

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Studijní program GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

Obor GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A GEOINFORMATIKA

Katedra Geomatiky



Výstupy odvozené z detailních 3D modelů historických objektů/míst – specifika tvorby pro účely stavebněhistorických bádání

Bakalářská práce

Autor: **Vojtěch Cehák**

Vedoucí práce: **Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.**

Akademický rok: **2017/2018**

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité prameny a literaturu, ze kterých jsem čerpal.

V Praze dne

.....

Vojtěch Cehák

Poděkování

Rád bych věnoval poděkování Ing. Jindřichu Hodačovi, Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce, za odborné vedení, cenné rady, konzultace, připomínky, a především za trpělivost a přátelský přístup, které mě dovedly k odevzdání této práce a rozšířily mé vědomosti v oboru.

Dále byl chtěl poděkovat všem konzultantům, kteří mi věnovali svůj čas a zapůjčili vhodnou literaturu – Ing. Filip Špaček, doc. Ing. Michael Rykl, Ph.D., Ing. Tomáš Lendvorský a Ing. Tomáš Janata, Ph.D.

A velký dík patří i mé rodině za podporu a ohleduplnost po celou dobu studia, děle Petře Plzákové, Matouši Kratochvílovi, Bc. Davidu Sládkovi a Bc. Ladislavu Knotkovi za zlepšení nálady vždy, když to bylo potřeba.

Abstrakt

Práce se zabývá podrobnou analýzou parametrů hypsometrického plánu jako jednoho z technických výstupů pro stavebněhistorická bádání. Testuje různá řešení vzhledu a rozložení a snaží se nalézt ideální parametry výstupu. Dále nabízí stručné návody a popisy schopností zvoleného software vedoucí k vytvoření hypsometrického plánu s danými parametry. Ze všech programů jsou nakonec vybrány čtyři, s pomocí kterých jsou vyhotoveny vzorové výkresy a videonávod se záznamem celého postupu. Použita jsou data z pozemního laserového skenování – mračno bodů druhé brány hradu Andělská Hora (okres Karlovy Vary), testování je prováděno na stěnách tohoto historického objektu. Práce je vhodná pro pracovníky památkového ústavu ČR.

Klíčová slova: laserové skenování, barevná hypsometrie, mračno bodů, software, návod

Abstract

The thesis deals with a detailed analysis of a hypsometric plan as a one of possible technical outputs for research of historical buildings. It tests various solutions of appearance and layout and it tries to find out optimal parameters of the output. Furthermore, it offers brief manuals and descriptions of capabilities of chosen software leading to creation of the hypsometric plan with that parameters. There are created model drawings using four chosen programs as well as a video manual recording the whole process. The data used in this project came from terrestrial laser scanning – a point cloud of the second gate of Andělská Hora castle (district Karlovy Vary), the testing is performed at walls of this historical building. The thesis is appropriate for staff of the National Heritage Institute of the Czech Republic.

Key Words: laser scanning, hypsometric tinting, point cloud, manual

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Barevná hypsometrie jako podklad pro stavebněhistorická bádání	8
2.1	Hypsometrie obecně.....	8
2.2	Teorie barev, funkční dělení barevných škál.....	9
2.3	Členění mračna bodů, úroveň detailu	15
2.4	Volba referenční roviny	17
2.5	Vizualizace mračna bodů.....	19
2.6	Shrnutí.....	20
3	Srovnání software	21
3.1	Software pro zpracování mračna bodů	21
3.1.1	Trimble RealWorks	21
3.1.2	CloudCompare	23
3.1.3	Leica Cyclone	25
3.1.4	Geomagic Studio	25
3.1.5	Matlab	25
3.2	Software pro vizualizaci barevné hypsometrie.....	26
3.2.1	Trimble RealWorks	26
3.2.2	CloudCompare	29
3.2.2.1	Transformovaný souřadný systém	29
3.2.2.2	Obecný souřadný systém	32
3.2.3	Surfer.....	32
3.2.4	ArcMap.....	35
3.2.5	Leica Cyclone	37
3.2.6	Autodesk AutoCAD	40
4	Optimální pracovní postup.....	43
4.1	Pracovní postup vzniku hypsometrického plánu	43
4.2	Úpravy v programu AutoCAD	44
4.3	Výstupy, vizualizace	44
5	Použitý software, oslovení konzultanti.....	45
5.1	Oslovení konzultanti	45
5.2	Použitý software	45
6	Závěr	46
7	Literatura.....	47
8	Seznam obrázků.....	48
9	Seznam příloh.....	49

1 Úvod

Digitální podoba dokumentace valné většiny objektů je v současné době standardem, a to i mimo prostředí stavebnictví. Z toho důvodu roste zájem o tvorbu takové dokumentace i u objektů historických, ať už pro účely rekonstrukce či pouze pro případ poškození. Právě u těchto objektů je absence technické dokumentace častým problémem.

Řada bakalářských prací se zabývá zpracováním přesných 3D modelů historických objektů. Nicméně forma vizualizace těchto prostorových dat nemá jasný směr a často se objevují chyby, které mohou výstup učinit nejasným či chybným. To je způsobeno jednak neznalostí pravidel pro tvorbu nebo neznalostí všech dostupných programů a jejich schopností, a to z důvodu neexistující souhrnné metodiky na toto téma.

