

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA SPECIÁLNÍ GEODÉZIE

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Zaměření části středověkého opevnění ve Slaném

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Křemen, Ph.D.

červen 2017

Lukáš Hort



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební


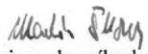
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

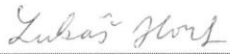
I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Hort	Jméno: Lukáš	Osobní číslo: 439241
Zadávající katedra: Speciální geodézie		
Studijní program: Geodézie a kartografie		
Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Zaměření části středověkého opevnění ve Slaném	
Název bakalářské práce anglicky: Measurement of Fortification Medieval Part in the Town Slaný	
Pokyny pro vypracování: Zaměření části hradeb a parkánové zdi v oblasti Černé bašty. Zaměření fasády Velvarské brány. Zpracování naměřených dat, jejich georeferencování. Vytvoření prostorového modelu zaměřených objektů.	
Seznam doporučené literatury: Štroner, M. a kol.: 3D skenovací systémy. Česká technika - nakladatelství ČVUT, Praha, 2013, ISBN 978-80-01-05371-3.	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Tomáš Křemen, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 21. 2. 2017	Termín odevzdání bakalářské práce: 19. 5. 2017 <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</small>
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>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“.</i>	
21. 2. 2017 Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení vedoucího bakalářské práce Ing. Tomáše Křemena, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použitých zdrojů.

Ve Slaném, dne 28. 5. 2017

.....

Lukáš Hort

Poděkování

Zde bych rád poděkoval panu Ing. Tomáši Křemenovi, Ph.D., za odborné vedení mé bakalářské práce, cenné rady, vstřícnost a ochotu vždy pomoci, když jsem o to požádal.

Dále bych chtěl poděkovat firmě Geotronics Praha, s. r. o. za půjčení 3D laserového skeneru a speciálně Ing. Lucii Holíkové za možnost exportu dat, bez čehož by další zpracování nebylo možné.

Nakonec bych zde rád zmínil rodinu Malečků a pana Vojtěcha Kočku ze Slaného, kteří mně umožnili naskenovat části slánských hradeb ležících na jejich pozemcích. A také vedoucí z 3. skautského oddílu Stopařů, díky kterým mě vůbec napadlo toto téma zpracovávat. Děkuji.

Abstrakt

Předmětem práce je vytvoření prostorového modelu části středověkého opevnění ve Slaném. Model bude sloužit při archeologickém a historickém průzkumu lokality či jako vizualizace nepřístupného území pro širokou veřejnost. K zaměření bylo využito metody laserového skenování. Ke zpracování měření na počítači byly použity programy Leica Cyclone a Microstation V8i. Výsledkem je drátový a ploškový model všech fortifikačních prvků dané lokality a sousedících objektů.

Klíčová slova:

3D laserové skenování, mračno bodů, Cyclone, model, Slaný, opevnění

Abstract

The subject of this thesis is to make the 3D model of apart of medieval fortification in Slaný. The model can help with archeological and historical prospect of the site or as the visualization of the inaccessible locality for the public. For taking the measurement was applied laser scanning. Leica Cyclone and Microstation V8i were used to process the measurements on PC. The result is the wireframe and face model of all fortification components of the given locality and neighbouring objects.

Key words:

3D laser scanning, point cloud, Cyclone, model, the town of Slaný, fortification

Obsah

Úvod	8
1) Lokalita	9
2) Měření	13
2.1 Rekognoskace terénu	13
2.2 Technologie 3D laserového skenování	14
2.3 Průběh měření	15
2.4 Měření s GPS	15
2.5 Měření konstrukčních měř	16
3) Přístrojové vybavení	
3.1 Laserový skener FARO Focus3D-X130	17
3.2 Kulové terče	17
3.3 Další vybavení	18
4) Zpracování	
4.1 Export dat z RealWorks	19
4.2 Import dat do Cyclone	19
4.3 Modelování kulových terčů a identických bodů	20
4.4 Registrace jednotlivých oblastí	21
4.5 Registrace celé lokality	23
4.6 Úpravy dat	24
4.7 Vektorizace	24
4.8 Modelování	26
4.9 Kontrolní měření	28
5) Výsledky	
5.1 Mračno bodů	30

5.2 Drátový model	30
5.3 Ploškový model	31
Závěr	32
Použité zdroje	33
Seznam příloh	35

Úvod

Tématem bakalářské práce je vytvoření prostorového modelu části středověkého opevnění ve městě Slaný pomocí laserového skenování.

První kapitola pojednává o historickém vývoji celého opevnění a o funkci jednotlivých objektů. Hlavní zřetel je zde veden na popis parkánové hradby, jakožto nejzachovalejšího fortifikačního prvku ve městě.

Druhá část popisuje veškeré měření od rekognoskace terénu po měření konstrukčních měř. Stanovuje polohu oblastí, ve kterých se měřilo, umístění stanovisek v každé z oblastí a metodu měření. Tato část taktéž vysvětluje, na čem je založena metoda laserového skenování a spolu s tím i výhody a nevýhody této metody.

Ve třetí kapitole je popsáno nutné přístrojové vybavení pro měření a způsob jeho využití. Jsou zde uvedeny parametry laserového skeneru FARO Focus3D-X130.

Ve čtvrté části je už řešeno samotné zpracování. Vysvětlen je export dat z programu RealWorks, import dat do programu Cyclone a následně modelování kulových terčů a identických bodů. V dalších dvou podkapitolách je popsána registrace, jak jednotlivých oblastí, tak i celé lokality. Přes úpravy dat a vektorizaci se přejde až k poslední části zpracování, a to modelování. Nakonec je ještě uveden přehled naměřených kontrolních měř pro ověření polohové správnosti modelu.

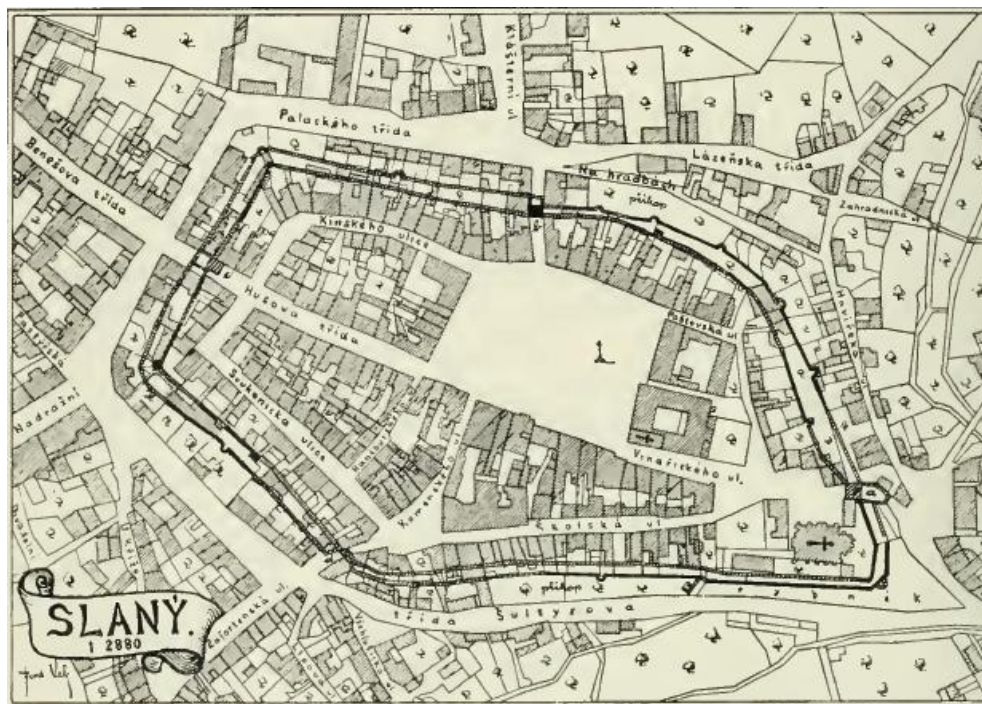
Výsledky zahrnující zregistrované mračno bodů, drátový model a ploškový model jsou předneseny v kapitole pět. V každé podkapitole se nachází koláž, na které je vidět oblasti ve výsledném modelu.

Vytvořené modely mohou posloužit při archeologickém a historickém průzkumu lokality, popřípadě jako vizualizace území, které je na soukromých pozemcích, pro širokou veřejnost.

1) Lokalita

Oblast, ve které lze nalézt nynější městskou zástavbu, byla osídlena již od pravěku. V této době se stala hlavním styčným bodem Slánská hora, ze které bylo vidět přicházející nebezpečí již hodně dopředu. Když se však o několik století později usídlilo zdejší obyvatelstvo pod horou, bylo nutné vybudovat kvůli zabezpečení nově vznikajícího města opevnění.

Hlavním předpokladem počátku stavby hradeb bylo založení královského města králem Václavem II. mezi roky 1300 – 1305. Celé opevnění uzavírá plochu a výměře cca 10 ha, což v té době řadilo Slaný mezi menší česká města. Průběh hradeb okolo centra je vyznačen na obr. 1.



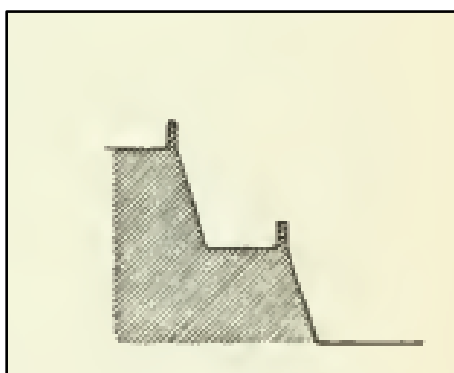
Obr. 1 – Půdorys slánských hradeb (Velc 1904)

Na obrázku je vidět, že poměrně pravidelný tvar hradeb narušil JV výběžek okolo kostela sv. Gotharda. Protože nemohl být kostel kvůli románským základům posunut, musel být zahrnut do výstavby, aby se stal rovněž městským. Vytvořilo to tedy paradox, kdy kostel nestál v samém středu města, jak to bylo v jiných městech zvykem, ale v tomto opevněném výběžku.

Podle Kubánka (2012) byly hradby a 4 městské brány (Pražská, Velvarská, Lounská a Všehlušická) postaveny do definitivní podoby v letech 1460 – 1472. Podle Razíma (1997) byla základním prvkem slánské fortifikace hlavní hradba, vybudovaná z místní lomové opuky. Asi 1250 m dlouhá hradební zeď byla kolem 220 cm silná a podle Velce (1904) byla vysoká 3 – 7 m. O úrovni jejího ochozu dnes vypovídá už jen boční vstup do zachovalé Velvarské brány, jehož práh je zasazen mezi bránou a sousedním domem v pětimetrové výšce.

Před hlavní hradbou s branami a věžemi stálo ještě vnější opevnění, které bylo sestaveno povětšinou z příkopu, vně nasýpaného valu a také z parkánu (*Razím 1997*). Parkán je fortifikační prvek hradebního opevnění. Jedná se o prostor před samotnými hradbami, který je z přední strany chráněn další, zpravidla menší zdí či náspem. Pokud se jedná o zeď, říká se jí parkánová zeď. Tento prostor umožňoval chráněný pohyb obránců hradeb (především lučištníků) a zvyšoval tak podíl aktivní ochrany opevnění. V některých případech byl parkán i zdvojený, případně několikanásobný (*wikipedia.cz 2016*).

