce byla vybrána po prohlídce cílového objektu, tedy objektu Horní tvrze v Kestřanech a určení zájmových částí pro potřeby této bakalářské práce. Spolu se zadavatelem práce, docentem Michaelem Ryklem z Fakulty architektury ČVUT, bylo rozhodnuto o rozdělení tématu mezi dvě bakalářské práce. Zájmovou částí byla oblast kaple a 1. podlaží věže, viz obrázek č. 2; tato práce se zabývá pouze sklepním prostorem pod těmito objekty a vnější fasádou na straně k nádvoří. Druhou část (nadzemní podlaží) zpracovala ve své bakalářské práci Zuzana Richtrová.



Obr. 2 Vybraná část pro měřickou dokumentaci, zdroj: vlastní tvorba

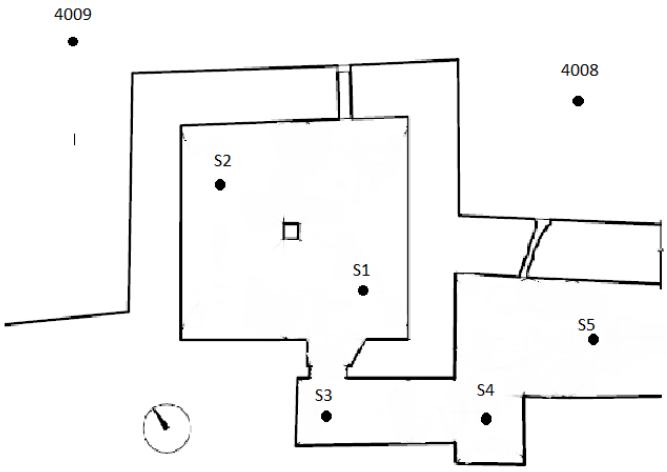
Pro sběr dat pro vyhotovení výstupů byla zvolena metoda laserového skenování. Tato metoda byla určena jako vhodná na základě přesnosti výsledků, kterých může dosahovat, a předešlých zkušeností s využitím této metody k dokumentaci historických objektů. Pro tvorbu fotoplánů, které byly rovněž určeny jako vhodný výstup pro stavebně historický průzkum, byla zvolena metoda jednosnímkové fotogrammetrie.

3.1 Laserové skenování

3D laserové skenování je moderní metoda sběru prostorových dat, která má oproti starším metodám, jako je například klasické geodetické zaměření, velký počet výhod. Jedná se o bezkontaktní snímání s minimální náročností na práci měřiče. Dalšími výhodami jsou zejména rychlost sběru dat – samotný proces skenování trvá pár minut, dále pak přesnost výsledných souřadnic a komplexnost získaných dat.

Laserové skenování se, stejně jako jiná odvětví, rychle vyvíjí a v dnešní době většina skenovacích systémů využívá polární metodu k určení polohy snímaného bodu, dříve se využívala metoda protínání vpřed. Nezbytnými předpoklady je tak znalost horizontálního a zenitového úhlu a délky průvodiče (Štroner, 1996). Délka je měřena elektronickým dálkoměrem, který je přímo zabudován ve skenovacím systému. Jak je uvedeno v publikaci Terestrické skenovací systémy, dálkoměry mohou být impulsní nebo fázové.

Meziproduktem z provedeného zaměření je takzvané mračno bodů (point cloud), ze kterého následně budou vygenerovány 2D výstupy. S takto získanými daty jde pracovat v libovolných programech typu CAD, kde je lze upravit. Výhoda této metody spočívá v její jednoduchosti a přesnosti, případně rychlosti. Nevýhoda pak na druhé straně leží v nárocích na hardwarové vybavení zpracovatelského počítače. Právě kvůli snadnému získání velkého množství dat není následně jednoduché s nimi pracovat.

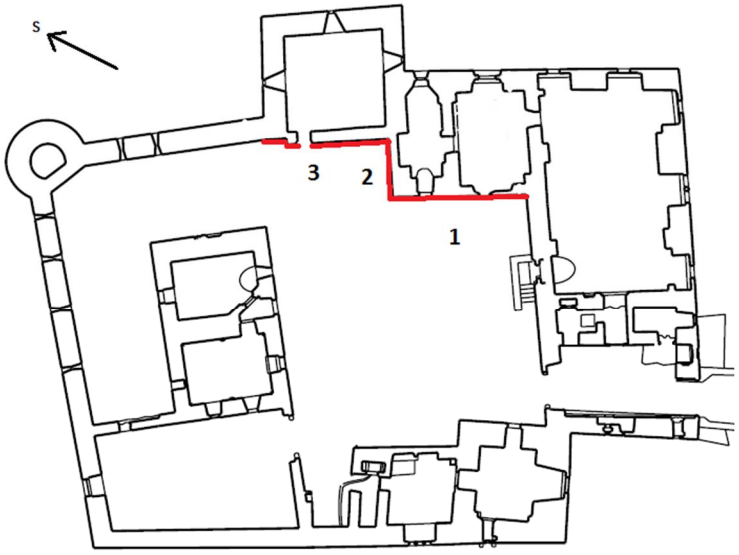


Obr. 3 Vyznačení stanovisek pro laserové skenování, zdroj: vlastní tvorba

3.2 Jednosnímková pozemní fotogrammetrie

Metoda jednosnímkové pozemní fotogrammetrie se často využívá právě k tvorbě fotoplánů pro nepříliš hloubkově členité objekty. Jedná se tak zejména o fasády památkových i obytných objektů. Geometrický předpoklad jednosnímkové fotogrammetrie spočívá ve vztahu mezi dvěma rovinami. Pokud jsou roviny rovnoběžné, je vztah mezi fotoplánem, snímkem a objektem dán pouze měřítkem zobrazení. Problém nastává právě při nedokonalé svislosti, když osa záběru není přesně kolmá k objektu. Dochází tím k perspektivnímu zkreslení snímku a matematickým vztahem zmiňovaných rovin je kolineární transformace. Pro popis geometrického vztahu dvou rovin platí Pappova věta, která je uvedena ve skriptech Fotogrammetrie 10.

Výslednou přesnost fotoplánu tak nejvíce ovlivňuje hloubková členitost zaměřované fasády. Jednosnímková fotogrammetrie tak není aplikovatelná na všechny objekty. U objektů s většími hloubkovými rozdíly by došlo k rozdílům mezi středovým průmětem snímku a pravoúhlým průmětem, a tak by vznikaly radiální posuny vlícovacích bodů. Z těchto důvodů se doporučuje umístění částí s větším členěním ve středu snímku.



Obr. 4 Vyznačení fotoplánů, zdroj: vlastní tvorba

3.3 Použité přístroje

Pro geodetické zaměření objektu, identických a vlícovacích bodů byla využita totální stanice Trimble 3603 DR. Podle informací uvedených u výrobce dosahuje přístroj přesnosti při úhlovém měření 1 mgon. Délky je možné měřit na odrazný hranol s přesností 3 mm + 2 ppm do vzdálenosti 5500 m nebo bezhranolově na 120 metrů. K určení délek je využita elektro-optická metoda, která využívá modulovaného infračerveného světla (trimble.com).

Pro laserové skenování celého objektu bylo pracováno s laserovým skenerem Surphaser 25HSX s konkrétní konfigurací IR_X, výrobní číslo BS-SCHSX025858 (surphaser.com). Tento skener je produktem firmy Basis Software, Inc. a jedná se o statický skener, který využívá fázového dálkoměru (vlnová délka činí 685 mm). Doporučená vzdálenost skenovaných objektů je 0,4 metru až 30 metrů, přičemž maximální vzdálenost pro tuto konfiguraci činí 70 metrů. Celková přesnost přístroje je 0,5 mm na 5 metrů. Rozsah zorného pole hlavy skeneru je 360° x 270° - druhé číslo značí, že přístroj není schopen nasnímat prostor přímo pod sebou. Během skenování používá Surphaser obě hemisféry najednou a rychlost skenování je mezi 0,216 a 1,2 milionu bodů za sekundu. Skener se ovládá přes speciální software, Surph Express Standard, který je nainstalován na připojeném počítači. V tomto programu je možné navolit hustotu

skenovaných bodů, od čehož se odvíjí jejich výsledný počet. Program umí i zobrazit náhled, ze kterého lze vybrat pouze zájmovou oblast.

Pro pořízení snímků na fotoplány byl použit fotoaparát Canon EOS 5D Mark II. Jedná se o digitální zrcadlovku, která má full frame velikost čipu (přesně 35,9424 mm x 23,9616 mm). Typ procesoru je DIGIC 4, který podle výrobce disponuje kvalitní reprodukcí barev a jemnými přechody (canon.cz). Dalšími parametry fotoaparátu je rozměr pixelu, který je 6,4 µm nebo rychlost snímání JPEG snímku až 3,9 snímku za sekundu. Fotoaparát umožňuje ukládání ve formátu JPEG nebo CR2.

K pořízení snímků byl k fotoaparátu použit objektiv Canon EF 16-35 mm f/2.8L II USM. Jedná o velmi kvalitní objektiv se širokoúhlým záběrem, který umožňuje velmi dobré periferní snímání. Objektiv umožňuje zachování krátkých časů expozice při použití zoomu díky neměnnosti světelnosti v rámci celého rozsahu zoomu. Další předností tohoto objektivu je jeho rychlost a právě konstantní světelnost f/2,8.

3.4 Software

Při *snímání bodů v terénu* pomocí skeneru byl použit software Surph Express Standard, který je nezbytnou součástí pro skenování. Pro zpracování prostorových dat, která byla výstupem měření, byl použit program Geomagic Studio, konkrétně verze 2014 (geomagic.com). Jedná se o produkt společnosti Geomagic Inc, sídlící ve Spojených státech amerických, která se specializuje na tvorbu softwarových řešení pro práci s prostorovými daty. V tomto programu byla zpracována nasnímaná mračna bodů a vytvořen 3D model objektu, který byl následně použit pro tvorbu řezů. Program Geomagic dokáže zpracovat velká mračna bodů, ale rychlost úkonů je vázána na výkon počítače. Vzhledem k této skutečnosti v případě mé bakalářské práce tak často trvaly výpočty několik desítek minut.

Pro *zpracování geodetického měření* byl použit software GROMA. Tento program slouží k souhrnnému zpracování geodetických dat od základních naměřených dat po výpočty souřadnic. Program též generuje protokoly a zobrazuje body graficky. Při tvorbě této bakalářské práce zde byly provedeny výpočty souřadnic identických bodů ze zápisníku z měření. K transformaci celého modelu do zvolené souřadnicové soustavy byl použit program XYZTrans, který byl vytvořen profesorem Martinem Štronerem na katedře speciální geodézie ČVUT (projekt XYZTrans). Tento program umožňuje jednoduchý výpočet

transformačních klíčů pro základní typy prostorových transformací. Pro správný výpočet jsou potřeba dva textové soubory s identickými body ve vstupním souřadnicovém systému a výstupním souřadnicovém systému. Pomocí transformačního klíče tak může být celý model převeden do cílové souřadnicové soustavy.

Kresba řezů a půdorysu proběhla v programu MicroStation PowerDraft V8i, ve kterém byla dokončena i tvorba fotoplánů. Tento program CAD typu od společnosti Bentley Systems umožňuje práci jak s 2D, tak i 3D daty, tvorbu výkresů a další práci s daty.

Pro tvorbu fotoplánu byl nejprve využit software umožňující úpravu fotografií. Jako první byl použit program Digital Photo Professional od společnosti Canon, který je propojen se softwarem fotoaparátu. Tento program umožňuje zpracování a úpravy snímků ve formátu RAW. Zde byly provedeny základní barevné úpravy, jako vyvážení bílé a otočení snímků. Důležitou funkcí je možnost exportu upravených snímků do jiných formátů, v tomto případě byl využit export do formátu TIFF. Dalším programem je FastStone Image Viewer, který nabízí větší množství funkcí na úpravu fotografií, jako je kontrast, jas nebo úprava barev.

Do skupiny programů, které byly využity k samotné tvorbě fotoplánu, patří program SIMphoto, který byl vytvořen v rámci diplomové práce na katedře geomatiky (simphoto). Program nabízí řadu možností pro práci s rastrovými daty, v této práci byl ale využit pouze k opravení vlivu distorze objektivu. Pro samotnou tvorbu fotoplánu byl využit program TopoL xT. Tento program nabízí řadu možností pro práci s geografickými daty a jejich analýzy (TopoL xT). Jedná se o program ze skupiny GIS.

4 Práce v terénu

4.1 Rekognoskace terénu a přístrojové vybavení

Pro zaměření vybrané části tvrze v Kestřanech bylo použito geodetické vybavení zapůjčené Katedrou geomatiky z Fakulty stavební ČVUT. Jak již bylo uvedeno výše, jedná se o laserový skener Surphaser 25HSX, v. č. BS-SCHSX025858 a totální stanice Trimble, v. č. 501081-A. Se skenerem byl zapůjčen i počítač umožňující jeho ovládání. Pro pořízení snímků na fotoplán byl zapůjčen fotoaparát Canon EOS 5D Mark II s objektivem. Jako další pomůcky byly použity stativ, odrazný hranol a dvoumetr.

Obr. 5 Rekognoskace terénu, zdroj: Jindřich Hodač

Samotné měření probíhalo ve dvou termínech, 27. 11. – 29. 11. 2015 a 1. 4. 2016. Po prohlídce a rekognoskaci objektu byl stanoven rozsah vyhotovení dokumentace se zadavatelem docentem Michaelem Ryklem. Za vhodnou metodu bylo zvoleno laserové skenování kvůli členitosti objektu a záměru podrobně zmapovat a upřesnit návaznosti jednotlivých zdí. Během plánování měření nebylo rozhodnuto, zda použít metodu laserového skenování, která stále není příliš obvyklá pro práce tohoto typu, anebo využít klasické metody geodetického zaměření pomocí totální stanice. Vybraná metoda byla zvolena z několika důvodů. Prvním z důvodů byla časová úspora při laserovém skenování. Skener snímá mračna bodů během krátkého časového úseku v pravidelném gridu a umožňuje tak pozdější zpracování řezů s velkou podrobností. Díky tomu, že hustotu snímání lze volit libovolně, nemusí být požadavky na přesnost známy dopředu před měřením, ale je možnost je doplnit později. Tuto možnost jsme během práce využily, neboť zadavatel práce nemohl být celou dobu přítomen. Další výhodou, kterou přinášela volba laserového skenování, je časová úspora. Snímání mračen bodů je mnohonásobně rychlejší než jednotlivé zaměření bodů totální stanicí, které by při požadované přesnosti a vzhledem k velikosti objektu trvalo mnohem déle. Totální stanice byla využita pro zaměření identických bodů, které jsou nutné pro transformaci objektu a spojení jednotlivých mračen do jednoho objektu.