Jedna z takových prací je bakalářská práce Ledecké K. (2018). Je nutno říci, že tato práce je z měřického hlediska velmi dobře zpracována, ale z časových důvodů nezbyl čas na detailní prostudování možností dostupného software pro tvorbu výstupů. Proto byly výstupy vyhotoveny prvním funkčním způsobem. To je škoda, neboť software má často mnohem větší potenciál a vizualizace jsou tak zatíženy určitými nedostatky.

Tato práce se zabývá analýzou a testováním parametrů jedné z vizualizací používané pro historické objekty, a sice **barevné hypsometrie stěn**. Námět vznikl ze zmíněné práce Ledecké K. (2018), kde byl tento výstup použit bez hlubší analýzy. Zde byla použita shodná data – laserový sken druhé brány hradu Andělská Hora (okres Karlovy Vary), který prošel základními úpravami, jako je registrace, georeferencování, čištění šumu a ředění bodů.

Cíle práce:

- Analýza a stanovení pravidel pro tvorbu hypsometrického plánu u stavebněhistorických bádání
- Prozkoumat možnosti tvorby hypsometrického plánu pomocí dostupného software, zhotovit stručný přehled možností
- Vytvořit podrobnější popis technologie tvorby vyhodnocené jako optimální
- Vytvořit videonávod snímající obrazovku při tvorbě výstupu zvoleným způsobem

Cílem je vytvořit jakýsi rámeček pro správnou a efektivní tvorbu hypsometrického plánu pro stavebněhistorická bádání. Originalita práce spočívá v seskupení potřebných návodů na jedno místo (návodů k jednotlivým programům sice existují, ale nejsou ucelené a jejich hledání je zdlouhavé).

Práce je vhodná především pro pracovníky památkových ústavů v České republice, kterým je zde nabídnut jeden z možných výstupů (kromě běžných řezů, půdorysů aj.) a návod, jak ho se znalostí běžného uživatele vytvořit. Stručné popisy jsou uvedeny pro všechny testované programy, aby bylo možné se přizpůsobit různému softwarovému vybavení zpracovatelů. Ti by pak měli být schopni z výstupu vyčíst hrozící pohyby a deformace historického objektu.

V první části práce (kapitola 2) jsou analyzována pravidla pro optimální vzhled hypsometrického plánu. V dalších částech jsou pak popsány možnosti vybraných programů a jak v nich dosáhnout co nejlepšího výsledku. Postupy jsou rozděleny na část pro zpracování mračna bodů (kapitola 3.1) a část o samotné tvorbě hypsometrického plánu (kapitola 3.2). Na konci práce (kapitola 4) je popsán postup zvolený jako nejlepší, jeho úskalí a výsledné vizualizace.

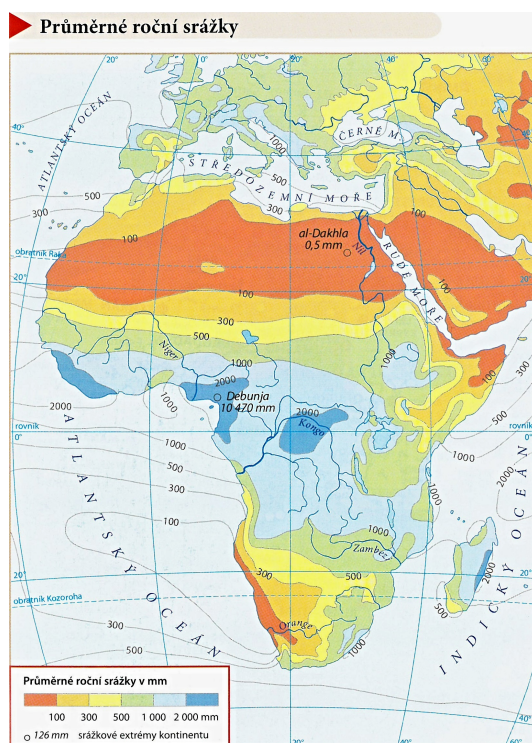
2 Barevná hypsometrie jako podklad pro stavebněhistorická bádání

Pro tvorbu výstupů barevné hypsometrie zdi objektu bylo nutné testovat a získat ideální parametry, například barvy pro vizualizaci, správné definování referenční roviny, velikost bodu, stupeň detailu atp. Testování a výběru takových parametrů se věnuje tato kapitola. Je důležité zdůraznit, že jsou použita data z pozemního laserového skenování – tedy **mračno bodů**. K záznamu podobných dat lze použít také metody fotogrammetrie. K výstupu lze též použít i model plošný (síťový), postup je potom odlišný.

2.1 Hypsometrie obecně

Barevná hypsometrie je jednou z kartografických metod znázornění výšek pomocí výškových stupňů (vrstevnic), jejichž mezilehlá plocha (výškový stupeň) je vyplněna barevně podle příslušné barevné stupnice v legendě. Běžně se používá i pro záporné hodnoty – hloubkové stupně (Bláha, 2017). Je to metoda pro mnohé lidi velice názorná, a to i proto, že vzhledem připomíná vrstevnice, ze kterých vychází (Hojovec, 1987). V mapách jde o další vrstvu mimo mapové značky a popis, která vnáší nové informace, aniž by mapu výrazně obsahově zatěžovala. Běžný příklad výstupu (mapy) s použitím barevné hypsometrie je na obr. 1 (Školní atlas světa).