Podle *Velce (1904)* vystupovala vnější hradba z parkánu jen asi do výše 3 m. Bašty v parkánové zdi byly okrouhlé, dovnitř otevřené, avšak nebylo jich mnoho. Na východní straně města, v místech našeho zájmu, měly hradby terasovitý tvar, což je dobře znázorněno na obr. 2.

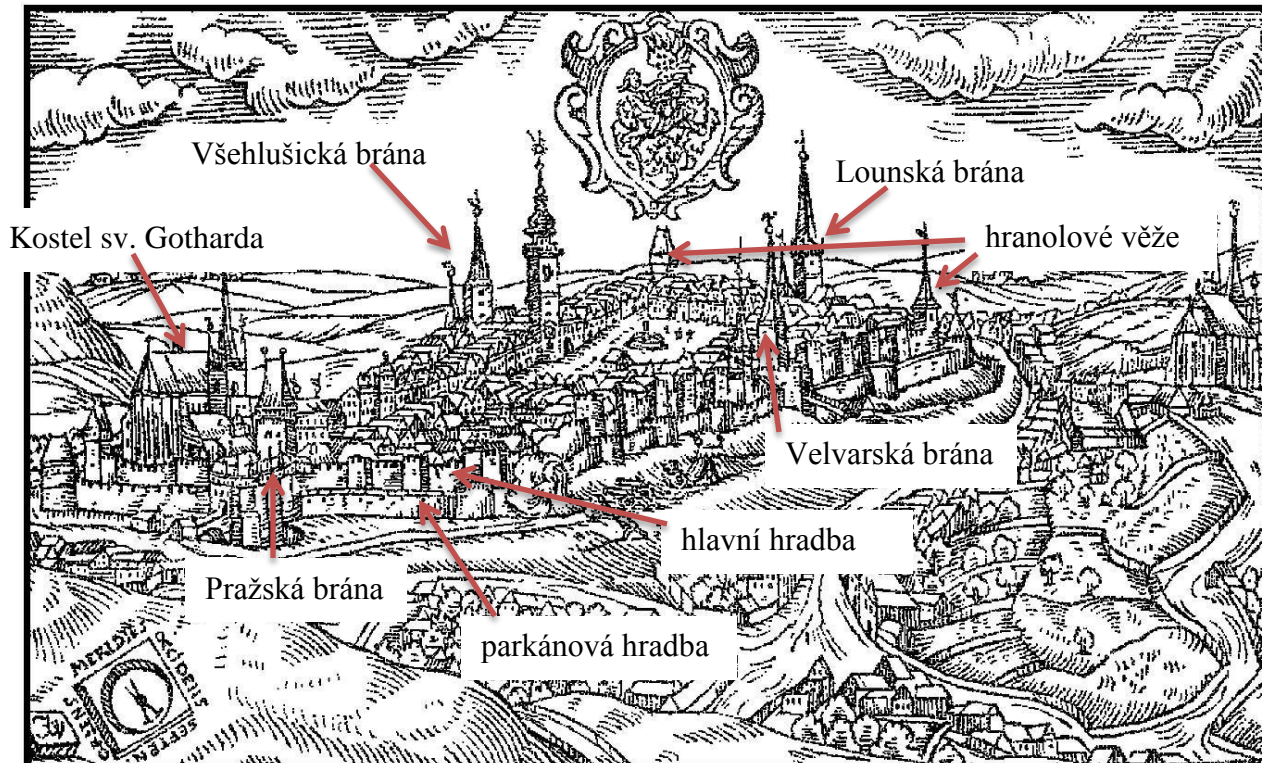


Obr. 2 – Způsob opevnění na východní straně města (*Velc 1904*)

Část opevnění okolo kostela byla také chráněna rybníkem zvaným Brod, jehož břeh z jedné strany zabíhal i pod most bývalé Pražské brány a z druhé pak obléval kus jižní strany hradeb.

Podle *Razíma (1997)*: „Součástí opevnění byly taktéž hranolové věže v hlavní hradbě, které mírně převyšovaly její korunu a byly zakončeny cimbuřím. Nejlépe je jejich půdorys rozpoznatelný na západní straně města po obou stranách Lounské brány (více na obr. 3). Oba hradební úseky od brány k nároží měřily takřka shodně 65 – 70 m a byly opatřeny vždy dvěma věžemi s nakoso umístěnou věží nárožní. Mezi dalšími jednotlivými věžemi pak byla mezera okolo 20 m. Tyto rozměry mezer lze doložit na JZ straně města, kde se dodnes dochovaly tři věže, z toho dvě včetně hradebního úseku.“ *Razím* také odhaduje, že těchto věží mohlo být po celém obvodu města okolo 33, pakliže byly analogicky rozmístěné.

Nižší vnější hradba byla rovněž zakončena cimbuřím a zpevňovaly jí půlválcové bašty či věže (*Kuča 2004*). Tyto prvky jsou nejlépe vidět v mnou zaměřené oblasti v blízkosti Černé bašty, tudíž v SV části dochovaných hradeb. V těchto místech dosahuje ještě dnes výška původní části vnitřní strany zdi 2 – 2,5 m. Zhruba 120 – 130 cm nad úroveň parkánu se také dochovalo několik štěrbin, u kterých však dodnes nepanuje shoda, jestli to byly střílny či díry na podpůrné trámy pro lešení, na kterém hlídali slánští strážníci své město.

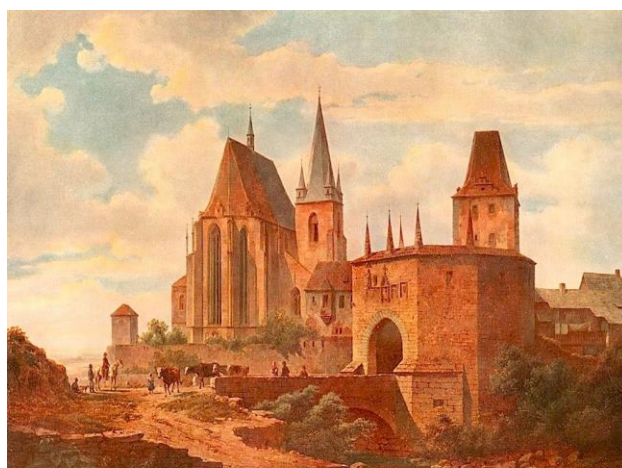


Obr. 3 – Jan Willenberg, Slaný, 1602. Dřevoryt z Diadochu Bartoloměje Paprockého z Hlohov (Žemlička 1997)

Jak již zde bylo psáno, město mělo čtyři brány, z čehož tři byly hlavní a ta čtvrtá, Všehlušická, byla menší a sloužila především jako vstup pro městského kata. Nyní zde bude k těmto nejvýraznějším prvkům opevnění uvedeno spolu s polohou v hradebním systému i několik podrobností:

Pražská brána (východ)

Původně byla podle Kubánka (2012) spolu s ostatními branami postavená ze dřeva. V roce 1371 ji však zničil velký požár, a proto v roce 1402 byla vystavěna znovu, ale tentokrát už z lomového kamene. Podle Křesadla (1994) ji tvořila hranolová průjezdní věž s polygonálním předbraním, neboli barbakánem, jehož zdivo bylo ukončeno hrázděným podsebitím na krakorcích (masivních kamenných nosnících). Okolo barbakánu bylo v rozích asi 10 věžiček. Kubánek (2012) ve své publikaci píše, že v roce 1602 byla brána zrekonstruována a v září 1841 i s baštou zbourána.



Obr. 4 – Pražská brána na dobové malbě (muzeum.slansko.cz 2011)



Lounská brána (západ)

Pravděpodobně se jednalo o prostou, neúhlednou stavbu, jež proto byla v roce 1566 přestavěna, avšak 16. září 1634 při požáru shořela i s ostatními 196 staveními ve městě. Později byla nekvalitně opravena a v květnu 1835 byla zbourána (Kubánek 2012).

Obr. 5 – Lounská brána ve Slaném v kresbě J.Šembery z roku 1822 (slanskelisty.cz 2007)

Všehlušická brána (jih)

Taktéž známá jako „Fortna“. První zmínky o ní pocházejí z roku 1452. Stavebním slohem byla velmi podobná Velvarské bráně. V roce 1564 ji nechalo město přestavět a vedle ní postavit vodárenskou věž, která se zachovala dodnes (viz. obr. 5). Roku 1850 ji však čekal stejný osud jako předchozí brány – zboření (Kubánek 2012).



Obr. 6 – Vodárenská věž na místě bývalé Všehlušické brány (meuslany.cz 2007)

Velvarská brána (sever)



Vystavěná z lomového kamene v roce 1453. V roce 1460 byla zahájena a rok později dokončena stavba věže nad bránou z pevných a kvalitních čtvercových kamenů. Po zboření městských hradeb (a v souvislosti se stavbou velvarské silnice) bylo v letech 1823 – 1824 zbořeno její předbrání. V těchto dobách také přežila několik požárů. Poslední opravy proběhly v letech 1993 – 1994 (Kubánek 2012). Brána se jako jediná dochovala do současnosti.

Obr. 7 – Velvarská brána na dobové malbě (meuslany.cz 2007)

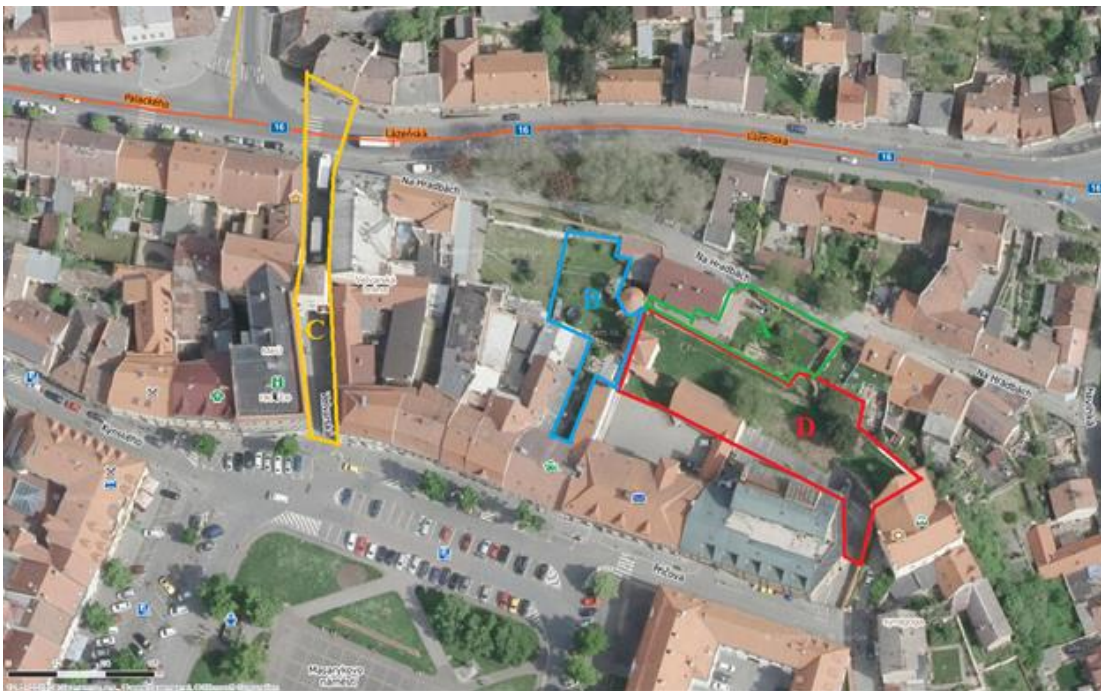
Převážná část vlastního opevnění zanikla v letech 1823-50 (Kuča 2004). Podle Razíma (1997) vandalské boření hradeb ve Slaném v 19. století a málo odolný opukový kámen, z něhož bylo toto kdysi monumentální a úctyhodně rozsáhlé dílo vybudováno, způsobily, že se k dnešku z celého opevnění dochovaly jen nevelké části hradebních zdí, šest věží hlavní hradby, šest bašt parkánové zdi a již zmíněná Velvarská brána.