4.2 Laserové skenování

Práce v terénu byly následně prováděny v několika částech. Jako první bylo provedeno laserové skenování, druhý den převážně zaměření identických bodů, během kterého bylo provedeno i nafocení snímků na fotoplán. Veškeré práce v terénu byly provedeny společně se Zuzanou Richtrovou, která následně zpracovávala přízemní část tvrze a klenby kaple v rámci své bakalářské práce (Richtrová, 2016). V první fázi bylo tedy provedeno sejmutí mračen bodů laserovým skenováním. V interiérech byla stanoviska pro skener volena podle členitosti reliéfu, neboť často docházelo k zákrytům. Ve sklepě pod věží byla volena dvě stanoviska kvůli zákrytu, který způsobil prostřední sloup. Dále byla stanoviska zvolena v chodbách sklepení tak, aby vždy poskytovala co nejkomplexnější rozhled. Z příkopu tvrze byly ze dvou stanovisek zaměřeny body na vnější straně tvrze, jak sklepní prostory zvnějšku, tak i kaple a věž. Současně proběhlo zaměření interiérů věže, staré a nové kaple. Tato měření jsou zpracována v bakalářské práci Zuzany Richtrové, jejíž data byla dále použita pro vytvoření celkového 3D modelu. Ten byl základem pro řezy a půdorysy, které byly tvořeny pro celou zájmovou oblast. Dále byla vybrána tři stanoviska na nádvoří, ze kterých byly nasnímané body taktéž spojeny s celkovým výsledným mračnem. Důležité bylo ohlídat dostatečný překryv mračen, aby byla zajištěna viditelnost na všechna podstatná místa. Volba stanovisek (viz obrázek č. 4) byla provedena během rekognoskace před samotným měřením.

Prvním krokem samotného měření bylo nastavení jednotlivých parametrů skenování v programu Surph Express Standard. Rozsah skenování byl nastaven na maximum, tzn. 360° v horizontálním směru a 270° ve vertikálním směru. Výsledkem tak byl nasnímaný celý prostor, s výjimkou oblasti přímo pod skenerem, který konstrukce přístroje nasnímat neumožňuje. Jako první úkon byl naskenován náhled, který byl vytvořen pouze rychlým skenováním. Přes počítač pak byl zúžen výběr pouze na výřez zájmové oblasti, aby byl minimalizován počet nasnímaných bodů už z měření. Tak bylo v příkopu při měření omezeno snímání pouze na oblast zdi tvrze. Body jsou v přístroji ukládány v místním souřadnicovém systému s počátkem v hlavě skeneru, takže není nutné skener prostorově umisťovat. Dobrým doporučením se ukázalo orientovat hlavu skeneru vždy stejně v jednotlivých místnostech, což usnadnilo orientaci v nasnímaných mračnech při jejich následném zpracování. V programu bylo provedeno nastavení parametrů, v tomto konkrétním případě

byla nastavena hustota zaměřeného gridu na 5 mm na 10 m. Jak se později ukázalo, vedlo toto nastavení k přebytku bodů a pro další práci bylo vyexportováno pouhých deset procent nasnímaných bodů. Zároveň jsme tak získaly rezervu, kdyby se ukázalo, že bodů byl nedostatek a některá místa by neměla patřičnou hustotu. Výsledná mračna byla ukládána do jednotlivých souborů a pojmenovaná podle jednotlivých místností. Celkem tak bylo skenováno z pěti stanovisek ve sklepení a dvou z příkopu. Spolu s prací Zuzany Richtrové bylo nasnímáno celkem 16 mračen bodů.

4.3 Zaměření identických bodů

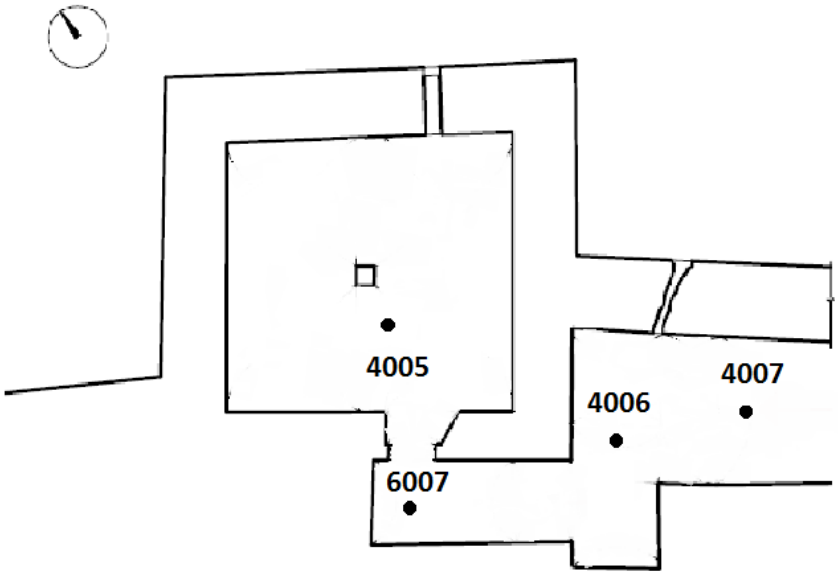
V dalším kroku byly totální stanicí zaměřeny vlícovací body, které jsou nezbytné pro transformaci modelu do souřadnicové soustavy. Tyto body byly dále použity i pro tvorbu fotoplánu, kde byly voleny body ležící v jedné rovině a s pravidelnějším rozmístěním. Pro zaměření bodů byla nejprve vytvořena dočasná síť pomocných stanovisek s čísly 4001–4010. Tato stanoviska byla připojena na síť, která v okolí tvrze byla zbudována Ing. Zdeňkem Poloprutským. Tato síť je určena polohově i výškově a pomocná stanoviska tak byla pomocí metody volného stanoviska a rajonu taktéž připojena v systému S-JTSK a Bpv. Seznam souřadnic připojovacích i identických bodů je uveden v příloze A.

Z každého stanoviska byl polární metodou zaměřen vybraný počet přirozeně signalizovaných identických 3D bodů. Minimální počet bodů nutných k transformaci je 3 na 1 sken, bodů ale v tomto případě bylo měřeno více, mezi 8 a 15 pro případ, že by byl problém bod v mračnu identifikovat a správně umístit. V důsledku většího než nutného počtu bodů došlo posléze k vyrovnání při výpočtu transformačního klíče.

Obr. 6 Zaměření identických bodů, zdroj: Jindřich Hodač

Jako identické body byly voleny velmi dobře a jednoznačně prostorově identifikovatelné body v mračnu bodů, které jsou zároveň neměnné. Je důležité, aby bylo možné body následně snadno v mračnu nalézt, neboť na tom je závislá výsledná přesnost celého modelu. Dalším významným předpokladem úspěšného zvládnutí úkolu je jejich rovnoměrné rozprostření po celém skenovaném objektu. Jako vhodné identické body byly voleny kamenné výčnělky, cihly nebo rohy zdiva. Jako nevhodné body byly vyčleněny volně položené cihly, neboť ačkoliv byly dobře identifikovatelné, nebyla zaručena jejich stálost v průběhu času na jednom místě. Během zaměřování bodů byl tvořen náčrt, kde byly jednotlivé body přibližně zakresleny, aby při zpracování byla identifikace bodů zjednodušena. Body byly zaznamenány i na fotografiích s přesnou polohou laserové stopy.

Bezhranolové měření délek bylo použito jako vhodná metoda pro zaměření identických bodů. Jak je uvedeno v kapitole s použitými přístroji, totální stanice Trimble měří bezhranolově s uvedenou přesností do vzdálenosti 120 metrů. Tato vzdálenost v našem případě překročena nebyla. Metoda byla zvolena zejména z důvodu její přesnosti ve členitém prostoru. Naměřené veličiny, jako jsou zenitový úhel, délka a horizontální úhel, nejsou zkresleny o polohu umístění hranolu, který nelze umístit v takto složitém terénu přesně. Zároveň některé body byly pro hranolové měření nepřístupné zcela, jako např. některé výklenky ve sklepní části, nebo vysoko umístěné body na stěně tvrze v příkopu. Pro snadnější orientaci, kam totální stanice přesně cílí, byla zapnuta funkce viditelné laserové stopy, kterou jsme mohly i vyfotografovat, jak bylo zmíněno výše. Zároveň nám to značně zjednodušilo určení, zda cílený bod je skutečně bodem požadovaným kvůli špatným světelným podmínkám ve sklepení.



Obr. 7 Stanoviska pro zaměření identických bodů, zdroj: vlastní tvorba

Celkem tedy bylo provedeno zaměření identických bodů ze sedmi stanovisek (viz obrázek č. 7), pěti v prostoru sklepení a dvou z exteriéru (z příkopu, kvůli návaznosti objektu) a celkový počet vlícovacích bodů byl 35. Ve sklepeních byl počet bodů celkově menší než v přízemních prostorech. Nejvíce identických bodů bylo zvoleno na vnější straně nádvoří, protože body byly současně použity i na tvorbu fotoplánu a jejich hustota tak musela být vyšší.

4.4 Pořízení snímků

Snímkování bylo provedeno na čelních stěnách obou kaplí a přízemí věže ze strany nádvoří. Díky metodě jednosnímkové fotogrammetrie by stačilo pořízení jednoho snímku na stěnu, nicméně snímků bylo pořízeno vždy více, aby byla možnost výběru nejlepšího snímku pro tvorbu fotoplánu. Každá samostatná stěna byla zachycena na jeden snímek, neboť se jednalo rozsahem o malou plochu. Vyhnuly jsme se tak nutnosti snímky spojovat a mozaikovat. Ke snímkování byl využit fotoaparát Canon EOS 5D Mark II, který je popsán v kapitole věnující se použitým přístrojům. Fotoaparát nebyl umístěn na stativu, protože to nebylo technicky dobře proveditelné. Snímkování bylo nutné provést za dobrého osvětlení kvůli kvalitě výsledného snímku, snaha byla o zachycení optimálního úhlu a množství světla.

Obr. 8 Snímek na fotoplán č. 3, zdroj: vlastní tvorba

Důležitým prvkem celého snímkovacího procesu bylo nastavení fotoaparátu. Ohnisková vzdálenost byla nastavena na 28 mm. Tato hodnota byla zvolena po konzultaci s vedoucím práce jako vhodná vzhledem k rozměrům stěn, které byly předmětem snímkování. Kalibrace byla provedena až dodatečně, neboť před pořízením snímků, nebylo jasné, jaká ohnisková vzdálenost bude potřeba. Ostatní parametry byly postupně měněny. Výsledné snímky měly clonu f/11, hodnota nastavení ISO se pohybovala od 250 do 500, délka expozice byla 1/60 a v jednom případě 1/80. Fotografie byly ukládány ve formátu JPEG a CR2.

Během snímkování byly na každém ze 4 stanovisek pořízeny 3 snímky. Ve výsledku nebylo jedno stanovisko vůbec použito, neboť nebylo potřeba snímky spojovat. Z ostatních stanovisek byl vždy vybrán jeden nejvhodnější snímek.

5 Zpracování dat pro tvorbu 3D modelu

5.1 Zpracování geodetického měření z totální stanice

K exportu dat z totální stanice byl použit program GDMLink, který je programovou aplikací softwaru GROMA, ale funguje zcela samostatně a je volně ke stažení. Pomocí tohoto programu byla stažena data ve formátu .job, který je možné nahrát a otevřít v programu GROMA. Nejprve bylo potřeba znát souřadnice bodů, na které se připojovala naše dočasná stanoviska. Tyto souřadnice nám poskytl Ing. Zdeněk Poloprutský, který síť v okolí tvrze vytvořil a jehož zjištěné souřadnice jsme pro účely měření braly jako neměnné a pevné. Souřadnice byly v systému S-JTSK. Zápisník z měření byl načten a opraven o chybná měření, byly vypočteny kontroly uzávěrů. Následně pak rajonem, polární metodou a volným stanoviskem byly vypočteny souřadnice všech stanovisek, ze kterých bylo měřeno a polární metodou dávkou pak zbylé souřadnice identických bodů.

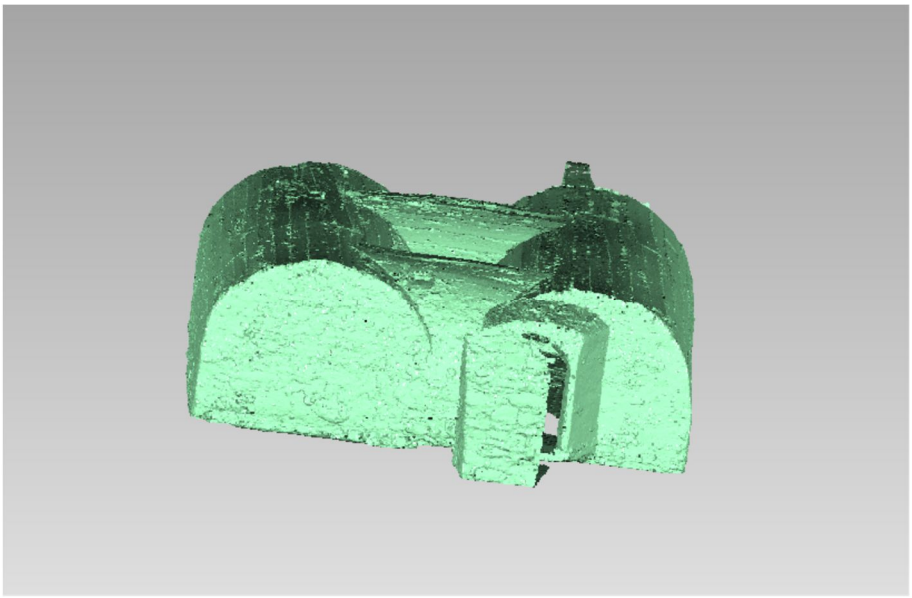
5.2 Export dat z laserového skenování

Celá část práce týkající se zpracování dat z laserového skenování byla prováděna v konzultaci s Ing. Jaroslavem Šedinou, který nám byl ochoten poskytnout rady ohledně nastavení programu a dalších kroků. Skenerový software ukládá naměřená data automaticky ve formátu .c3d, která nelze dobře zpracovat v jiném softwaru než přímo dodávaném se skenerem. V tomto programu lze získaná data prohlížet, ale pro další práci je nutné data převést do formátu .xyz, který poskytuje informace o prostorových souřadnicích bodů. Tento formát je možné otevřít v programu Geomagic Studio, který byl na zpracování skenů použit. Export byl proveden v již zmíněném softwaru na ovládání skeneru. V rámci této operace mohla být nastavena zájmová oblast a tím zredukováno množství naměřených dat. Vzhledem k nadměrnému počtu sejmutých bodů bylo pro export nastavena hodnota 10 % z původního naskenovaného mračna. Během následného zpracování se tento počet bodů ukázal jako dostatečný, a proto bylo i nadále pracováno s tímto množstvím a nebylo třeba export zopakovat s větší hodnotou. V průměru měl jeden sken 12 milionů bodů, což na práci

na školních počítačích byla poměrně velká hodnota a výpočty byly časově velmi náročné. Stejným způsobem bylo vyexportováno všech 16 nasnímaných mračen, v mé práci je pracováno se sedmi z nich.