V této práci není tato metoda použita kartograficky, ale také zobrazuje odchylky (výšky) barevnou stupnicí, a proto se na ni pravidla této metody též vztahují. Následující stránky se zabývají zkoumáním těchto pravidel a zda je jejich použití možné i v takové úloze, jako je tvorba hypsometrického plánu zdi historického objektu.



Obrázek 1: Příklad barevné hypsometrie – Školní atlas světa
Zdroj: Kartografie Praha

2.2 Teorie barev, funkční dělení barevných škál

Práce s barvami se liší podle toho, zda má zobrazovaný jev charakter kvalitativní či kvantitativní. V prvním zmiňovaném případě se jedná o jevy číselně neporovnatelné (kategorie – např. druhy ovoce pěstované v krajích ČR) a je vhodné je odlišit tónem barvy. V případě druhém jde o jevy vyjádřitelné číselně (např. objem pěstovaného ovoce nebo zeměpisné souřadnice) a vzájemně porovnatelné. Takové jevy se obvykle zobrazují pomocí jedné barvy o různém jasnosti a sytosti s tím, že sytější barvy vyjadřují vyšší hodnoty (Hojovec, 1987). Výběr oné barvy, jejíž sytost se bude měnit, je také důležitý. Barva by měla být asociativní, tedy být si co nejblíže se svou skutečnou barvou v přírodě (například les – zelený, hloubka – modrá atp.). To nemusí platit u ustálených či standardizovaných stupnic (například geologická mapa). Zároveň je dobré mít na paměti, že příliš světlé barevné odstíny mohou splývat s bílým papírem, pokud se octnou na okraji mapy. Pokud je nutné použít barev více, měly by se nacházet ve stejné části barevného spektra, protože to působí lépe na lidské oko (nedodržení tohoto pravidla není hrubou chybou, ale mapa potom pro lidské oko vypadá zvláště).

Ideální barvy vybrané pro tento projekt kombinují všechny výše zmíněné faktory. Jev (délkové odchylky od roviny) byl sledován částečně kvalitativním i kvantitativním, protože kromě samotné hodnoty odchylky musí zobrazovat ještě směr, kterým je bod odchýlen. Byl vybrán přechod z modré (záporné hodnoty) přes tmavě žlutou do červené (kladné hodnoty). Tyto tóny jsou sice ve spektru od sebe daleko, ale znázorňují jevy opačné (plus a minus), což je asociativní ať už v politice, v počítačových hrách nebo v meteorologii. Modrá barva znázorňuje záporné hodnoty a červená kladné. To kvůli ustálené stupnici používané pro digitální modely terénu a topografické mapy (přechod z modrého moře přes zelené nížiny do hnědých až červených pohoří), z kterých má člověk podle Kimerling, et al. (2012) obecnou barevnou asociaci, že objekty s modrou barvou jsou hlouběji (daleko) a naopak ty červené blíže. Doprospěšně byla vybrána barva žlutá, protože je ve spektru mezi červenou a modrou barvou. Je také světlá (znázorňuje nízké hodnoty odchylky), ale není světlá příliš, aby nesplývala s bílým podkladem (který u mračna bodů prosvítá i na mnoha místech mimo okraj). Dle Hojovce (1987) jde o stejnou myšlenku, kterou používali průkopníci kartografie F. E. Hauslab a K. Peucker – blízké předměty vytvářejí intenzivnější vjem barev, tedy „čím vyšší, tím tmavší“.