2) Měření

2.1 Rekognoskace terénu

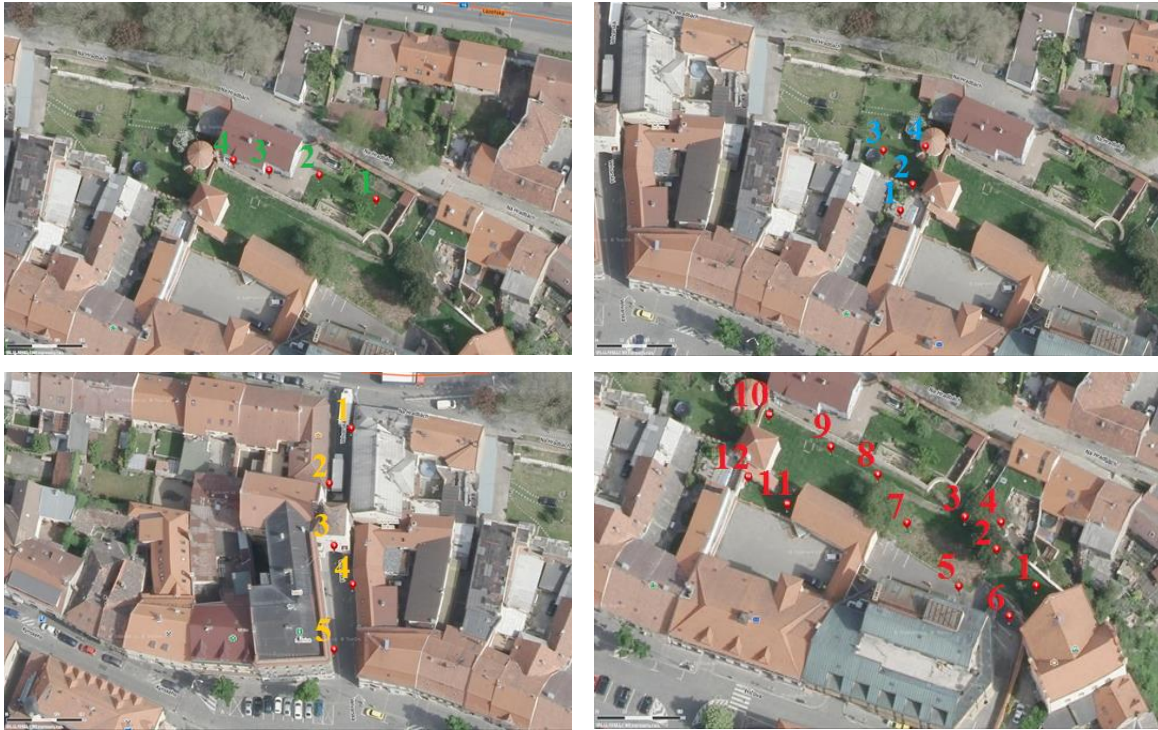
Veškeré měření proběhlo 15. 2. 2017 mezi devátou hodinou ranní a čtvrtou odpolední. Obloha byla jasná, teplota kolem 8°C, občas s mírným větrem. Jako první jsme si s Ing. Křemenem prohlédli všechny lokality, ve kterých jsme měli skenovat, přičemž bylo rozvrženo rozmístění stanovisek, aby se zaměřilo vše, co bude potřeba k následnému zpracování. Zájmová oblast byla rozdělena na čtyři části (viz. obr. 8):

- A) Vnější strana parkánové hradby v úseku od oblasti B k půlkruhové baště
- B) Hlavní hradba mezi Černou baštou a Velvarskou bránou
- C) Velvarská brána
- D) Zbytek hlavní hradby, vnitřní strana parkánové hradby a Černá bašta



Obr. 8 – Volba a rozmístění oblastí (*mapy.cz 2015*)

V každé oblasti se následně určil počet stanovisek nutných k zaměření oblasti. Poloha stanovisek byla volena tak, aby mohly tvořit polygonový pořad. Bylo to nutné z důvodu napojení jednotlivých skenů na sebe přes identické body – stanoviska. Tam, kde to nešlo (jako např. u stanoviska č. 6 v oblasti D), tak byly skeny napojeny přes identické body. Na obr. 9 je možné vidět rozmístění všech stanovisek.



Obr. 9 – Rozmístění stanovišek v oblastech A-D (*mapy.cz 2015*)

2.2 Technologie 3D laserového skenování

Laserové skenování je založeno na neselektivním určování prostorových souřadnic objektu a jejich ukládání do paměti. Provádí se pomocí skeneru automaticky dle nastavených parametrů. Tento přístroj může zaměřit stovky až sto tisíce bodů za vteřinu. Ve finálním skenu tudíž vznikne tzv. mračno bodů, které může obsahovat až milion bodů (*Teorie fungování terestrických skenovacích systémů 2014*). Jedná se o podobný princip jako u totálních stanic s bezhranolovým odrazem. Určí se vzdálenosti bodů od skeneru a to metodou tranzitního času či fázového rozdílu.

Tato technologie byla zvolena z důvodu nejrychlejšího a nejkompexnějšího zaměření všech částí středověkého opevnění. Totální stanicí by bylo velmi náročné zaměřit všechny lomové body a výběžky z hradeb. Laserové skenování umožňuje při dodržení všech již dříve zmíněných zásad rychlé a bezproblémové převedení dat z reality do 3D modelu. Navíc je zde vše automatizované. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena skenovacích systémů, nutnost sehnání speciálních softwarových programů a dlouhé počítačové zpracování.

2.3 Průběh měření

Měření probíhalo od oblasti A až po oblast D. Z důvodu zmrzlého podloží mohlo dojít ke změně polohy přístroje v průběhu měření, a proto bylo nutné zvolit co nejvhodnější místo, aby se zabránilo tomuto pohybu. Nejvíce se to projevilo při měření v oblasti B, kde se musel kvůli malému prostoru postavit stativ do zamrzlého pískoviště a během skenování se natolik pohnul, že výsledná mračna bodů ze sousedních skenů měla mezi sebou mezeru okolo 20 mm. Jak byl tento problém vyřešen, pojednává jedna z dalších kapitol.

Výhodou laserového skenování je zcela jednoznačně nenáročnost samotného měření. Po zhorizontování stanoviska se skener jednoduše postaví na stativ, nastaví se požadované parametry skenování a spustí se. Po zhruba 8 až 10 minutách se může na obrazovce zkontrolovat výsledek a skener se poté přenesse na další stanovisko, kde se znovu spustí. Je velmi důležité, aby se nezapomnělo dát na vedlejší stanoviska kulové terče, které pro skener slouží ke stejnému účelu jako odrazné hranoly u měření polygonového pořadu totální stanicí.

Taktéž je důležité se vyhnout měření v místech, kde je v dané době velká frekvence průchodu lidí. Díky tomuto jevu pak totiž vznikají na výsledném skenu tzv. „duchové“, což jsou chybně zaměřená mračna bodů, která ztěžují následné zpracování. Takto bylo nejvíce ovlivněno měření ve Velvarské ulici u stejnojmenné brány, neboť okolo dvanácté hodiny bylo v dané oblasti již velmi rušno. Z důvodu koordinace průběhu měření na jiných lokalitách však nebylo možné se dostat k bráně dříve.

Dále bylo měření naplánováno tak, aby se v prostoru mezi stanovisky nacházelo co nejméně nepohyblivých rušících prvků – např. stojících aut, stromů, reklamních stojanů a dalších podobných prvků. Všechny tyto objekty zhoršují vyhodnocení dat.

2.4 Měření s GPS

Z důvodu připojení všech oblastí do systémů S-JTSK a Bpv bylo nutné provést také polohové zaměření několika bodů pomocí GPS.

Měření proběhlo 26. 3. 2017 v dopoledních hodinách při zamračené obloze a teplotě okolo 10°C. V každé z oblastí A, B a D bylo zaměřeno 10 bodů a v oblasti C 8 bodů. V těchto místech se naskytl velký problém s udržení signálu z družic, neboť vysoké domy ohraničující úzkou Velvarskou ulici snižovaly povolenou přesnost, takže body musely být zaměřeny hlavně na okraji ulice.

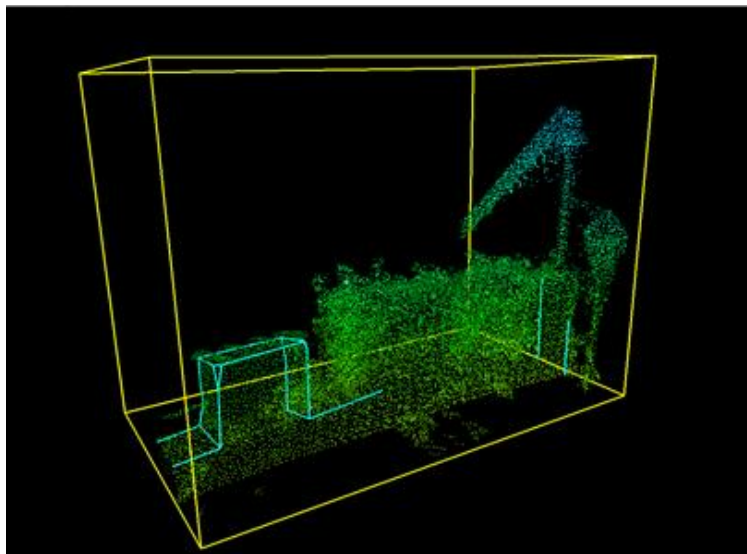
Ještě před měřeními se v mračnu bodů určily charakteristické body, na kterých mělo být měřeno. Problém nastal, když nějaký z těchto bodů nešel zaměřit kvůli nevyhovující přesnosti.

Bylo tedy nutné vymyslet nový bod, u kterého však neexistovala jistota, že také bude vidět v mračnu bodů.

Pro měření byl použit přístroj GPS Trimble GeoXR s výtyčkou a přijímačem. Měřilo se metodou RTK na družice CZEPOS (GPS, GLONASS).

2.4 Měření konstrukčních měř

Při vektorizaci mračna bodů bylo zjištěno, že část hlavní hradby v oblasti B pokrýval břečťan a tudíž nešla v programu Cyclone přesně zvektorizovat (obr. 10). Dalším případem byla část vnější strany parkánové hradby v oblasti D, která se nacházela na parcele č. 439, na kterou jsem se v den měření nedostal, takže tento kus v mračnu bodů chyběl. Podobná situace se stala i na tamtéž místě na vnitřní straně parkánové hradby, kde keř hradbu zakrýval a tím nebylo možné přesně vykreslit, kudy spodní hrana vede. Proto bylo nutné změřit několik konstrukčních měř.