5.3 Zpracování v programu Geomagic Studio

Mračna byla jednotlivě nahrávána do programu Geomagic Studio, protože před jejich spojením musela být nejprve jednotlivě upravena. S programem se pracovalo přes vzdálenou plochu, která také zpomalovala práci. Během *importu* dat bylo třeba nastavit sampling (vzorkování), to znamená množství dat, která budou zobrazena v procentech. V našem případě bylo necháno 100 %, neboť bylo důležité dobře vidět na veškeré podrobnosti během dalších kroků zpracování. Dále bylo nezbytně nutné nastavit, v jakých pracovních jednotkách se bude mračno zobrazovat, zde byly zvoleny metry. Pomocí funkce s názvem shading bylo provedeno stínování celého mračna. Tím bylo dosaženo celkového zpřehlednění a zlepšení orientace mezi body.



Obr. 9 Stínované mračno bodů, zdroj: vlastní tvorba

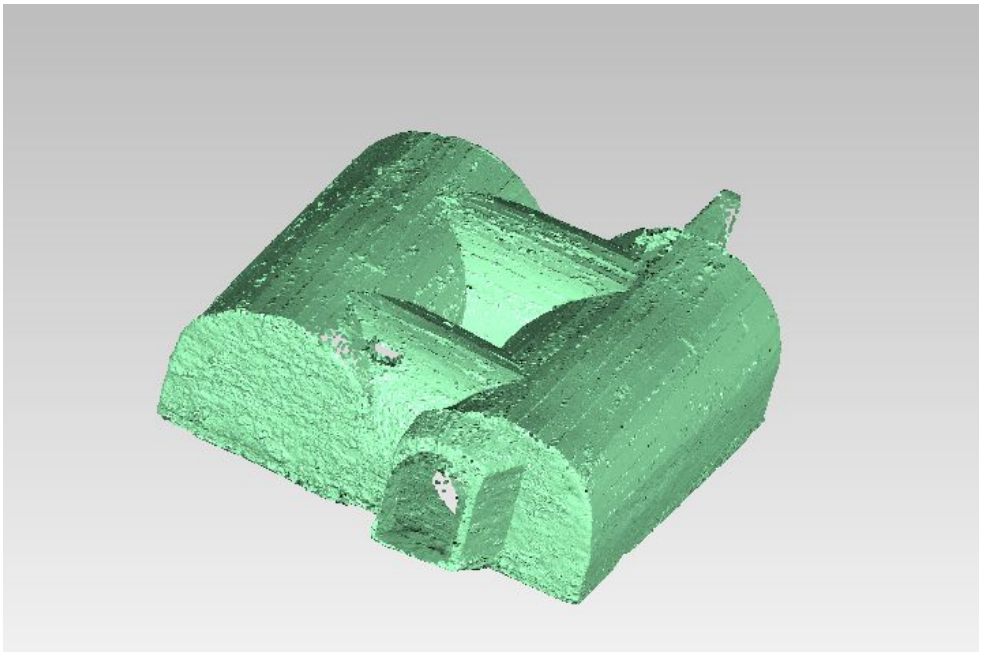
Mračna byla v dalším kroku *ořezána* o přebytečná místa, která nebyla předmětem zájmu této práce. Jednalo se například o části okolních budov (zejména části budov při skenování nádvoří) nebo průhledy do sousedních místností. V případě práce Zuzany Richtrové vznikly při exportu dat problémy, naštěstí se je podařilo vyřešit bez nutnosti skenování opakovat právě díky nadbytku pořízených dat. V případě dat pro moji část proběhl export i import do programu bez problémů.

Po očištění a stínování jednotlivých mračen byly v jedné aktivní obrazovce otevřeny všechny skeny z jedné místnosti nebo příkopu. Kvůli místnímu souřadnicovému systému, který vkládá počátek do hlavy skeneru, se mračna po nahrání vzájemně překrývají. Kvůli snaze o orientaci skeneru ve všech místnostech stejně byla orientace v naměřených bodech jednodušší. Dalším krokem tak bylo spojení jednotlivých mračen do celku. K tomuto účelu posloužila manuální registrace, při které byla zvolena možnost registrace pomocí více bodů. Během registrace je okno rozděleno do tří částí, kde v horní části okna jsou zobrazena obě spojovaná mračna a v dolní části je vidět výsledek spojení. Jedno ze spojovaných mračen bylo třeba označit jako fixní a druhé jako volné, které bylo natransformováno do souřadnicového systému vybraného fixního mračna. Potřebujeme vybrat minimálně tři identické body, pomocí kterých bude provedena transformace. Nemusíme znát jejich souřadnice, proto stačí najít body, které budeme schopny identifikovat na obou mračnech. Body by měly být rovnoměrně rozmístěny. Pro tuto práci bylo průměrně voleno pět identických bodů. Bylo třeba dát si pozor na nastavení procentuální viditelnosti bodů, neboť pro správnou identifikaci bylo třeba mít nastaveno 100 %. Bohužel počítače v laboratoři umožňovaly jen velmi pomalou práci při otáčení mračen. Po spuštění funkce proběhl výpočet a spojená mračna tím byla registrována. Pro možnost vizuální kontroly jsou jednotlivá mračna barevně odlišná, a tak je možné zkontrolovat jejich správné prolnutí. Přesnost spojení dvou mračen vyjadřuje průměrná vzdálenost, která nepřekročila hodnotu 0,002 m.

Dalším krokem byla globální registrace. Ta pracuje na principu vyrovnání mračen pomocí minimalizace vzdáleností mezi nimi. Globální registrace je prováděna iteračně, v tomto případě průměrný počet iterací byl osm. Jako parametr funkce je zadáván počet bodů, pomocí kterých bude registrace provedena. Maximální hodnota, která v této konfiguraci programu šla nastavit, je 10 000 bodů, takže byla zvolena tato hodnota. Přesnost globální registrace je vyjádřena stejným způsobem jako přesnost manuální registrace, tedy pomocí průměrné vzdálenosti – maximální hodnota byla 0,009 m.

Mračna byla po každém kroku ukládána ve formátu .wrp, který je jedním z formátů programu Geomagic Studio. Mračna byla dále očištěna o odlehlé body. Byly tak vyloučeny chyby při měření a body, které neměly vztah k zájmové oblasti. Tato funkce potřebovala vizuální kontrolu, neboť často byly zvoleny body, které měly být ponechány, a bylo tak nutné

výběr poupravit. Dalším krokem byla redukce šumu (reduce noise). Na doporučení Ing. Jaroslava Šediny byl použit agresivní filtr, protože na základě jeho zkušeností lze pomocí tohoto filtru dosáhnout nejlepších výsledků. Filtrů bylo na výběr více, ale již výsledky tohoto byly shledány jako uspokojivé, takže nebylo třeba zkoušet jiné.



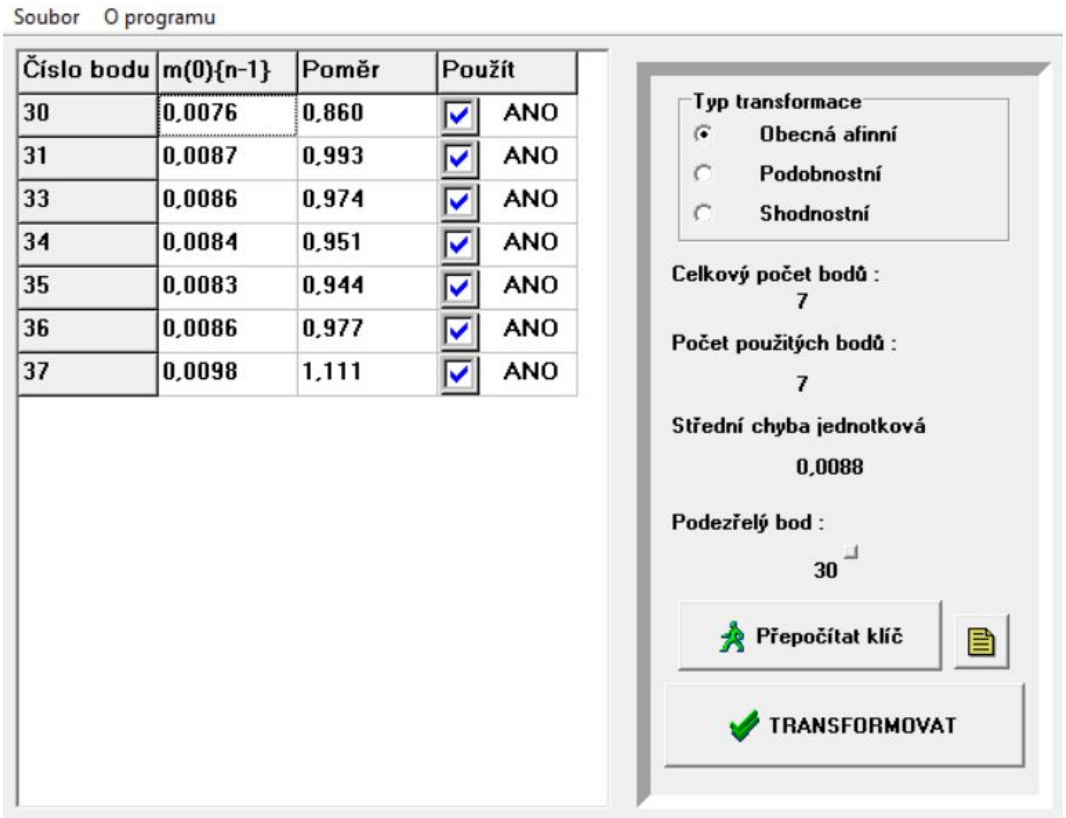
Obr. 10 Zpracované mračno bodů – sklep, zdroj: vlastní tvorba

Funkcí Combine Point Objects byla následně registrovaná mračna spojena do jednoho celku. Výsledkem mé části práce se staly spojené sklepní prostory včetně velkého sklepa pod věží a k tomu stěna fasády paláce a věže. V této fázi vzniklo mnoho překryvů a v nich zvýšená hustota bodů. Tento problém byl později po transformaci vyřešen pomocí funkce Uniform, kde po nastavení vzdálenosti zobrazovaných bodů mezi sebou jsou přebytečné body smazány.

5.4 Transformace do S-JTSK

Celý spojený model, v této práci myšlený ve smyslu mračna bodů, vytvořený ze skenů z mé části práce (a posléze celý spojený model i se skeny z přízemí) bylo nutné transformovat do polohového souřadnicového systému S-JTSK a výškového Bpv, aby bylo možné vyhotovit řezy ve správném měřítku. Transformace je důležitá i kvůli následnému spojení s druhou částí skenovaného objektu. Protože obě části nemají prakticky žádné společné body, nebyla možná transformace pomocí manuální registrace jako v případě jednotlivých mračen, viz výše, a bylo tedy třeba nejprve jednotlivé části transformovat zvlášť.

Prvním krokem v procesu transformace bylo sejmutí souřadnic identických bodů ze 3D modelu, které jsou ve výchozím souřadnicovém systému. Právě k tomuto kroku byly během práce v terénu zaměřeny a vypočteny souřadnice identických bodů v systému S-JTSK. Pro nalezení bodů bylo často potřeba zobrazit pouze část mračna funkcí view (zobrazit), neboť body je třeba sejmout z modelu co nejpřesněji. Tato funkce našla své uplatnění v průběhu všech kroků tvorby modelu. Identické body byly přesně identifikovány pomocí náčrtů a pořízených fotografií během geodetického zaměření. V program Geomagic Studio je speciální funkce, která umožňuje odečet souřadnic přímo do tabulky v pořadí X, Y, Z a umožňuje přímý export do textového souboru. Pro každé jednotlivé mračno byl vytvořen samostatný textový soubor.



Obr. 11 Transformace IB v programu XYZTrans, zdroj: vlastní tvorba

K výpočtu transformačního klíče byl použit program XYZTrans, který pracuje pod freeware licencí. Tento program pracuje s textovým souborem ve vstupní soustavě a s dalším textovým souborem se souřadnicemi v cílové soustavě. V tomto případě se tak jedná o místní systém jako vstupní a S-JTSK jako cílový systém. Body se párují na základě čísla bodu, proto je důležité věnovat pozornost shodnému očíslování bodů v obou systémech. V souboru musí být jednotlivé hodnoty odděleny mezerami a je tedy nutné získané textové

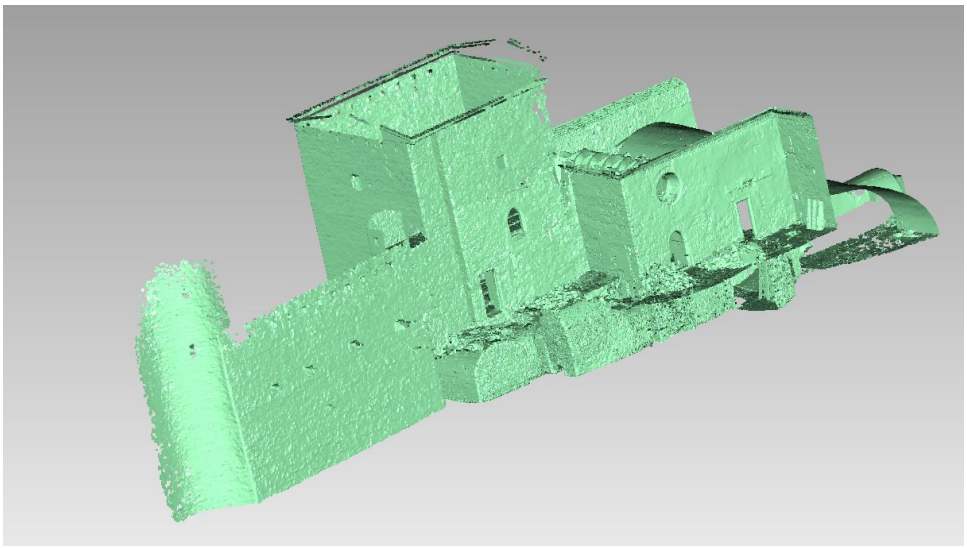
soubory podle tohoto formátování upravit. Geomagic Studio pracuje s kartézským souřadnicovým systémem, proto je potřeba před nahráním do programu ještě souřadnice upravit. Toho bylo dosaženo jednoduchým přepočtením – souřadnice X a Y byly prohozeny a následně přenásobeny hodnotou -1. Souřadnice Z byla zachována. Tím bylo dosaženo shodnosti os v obou systémech. Jedním z problémů, na který jsme během postupu práce byly upozorněny, je práce programu s velkými čísly. Z toho důvodu byly souřadnice v S-JTSK redukovány, tzn. zmenšeny o konstantní hodnotu. Hodnoty na kartézských osách X byly redukovány o 780200, na Y 1129480 a na ose Z o 370 metrů. Tak bylo docíleno hodnot v intervalu od 0 do -30 metrů. Takto upravené souřadnice již bylo možné transformovat.