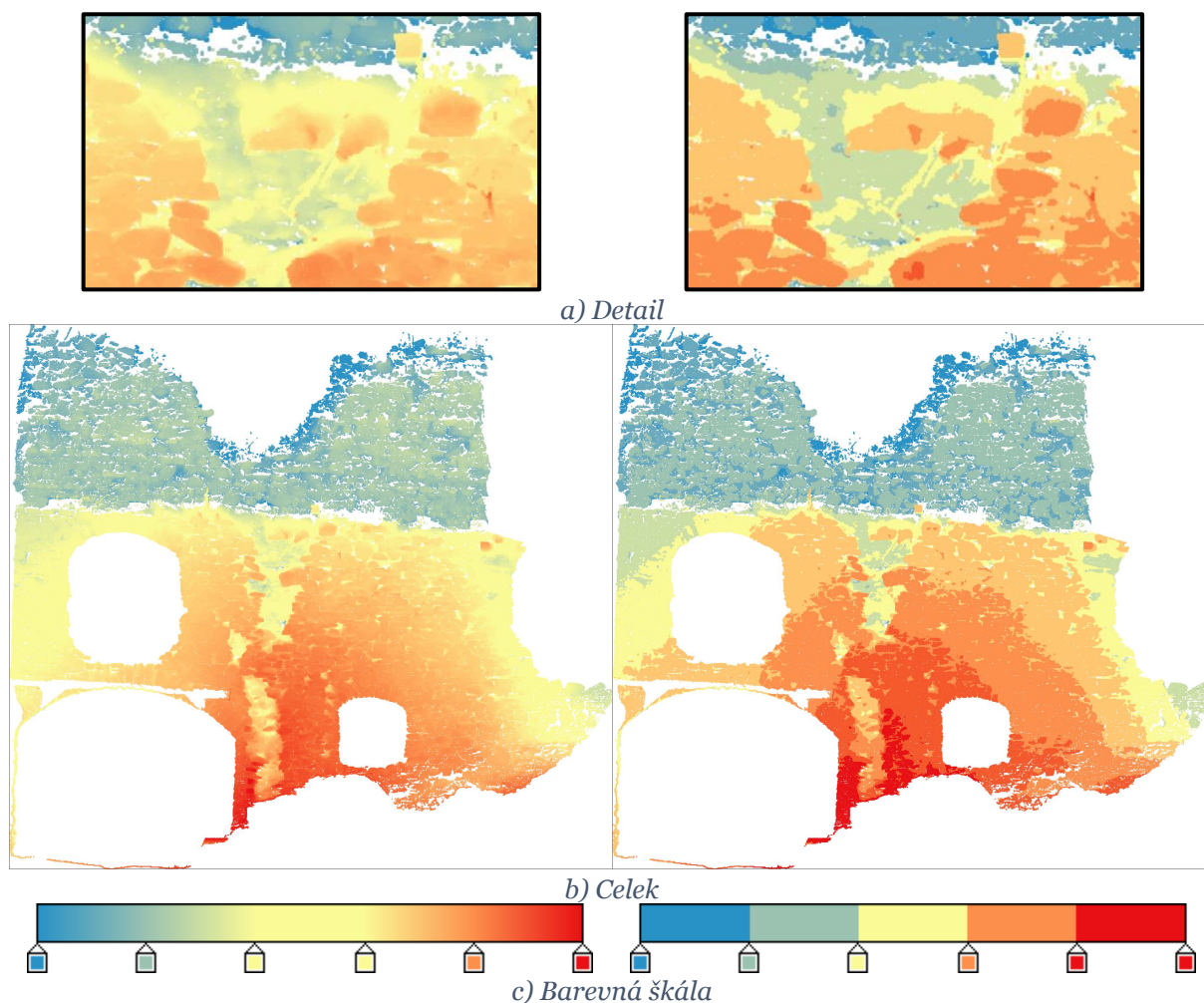
Jedná se o podobné barvy, které použila ve své práci Ledecká K. (2018). Ta se takovémuto rozbořením z časových důvodů nezabývala a vytvořila hypsometrický model, který bohužel obsahuje některé chyby (spojitost stupnice, příliš světlý střed aj.). Výsledná stupnice je na obr. 2 a je použita k tvorbě finálních výstupů v kapitole 4.



Obrázek 2. Spojitá varianta stupnice vyhodnocené jako nejlepší pro tento projekt

Další předmět zkoumání v této oblasti byl počet barev, na který se rozdělí onen barevný přechod červená-žlutá-modrá. Je možné zachovat stupnici spojitou, ale jak je vidět na obr. 3, plynulý přechod mezi barvami sice dává jakýsi základní přehled o tvaru zdi, ale výsledky jsou matoucí a rozdíly se slévají do sebe. Kimerling, et al. (2012) říká, že spojitě zobrazení (Continuous hypsometric tinting) má tu výhodu, že každému bodu přiřadí takovou barvu, která přesně vystihuje hodnotu jeho odchylky. To je rozdíl od třídění bodů do diskrétního počtu intervalů, které provádí určité zobecnění a u bodu nelze zjistit jeho přesnou odchylku, ale pouze v jakém intervalu hodnot se nachází. U spojitě zobrazení je tedy uživatel schopen rozlišit i velmi malé nerovnosti v reliéfu (lze vidět na obr. 3). Bohužel vypovídající hodnota tohoto zobrazení závisí na zrakových predispozicích uživatele. Schopnosti očí se mezi lidmi různí, a ne

každý je schopen rozlišit určitý rozdíl v sytosti barvy (jedná-li se o plynulý přechod). Z tohoto důvodu je nutné zobrazit odchylky s přechody ostrými, které bude každý vnímat stejně (a to i proto, že vytvářejí vrstevnice, na které je řada uživatelů zvyklá). Je zajímavé, že jiné zdroje než Kimerling, et al. (2012), se o spojitém zobrazení v souvislosti s hypsometrií vůbec nezmiňují.