Obr. 10 – Zarostlý kus hlavní hradby v programu Cyclone

Tato poslední část prací v terénu proběhla 30. 4. 2017 za polojasné oblohy a při teplotě 12°C. Na všechny oměrky byl použit buď klasický svinovací pětimetr nebo ruční laserový dálkoměr.

3) Přístrojové vybavení

3.1 Laserový skener FARO Focus3D-X130

Skenovací systém FARO je určen především ke skenování větších vnitřních a vnějších prostor. Jeho pracovní rozsah je 130 m a kromě průmyslu může najít využití i v architektuře, archeologii či kriminalistice. Systém pracuje na bázi fázového dálkoměru. Dálkoměrný svazek dopadá na otáčející se kosé zrcadlo, které jej láme pod úhlem 90°. Zajišťuje se tím skenování prostoru ve vertikálním směru. Aby bylo možné snímat prostor taktéž v horizontálním směru, otáčí se celý skener na podstavci kolem své vlastní svislé osy. Systém může komunikovat s počítačem přes síťové rozhraní Ethernet, ale také má vestavěný i vlastní dotykový displej pro snadné ovládání bez PC a paměťovou kartu pro archivaci dat. Systém je schopný v základním provedení skenovat barevně. (*merici-pristroje.cz 2014*).



Obr. 11 – Laserový skener FARO Focus3D-X130 (*merici-pristroje.cz 2014*)

Parametry: stabilní přesnost *2mm v 25 metrech*

rozsah *0,6 – 130 m*

zorné pole *360° x 300°*

rychlost skenování až *980 000 bodů za sekundu*

rozměry *240 x 200 x 100 mm*

váha *5,2 kg*

dvouosý kompenzátor

(*topgeosys.cz 2016*)



Obr. 12 – Kulové terče na stanoviskách v oblasti B

3.2 Kulové terče

Jejich využití je stejné jako využití odrazných hranolů u totálních stanic. Slouží k určení polohy sousedních stanovisek polygonového pořadu. Postaví se na stativy na sousedních bodech polygonového pořadu a následně se dají jednoduše vymodelovat v programu Cyclone. Mohou se při vhodném rozmístění v měřené oblasti použít i pro přímé propojení sousedních stanovisek, kde nebylo možné

použít polygonový pořad. V terénu bylo využito dvou větších terčů v rámci polygonového pořadu a dvou menších na propojení oblastí A a D.

3.3 Další vybavení

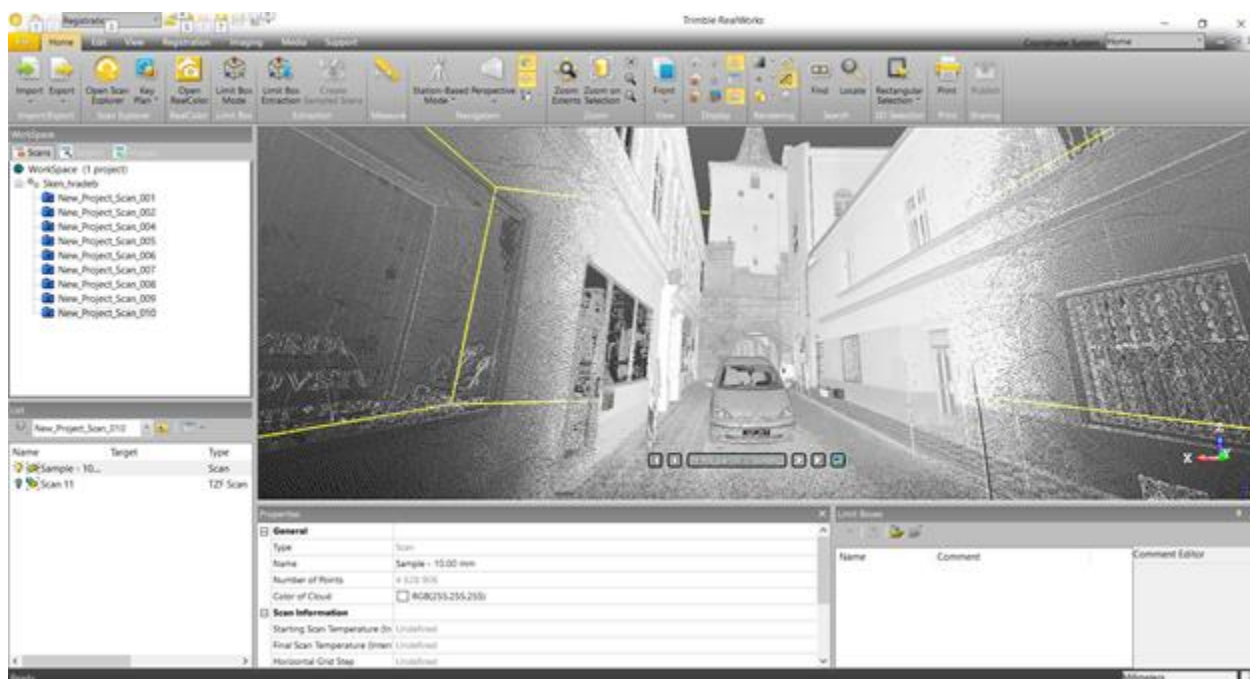
Mezi další vybavení patřily tři geodetické stativy od firmy Trimble a dále pak tři trojnožky na umístění koulí a skeneru. Poslední pomůckou byl mobilní fotoaparát pro zaznamenání zaměřených objektů. Jeho využití bylo důležité pro dokumentaci postupu měření.

4) Zpracování

4.1 Export dat z RealWorks

Hlavním důvodem exportu dat je převedení surových dat naměřených skenerem do počítače a následně do formátu, jenž jde použít pro další zpracování. V případě této bakalářské práce to byl ASCII formát, který po přepsání přípony na .txt lze nahrát do programu Cyclone. Tento formát obsahuje údaje o souřadnicích bodů, jejich barevného zobrazení a hodnoty normál. Při exportu byla nastavena hustota mezi jednotlivými body 10 mm.

Pro export byla navštívena firma Geotronics s. r. o., kde pod vedením Ing. Holíkové byla data exportována do správného formátu. Pro tento účel se využívá programu Trimble RealWorks, jehož pracovní plochu lze vidět na obr. 13. Export není nijak složitý, jen časově hodně náročný. Všech 27 mračen zabralo okolo 3 až 4 hodin.



Obr. 13 – Export dat v programu Trimble RealWorks

4.2 Import dat do Cyclone

V této části zpracování se vkládají exportované datové formáty do programu Cyclone a vytvářejí se u všech skenů ScanWorldy, tj. soubory s mračky bodů odpovídající jednotlivým stanoviskům, se kterými se může dále pracovat.

4.3 Modelování kulových terčů a identických bodů

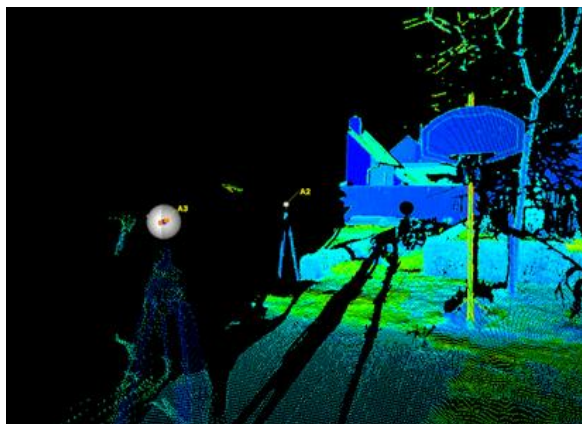
Program Leica Cyclone, ve kterém byla zpracována většina této bakalářské práce, je software pro zpracování 3D mračna bodů v zeměměřictví, inženýrské geodézii, technologických a konstrukčních aplikacích. Základem softwaru je databázová struktura, která zajišťuje rychlou práci s velkými objemy dat. Algoritmy pro modelování objektů společně s knihovnami předpřipravených prvků umožňují přesné modelování. Díky modulární struktuře program zajišťuje celý proces zpracování dat od registrace skenů přes čištění a modelování až po tvorbu výstupů a publikaci dat na internetu. (gefos-leica.cz 2017)

Databáze v programu je naplněná soubory – ScanWorldy - každý z těchto souborů má vlastní ModelSpace, ControlSpace, Scans a Images. V ModelSpace se jednotlivá mračna bodů upravují a čistí, v ControlSpace se nachází data připravená k registraci, v Scans je sken z pohledu skeneru a v Images jsou uloženy fotografie pro obarvení skenů.

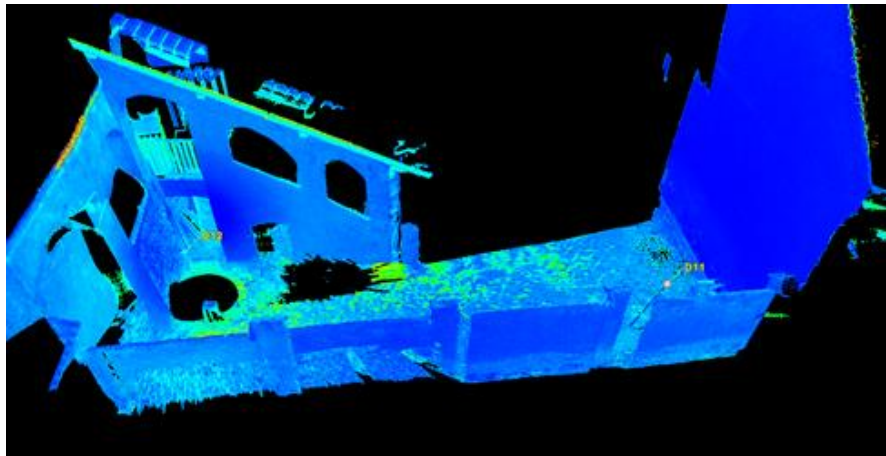
Nejprve bylo nutné v každém ScanWorldu vytvořit ModelSpace a pak se vložily na všechna stanoviska identické body, tzv. vertexy. To je možné přes záložky *Create Object* → *Insert* → *Vertex*. Následně se identické body označily výběrem *Tools* → *Registration* → *Add/Edit Registration Label* a očíslovaly se. Název identického bodu vždy obsahoval označení oblasti (A - D) a číslo/pořadí měření v dané lokalitě (A, B – 1 až 4; C – 1 až 5; D – 1 až 12).

Po této fázi přichází na řadu modelování kulových terčů přes *Create Object* → *Region Grow* → *Sphere*. Před samotným modelováním je však nutné vybrat v mračnu jeden bod, který se nachází na povrchu koule. Kouli je také možné vymodelovat z mračna bodů přes tzv. ohradu. Okolo daných bodů se vytvoří ohrada a spustí se nástroj *Fit Fence* → *Sphere*. Při zpracování byl využit první způsob.

Je nutné zafixovat průměr (anglicky *diameter*) kulových terčů. Velké terče pro správné proložení na stanoviskách měly průměr 0,199 m a malé terče na zdi mezi oblastmi A a D měly průměr 0,145 m. Toto nastavení lze změnit v záložce *Edit* → *Object Preferences*.