Program dále umožňuje volbu transformace. Pro tyto účely byla jedinou možností transformace shodnostní, která zachovává měřítko a jsou zachovány skutečné hodnoty transformovaných dat. Tyto parametry jsou pro budoucí použití klíčové. Program XYZTrans umožňuje zjistit, jak přesně je bod určen pomocí střední jednotkové chyby a jednotlivých chyb bodů, které byly do výpočtu zahrnuty. Minimální počet bodů nutných pro transformaci byl 3, nicméně protože bylo bodů vždy měřeno více, bylo možné body s velkou chybou z výpočtu vyloučit. Program usnadňuje identifikaci těchto bodů jejich označením jako body podezřelé. Jako podezřelé body se většinou ukázaly body, které byly v modelu špatně identifikovatelné, a proto byly tyto body odstraňovány do té doby, než byla střední jednotková chyba oproti předchozímu výpočtu skoro nerozlišitelná. Pouze v jednom případě byl počet použitých bodů menší než 6, a to z důvodu špatného výběru identických bodů na místě měření. Po vyloučení všech podezřelých bodů byl proveden výpočet transformačního klíče viz tabulka č. 1 a výsledek byl uložen do protokolu. Takto získaný protokol obsahuje informace o bodech zahrnutých do výpočtu, dosaženou střední chybu jednotkovou, matici rotace, vektory translace a měřítko v jednotlivých osách, které v případě shodnostní transformace zůstává rovno jedné.

Matice rotace			Translace osy X
			Translace osy Y
			Translace osy Z
0	0	0	1 (měřítko)

Tabulka 1 Transformační klíč pro sklep pod věží, zdroj: vlastní tvorba

Pro každou místnost byla zvlášť vytvořena matice, která obsahovala hodnoty rotace, translace a měřítka – viz tabulka 1. Takto vytvořené transformační soubory byly uloženy ve formátu .tfm, se kterým program Geomagic Studio umí pracovat. Transformace byla prováděna pomocí funkce Transform (Transformovat). Po načtení transformační matice byl celý model nastaven a otočen do správné polohy a souřadnicový systém nyní byl v redukovaném kartézském systému. Po transformaci bylo vizuální kontrolou zjištěno, zda proběhla transformace v pořádku a zda je návaznost mračen v pořádku. Mračna se správně prolnula v místě překryvu jednotlivých skenů a návaznost tak mohla být patrná. Zuzana Richtrová ve své práci postupovala stejně, a tak bylo možné po transformaci všech jednotlivých mračen docílit jejich spojení. Nutnost spojení všech mračen do jednoho objektu byla vysvětlena výše. Výsledný model části tvrze Kestřany byl uložen jako jeden soubor. Protože až dosud bylo pracováno s mračny s velkým počtem bodů, výsledný model je již příliš hustý a je nutné mračno naředit funkcí Uniform. Z důvodu kritérií přesnosti byla nastavena vzájemná vzdálenost bodů na 1 centimetr. Mračno mělo ze začátku přes 120 milionu bodů, po zředění tak zůstalo necelých 13 milionů, s kterými si již počítače poradily snáze. Jinou možností, jak naředit příliš velké mračno, je funkce Random sample (náhodný výběr), ale jak již název funkce říká, jedná se o náhodný výběr bodů, které budou smazány. Zadávaným parametrem je procentuální zůstatek a může tak dojít ke smazání bodů i v místech, kde to nutné není a přijít tak o cenná data. Funkce Uniform tak odstraňuje body pouze v místě s velkou hustotou.



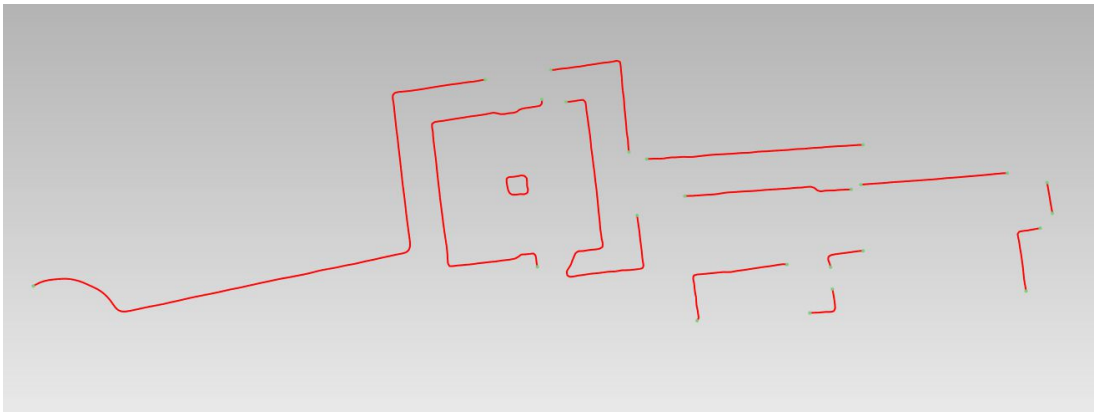
Obr. 12 Mračno bodů po spojení do celku, zdroj: vlastní tvorba

6 Tvorba řezů

6.1 Půdorys

Pro tvorbu řezů existuje mnoho možností, jež jsou podrobněji popsány v bakalářské práci Zuzany Richtrové, která během tvorby řezů několik možností vyzkoušela. Díky tomu jsem měla dobrou výchozí pozici při hledání správné metody tvorby řezu. Jako první možnost byla zkoušena možnost tvorby řezu přímo v programu Geomagic Studio. Funkce se jmenuje Create by section a lze zde jako parametry zadat jednu nebo více rovin, které procházejí zájmovým územím modelu. Možné je provést řez z mračna bodů nebo zasíťovaného modelu, ale při prvních pokusech se ukázalo, že funkce při tvorbě řezu z mračna bodů nepracuje správně. Vytvořený řez nebyl odrazem reality, body se pospojovaly do větších celků, ale ne v rovině řezu. Došlo tedy k výpočtu polygonové sítě modelu pomocí funkce Wrap. Dále byla síť základně upravena pomocí vyhlazení hrotů, zaplnění trojúhelníků a další funkce. Poté byl zopakován postup při zadání roviny řezu v nástroji Create by section. U zasíťovaného modelu lze zvolit několik možností aproximace – buď křivkou, nebo liniemi a oblouky. Během prvního nastavení jako aproximaci přímky a oblouky došlo v rozích objektu nahrazení ostrých hran oblouky, a tak nebylo možné výstup použít. Ani při různých nastaveních se nepodařilo oblouky eliminovat. Při zkoušení druhé možnosti, tedy aproximaci křivkou, došlo k podobnému zkreslení v řezu. Zde bylo možné zpřesnit výstup pomocí nastavení vzdálenosti křivky od sečné hrany, ale občas se křivka od skutečného průběhu velmi odchýlila. Po

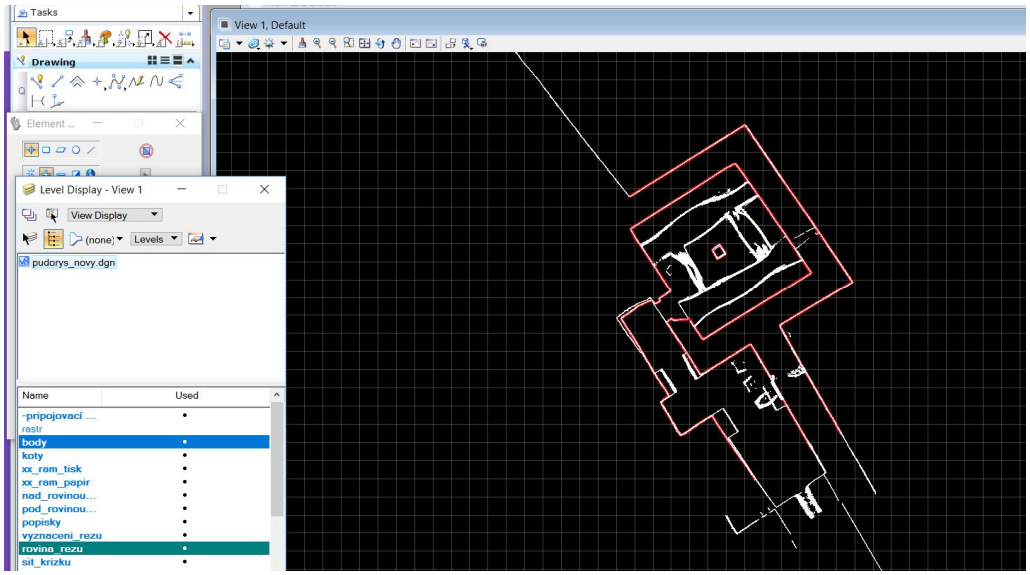
vyzkoušení všech možností, které Geomagic Studio ke tvorbě řezů nabízí, byla práce tímto způsobem zavržena a bylo nalezeno jiné řešení.



Obr. 13 Tvorba řezů v SW Geomagic Studio, zdroj: vlastní tvorba

V programu Geomagic Studio byl nejprve nastaven model do ideální polohy pro výběr bodů obdélníkem. Bylo potřeba vybrat malý počet bodů, aby se s nimi dalo dobře v prostředí programu MicroStation pracovat. Vybrané body v rovině řezu byly exportovány ve formátu .asc. Jedná se o textový soubor, ze kterého bylo možno body jednoduše zkopírovat. Následně musely být body opraveny zpět o redukční konstanty (stejné, jaké byly nejprve odečteny) a přenásobeny hodnotou -1 aby byly souřadnice správně v systému S-JTSK. Souřadnice Z byla smazána, neboť půdorys je pouze dvourozměrný výkres. Pomocí aplikace GROMA, kterou je možné nainstalovat do MicroStation PowerDraft V8i, byly body nahrány a zobrazeny. Stejný postup byl zopakován pro objekty, které se nacházely pod rovinou řezu nebo nad ní, neboť byly podstatné pro zadavatele práce.

Před samotnou tvorbou půdorysu byly ve výkresu vytvořeny vrstvy. Vrstvy i samotný výkres byly tvořeny v souladu s doporučením Národního památkového ústavu pro průzkum v památkové péči (Veselý, 2014). Vrstvy byly v základu rozděleny dle viditelnosti podle roviny řezu a byl dodržen předepsaný styl čar. Od klasické stavební dokumentace se výkres v několika ohledech liší právě kvůli složitosti objektu a požadavkům na zdokumentování některých netradičních stavebních objektů. Hlavním cílem dokumentace objektu bylo zpřesnění popisu vzájemných vztahů stěn a hran v objektu, proto nebylo nutné doměřovat části objektu, kam laserový skener nedosáhl, jinými metodami, neboť bylo možné použít dokumentaci z předchozích školních prací studentů.



Obr. 14 Vektorizovaná rovina řezu v programu MicroStation, zdroj: vlastní tvorba

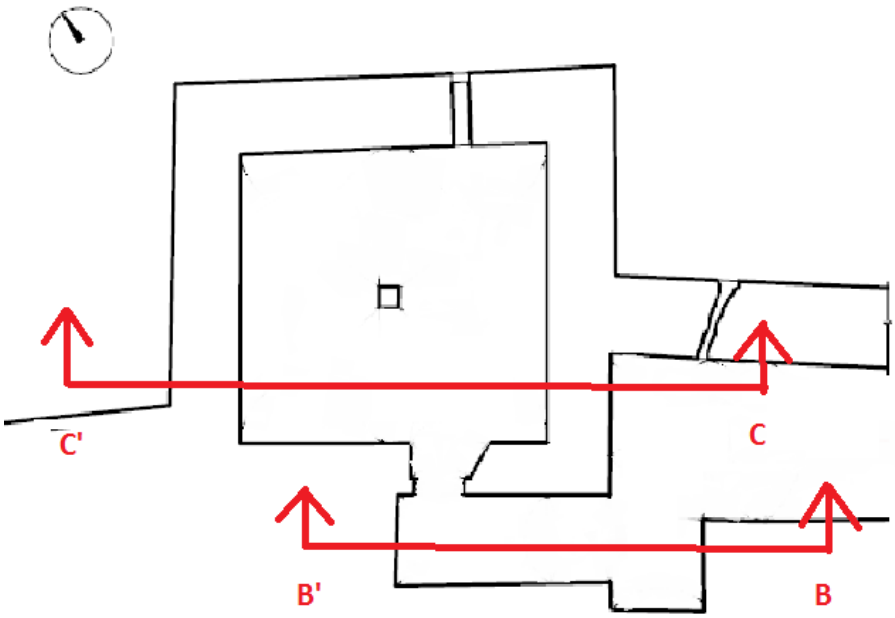
Nejprve byly do výkresu zaneseny všechny roviny dle viditelnosti. Vzhledem k tomu, že jako podklad sloužil přesný 3D model, na kterém byly zachyceny nerovnosti, bylo nutné kreslit linie jako přímky, které procházely mezi těmito body. Klenby byly ve výkresu zaneseny na základě hodnot získaných z 3D modelu. Jsou zobrazeny jako výškový rozdíl paty klenby a její vrchol. Tato vzdálenost byla do výkresu sklopena, a tak byla celá klenba ve výkresu zakreslena. Klenbám je přiřazena čerchovaná čára. Po narýsování všech linií a kleneb bylo možné přejít ke kótování výkresu. Nejprve byly vytvořeny rozměrové kóty, které udávají polohové rozměry jednotlivých úseků. Všechny hodnoty jsou odvozeny z 3D modelu, žádné oměrné míry nebyly v průběhu měření pořízeny. Hodnota kót je uvedena v milimetrech, je ale vždy zaokrouhlena na celé centimetry z důvodu přesnosti kresby linie a výslednému měřítku 1:50. Jednotlivé klenby jsou vždy okótovány i výškově. Kvůli místy členitému objektu byly nestandardně umisťovány kóty i do oblasti zdiva. Tloušťka zdiva byla také předmětem kótování, přestože se jedná o nestandardní prvek. To bylo možné právě kvůli zvolené metodě laserového skenování. Ve výkresu jsou pak uvedeny i jednotlivé výškové kóty podlahy v systému Bpv. Bylo tak učiněno z důvodů velké nerovnosti podlahy a proměnlivosti a nebylo možné stanovit nulovou hladinu. Tak byly použity absolutní výšky v systému Bpv na rozdíl od standardní metodiky tvorby stavebních výkresů, kde se udávají od stanovené nulové hladiny.