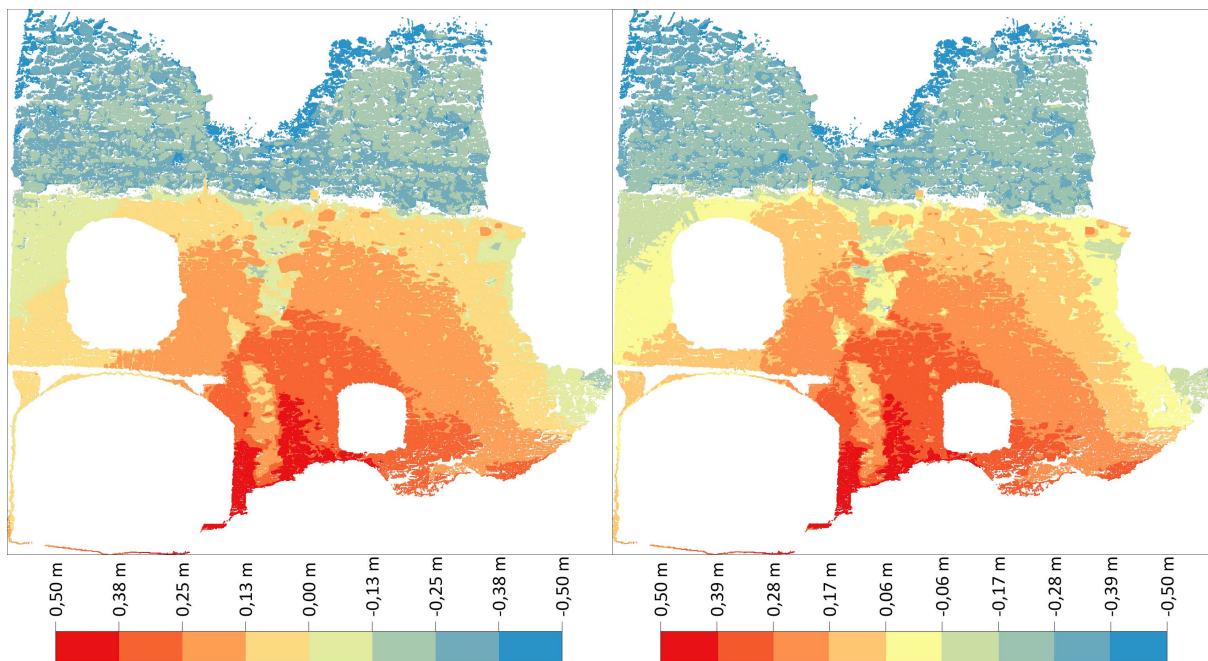


Obrázek 3: Plynulý (vlevo) a ostrý barevný přechod

Počet barev (diskrétních odstínů) je nutné volit tak, aby byl vždy mezi dvěma sousedními odstíny takový rozdíl, aby bylo pro lidské oko snadné rozlišit dva barevné stupně. Nesmí jich být ale tak málo, aby většina bodů na obrázku byla zbarvena stejně. Méně důležitým faktorem pak může být tzv. „Photocopy Safe“ stupnice (Brewer, 2005). Tedy taková, která si i při vytištění ve stupních šedé (na černobílé tiskárně) zachová okem bezpečně postřehnutelné rozdíly. Bláha (2017) píše o obvyklém použití 6 až 10 barev, ale záleží především na výškové členitosti, měřítku zobrazení nebo účelu výstupu (Hojovec, 1987). Testování počtu barev (5, 9 a 13) lze porovnat na obr. 6. Testování, zda je stupnice „Photocopy Safe“ prováděno nebylo, protože se předpokládá výhradně barevný tisk.

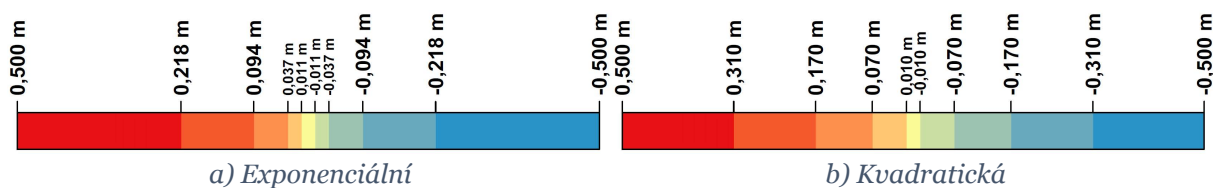
Na doporučení vedoucího práce doktora Hodače bylo zavedeno pravidlo, že nulová hodnota není bodem dělicím, nýbrž středem intervalu. Uprostřed barevné stupnice tak vznikne interval, který bude mít na obě strany stejnou barvu a vyjadřuje body, které jsou nejbližší nule, ať jsou kladné či záporné. To je rozdíl od myšlenky většiny programů, které ve svých výchozích stupnicích nastavují nulu jako dělicí bod. Takový postup zvolila i Ledecká K. (2018) ve své práci. Na obr. 4 lze porovnat použití stupnice s nulovou hodnotou jako dělicí bod intervalu a jako součást středového intervalu. Tato změna nemá velký vizuální rozdíl, záleží spíš na tom,

co je pro zadavatele důležité sledovat. I podle Ing. Tomáše Janaty, Ph.D. z katedry Geomatiky FSV ČVUT v Praze jsou oba přístupy správné za předpokladu, že jsou intervaly na obou stranách stupnice vzájemně symetrické.