Obr. 14 – Označení koulí v oblasti A



Obr. 15 – Označení koulí na posledních dvou stanoviškách v oblasti D

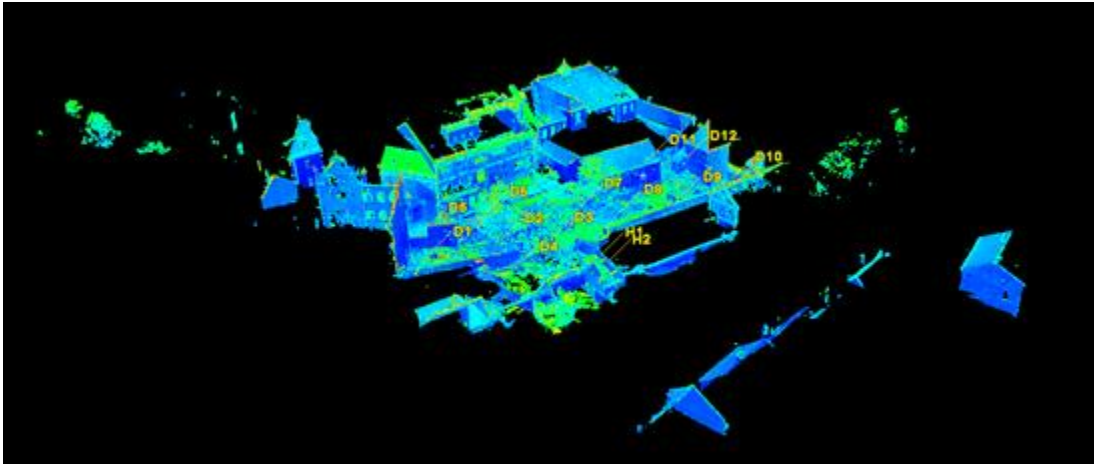
4.4 Registrace jednotlivých oblastí

Po vložení všech identických bodů a kulových terčů je na řadě registrace. To znamená spojení všech mračen bodů z jedné oblasti do jednoho velkého mračna bodů. Nejdříve se však musí z každého ModelSpace zkopírovat mračno bodů do ControlSpace. Tento prostor slouží také k tomu, kdyby při zpracování daného mračna bodů nastala chyba, která by už nešla vrátit, takže se mračno bodů z ControlSpace může zkopírovat do ModelSpace a znovu zpracovat tak, aby k chybě již nedošlo.

V hlavním *Navigator* menu celého programu se založí nová registrace. Po jejím otevření se zobrazí okno, ve kterém se následně bude celá registrace spravovat. Funkcí *Add ScanWorld* se do registrace přidávají všechna mračna bodů z oblasti, kterou chceme spojit. Pokud bychom chtěli nastavit ScanWorld, do jehož souřadnicové soustavy budou všechny ostatní transformovány, tak tento ScanWorld označíme a dáme *Set Home ScanWorld*. Pokud tuto volbu neprovedeme, tak je jako domácí označen první, který jsme vložili do registrace.

Nyní je potřeba zkontrolovat, jestli je u všech mračen bodů v závorce napsáno *Leveled*, tudíž jestli jsou mračna horizontovaná. Toto bylo nastaveno automaticky. Dále se vyhledají identické body a vzájemně se propojí pomocí funkce *Auto-Add Constraints*. Výsledek tohoto propojení lze najít v záložce *Constraints List*. Pokud je vše v pořádku, provede se výpočet registrace pomocí funkce *Register*. Nyní se objeví velmi důležitá informace o chybách u jednotlivých propojení. Chyby by v ideálním případě neměly přesáhnout 10 mm. Spojené mračno bodů může být zkontrolováno v záložce *Registration* → *View Interim Results*. Pakliže jsme s výsledkem spokojeni, označíme v záložce *ModelSpaces* ControlSpace jednotlivých mračen a dáme *Create ScanWorld/Freeze Registration*, čímž se nám vytvoří výsledný ScanWorld, se kterým můžeme dále pracovat. Je však také důležité zmínit, že ačkoli jsou v tomto ScanWorldu

mračna spojená, tak stále s nimi lze pracovat jako s jednotlivými mračny, což je důležitou vlastností při mazání nepotřebných částí mračen v dalším zpracování.

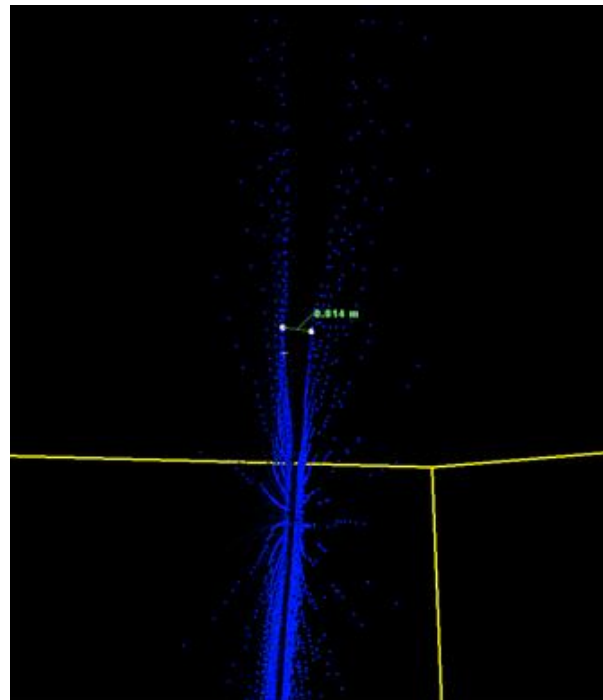


Obr. 16 – Oblast D po registraci

U vypočtené registrace je také možné zobrazení a uložení protokolu o provedené registraci přes záložku *Registration* → *Show Diagnostics*. V protokolech jsou vypsány dosažené odchylky (chyby) na jednotlivých identických bodech, celková průměrná odchylka registrace a transformační klíč pro jednotlivá mračna. Tyto protokoly ze všech registrací jsou uvedené v přílohách č. 1 – 10 a průměrné absolutní odchylky v tabulce 1.

Při zpracování bakalářské práce šly přes identické body spojit pouze oblasti A, C a velká část oblasti D. Stanovisko č. 6 u této oblasti muselo být připojeno přes překrytové území, jelikož z něj nebylo vidět na žádný kulový terč.

Horší situace ale nastala u oblasti B, kde měření ze stanovisek B1 a B2 vykazovalo velké rozestupy mezi mračny bodů. Jak taková situace může vypadat, je názorně vykresleno na obr. 17. Nastalý problém byl vyřešen v programu Geomagic Studio, ve kterém se mnohem lépe spojují mračna bodů přes překrytová území než v programu Cyclone. Jedinou nevýhodou bylo, že došlo ke ztrátě normál bodů při přesunech dat mezi programy. Tato nepříjemnost trochu překážela při vektorizaci tohoto území.



Obr. 17 – Mezera mezi dvěma mračny

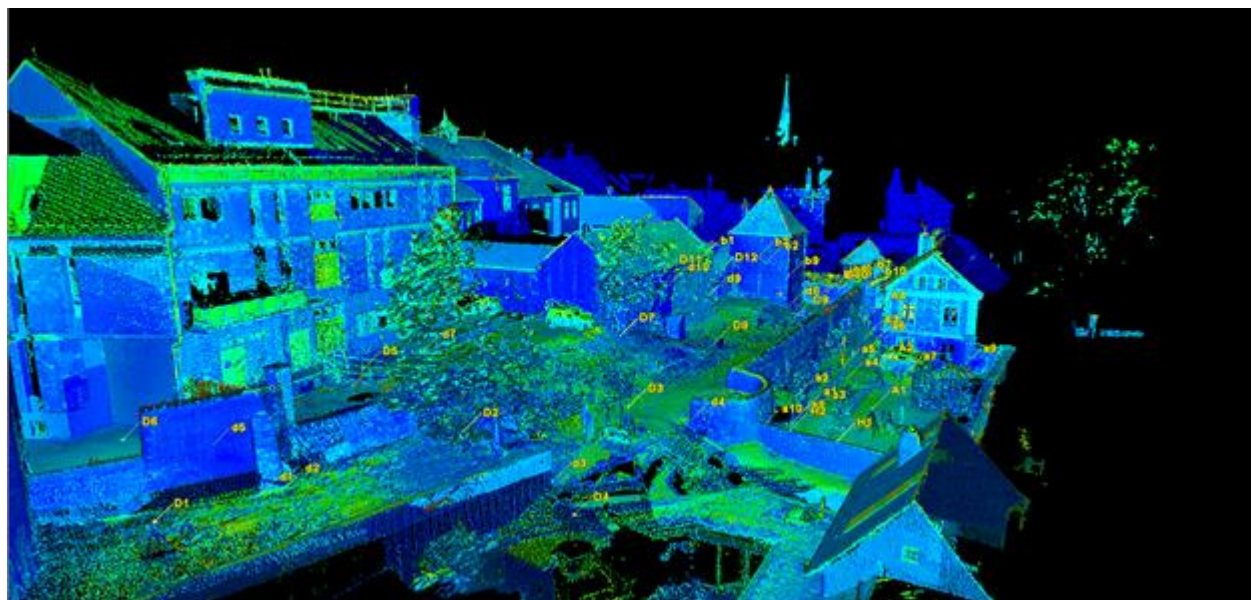
Tabulka 1 – dosažená přesnost všech registrací

Spojené oblasti	Průměrná absolutní odchylka [mm]	Spojené oblasti	Průměrná absolutní odchylka [mm]
A	3	D 11 12	2
C	3	D (celá)	9
D 12345	5	B + D	10
D 123457	1	BD + A	19
D 89 10	4	BDA + C	36

4.5 Registrace celé lokality

Postup je v tomto případě obdobný předchozímu, jen s tím rozdílem, že před samotnou registrací musely být do mračen bodů vloženy názvy a umístění identických bodů zaměřených GNSS. Ty se vkládají stejně jako souřadnice stanovisek, ale v tomto případě se pouze označí příslušné body v mračnu a neudělí se jim žádné souřadnice. Body byly pojmenovány podobně jako stanoviska, pouze místo velkých písmen začínají malými (např. a1 – a10). Následně se z textového souboru se souřadnicemi získanými z GNSS měření vytvoří ScanWorld a u registrace se nastaví jako domácí. Pokud při registraci vyjdou moc velké odchylky, postupně se vyloučí takový počet identických bodů, dokud nevycházejí lépe. Je ale důležité si dávat pozor, aby u každé oblasti zůstalo několik nadbytečných bodů.

Při zpracování se musel z registrace odstranit velký počet bodů, ale nakonec i s využitím překrytových území se podařilo všechny oblasti spojit. Spojování proběhlo postupně – nejdřív oblasti A+D, pak AD+B a nakonec ADB+C (více viz. tabulka č. 1 s velikostmi průměrných absolutních odchylek).


Obr. 18 – Spojené oblasti A+D+B

4.6 Úpravy dat

Před poslední částí zpracování mračna bodů v programu Cyclone se toto spojené mračno upravilo zbavením se nepotřebných bodů, které by při vektorizaci mohly překážet. Mezi tyto rušící prvky patřily hlavně stromy, keře a lidé, popř. také stativy, stojící auta, reklamní stojany a interiéry domů. V mnoha případech se stávalo, že skener nezaměřil pouze fasády domů, ale skrz okna zaměřil body i v místnostech.