Po dokončení kótování byl výkres doplněn o popisovou tabulku, měřítko, severku a popis významných prvků ve výkresu. Výkres byl doplněn o síť křížků ve vzdálenosti

po deseti metrech a směry vyhotovovaných řezů. Výkres půdorysu byl vytištěn do .pdf souboru, kde je možné zobrazovat jednotlivé vrstvy. Pdf soubor je umístěn v příloze B na DVD ve složce stavební výkresy. Půdorys vytištěný na papír je volně připojen k práci v přílohách.

6.2 Řezy

Svislé, částečně podélné řezy byly vytvořeny podobným způsobem jako půdorys. V této práci byly předmětem zájmu řezy B–B‘ a C–C‘ viz obrázek č. 15. V programu Geomagic Studio byl model nastaven do polohy tak, aby bylo možné z modelu sejmout obdélníkem body v jednom pásu, podobně jako v případě půdorysu. Takto získané body bylo možné převést do 2D formátu (v jedné rovině), ale nebyla zajištěna jejich poloha v jedné rovině. Proto celým modelem byla proložena rovina v rovině požadovaného řezu. Transformace byla provedena tak, že byly zvoleny tři body na jedné straně stěny, jeden bod byl určen jako počátek soustavy. Jejich souřadnice byly sejmuty a přepočteny do roviny tak, že výšková souřadnice Z byla ponechána stejná, jako X byla stanovena hodnota 20 a hodnota Y byla určena jako souřadnice X a přičtena souřadnicová vzdálenost mezi stanoveným počátkem soustavy a určovaným bodem. Takto vypočtené souřadnice počítají s otočením modelu. Tyto souřadnice byly nahrány do programu XYZTrans, pomocí kterého byl získán transformační klíč. Transformační klíč byl nutný pro natočení modelu do správné polohy.



Obr. 15 Vyznačení řezů v objektu, zdroj: vlastní tvorba

V úzkém pásu okolo roviny řezu byla sejmuta část mračna funkcí výběru bodů a vybrané body byly vyexportovány v textovém formátu .asc. Bylo je nutné upravit, a to odstraněním třetí prostorové souřadnice X, která je nadbytečná. Zároveň byla hodnota výškové souřadnice Z opravena o hodnotu 370, o kterou byla původně snížena během redukce hodnot během transformace. Takto získané hodnoty souřadnic byly načteny do programu MicroStation PowerDraft V8i, kde tvořily podkladovou vrstvu pro vektorovou kresbu řezu. Pro kresbu částí, které mají být zobrazeny v pohledu ve výkresu, byl z programu Geomagic Studio exportován rastrový obraz mračna bodů, které pro použití výkresu bylo vybráno v rovině pohledu. Takto získaný rastrový podklad byl nahrán do programu MicroStation pomocí funkce Raster Manager. Přes dva body byl podklad umístěn do správné polohy pomocí shodnostní transformace a následně zvektorizován průběh jednotlivých hran. Rastrový podklad byl následně umístěn do samostatné vrstvy, aby bylo možné ho pro další práci snadno vypnout.

Výkres s řezem byl doplněn o stejné prvky jako výkres půdorysu, tzn. o měřítko a popisovou tabulku. Podle požadavku zadavatele byly do výkresu řezů doplněny hrany navazujícího zdiva věže a kaple, aby bylo možné vyjádřit prostorový vztah jednotlivých částí

objektu. Hrany byly ve výkresu popsány pro větší přehlednost. Výsledné řezy jsou umístěny na přiloženém DVD ve složce stavební výkresy a vytištěné jako volně ložené přílohy.

7 Tvorba fotoplánu

Tvorba samotných fotoplánů sestává z jednotlivých kroků od exportu dat přes jejich úpravu až po samotnou tvorbu fotoplánu ve specializovaných programech. V této kapitole bylo čerpáno především z těchto zdrojů: Bakalářské práce z katedry geomatiky od Lukáše Haupta a od Miloslava Půbala. Obě práce se týkaly tvorby fotoplánu a poskytovaly řadu cenných informací. Dalším informačním zdrojem byla instruktážní videa k programu TopoL Ing. Jindřicha Hodače, Ph.D.

7.1 Příprava dat

7.1.1 Export dat

Prvním krokem v tvorbě fotoplánu bylo vyexportování dat z fotoaparátu. Použité snímky byly ve formátu RAW, neboť v tomto formátu pořízený snímek má nejnižší míru zkreslení. Data jsou ukládána v „syrovém“ stavu, jsou upravena co možná nejméně. Druhým formátem, který jsme současně použily, byl formát JPEG, který vypadá po exportu vizuálně lépe. V tomto formátu jsou již uloženy základní úpravy, které fotoaparát sám provede, jako je základní vyvážení bílé a oprava jasu. Kvalita tohoto formátu je ale nižší než kvalita neupraveného formátu (RAW), a proto je lepší pracovat s formátem, který umožňuje práci bez ztráty kvality. Dalším krokem po exportu dat byl výběr nejlepších snímků pro tvorbu fotoplánu a následovala jejich úprava.

7.1.2 Úprava dat

K úpravě snímků byl nejdříve použit program Digital Photo Professional, distribuovaný přímo společností Canon, který umožňuje pracovat se snímky ve formátu RAW, speciálně CR2. Pomocí tohoto programu byly provedeny prvotní úpravy fotografie jako vyvážení bílé nebo tonální úpravy, mezi které se řadí úpravy jasu a kontrastu. Po této úpravě

byly fotografie uloženy a exportovány ve formátu TIFF (8 bit). Druhým programem, ve kterém byly fotografie upravovány, byl FastStone Image Viewer. Tento program nabízí jednodušší ovládání a pro jednoduché užití, jaké bylo potřeba v tomto případě, představuje rychlejší orientaci v užívání. Hlavním úkolem těchto úprav byla minimalizace barevných rozdílů mezi jednotlivými snímky z důvodu celkové kvality výsledného fotoplánu. V této bakalářské práci byly nakonec použity pouze fotoplány tvořené jedním snímkem.

Obr. 16 Upravený snímek pro tvorbu fotoplánu, zdroj: vlastní tvorba

7.1.3 Kalibrace fotoaparátu a odstranění distorze

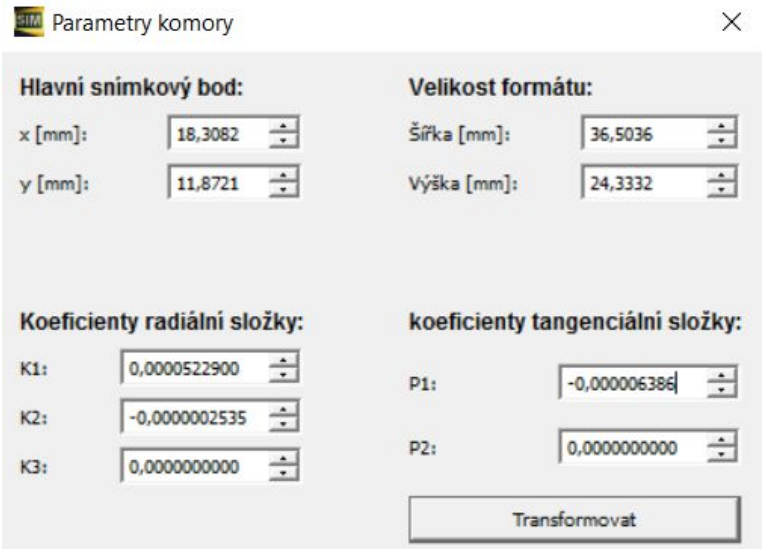
Dalším krokem nutným k přípravě snímků pro tvorbu fotoplánů bylo odstranění distorze objektivu. Distorze objektivu značí vady, které ovlivňují přesnost výstupů. Tyto vady působí na geometrii zobrazení a jsou způsobeny při výrobě objektivu. Asymetričnost objektivů způsobuje odlišnost zobrazované polohy bodu od jeho správné polohy. Tento problém je způsobován odlišností úhlu vstupujícího paprsku od úhlu vystupujícího paprsku. Možností, jak tento problém vyřešit, je odstranit geometrické zkreslení pomocí hodnot, které jsou výsledkem kalibrace.

Kalibrace se provádí pro hodnotu konstanty komory, na kterou byly pořízeny snímky pro fotoplány. Správně by měla být kalibrace provedena před pořízením snímků. V tomto

případě se dělala až dodatečně, neboť nebylo jasné, jakou ohniskovou vzdálenost na místě použijeme. Cílem kalibrace je určení prvků vnitřní orientace, mezi které patří ohnisková vzdálenost, poloha hlavního bodu a průběh distorze. Pro provedení kalibrace bylo nafoceno 12 snímků kalibračního pole, které bylo vybráno podle dále užívaného softwaru. Každý software pracuje s jiným typem kalibračního pole a je tedy nutné další postup dopředu rozhodnout. To je tvořeno sítí černých teček. Vždy byl pořízen jeden snímek „na šířku“ a dva „na výšku“, každý v opačném směru.

Těchto dvanáct snímků bylo nahráno do programu PhotoModeler, založen nový projekt a nastaveny přibližné parametry prvků vnitřní orientace. Samotná kalibrace pak probíhala jako postupné referencování značek z kalibračního pole kombinací manuálního a automatického procesu. Poté, co byly jednotlivé snímky správně označeny, byl proveden výpočet modelu. Výstupem kalibrace byly prvky vnitřní orientace – konstanta komory, poloha hlavního snímkového bodu a koeficienty distorze objektivu. Všechny hodnoty jsou uvedeny v kalibračním protokolu s použitou konstantou komory 28 mm jako součást přiloženého DVD ve složce fotoplán. V protokolu je znázorněn průběh distorze. Výsledky lze vidět na obrázku č. 17.

Pro odstranění distorze byl zvolen program SIMphoto, ačkoliv PhotoModeler tuto funkci má také. Bylo tak učiněno z důvodu snazšího ovládání vybraného softwaru. Tento program byl vytvořen jako diplomová práce Ing. Davidem Čížkem. Práce s tímto programem je velmi jednoduchá a intuitivní. Snímky stačí nahrát, vyplnit prvky vnitřní orientace a pomocí funkce eliminace distorze nechat snímek opravit.



Obr. 17 Zadání prvků vnitřní orientace do programu SIMphoto, zdroj: vlastní tvorba

7.1.4 Transformace bodů do roviny fotoplánu

Transformace souřadnic vlícovacích bodů byla provedena v programu Groma, ale použit mohl být i jiný program. Nejprve byl do programu načten textový soubor, který obsahoval 3D souřadnice vlícovacích bodů, z nichž část byla již použita pro tvorbu 3D modelu tvrze. Přes funkci Ortogonální vytyčovací prvky v záložce výpočty byla vypočtena staničení a kolmice od vybrané přímky, která se nacházela mezi dvěma nejvzdálenějšími body v rovině stěny. Zároveň byly body voleny tak, aby se nacházely alespoň přibližně ve stejné výšce. Výsledná podoba souřadnic je uvedena v tabulce níže. Vypočtená staničení představují souřadnici X, jako souřadnice Z byly využity výšky bodů. Poslední úpravou, než mohly být souřadnice dále použity, byla úprava znamének na mínus před všemi souřadnicemi. Tato úprava byla nezbytná z důvodu, že program TopoL tento formát vyžaduje. Výsledkem byly 4 textové soubory se souřadnicemi pro jednotlivé budoucí fotoplány.

Bod	X[m]	Z[m]
1	-1000,0	$-Z_1$
i	X1 + s1,i	$-Z_i$

Tabulka 2 Tvar souřadnic bodů v rovině fotoplánu, zdroj: vlastní tvorba

7.2 Tvorba fotoplánu v programu TopoL

Do programu TopoL byl vždy nejprve nahrán snímek pro fotoplán a k němu příslušný soubor se souřadnicemi. Nezbytným krokem byla kontrola, zda je nastaven správný souřadný systém, v tomto případě S-JTSK kvůli orientaci os. Dále následovalo postupné označení vlícovacích bodů ve správném pořadí na snímku. Program sám provádí výpočet na pozadí, a proto po označení prvních dvou bodů sám ukazuje přibližná místa, kde by se měl bod nacházet. Po dokončení označení bodů zobrazí TopoL transformační tabulku, ve které byl zvolen výpočet kolineární transformace, která je základem jednosnímkové fotogrammetrie. V transformační tabulce bylo možno porovnat odchylky na jednotlivých vlícovacích bodech.

Odchylky jsou velmi důležitým parametrem pro zhodnocení přesnosti fotoplánu. Jejich maximální přístupná velikost je závislá na měřítku finálního vyhotovení fotoplánu. V případě mnou tvořených fotoplánů bylo měřítko 1:20 a nejvyšší povolená odchylka byla stanovena na 1 cm. Bohužel ne všechny body požadovanou odchylku splnily, takže bylo třeba některé z výpočtu vyloučit. Na prvním snímku to byly 3 vyloučené body, na druhém jeden bod a na třetím dva body. Hlavní příčinou pravděpodobně byla poloha nevhodných bodů mimo rovinu zdi. Transformační tabulky pro všechny tři fotoplány jsou přiloženy na DVD ve složce fotoplán – výstupy

```
Kolin  2D
    73      5404.9974      2848.1053 >     -990.1380     -378.2100    -0.0050    -0.0011  T  "73"  1.0000
    74      5380.0274      1982.2322 >     -989.9880     -379.9700     0.0165    -0.0024  K  "74"  1.0000
    75      5312.6199       712.9673 >     -989.7770     -382.6600     0.0014    -0.0011  T  "75"  1.0000
    80      5312.0693       712.9673 >     -989.7710     -382.6600    -0.0058    -0.0011  K  "80"  1.0000
    81      3860.5983      3288.9124 >     -993.3820     -377.3400     0.0067     0.0021  T  "81"  1.0000
    82      2673.8650       561.5455 >     -995.3160     -382.9000    -0.0090    -0.0166  K  "82"  1.0000
    83       624.6665       567.7091 >     -999.5630     -382.8500     0.0003     0.0028  T  "83"  1.0000
    84      1397.0088      3074.5525 >     -998.2300     -377.7600    -0.0056     0.0042  T  "84"  1.0000
    85       503.1758      3267.0539 >    -1000.0000     -377.3800     0.0027    -0.0034  T  "85"  1.0000
    86       620.0587      1780.5546 >     -999.6630     -380.3200    -0.0006    -0.0034  T  "86"  1.0000
    87       348.4159      2621.8916 >    -1000.1050     -378.6600    -0.1533     0.0220  K  "87"  1.0000
```

Obr. 18 Transformační tabulka pro fotoplán č. 1, zdroj: vlastní tvorba

Minimální počet vlícovacích bodů pro 2D kolineární transformaci jsou 4 body, na každý fotoplán nicméně bylo použito alespoň 6 vlícovacích bodů, takže mohlo dojít během výpočtu k vyrovnání. Důležitým prvkem pro kvalitu fotoplánu je umístění vlícovacích bodů. Body by měly být umístěny rovnoměrně a pravidelně, což se v této práci podařilo

dodržet i přes vypuštění některých bodů z výpočtu. Snímky rozmístění bodů jsou uvedeny v příloze fotoplán – vstupní data.