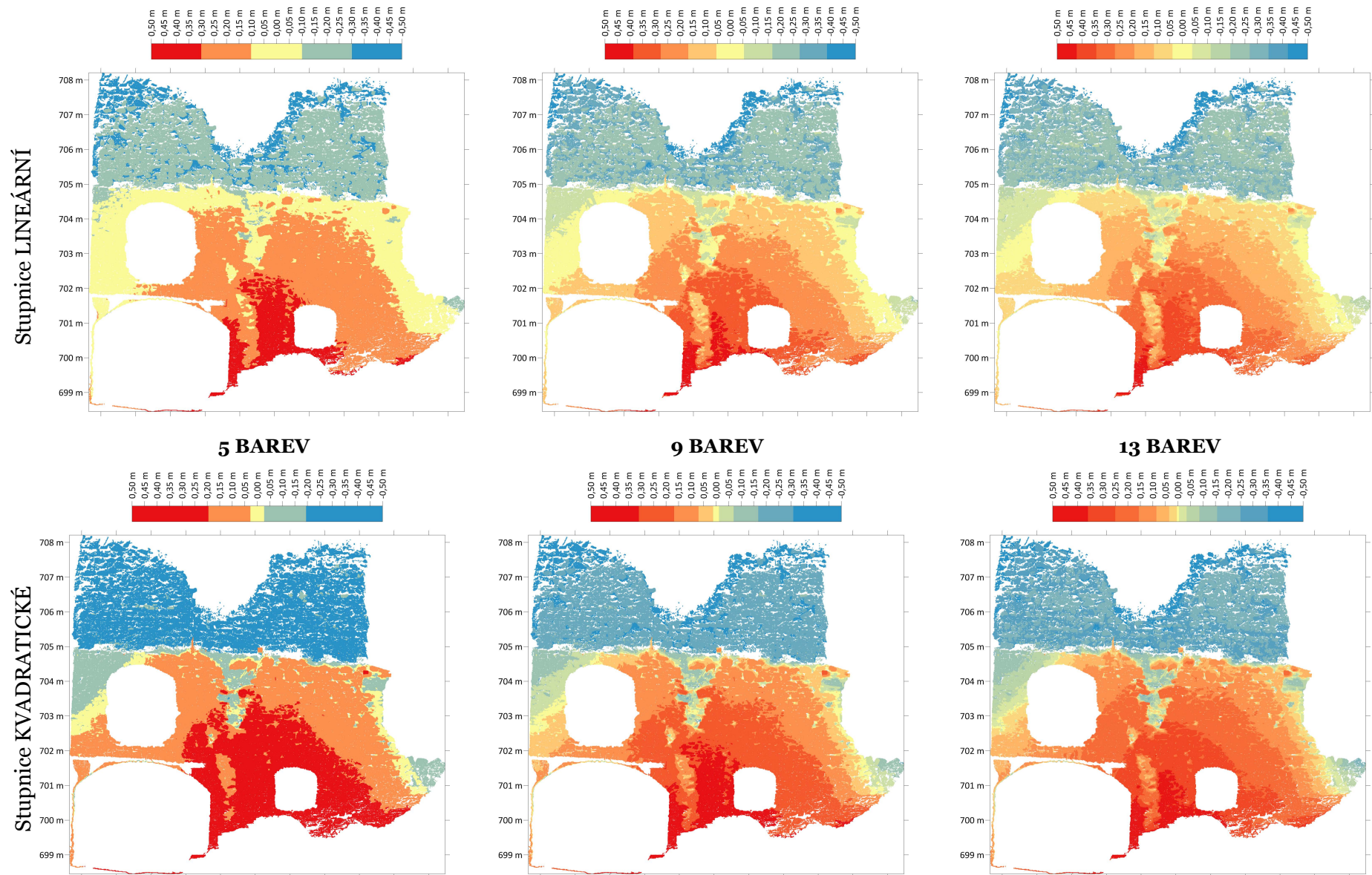
Obrázek 4: Nulová hodnota jako dělicí bod (vlevo) a střed intervalu

Mimo počtu barev bylo také testováno jejich rozložení ve stupnici. Nejjednodušší je rozložit barvy lineárně, kdy každá zabírá stejný délkový úsek stupnice. Nicméně to není jediná možnost, byly testovány ještě stupnice polynomické a exponenciální. U polynomických byl použit pouze druhý stupeň (kvadratická funkce), protože stupně vyšší se buď příliš podobaly funkci exponenciální, anebo měly intervaly tak široké, že byla většina obrázku zaplněna jedinou či dvěma barvami, což je špatně. Výhoda těchto dvou nových stupnic spočívá v rozlišení malých výstupků blízko referenční roviny. U velkých odchylek sice detaily zachyceny nebudou (intervaly jsou široké), ale zároveň nebudou zabírat zbytečné množství barevných stupňů. Stupnice se tím stává přehlednější a je možné se zaměřit na menší část a detailně ji prozkoumat. Proto byly tyto stupnice použity u bližších pohledů na objekt. Porovnání stupnice kvadratické a exponenciální je na obr. 5. Na již zmíněném obr. 6 lze kromě počtu barev vidět i porovnání stupnic lineárních, kvadratických a exponenciálních.