Z mračna bodů bylo taktéž odříznuto vzdálenější okolí, které pro model nebylo potřebné a navíc na takovou vzdálenost bylo zaměřené dost nepřesně. Okolo oblastí A, B a D se zachovaly pro vektorizaci nejbližší domy za oběma hradbami a u oblasti C fasády všech domů ve Velvarské ulici. Oříznutí oblastí a rušení nechtěných bodů se dělalo podobně jako výše zmíněný druhý způsob vytvoření kulových terčů – funkcí *Fence* → *Clear Inside*. Touto volbou se zruší všechny body uvnitř ohrady. Pokud bylo vhodnější vymazat body mimo ohradu, tak se použila funkce *Clear Outside*. Je velmi doporučeno dělat všechny tyto úpravy v *Limit Boxu*, neboť tam nepřekážejí okolní body. V záložce *View* → *Set Limit Box By Cursor* se spustí nastavení velikosti *Limit Boxu* (například okolo stromu, jehož střed byl ještě předtím označen funkcí *Seek Mode*) a dané body se vymažou.

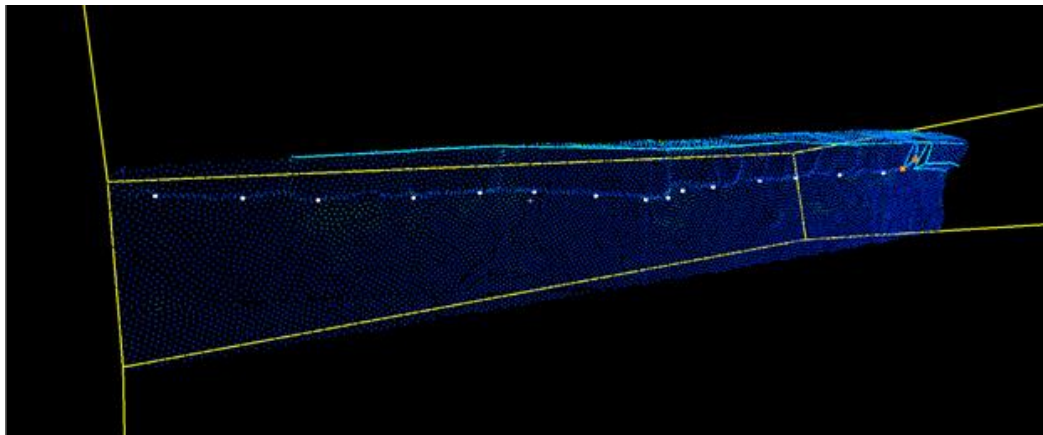
Další důležitou součástí úprav dat je mazání částí jednotlivých mračen bodů, které zasahují do řešených oblastí, ale jsou tak daleko od svých stanovisek, že jejich přesnost je nízká a mají od ostatních mračen velké odchylky, tudíž výrazně překážejí při vektorizaci. Musí se vybrat mračno se vzdálenými body určenými k vymazání a v záložce *Layers* (buď přes menu, či přes klávesy *Shift + L*) se založí nová pomocná vrstva. Tato vrstva se označí a pak se klikne na *Assign*. Když se poté vypne defaultní vrstva, zůstane v okně pouze vybrané mračno bodů. Následně se může špatná část mračna oříznout. Pro návrat zpět do celkového pohledu se znovu vybere toto mračno a přejde se s ním do defaultní vrstvy stejným způsobem jako do té pomocné.

4.7 Vektorizace

Když jsou všechna mračna bodů zaregistrovaná a očištěná, tak nastává poslední fáze zpracování v programu Cyclone - vektorizace. V této části jde o co nejlepší odhad a obkreslení lomových hran u všech zaměřených objektů s pomocí nástroje *Line Segments*. Nejprve je nutné si vytvořit několik vrstev, do kterých se tyto linie budou ukládat, aby následně mohly být v programu Microstation vybarveny plošky mezi nimi různými barvami. Díky tomuto rozdělení bude parkánová hradba vybarvena jinou barvou, než hlavní hradba a půjde tak lépe od sebe rozpoznat účel jednotlivých objektů. Pro model byly vytvořeny tyto vrstvy – Hlavní hradba, Parkánová hradba, Velvarská brána, Černá bašta, Ostatní objekty.

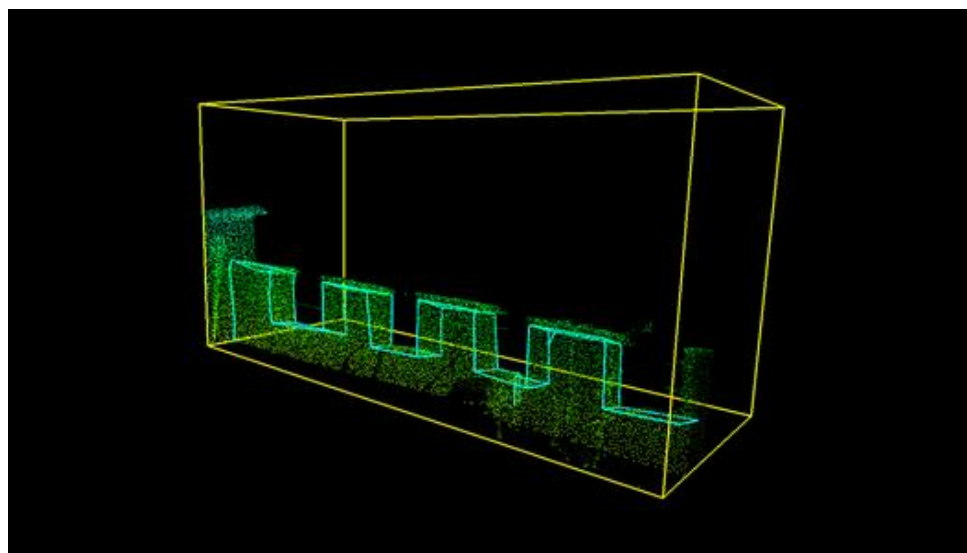
Pro začátek se označila vrstva, do které se budou kreslit linie a dalo se *Set Current*. To nastavilo tuto vrstvu jako výchozí a začalo ukládat veškeré objekty do ní. Bylo potřeba si hlídat přepínání mezi vrstvami, aby se všechny linie ukládaly do správných vrstev.

Nyní již přišla na řadu pouze ta nejdélnější část celého procesu – kreslení linií samotných. K tomu slouží funkce *Multi-Pick Mode* dostupná buď z menu, nebo stisknutím kláves *Shift + P*. Vytvoří se tak všechny body tvořící danou linii a nakonec se dá nástroj *Create Object* → *From Pick Points* → *Line Segment*.



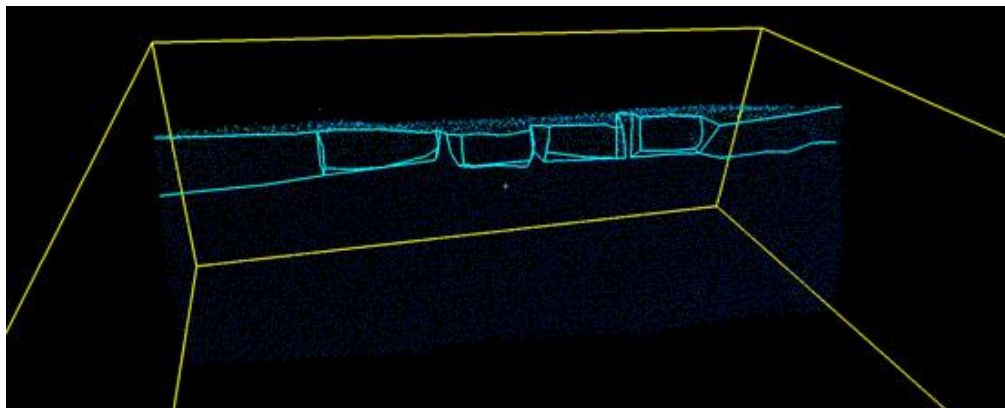
Obr. 19 – Funkce Multi-Pick Mode

Zde se velmi uplatnila fotodokumentace všech naskenovaných objektů, poněvadž ne vždy bylo jasné z mračna bodů, co se na objektech všechno nachází a jestli to je důležité pro výsledný model. Tento případ je vidět na obr. 20 ukazujícím hlavní hradbu, kde bylo rozhodnuto, že se do výsledného modelu nebudou zahrnovat střešní krytiny na hradebních výstupcích.



Obr. 20 – Vektorizace hlavní hradby

Během vektorizace se rozhodovalo také o tom, které objekty se mají dělat co nejpodrobněji a které stačily pouze obkreslit několika jednoduchými liniemi. V případě tohoto modelu byla odpověď zcela jednoznačná – hlavní a parkánová hradba, Černá bašta a Velvarská brána se vykreslily velmi podrobně. Ostatní objekty pak byly zvektorizovány velmi jednoduše. Nakonec bylo nutné si pamatovat, že všechny výběžky a výčnělky z hradeb větší jak 5 cm nebudou ve výsledném modelu vidět, takže se nevektorizují. Toto se ale netýkalo vrchního pokrytu východní části parkánové hradby, jelikož byl tvořen velkými kameny a jak ukazuje obr. 21 i ty musely být zvektorizované.



Obr. 21 – Vektorizace vrchního pokrytu parkánové hradby

4.8 Modelování

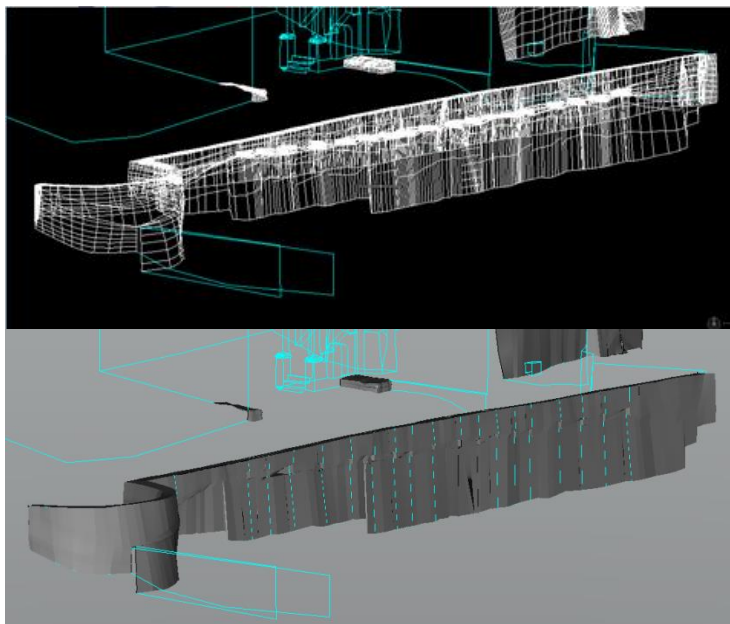
Poslední částí celého zpracování bylo modelování, které probíhalo v programu Microstation V8i. V něm lze vymodelovat plochy mezi liniemi/křivkami vytvořenými v programu Cyclone a to buď nástrojem *Surface by Corner Points*, nebo nástrojem *Surface by Network of Curves*. Oba nástroje se nacházejí v Toolboxu *Surface Modeling* a jsou si výslednou vizualizací podobné, ale použitím zcela rozdílné.

Surface by Corner Points je nástroj, který byl použitý ve chvíli, kdy se mohl mezi liniemi vytvořit trojúhelník nebo čtyřúhelník. V případě čtyřúhelníku byly postupně označeny jeho vrcholy (rohové body) a mezi nimi byla vytvořena čtvercová síť. V případě trojúhelníku se jako čtvrtý bod musel vzít střed jedné z linií.