Dalším krokem bylo oříznutí snímku. Tato funkce je taktéž zabudována v softwaru TopoL, v menu pro práci s rastrovými daty. Důvodem oříznutí je zobrazení pouze zájmového území fotoplánu s lehkým přesahem. Je to důležité právě z důvodu požadované přesnosti fotoplánu pouze v rovině fotoplánu, nikoliv na vedlejších územích, kde přesnost razantně klesá. Nástrojem polygon byl vybrán obdélníkový výřez, kde byl zanechán zmíněný přesah okolo zájmového území. Oblast byla uzavřena klávesou Z, takže nedošlo k problému při exportu. Kdyby oblast nebyla správně uzavřena, snímek by vyšel zdeformovaný. Takto zpracovaný snímek byl uložen ve formátu TIFF, ke kterému byl vytvořen textový soubor s příponou .tfw. Tento soubor je nezbytný pro zachování prostorových informací o rastru.

7.2.1 Dokončení v programu MicroStation

MicroStation PowerDraft V8i je počítačový software typu CAD, který umožňuje mimo jiné pracovat s 2D i 3D vektorovými objekty. Díky uložení všech potřebných formátů pro uchování prostorové informace se otevřený snímek v programu MicroStation umístil do pomocného souřadného systému, použitému též v programu TopoL. Posledním krokem tvorby fotoplánu bylo přidání informačních a identifikačních prvků do výsledného výkresu. Hlavními prvky byly grafické měřítko, výšková stupnice, popisová tabulka a síť křížků. Jednotlivé prvky byly rozděleny do vrstev pro větší přehlednost a následnou práci s daty. Následně byly ještě vytištěny do formátu PDF v měřítku 1:20 na formát A0. Veškeré fotoplány byly provedeny stejným způsobem a jsou součástí přílohy C a v digitální podobě na DVD ve složce fotoplán – výstupy.

8 Zhodnocení dosažené přesnosti

V průběhu měření a následného zpracování docházelo k úpravě prvotních dat. Tím byla ovlivněna přesnost výstupu, kterou lze hodnotit dle jednotlivých parametrů v dílčích částech. U uvedených přístrojů se jedná o apriorní přesnost.

Laserové skenování

Laserový skener měl nastaven hodnotu hustoty skenování na 0,5 mm na vzdálenost 5 metrů.

Geodetické měření

Použitá totální stanice Trimble 3603DR má přesnost měření délek 3 mm + 2 ppm, přesnost měření úhlů je uvedena 1 mgon. Souřadnice připojovacích bodů byly převzaty z výpočtu Ing. Zdeňka Poloprutského, které byly vyrovnány metodou nejmenších čtverců. Souřadnice jsou uvedeny v příloze A-2, protokol o dosažené přesnosti je uveden v příloze B na DVD ve složce stavební výkresy – vstupní data. Při zpracování zápisníku z měření v softwaru GROMA byl maximální rozdíl v oboustranně měřených délkách 4 milimetry. Největší dosažená hodnota úhlového uzávěru byla 0,0116 gon, na bodě 4001. Tak vznikla chyba 0,5 mm na vzdálenost 5 metrů. Tato přesnost byla pro naše měření dostatečná, neboť byly měřeny krátké vzdálenosti. Některá stanoviska byla určena dvakrát, jako výsledek byl použit průměr takto získaných hodnot. Seznamy souřadnic včetně protokolů jsou uvedeny v příloze A.

Zpracování mračna bodů

Jak je popsáno výše v kapitole Export dat z laserového skenování, bylo vyexportováno pouze 10 % získaných dat. Přesnost při manuální a globální registraci je vyjádřena průměrnou vzdáleností bodů obou registrovaných mračen. Maximální vzdálenost bodů pro veškeré zpracované prostory při manuální registraci byla 0,002 metru a při globální registraci 0,009 metru.

Transformace

Mračna byla transformována do systému S-JTSK z místní soustavy. Pro transformaci byl vypočten transformační klíč v programu XYZTrans metodou nejmenších čtverců. Přesnost shodnostní transformace je vyjádřena střední chybou jednotkovou, které jsou pro jednotlivé modely uvedeny v tabulce č. 3.

Model	Počet identických bodů	Střední chyba jednotková [m]
Sklep pod věží	7	0,008
Sklep – spojnice	3	0,012
Sklep pod starou kaplí	3	0,008
Sklep – chodba	3	0,006
Příkop	8	0,019

Tabulka 3 Počet použitých IB a střední chyba jednotková, zdroj: vlastní tvorba

Tvorba řezů

Body pro tvorbu řezů byly exportovány v rovině řezu v oblasti široké zhruba 30 mm a po převedení do 2D byla průměrná vzdálenost bodů 10 mm. Výškové i polohové kóty ve výkresu jsou zaokrouhleny a uvedeny s přesností na centimetry.

Ověření identických bodů

Protože během měření nebylo provedeno nezávislé měření, aby mohla být ověřena kvalita výkresu, lze popsat přesnost výsledného modelu pomocí vzdálenosti identických bodů. Toto ověření má chybu v manuální identifikaci totožných bodů. Takto získaná vzdálenost je porovnána se vzdáleností získanou z měření. Uvedené délky jsou prezentovány v tabulce č 4. Přesnost výsledků je dostatečná, vzhledem k požadavku na výstup v měřítku 1:50, jehož přesnost je zhruba 2 centimetry.

Počáteční bod	Cílový bod	Vzdálenost ze souřadnic [m]	Vzdálenost ze 3D modelu [m]	Rozdíl [m]
33 – sklep pod věží	32 – sklep pod věží	5,341	5,335	0,006
35 - sklep pod věží	47 – sklep pod kaplí	11,519	11,531	0,012
46 – sklep pod kaplí	52 – sklep – chodba	5,362	5,357	0,005
70 – příkop	73 – nádvoří	11,827	11,842	0,015

Tabulka 4 Porovnání vzdáleností mezi IB, zdroj: vlastní tvorba

Fotoplány

Přesnost fotoplánu lze posoudit dle hodnot dosažených během transformace rastrů – výpočtu kolineární transformace. Maximální dosažená odchylka překročila hodnotu 0,01 metru pouze jednou, bod byl zachován pro výpočet z důvodu vhodné polohy. Maximální přípustná odchylka pro měřítko 1:20 je přibližně stanovena na 0,01 metru.

Problémy při zpracování

Během zpracování měřické dokumentace se vyskytlo několik problémů, které bylo třeba vyřešit. Během exportu dat došlo k chybě, jeden naměřený sken byl poškozen a data byla poničena. Naštěstí bylo možné data nahradit z dvou skenů ze sousedních stanovisek a nebylo tedy nutné ztracená data nahrazovat dalším měřením. Dalším problémem, který se objevil v době zpracování dat, byla volba technologie tvorby řezů. Po vyzkoušení několika metod, kdy ani jedna neposkytovala žádanou přesnost a spolehlivost pro tvorbu výstupů, byla nakonec zvolena metoda, popsaná v kapitole Tvorba řezů. Jako problém se též ukázalo velké množství nasnímaných bodů, neboť práce s nimi byla časově náročná. Počítače ve školní laboratoři v některých případech nebyly ani schopné celkové množství dat pojmout. Práci s daty navíc ztěžoval přístup přes vzdálenou plochu, který vyžaduje internetové připojení, což rychlost také snižuje.

Závěr

Cílem této práce je vypracování měřické dokumentace historického objektu Horní tvrze v Kestřanech. V rámci této bakalářské práce je zpracován kompletní proces tvorby dokumentace od rekognoskace terénu, zpracování naměřených dat až po výstupy v podobě fotoplánů a stavebních výkresů. Zájmovou částí celé dokumentace Horní tvrze byla věž, stará a nová kaple a sklepní části pod těmito objekty; v rámci této práce byly zpracovány prostory sklepní části. Pro sběr dat byla využita metoda laserového skenování, které se ukázalo jako vhodná metoda pro historické objekty. Výhodou této metody je zejména její podrobnost, výsledky velmi odpovídající skutečnosti a rychlost práce v terénu. Na druhé straně je zde delší doba nutná pro kvalitní zpracování dokumentace, která tak může sloužit pro stavební výkresy nebo vizualizace konkrétních situací. V rámci této bakalářské práce byly vyzkoušeny dva možné postupy získání podkladů pro stavební výkresy, z čehož metoda tvorby řezu přímo v programu Geomagic nebyla dostatečně přesná.

Stavební výkresy, které vznikly v rámci této práce, a vytvořený 3D model budou sloužit jako podklad pro další stavebně-historický průzkum a rekonstrukci, které se v Horní tvrzi v Kestřanech do budoucna plánují. Vzniklý 3D model je možné propojit s modelem archeologických vykopávek, které byly zaměřeny taktéž laserovým skenováním.

Data získaná laserovým skenováním byla zpracována do podoby celkového spojeného 3D modelu tvořeného mračnem bodů, který sloužil jako podklad pro další výstupy, v tomto případě stavební výkresy. Během zaměření v terénu byly pořízeny snímky pro tvorbu fotoplánů fasády jako další součást dokumentace. Výstupy práce tedy jsou stavební výkresy – půdorys podzemní části tvrze a dva svislé, částečně podélné řezy v měřítku 1:50 a tři fotoplány v měřítku 1:20. Danými měřítky byla dána přesnost dokumentace, která byla během tvorby dodržena. Ve výstupech jsou na základě požadavku zadavatele, docenta Rykla, vyznačeny některé nestandardní skutečnosti.

Celý model tvořený mračnem bodu a z něho odvozené výkresy jsou v systému S-JTSK a výškově v systému Bpv. Pro shodnostní transformaci byly využity identické body, které byly zaměřeny geodeticky. Shodnostní transformace byla zvolena z důvodu zachování měřítka, což je důležité pro práce tohoto typu.

Zdroje a použitá literatura

BLÁHA, Jiří. *Operativní průzkum a dokumentace historických staveb*. Praha: Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště středních Čech v Praze ve spolupráci s ústředním pracovištěm, 2005. Odborné a metodické publikace (Národní památkový ústav). ISBN 80-86516-18-0.

Canon. [Online] [Citace: 10. 12. 2016.] Dostupné z http://www.canon.cz/support/consumer_products/products/cameras/digital_slr/eos_5d_mark_ii.aspx?type=drivers&language=&os=WINDOWS%2010%20(64-bit)

Geomagic. [Online] [Citace: 11. 12. 2016.] Dostupné z http://www.geomagic.com/en/

GROMA. [Online] [Citace: 15. 12. 2016.] Dostupné z http://www.groma.cz/en/showpage.php?id=mod_gdmlink.htm

HAUPT, Lukáš. *Post processing a správa digitálních snímků v kontextu pozemní fotogrammetrie*. Praha, 2014. Bakalářská práce. ČVUT.

HODAČ, Jindřich. *Instruktážní videa k programu TopoL*. ČVUT v Praze

Kestřany. [Online] [cit: 12. 4 2016.] Dostupné z: kestrany.cz.

Líbal, Dobroslav a kol. *Stavebně historický průzkum Horní tvrze*, Státní ústav pro rekonstrukce památkových měst a objektů, závěrečná zpráva, 1974.

Menclová, Dobroslava*, České hrady, sv. 1 a 2.*, Praha: Odeon , 1972.

PATOČKA, Jiří a Eva HEŘMANOVÁ. *Lokální a regionální kultura v České republice: kulturní prostor, kulturní politika a kulturní dědictví.* Praha: ASPI, 2008. ISBN 978-80-7357-347-8.

PAVELKA, Karel. *Fotogrammetrie 10*. Vyd. 2. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02649-3.

PŮBAL, Miloslav. *Hrad Kost (okr. Jičín) – Tvorba fotoplánu pláště malé věže*. Praha, 2014. Bakalářská práce. ČVUT.

Sedláček, August. 1996. *Hrady, zámky a tvrze království Českého.* Praha : Argo, 1996. 80-85794-96-9.

SIMphoto. [Online] [Citace: 11. 12. 2016.] Dostupné z http://lfgm.fsv.cvut.cz/~hodac/simphoto/

Surphaser. [Online] [Citace: 10. 12. 2016.] Dostupné z http://www.surphaser.com/25hsx-scanner.html

ŠEDINA, Jaroslav. *Instruktážní videa k programu Geomagic Studio.* ČVUT v Praze

ŠTRONER, Martin a Jiří POSPÍŠIL. *Terestrické skenovací systémy*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008. ISBN 978-80-01-04141-3.

TopoL xT. [Online] [Citace: 11. 12. 2016.] Dostupné z http://www.topol.eu/articles/software

Trimble. [Online] [Citace: 15. 12. 2016.] http://www.trimble.com/Survey/Total-Stations.aspx

Tvrz Kestřany. [Online] [Citace: 4. 12 2016.] Dostupné z Tvrzkestrany.cz

VESELÝ, Jan. *Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči.* Praha: Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště středních Čech v Praze ve spolupráci s Národním památkovým ústavem, generálním ředitelstvím, 2014. Odborné a metodické publikace (Národní památkový ústav). ISBN 978-80-86516-79-0.