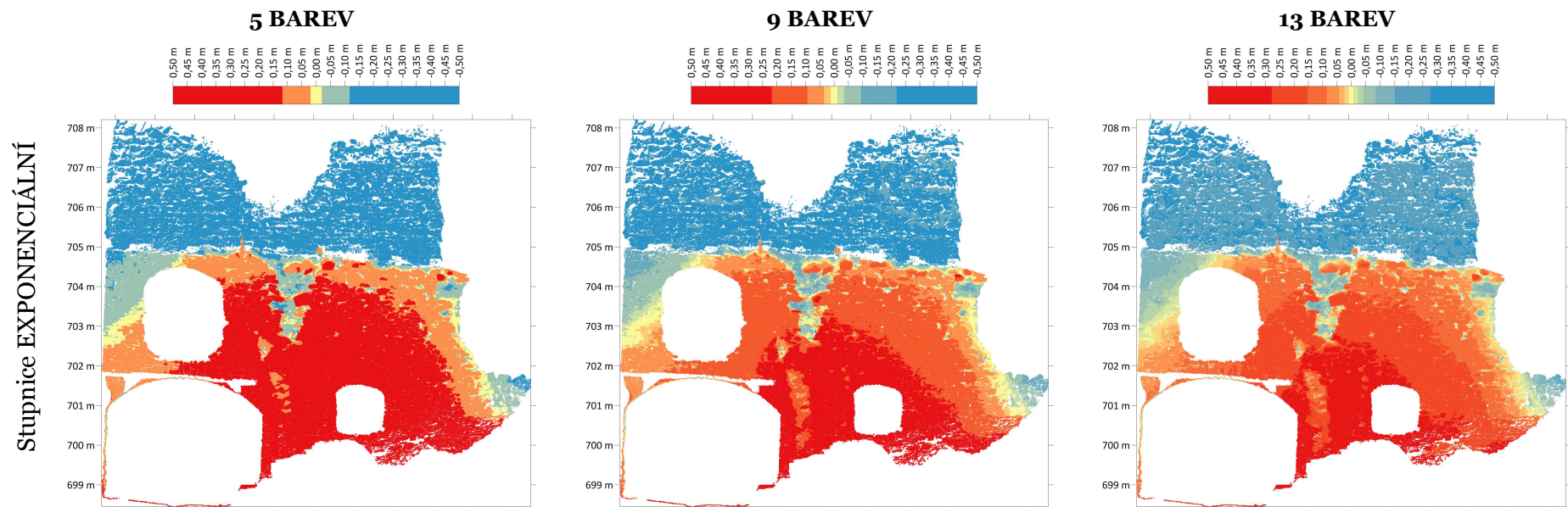


Obrázek 5: Stupnice s různým funkčním rozložením hodnot

Aby bylo možné v rámci této práce zkoušet a rychle měnit různé druhy stupnic (a zjistit tak optimální řešení), byl vytvořen soubor v programu MS Excel, který pro zadané parametry stupnice vytvořil seznam hodnot v rozmezí 0-100. Hodnoty se řídily jedním ze tří popsaných funkčních vztahů a byly k nim přiřazeny barvy daných intervalů. Nakonec byl automaticky vytvořen obsah souboru, který bylo možné načíst do jednoho z programů pro tvorbu barevné hypsometrie. Testované parametry byly v první řadě jemné a ostré přechody barev, druhy barev, počet odstínů a nakonec funkce, kterou body kopírují (lineární, polynomická a exponenciální).



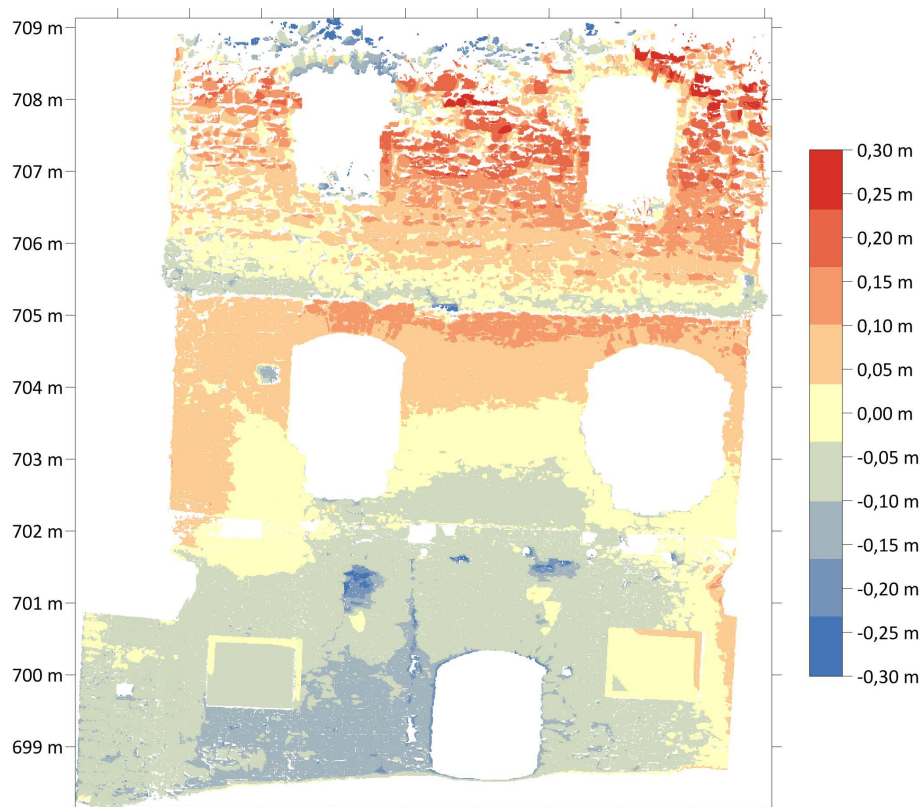
Obrázek 6: Výstupy s různými parametry (počet barev a funkční vztah)