Surface by Network of Curves je nástroj, který byl použitý ve chvíli, kdy bylo výhodnější vytvořit najednou větší plochu ohraničenou více liniemi. Nejdříve se však musely vytvořit řetězce těchto linií pomocí nástroje *Create Complex Chain*. Tím byly označeny jednotlivé linie tvořící řetězec a spojeny v jednu křivku. Následně bylo důležité si uvědomit, které křivky se využijí ve více plochách, neboť hlavní nevýhodou nástroje *Surface by Network of Curves* je, že smaže všechny křivky, které plochu ohraničují. Křivky se zkopírují, posunou se zpátky na původní pozici a tím je zaručeno jejich zachování. Nástrojem pro vykreslení plochy se označily dvě řídicí

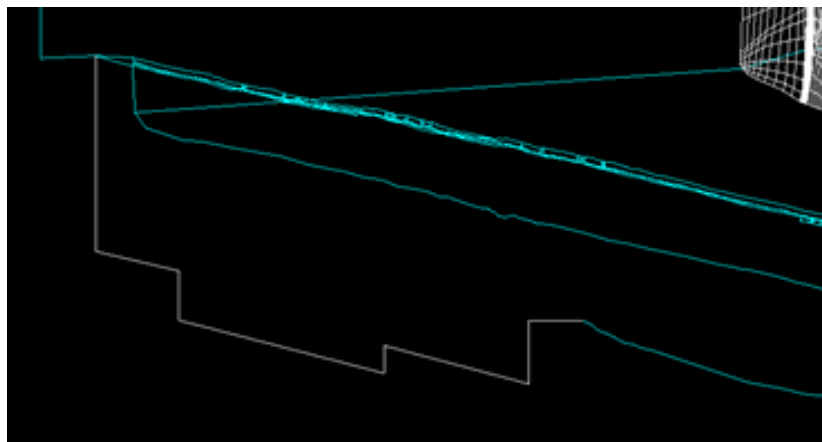
protilehlé křivky a poté dvě křivky ukončující tyto dvě řídící, čímž byla vytvořena čtvercová síť. Tento způsob byl použit u naprosté většiny ploch.

Práci s liniemi a prohlížení výsledných ploch bylo možné přepínat v záložce *View Attributes* → *Display Style* → *DWG Wireframe* (drátový model) nebo *Smooth: Modeling* (vizualizace ploškového modelu).



Obr. 22 – Tvorba ploškového modelu parkánové hradby (vizualizace ve vrstvách DWG Wireframe a Smooth: Modeling)

V Microstationu se také používal nástroj *Create SmartLine*, díky kterému se mohly dokreslit chybějící linie nebo linie, které nebyly zkopírovány, protože se použily pro výkres plochy sítí křivek a následně bylo zjištěno, že bude potřeba je využít u další plochy. Dále se zde nakreslily konstrukční míry získané z dodatečného měření. V Toolboxu *Drawing* se zvolil nástroj *Place Line* a v něm se dala navolit velikost linie a její orientace. Při tvorbě linií se mohl měnit pohled na výkres nástrojem *Rotate View* → *Method* → *Dynamic/Top/Front/Right/Isometric ...*



Obr. 23 – Část parkánové hradby vytvořená z konstrukčních měr

4.9 Kontrolní měření

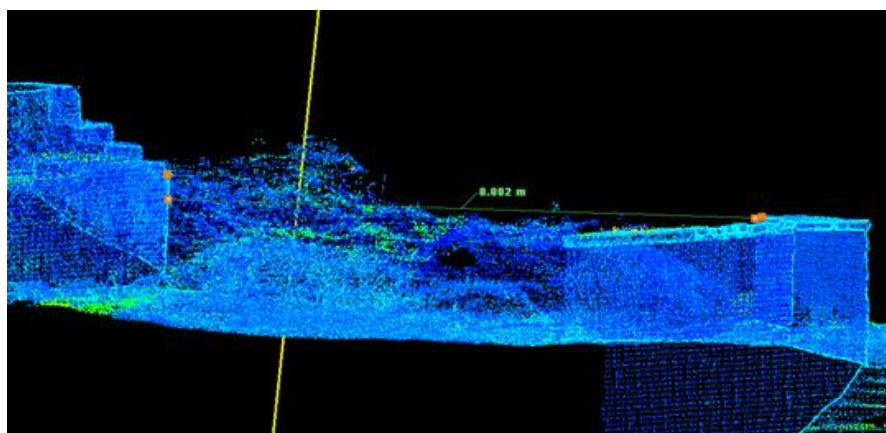
Po vytvoření modelu bylo nutné provést kontrolu, jestli vzdálenosti mezi vymodelovanými objekty odpovídají skutečnosti. Byly pro to vybrány délky křížující oblast D (v této oblasti bylo spojeno nejvíce mračen bodů a je stěžejní pro celý model). Délky ve skutečnosti v porovnání s délkami z modelu jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Tabulka 2 – kontrolní oměrky

Délka	Délka ve skutečnosti [m]	Délka z modelu [m]	Rozdíl délek [mm]
1	8,08	8,082	-2
2	21,28	21,293	-13
3	6,54	6,588	-48
4	12,77	12,755	15
5	11,68	11,702	-22
6	11,73	11,772	-42
7	6,28	6,296	-16
8	8,75	8,761	-11
9	13,19	13,189	1
10	5,80	5,833	-33

$$\text{Směrodatná odchylka měření: } m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i \cdot d_i}{n}} = 25,3 \text{ mm},$$

kde d_i ... rozdíl délek měřené i-té délky
 n ... počet měření.



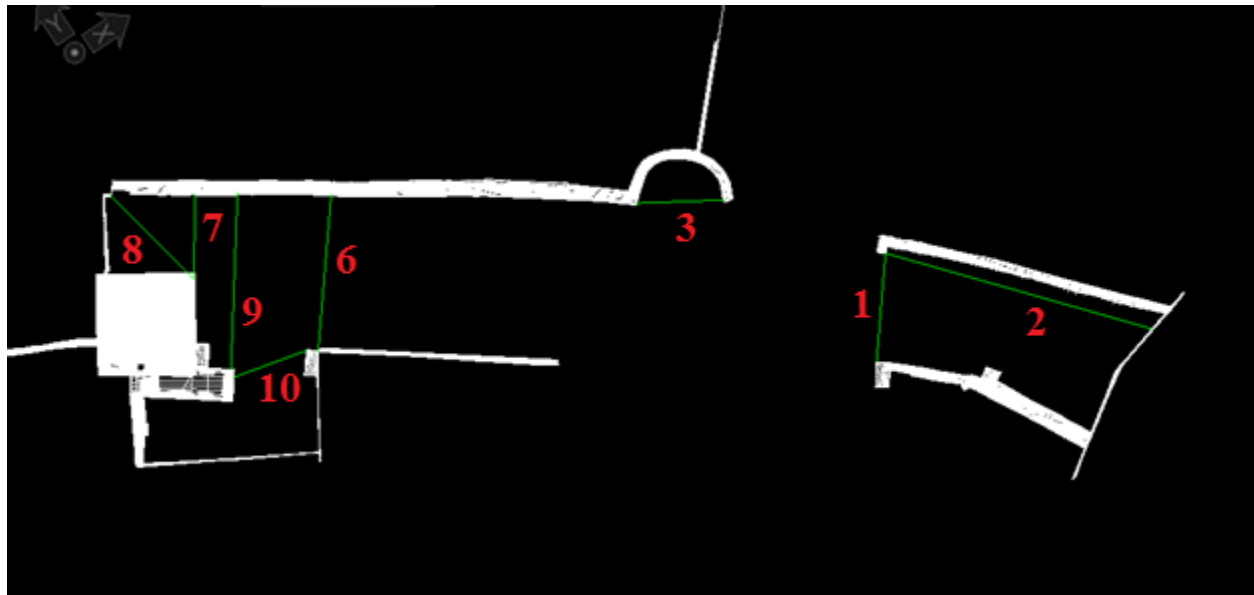
Obr. 24 – Kontrolní oměrka č. 1

Měření proběhlo 16. 5. 2017 za polojasné oblohy a teploty kolem 18°C. Všechny oměrky byly změřeny ručním laserovým dálkoměrem. Vybrány byly tak, aby se dala zkontrolovat polohová přesnost všech objektů v modelu. Poloha počátečních a koncových bodů všech délek je

uvedena v tabulce č. 3 a graficky na obr. 25. Koncové body délek č. 4 a 5 však nebyly vymodelovány, takže v grafickém přehledu se nevyskytují.

Tabulka 3 – Poloha počátečních a koncových bodů kontrolních oměrek

Délka	Počáteční bod	Koncový bod
1	horní roh kamene na parkánové hradbě	uprostřed rohové hrany na konci hlavní hradby
2	horní roh kamene na parkánové hradbě	hromosvod na stěně městského archivu, zhruba metr od parkánové hradby
3	horní roh půlkruhové bašty	protilehlý horní roh půlkruhové bašty
4	1. díra v park. hradbě od půlkruhové bašty – horní levý roh	dolní přední roh výstupku z budovy pošty orientovaný k hlavní hradbě
5	1. díra v park. hradbě od půlkruhové bašty – horní levý roh	levý dolní roh výstupku z budovy pošty orientovaný k park. hradbě
6	12. díra v park. hradbě od půlkruhové bašty – horní levý roh	spojnice budovy pošty a části hlavní hradby
7	1. díra v park. hradbě od Černé bašty – horní pravý roh	levý horní roh výstupku ze zdi Černé bašty
8	uprostřed rohové hrany na konci parkánové hradby	levý horní roh výstupku ze zdi Černé bašty
9	3. díra v park. hradbě od Černé bašty – horní pravý roh	spodní pravý roh pokryvu pravé zídky u schodů na Černou baštu
10	pravý horní roh 1. schodu na Černou baštu	rohová hrana části hlavní hradby



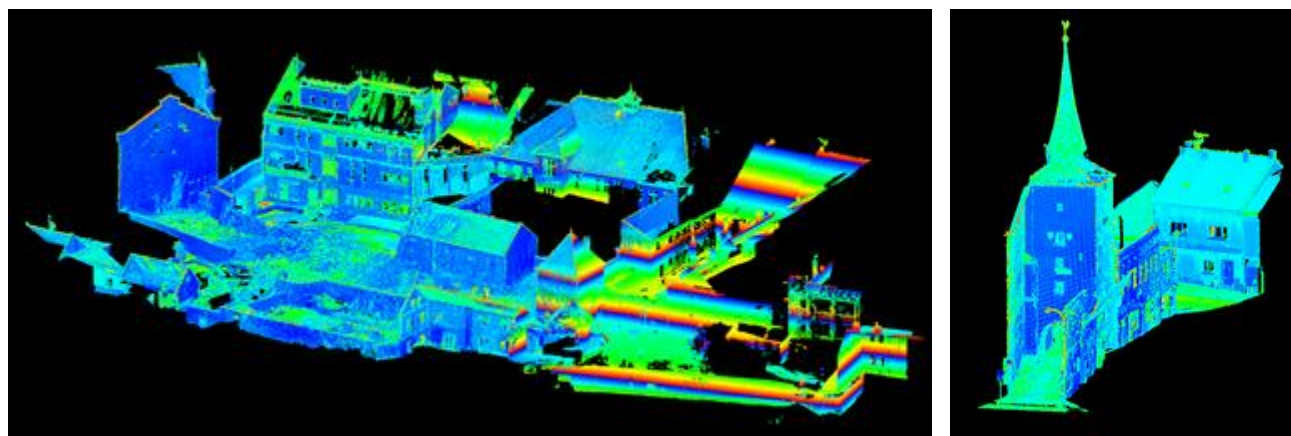
Obr. 25 – Rozmístění kontrolních oměrek (bez oměrek č. 4 a 5)

5) Výsledky

Výsledkem této práce je zregistrované mračno bodů z programu Cyclone a drátový a ploškový model z programu Microstation.