XYZTrans. [Online] [Citace: 11. 12. 2016.] Dostupné z http://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/XYZTrans/index.html

Seznam obrázků

Obr. 1 Horní tvrz Kestřany, zdroj: Jindřich Hodač 11
Obr. 2 Vybraná část pro měřickou dokumentaci, zdroj: vlastní tvorba 16
Obr. 3 Vyznačení stanovisek pro laserové skenování, zdroj: vlastní tvorba 18
Obr. 4 Vyznačení fotoplánů, zdroj: vlastní tvorba 19
Obr. 5 Rekognoskace terénu, zdroj: Jindřich Hodač 22
Obr. 6 Zaměření identických bodů, zdroj: Jindřich Hodač 25
Obr. 7 Stanoviska pro zaměření identických bodů, zdroj: vlastní tvorba 26
Obr. 8 Snímek na fotoplán č. 3, zdroj: vlastní tvorba 27
Obr. 9 Stínované mračno bodů, zdroj: vlastní tvorba 29
Obr. 10 Zpracované mračno bodů – sklep, zdroj: vlastní tvorba 31
Obr. 11 Transformace IB v programu XYZTrans, zdroj: vlastní tvorba 32
Obr. 12 Mračno bodů po spojení do celku, zdroj: vlastní tvorba 35
Obr. 13 Tvorba řezů v SW Geomagic Studio, zdroj: vlastní tvorba 36
Obr. 14 Vektorizovaná rovina řezu v programu MicroStation, zdroj: vlastní tvorba 37
Obr. 15 Vyznačení řezů v objektu, zdroj: vlastní tvorba 39
Obr. 16 Upravený snímek pro tvorbu fotoplánu, zdroj: vlastní tvorba 41
Obr. 17 Zadání prvků vnitřní orientace do programu SIMphoto, zdroj: vlastní tvorba 43
Obr. 18 Transformační tabulka pro fotoplán č. 1, zdroj: vlastní tvorba 44

Seznam tabulek

Tabulka 1 Transformační klíč pro sklep pod věží, zdroj: vlastní tvorba 34

Tabulka 2 Tvar souřadnic bodů v rovině fotoplánu, zdroj: vlastní tvorba.....43

Tabulka 3 Počet použitých IB a střední chyba jednotková, zdroj: vlastní tvorba 47

Tabulka 4 Porovnání vzdáleností mezi IB, zdroj: vlastní tvorba 47

Seznam příloh

A – tištěné přílohy

1. Seznam měření totální stanicí
2. Seznam souřadnic připojovacích bodů
3. Seznam souřadnic identických bodů
4. Protokol o výpočtu souřadnic identických bodů
5. Protokoly o výpočtu transformačního klíče

B – DVD

Stavební výkresy

1. Vstupní data
    a. Exportovaná mračna bodů
    b. Zápisník z geodetického měření
    c. Souřadnice připojovacích bodů
    d. Protokol o vyrovnání připojovacích bodů
2. Pracovní data
    a. Souřadnice identických bodů v S-JTSK
    b. Souřadnice identických bodů v místní soustavě
    c. Protokoly o výpočtu
    d. Protokoly o transformaci
    e. Rastrové podklady pro výkresy
3. Stavební výkresy
    a. Půdorys sklepní části
    b. Řez B–B‘
    c. Řez C–C‘

Fotoplán

1. Vstupní data
    a. Původní snímky
    b. Upravené snímky pro zpracování
    c. Rovinné souřadnice vlícovacích bodů
    d. Přehledka vlícovacích bodů
2. Výstupy
    a. Kalibrační protokol
    b. Transformační tabulky
    c. Výkresy z programu MicroStation
    d. Fotoplány

C – volně ložené přílohy

1. Půdorys sklepní části
2. Řez B–B‘
3. Řez C–C‘
4. Fotoplán 1
5. Fotoplán 2
6. Fotoplán 3

Příloha A-1 seznam měření totální stanicí

4001 1.548
5001 102.9058 37.270 2.150
4106 338.5529 19.303 0.000
4002 12.5303 5.837 0.000
1 52.2047 3.606 0.000
2 72.9810 3.957 0.000
3 72.9769 3.955 0.000
4 342.0641 4.812 0.000
5 381.4478 3.693 0.000
6 14.2333 3.353 0.000
4002 12.5418 5.840 0.000
4002 1.491
4001 142.1568
4106 248.7148
7 238.4256 3.712 0.000
8 388.2526 1.221 0.000
9 52.5830 4.119 0.000
10 112.5922 1.735 0.000
11 184.9151 1.909 0.000
12 390.2380 1.280 0.000
13 80.7432 1.507 0.000
14 258.0258 2.041 0.000
4001 142.1515 5.809 0.000
4003 1.517
4106 239.8081 21.794 0.000
15 174.2540 6.555 0.000
16 133.5299 7.584 0.000
17 56.9043 4.756 0.000
18 94.5778 7.320 0.000
19 148.9737 6.454 0.000
20 126.6869 2.962 0.000
21 48.6936 2.792 0.000
4106 239.8146 21.795 0.000
4004 1.534
4001 368.0534 5.838 0.000
4106 74.6065 17.810 0.000
22 64.3673 3.747 0.000
23 213.9595 1.239 0.000
24 215.8419 1.299 0.000
25 278.4494 4.147 0.000
26 338.4983 1.754 0.000
27 10.9220 1.937 0.000
28 306.5725 1.511 0.000
29 84.3872 2.059 0.000
4001 368.0522 5.835 0.000
4005 1.602
6007 246.8632
6007 246.8636 4.474 0.000
30 242.2514 2.847 0.000
31 295.1077 1.446 0.000
32 345.1542 3.366 0.000
33 15.4925 5.926 0.000
34 76.4318 4.533 0.000
35 82.0742 5.341 0.000
36 135.2838 2.335 0.000
37 25.0296 1.349 0.000
6007 246.8630 4.474 0.000
6007 1.610
6007 119.6118 4.471 0.000
6004 225.2056 20.765 0.000
4006 214.8288 5.343 0.000
38 137.8462 1.286 0.000
39 205.3883 2.936 0.000
40 235.9902 3.255 0.000
41 252.3718 2.580 0.000
42 24.5648 1.241 0.000
4005 119.6110 4.471 0.000
4006 1.574
6007 370.6442 5.345 0.000
6004 184.6171 15.513 0.000
4007 176.9811 4.497 0.000
43 110.3608 3.054 0.000
44 59.2077 1.755 0.000
45 20.8755 1.234 0.000
46 375.6103 1.273 0.000
47 294.6800 2.917 0.000
48 250.8146 0.913 0.000
49 153.2549 1.232 0.000
50 154.7495 2.808 0.000
6007 370.6419 5.346 0.000
4007 1.525
6004 203.4269 11.055 0.000
4006 392.7753 4.496 0.000
6007 389.3045 9.832 0.000
51 358.7276 2.598 0.000
52 68.2832 2.338 0.000
53 352.6651 2.184 0.000
54 51.8382 2.638 0.000
55 6.2796 1.987 0.000
6004 203.4294 11.055 0.000
6007 1.491
5001 186.9424 37.815 1.900
4008 1.492
4009 343.2277 29.266 0.000
5001 2.9903 24.945 1.300
5001 2.9860 24.948 0.050
5002 167.8078 42.729 1.300
5006 324.4902 56.260 0.120

60	261.9486	10.788	0.000
61	278.0414	12.464	0.000
62	281.9787	13.879	0.000
63	313.1616	14.631	0.000
64	306.6024	11.148	0.000
65	289.9899	13.422	0.000
4009		1.496	
4008	37.9532	29.269	0.050
5001	377.7667	24.828	0.050
5006	200.6247	29.504	0.050
66	62.7238	17.544	0.000
67	62.1767	17.830	0.000
68	64.5700	16.786	0.000
69	81.1652	12.138	0.000
70	103.4797	17.897	0.000
71	96.0961	15.705	0.000
4008	37.9544	29.270	0.050
4106		1.504	
4003	185.0508	21.797	0.000
4010	176.1528	14.176	0.000
4004	212.7018	17.811	0.000
4001	232.1529	19.306	0.000
5003	321.6247	22.289	1.300
73	201.5585	14.028	0.000
74	201.5290	14.001	0.000
75	201.5768	13.971	0.000
80	201.5506	13.973	0.000
81	216.1089	13.835	0.000
82	227.0723	14.078	0.000
83	244.1918	15.605	0.000
84	237.4529	14.881	0.000
85	244.0917	15.601	0.000
86	243.7399	15.573	0.000
87	245.4024	15.459	0.000
4004	212.7000	17.811	0.000
4010		1.443	
4106	339.5012	14.180	0.000
4106	339.4969	14.179	0.000
4003	164.2712	7.999	0.000
88	160.7915	6.206	0.000
89	157.8178	6.250	0.000
90	156.7184	6.309	0.000
91	187.8636	6.159	0.000
92	220.6345	8.042	0.000
93	220.6808	8.056	0.000
94	220.0762	7.977	0.000
95	220.5741	8.054	0.000
96	198.0341	6.480	0.000
97	196.8195	6.412	0.000
98	253.6142	5.615	0.000
99	254.0993	5.579	0.000
100	254.4757	5.582	0.000
101	222.9959	7.831	0.000
102	220.8786	8.041	0.000
103	221.3430	8.000	0.000
104	233.9361	6.631	0.000
105	233.2610	6.689	0.000
4003	164.2708	7.996	0.000

Příloha A-2 Seznam souřadnic připojovacích bodů

Bod	Y m	X m	H m
4001	780225.214	1129513.126	373.58
5004	780265.363	1129517.974	375.47
5005	780272.244	1129472.246	377.76
5007	780232.241	1129576.655	374.65
7001	780221.448	1129499.929	377.26
7002	780225.026	1129495.317	377.30

Příloha A-3 Seznam souřadnic identických bodů

1	780219.076	1129501.942	377.39
2	780217.819	1129501.716	379.95
3	780217.820	1129501.718	379.94
4	780223.525	1129506.619	379.52
5	780222.247	1129504.128	378.39
6	780220.899	1129502.899	379.27
15	780222.681	1129497.974	380.45
16	780218.790	1129495.613	380.46
17	780221.890	1129488.933	380.48
18	780218.219	1129491.154	377.60
19	780220.683	1129496.361	377.16
20	780222.735	1129493.152	377.43
21	780223.627	1129489.963	378.76
22	780225.219	1129503.340	377.85
23	780222.289	1129499.663	380.34
24	780222.247	1129499.606	377.51
25	780218.713	1129498.953	378.36
26	780220.800	1129501.669	377.33
27	780222.418	1129502.835	379.53
28	780220.866	1129500.828	382.52
29	780224.276	1129501.691	382.55
30	780227.303	1129490.700	375.31
31	780226.885	1129488.586	375.48
32	780227.882	1129486.231	375.54
33	780223.728	1129482.873	373.21
34	780221.138	1129487.119	373.29
35	780220.242	1129487.320	375.35
36	780223.518	1129489.873	375.74
37	780224.862	1129487.328	374.64
38	780227.474	1129491.092	375.27
39	780226.120	1129493.272	374.90
40	780226.964	1129494.519	373.62
41	780227.914	1129494.193	375.50
42	780229.409	1129490.764	375.68
43	780221.583	1129494.478	375.44
44	780223.663	1129493.680	373.29
45	780224.640	1129493.962	376.55
46	780225.449	1129494.290	373.59
47	780227.136	1129496.547	375.24
48	780224.907	1129496.034	373.36
49	780223.436	1129495.715	376.47
50	780222.037	1129496.442	373.21
51	780223.949	1129497.749	374.84
52	780220.483	1129496.328	375.39
53	780223.598	1129498.064	373.09
54	780221.009	1129495.856	373.04

55	780222.484	1129496.761	376.09
60	780218.166	1129496.590	378.31
61	780219.914	1129493.709	374.87
62	780221.212	1129492.721	379.76
63	780219.166	1129486.078	375.77
64	780217.037	1129489.131	373.23
65	780220.390	1129491.147	378.42
66	780219.167	1129486.073	375.76
67	780218.997	1129486.348	375.75
68	780219.699	1129485.339	385.21
69	780222.986	1129480.382	373.54
70	780230.031	1129483.535	377.08
71	780227.253	1129482.608	382.81
73	780227.060	1129500.898	378.23
74	780227.085	1129500.911	379.99
75	780227.100	1129500.939	382.69
80	780227.102	1129500.933	382.68
81	780225.399	1129503.613	377.36
82	780224.223	1129505.720	382.92
83	780221.991	1129509.345	382.87
84	780222.882	1129507.819	377.78
85	780221.997	1129509.321	377.40
86	780222.029	1129509.236	380.34
87	780222.124	1129509.647	378.68
88	780227.055	1129493.009	377.44
89	780227.236	1129492.777	380.44
90	780227.278	1129492.661	383.32
91	780225.673	1129495.222	382.61
92	780223.482	1129498.625	383.14
93	780223.468	1129498.633	383.14
94	780223.535	1129498.546	380.43
95	780223.469	1129498.620	377.88
96	780225.084	1129496.101	377.64
97	780225.177	1129495.996	380.47
98	780227.029	1129500.896	377.43
99	780227.084	1129500.906	379.99
100	780227.102	1129500.934	382.67
101	780223.739	1129498.880	382.99
102	780223.487	1129498.656	380.49
103	780223.537	1129498.707	378.02
104	780225.227	1129499.750	377.80
105	780225.147	1129499.704	380.52

Příloha A-4 Protokol o výpočtu identických bodů

[1] POLÁRNÍ METODA DÁVKOU

Orientace osnovy na bodě 4001:

Bod	Y	X	Z
4001	780221.447	1129499.931	377.25

Orientace:

Bod	Y	X	Z
5001	780195.790	1129472.897	373.82
4105	780240.143	1129504.737	377.29

Bod	Hz	Směrník	V or.	Délka	V délky	V přev.	m0	Red.
5001	102.9058	248.3362	0.0000	37.266	0.005	0.00		
4105	338.5529	83.9833	0.0000	19.301	0.003	0.00		

Orientační posun : 145.4304g
m0 = SQRT([vv]/(n-1)) : 0.0000g
SQRT([vv]/(n*(n-1))) : 0.0000g

Podrobné body

Polární metoda

Bod	Hz	Z	dH	Délka	Y	X	Z	Popis
4002	12.5303	116.1238		5.836	780225.027	1129495.322	377.29	
1	52.2047	124.0893		3.606	780221.581	1129496.328	377.36	
2	72.9810	82.3478		3.956	780220.319	1129496.139	379.92	
3	72.9769	82.4089		3.955	780220.319	1129496.141	379.92	
4	342.0641	90.8776		4.812	780226.166	1129500.871	379.49	
5	381.4478	107.3254		3.693	780224.816	1129498.418	378.37	
6	14.2333	91.4906		3.353	780223.432	1129497.230	379.25	

Orientace osnovy na bodě 4002:

Bod	Y	X	Z
4002	780225.027	1129495.322	377.29

Orientace:

Bod	Y	X	Z
4001	780221.447	1129499.931	377.25
4105	780240.143	1129504.737	377.29

Bod	Hz	Směrník	V or.	Délka	V délky	V přev.	m0	Red.
4001	368.0534	357.9607	0.0120	5.837	-0.001	-0.01		
4105	74.6065	64.5378	-0.0120	17.809	-0.001	0.00		

Orientační posun : 389.9193g
m0 = SQRT([vv]/(n-1)) : 0.0170g
SQRT([vv]/(n*(n-1))) : 0.0120g

Podrobné body

Polární metoda

Bod	Hz	Z	dH	Délka	Y	X	Z	Popis
22	64.3673	116.5019		3.747	780227.849	1129497.788	377.83	
23	213.9595	43.9555		1.239	780224.951	1129494.086	380.32	
24	215.8419	150.8914		1.299	780224.909	1129494.029	377.49	
25	278.4494	107.3952		4.146	780221.382	1129493.346	378.34	
26	338.4983	145.4003		1.754	780223.445	1129496.079	377.30	
27	10.9220	78.4036		1.937	780225.052	1129497.259	379.50	
28	306.5725	24.7985		1.511	780223.518	1129495.239	382.50	
29	84.3872	32.2612		2.059	780226.920	1129496.131	382.53	

Orientace osnovy na bodě 6007:

Bod	Y	X	Z
6007	780228.603	1129491.707	373.55

Orientace:

Bod	Y	X	Z
6004	780215.271	1129507.630	373.19

Bod	Hz	Směrník	V or.	Délka	V délky	V přev.	m0	Red.

```
      6004  225.2056  355.6220    0.0000    20.763
0.004     0.00
-------------------------------------------------------------------------------
----------
Orientační posun      : 130.4164g

Podrobné body

Polární metoda
        Bod       Hz        Z         dH     Délka         Y         X
Z  Popis
-------------------------------------------------------------------------------
-------------------------------
      4005  119.6118  125.7228              4.471
780225.440  1129488.547    373.25
      4006  214.8288  123.9764              5.343
780224.554  1129495.193    373.05
        38  137.8462   94.7280              1.285
780227.474  1129491.093    375.27
        39  205.3883  105.6005              2.935
780226.120  1129493.273    374.90
        40  235.9902  128.1797              3.255
780226.964  1129494.519    373.62
        41  252.3718   91.5396              2.580
780227.914  1129494.193    375.51
        42   24.5648   74.5788              1.241
780229.409  1129490.764    375.68

Orientace osnovy na bodě 4006:
------------------------------
        Bod         Y         X        Z
-------------------------------------------------------
      4006   780224.554  1129495.193    373.05
-------------------------------------------------------
Orientace:
----------
        Bod         Y         X        Z
-------------------------------------------------------
      6007   780228.603  1129491.707    373.55
      6004   780215.271  1129507.630    373.19
-------------------------------------------------------
        Bod      Hz   Směrník    V or.     Délka   V délky   V
přev.   m0 Red.
-------------------------------------------------------------------------------
----------
      6007  370.6442  145.2452   -0.0189     5.344    -
0.001     0.00
      6004  184.6171  359.1804    0.0189    15.511
0.008     0.00
-------------------------------------------------------------------------------
----------
Orientační posun      : 174.5821g
m0 = SQRT([vv]/(n-1))  :  0.0267g
SQRT( [vv]/(n*(n-1)) ) :  0.0189g

Podrobné body

Polární metoda
        Bod       Hz        Z         dH     Délka         Y         X
Z  Popis
-------------------------------------------------------------------------------
------------------------------
      4007  176.9811  123.1283              4.497
780221.453  1129498.450    372.91
        43  110.3608   83.3373              3.054
780221.585  1129494.477    375.44
        44   59.2077  141.4651              1.755
780223.666  1129493.679    373.28
        45   20.8755   36.3321              1.234
780224.642  1129493.962    376.54
        46  375.6103  143.5151              1.273
780225.451  1129494.290    373.58
        47  294.6800   86.7167              2.917
780227.138  1129496.547    375.24
        48  250.8146  160.1905              0.913
780224.909  1129496.034    373.36
        49  153.2549   37.4997              1.232
780223.438  1129495.714    376.47
        50  154.7495  129.6748              2.807
780222.039  1129496.441    373.21

Orientace osnovy na bodě 4007:
------------------------------
        Bod         Y         X        Z
-------------------------------------------------------
      4007   780221.453  1129498.450    372.91
-------------------------------------------------------
Orientace:
----------
        Bod         Y         X        Z
-------------------------------------------------------
      6004   780215.271  1129507.630    373.19
      4006   780224.554  1129495.193    373.05
      6007   780228.603  1129491.707    373.55
-------------------------------------------------------
        Bod      Hz   Směrník    V or.     Délka   V délky   V
přev.   m0 Red.
-------------------------------------------------------------------------------
----------
      6004  203.4269  362.2688   -0.0227    11.054
0.014    -0.01    0.0282
      4006  392.7753  151.5632    0.0313     4.495
0.001     0.00    0.0099 *
      6007  389.3045  148.1323   -0.0086     9.831    -
0.004     0.00    0.0381
-------------------------------------------------------------------------------
----------
Orientační posun      : 158.8192g
m0 = SQRT([vv]/(n-1))  :  0.0280g
SQRT( [vv]/(n*(n-1)) ) :  0.0162g

Podrobné body

Polární metoda
        Bod       Hz        Z         dH     Délka         Y         X
Z  Popis
-------------------------------------------------------------------------------
------------------------------
        51  358.7276   89.9410              2.598
780223.953  1129497.743    374.85
        52   68.2832   75.1816              2.338
780220.488  1129496.320    375.40
        53  352.6651  134.8825              2.184
780223.602  1129498.058    373.10
```

54 51.8382 130.7306 2.637
780221.014 1129495.849 373.06
55 6.2796 55.5948 1.986
780222.489 1129496.754 376.10

Orientace osnovy na bodě 4105:

Bod	Y	X	Z
4105	780240.143	1129504.737	377.29

Orientace:

Bod	Y	X	Z
4001	780221.447	1129499.931	377.25
5003	780231.113	1129525.119	376.52

Bod	Hz	Směrník	V or.	Délka	V délky	V přev.	m0	Red.
4001	232.1529	283.9833	-0.0029	19.304	-0.001	-0.01		
5003	321.6247	373.4494	0.0029	22.287	0.006	0.00		

Orientační posun : 51.8275g
m0 = SQRT([vv]/(n-1)) : 0.0040g
SQRT([vv]/(n*(n-1))) : 0.0029g

Podrobné body

Polární metoda

Bod	Hz	Z	dH	Délka	Y	X	Z	Popis
4003	185.0508	103.2168		21.795	780228.212	1129486.498	377.69	
4010	176.1528	106.5196		14.175	780234.111	1129491.909	377.34	
4004	212.7018	105.3543		17.809	780225.027	1129495.320	377.29	
73	201.5585	102.6575		14.026	780229.711	1129495.360	378.21	
74	201.5290	94.6615		13.999	780229.736	1129495.373	379.97	
75	201.5768	82.7946		13.969	780229.751	1129495.401	382.66	
80	201.5506	82.8207		13.972	780229.753	1129495.395	382.66	
81	216.1089	106.6531		13.834	780228.027	1129498.060	377.34	
82	227.0723	81.9516		14.076	780226.833	1129500.156	382.90	
83	244.1918	83.8190		15.604	780224.570	1129503.762	382.85	
84	237.4529	104.4122		14.880	780225.474	1129502.243	377.76	
85	244.0917	105.7569		15.600	780224.575	1129503.738	377.38	
86	243.7399	93.7846		15.572	780224.609	1129503.654	380.32	
87	245.4024	100.5668		15.458	780224.700	1129504.065	378.66	

Orientace osnovy na bodě 4010:

Bod	Y	X	Z
4010	780234.111	1129491.909	377.34

Orientace:

Bod	Y	X	Z
4105	780240.143	1129504.737	377.29
4003	780228.212	1129486.498	377.69

Bod	Hz	Směrník	V or.	Délka	V délky	V přev.	m0	Red.
4105	339.4969	27.9803	-0.0044	14.177	-0.002	-0.01		
4003	164.2712	252.7457	0.0044	7.998	0.007	0.00		

Orientační posun : 88.4790g
m0 = SQRT([vv]/(n-1)) : 0.0063g
SQRT([vv]/(n*(n-1))) : 0.0044g

Podrobné body

Polární metoda

Bod	Hz	Z	dH	Délka	Y	X	Z	Popis
88	160.7915	113.6823		6.205	780229.774	1129487.471	377.43	
89	157.8178	83.6086		6.249	780229.957	1129487.241	380.43	
90	156.7184	60.4180		6.308	780230.000	1129487.125	383.30	
91	187.8636	64.6965		6.159	780228.373	1129489.673	382.59	
92	220.6345	68.4824		8.041	780226.153	1129493.056	383.12	
93	220.6808	68.5130		8.055	780226.139	1129493.064	383.12	
94	220.0762	87.1577		7.976	780226.207	1129492.978	380.41	
95	220.5741	107.2433		8.053	780226.140	1129493.050	377.86	
96	198.0341	111.2499		6.480	780227.776	1129490.547	377.62	
97	196.8195	83.7600		6.411	780227.871	1129490.442	380.45	
98	253.6142	115.2411		5.615	780229.680	1129495.357	377.41	
99	254.0993	86.6088		5.579	780229.735	1129495.368	379.97	

```
        100  254.4757   61.3443              5.582
780229.753  1129495.396   382.66
        101  222.9959   68.7217              7.831
780226.408  1129493.313   382.97
        102  220.8786   86.7681              8.040
780226.158  1129493.087   380.48
        103  221.3430  106.1499              7.999
780226.208  1129493.138   378.00
        104  233.9361  109.5262              6.630
780227.888  1129494.196   377.78
        105  233.2610   83.9792              6.689
780227.809  1129494.149   380.50

Orientace osnovy na bodě 4003:
------------------------------
        Bod         Y         X       Z
-------------------------------------------------
       4003   780228.212  1129486.498   377.69
-------------------------------------------------
Orientace:
----------
        Bod         Y         X       Z
-------------------------------------------------
       4105   780240.143  1129504.737   377.29
-------------------------------------------------
        Bod      Hz  Směrník    V or.    Délka   V délky   V
přev.   m0 Red.
-------------------------------------------------------------------------------
----------
       4105  239.8081   36.8783    0.0000    21.792
0.003    -0.01
-------------------------------------------------------------------------------
----------
Orientační posun      : 197.0702g

Podrobné body

Polární metoda
        Bod      Hz       Z        dH     Délka         Y         X
Z  Popis
-------------------------------------------------------------------------------
-------------------------------
        15  174.2540   88.2204              6.555
780225.358  1129492.398   380.44
        16  133.5299   89.7528              7.583
780221.488  1129490.004   380.44
        17   56.9043   83.6163              4.756
780224.646  1129483.351   380.46
        18   94.5778  113.8661              7.319
780220.955  1129485.540   377.59
        19  148.9737  119.6838              6.453
780223.374  1129490.768   377.15
        20  126.6869  134.7353              2.962
780225.454  1129487.577   377.41
        21   48.6936  110.5854              2.792
780226.373  1129484.397   378.74
Orientace osnovy na bodě 4005:
------------------------------
        Bod         Y         X       Z
-------------------------------------------------
       4005   780225.440  1129488.547   373.25
-------------------------------------------------
Orientace:
----------
        Bod         Y         X       Z
-------------------------------------------------
       6007   780228.603  1129491.707   373.55
-------------------------------------------------
        Bod      Hz  Směrník    V or.    Délka   V délky   V
přev.   m0 Red.
-------------------------------------------------------------------------------
----------
       6007  246.8636   50.0282    0.0000    4.474   -
0.003    -0.01
-------------------------------------------------------------------------------
----------
Orientační posun      : 203.1646g

Podrobné body

Polární metoda
        Bod      Hz       Z        dH     Délka         Y         X
Z  Popis
-------------------------------------------------------------------------------
-------------------------------
        30  242.2514   89.8352              2.847
780227.303  1129490.700   375.31
        31  295.1077   73.7520              1.446
780226.885  1129488.587   375.48
        32  345.1542   87.1203              3.366
780227.882  1129486.231   375.54
        33   15.4925  117.2161              5.926
780223.728  1129482.874   373.21
        34   76.4318  121.0527              4.533
780221.138  1129487.119   373.30
        35   82.0742   94.0387              5.340
780220.243  1129487.320   375.35
        36  135.2838   76.9057              2.335
780223.518  1129489.873   375.74
        37   25.0296  109.9337              1.349
780224.862  1129487.328   374.64
```

Příloha A-5 Protokoly o výpočtu transformačních klíčů

Transformační klíč pro mračno bodů sklepa – pod věží:

ProgramXYZTrans v2.1.1 , Protokol o výpočtu.
Shodnostní Podobnostní transformace

Použité identické body :
30,31,33,34,35,36,37

Transformační klíč :
Matice Rotace :
-0,849069742656648 0,52738987900657 -0,0306673707123543
-0,526756806758 -0,849598882066584 -0,0266271689395012
-0,040097863278 -0,00645407721104564 0,999174912739435

Vektor Translace :
-24,158522987525
-9,861905981435
4,352352396823

Měřítka v jednotlivých osách (x,y,z):
1,000000000000
1,000000000000
1,000000000000

Střední chyba jednotková: 0,00862226

Transformační klíč pro mračno bodů sklepa – spojnice:

ProgramXYZTrans v2.1.1 , Protokol o výpočtu.
Shodnostní Podobnostní transformace

Použité identické body :
38,41,42

Transformační klíč :
Matice Rotace :
-0,818885270345585 0,573408831830225 -0,0250843694386466
-0,569963595388 -0,817557080278438 -0,08210919813739
-0,067590043225 -0,0529408355212992 0,996307610124052

Vektor Translace :
-28,237552590982
-11,550547089307
4,726223408941

Měřítka v jednotlivých osách (x,y,z):
1,000000000000
1,000000000000
1,000000000000

Střední chyba jednotková: 0,01475635

Transformační klíč pro mračno bodů sklepa – pod kaplí:

ProgramXYZTrans v2.1.1 , Protokol o výpočtu.
Shodnostní Podobnostní transformace

Použité identické body :
43,44,45

Transformační klíč :
Matice Rotace :
-0,856745892126989 0,515331524764818 0,0204913617677629
-0,515636534285 -0,856690755465814 -0,0141390951035122
0,010268438755 -0,0226797064130288 0,999690047005849

Vektor Translace :
-25,826767329747
-16,003548470737
4,629340742463

Měřítka v jednotlivých osách (x,y,z):
1,000000000000
1,000000000000
1,000000000000

Střední chyba jednotková: 0,00835619

Transformační klíč pro mračno bodů sklepa – chodba:

ProgramXYZTrans v2.1.1 , Protokol o výpočtu.
Shodnostní Podobnostní transformace

Použité identické body :
52,53,55

Transformační klíč :
Matice Rotace :
-0,915856977814434 0,401403019546462 0,00903394086728368
-0,401503514896 -0,915676354316857 -0,0182137769681723
0,000961100966 -0,0203083737402301 0,999793301758399

Vektor Translace :
-21,180955113972
-18,546890683901
4,153053094617

Měřítka v jednotlivých osách (x,y,z):
1,000000000000
1,000000000000
1,000000000000

Střední chyba jednotková: 0,00591492

Transformační klíč pro mračno bodů příkop:

ProgramXYZTrans v2.1.1 , Protokol o výpočtu.
Shodnostní Podobnostní transformace

Použité identické body :
60,61,62,63,64,65,70,71

Transformační klíč :
Matice Rotace :
-0,851243522207483 0,524081524226953 -0,026889065877257
-0,523584625180 -0,851646931936327 -0,0235932956181793
-0,035264800786 -0,00600493858370628 0,999359962445025

Vektor Translace :
-13,023159905384
-10,565210987599
4,520425605047

Měřítka v jednotlivých osách (x,y,z):
1,000000000000
1,000000000000
1,000000000000

Střední chyba jednotková: 0,01891799