5.1 Mračno bodů

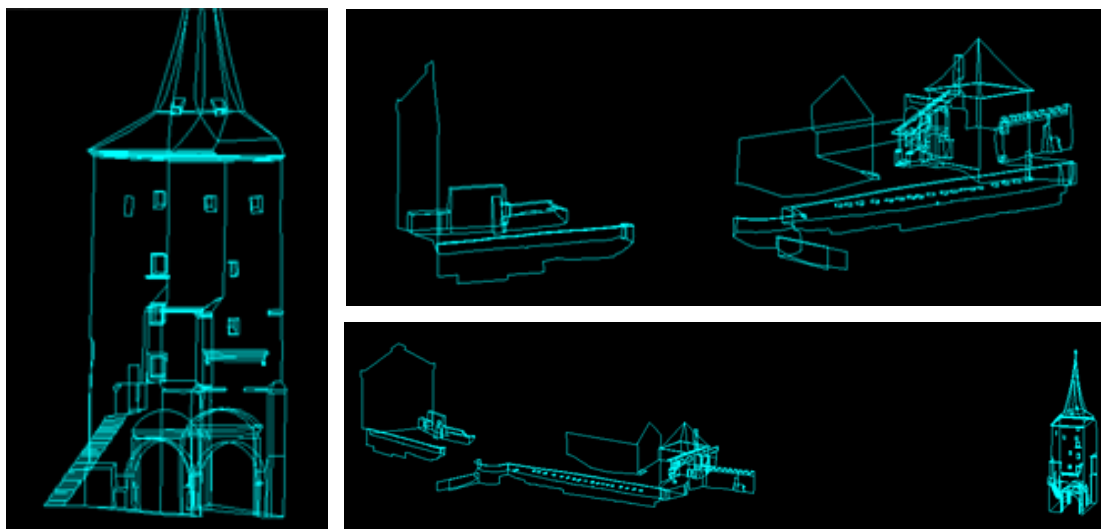
Mračno bodů obsahuje všechny fortifikační prvky, blízké domy a terén mezi jednotlivými objekty. Mračno bodů je uvedeno v příloze b) Mračno bodů v textovém formátu obsahujícím souřadnice XYZ.



Obr. 26 – Výsledné mračno bodů všech oblastí

5.2 Drátový model

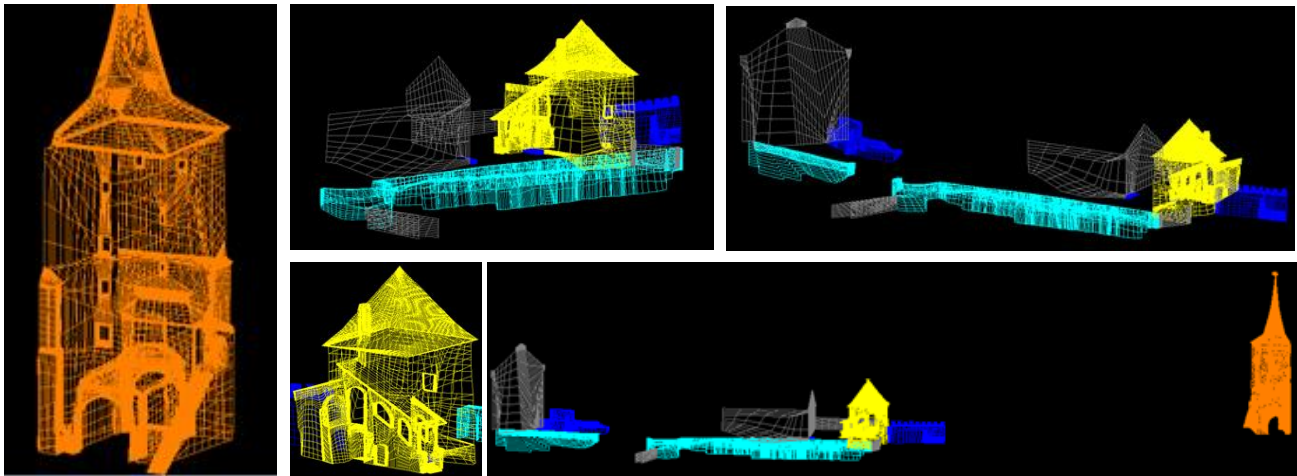
Model zahrnuje pouze zájmové objekty a zjednodušeně i nejbližší zdi a fasády domů a je uveden v příloze c) Drátový model ve formátu DGN a v příloze d) ve formátu PDF.



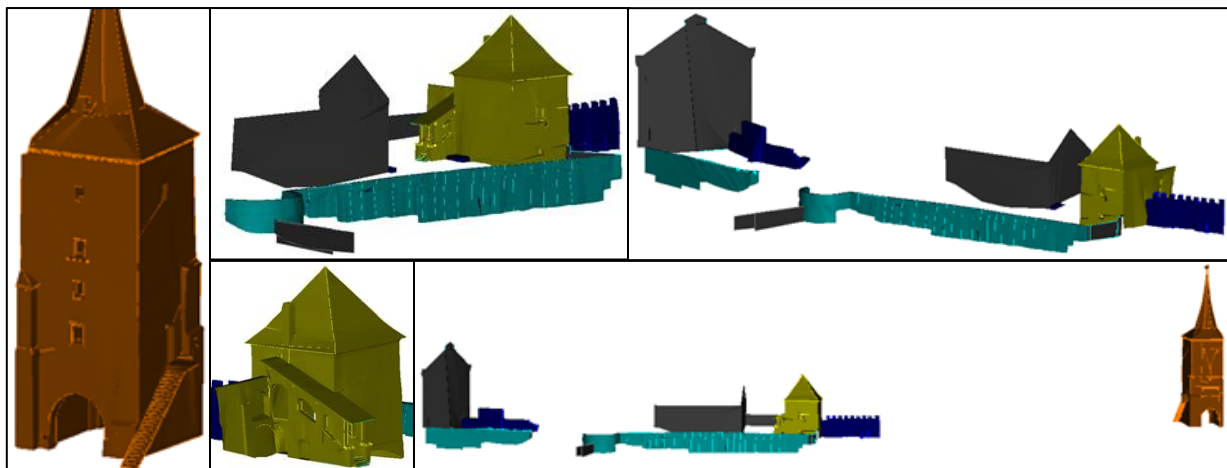
Obr. 27 – Výsledný drátový model všech objektů

5.3 Ploškový model

Model zahrnuje pouze zájmové objekty a zjednodušeně i nejbližší zdi a fasády domů v ploškové formě. Ploškový model je uveden v příloze e) Ploškový model ve formátu DGN a v příloze f) ve formátu PDF.



Obr. 28 – Výsledný ploškový model všech objektů (bez vykreslených plošek)



Obr. 29 – Výsledný ploškový model všech objektů (s vykreslenými ploškami)

Závěr

Cílem práce bylo vyhotovení prostorového modelu části slánského opevnění. K zaměření byla zvolena metoda laserového skenování. Model byl vytvořen ve dvou verzích – drátový a ploškový. Výstupem práce je i zregistrované mračno bodů zaměřených oblastí. Vše je uvedeno na příloženém DVD.

Největší dosažená průměrná absolutní odchylka při registraci byla 36 mm, což se ale tolik neprojevovalo na polohové přesnosti, neboť směrodatná odchylka kontrolních oměrných byla 25 mm.

Při zpracování nastalo nejvíce problémů u vektorizace, jež byla velmi zdlouhavá a náročná. Hledání správných bodů na lomových hranách objektů mezi miliony dalších bodů při překrytu více mračen bylo hodně obtížné. Tato práce zabrala několik desítek hodin. Přesto je laserové skenování v tomto případě tou nejvhodnější metodou měření, poněvadž pokud se v terénu podaří dodržet všechny postupy, tak nehrozí vážnější odchylky a nezaměření všech prvků.

Použité zdroje

Cyclone [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.gefos-leica.cz/cz/leica/produktyl/84/cyclone>

FARO Focus3D-X130 Laser Scanner [online]. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://www.merici-pristroje.cz/faro-focus3d-x130-laser-scanner/>

Fotogalerie Slaného - IV.část [online]. [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: <http://www.meuslany.cz/cs/o-meste-slanem-a-okoli/mesta-a-obce-v-regionu/slany/fotogalerie-iv/>

Historické opevnění města Slaný [online]. [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: <http://www.meuslany.cz/cs/o-meste-slanem-a-okoli/historie/slany-a-cechy/opevneni-mesta/>

KOMPLETNÍ NABÍDKA GEODETICKÝCH A STAVEBNÍCH PŘÍSTROJŮ [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.topgeosys.cz/prodej/geo/skenery/>

Kubánek, V. (2012): Královské město Slaný na pozadí historie (I.) (L.P. 750 – 1945). Tribun EU.Brno.

Kuča, K. (2004): Města a městečka v Čechách, na Moravě a ve Slezsku. VI. díl Pro – Sto. – Nakladatelství Libri, Praha.

Křesadlo, (1994): Slaný od prvních zpráv do Bílé hory. – *In*: Skálová, R. (*ed.*): Kniha o Slaném, 43-64. Slaný.

Mapy.cz [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=14.0882309&y=50.2315962&z=19&l=0&base=ophoto>

Město Slaný v hradbách - 1.část: U bývalé Lounské brány [online]. [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: <http://www.slanskelisty.cz/sl/historie/22-07-ubyvale.php>.

Parkán [online]. [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Park%C3%A1n>.

Pražská brána [online]. [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: <http://muzeum.slansko.cz/aktuality/files/prazska-brana.html>

Razím, V. (1997): Opevnění města Slaného v minulosti a dnes. – *In*: Kuchyňka, K. (*ed.*): Slaný, české město ve středověku, Sborník příspěvků z kolokvia k 700. výročí královského města Slaného, 26-34. Praha.

Teorie fungování terestrických skenovacích systémů [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://k154.fsv.cvut.cz/vyuka/geodezie/lsk.php>

Velc, F. (1904): Soupis památek historických a uměleckých v politickém okrese slánském. – Archaeologická kommise při České akademii císaře Františka Josefa pro vědy, slovesnost a umění, Praha.

Žemlička, J. (1997): Slaný – opožděné založení jednoho královského města. – *In*: Kuchyňka, K. (ed.): Slaný, české město ve středověku, Sborník příspěvků z kolokvia k 700. výročí královského města Slaného, 4-11. Praha.

Seznam příloh

Všechny přílohy jsou dostupné na přiloženém DVD.

- a) Protokoly o registracích jednotlivých oblastí ve formátu TXT.
- b) Mračno bodů ve formátu TXT.
- c) Drátový model ve formátu DGN.
- d) Drátový model ve formátu PDF.
- e) Ploškový model ve formátu DGN.
- f) Ploškový model ve formátu PDF.