Obrázek 6: Výstupy s různými parametry (počet barev a funkční vztah)

Při testování a porovnávání různých stupnic vyvstane mnoho různých případů, kdy je výsledek nic neříkající nebo chybný. Některé takové výsledky jsou prezentovány v následujících odstavcích.

Na obr. 7 je patrné, že pokud je některá z barev příliš světlá, splývá s papírem. To je vcelku jasné tvrzení, ale například barva na zmíněném obrázku by se při samostatném zobrazení (bez kontextu ostatních barev) jako příliš světlá zdát nemusela, a přesto je. Zde je nutné upozornit, že velmi záleží na metodě a kvalitě tisku i zobrazení na monitoru. Nejdůležitější je však finální vytištěná forma.



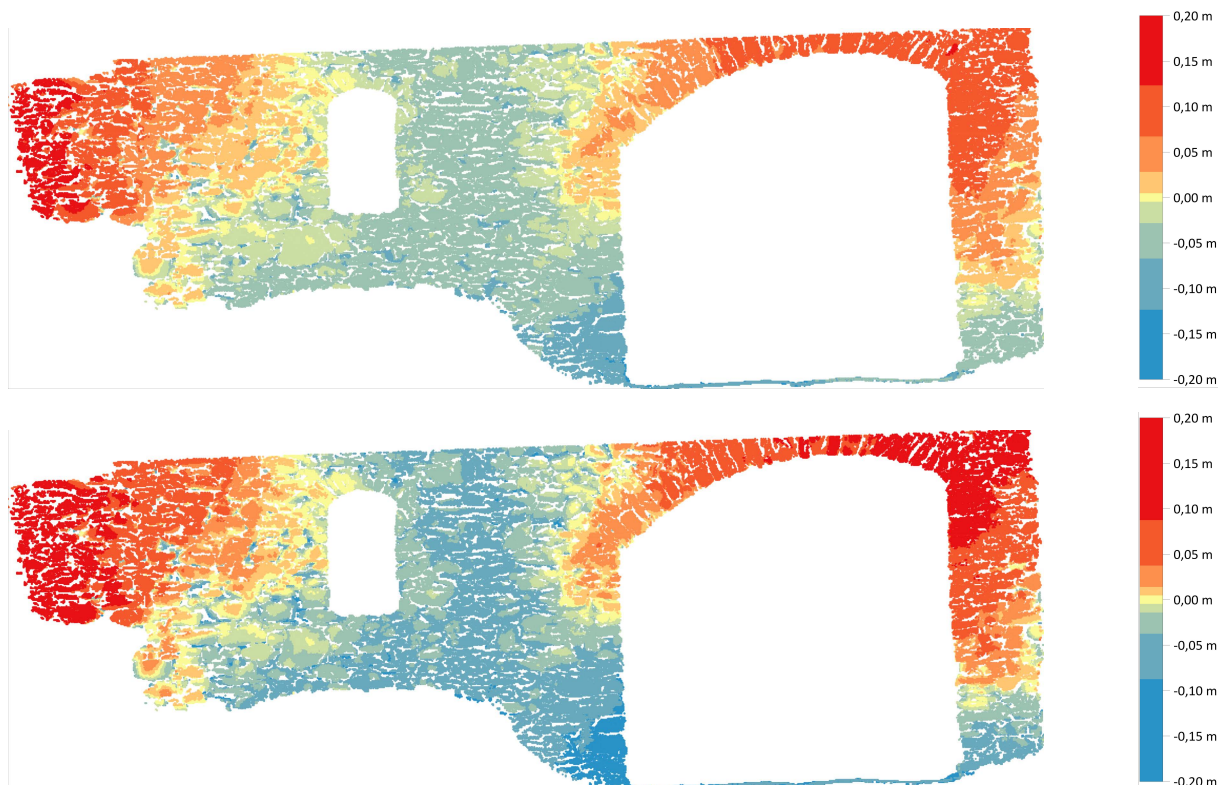
Obrázek 7: Příliš světlá varianta výstupu

Na další možný problém upozornil vedoucí práce Ing. Jindřich Hodač, Ph.D., a sice že výstup z programu Leica Cyclone vypadá na první pohled jako fotografie či fotoplán objektu, a ne jako technický výstup (zeď porostlá mechem v oblastech blízko země, ve vyšších místech pak má realistickou barvu kamenné zdi). Ať jsou ostatní parametry výstupu sebelepší, pokud vytváří na první pohled dojem, že se jedná o něco jiného, je výstup chybný. Při zobecnění tohoto problematického zobrazení by se dalo říci, že volba barev, které by mohly simulovat reálné barvy zobrazovaného objektu, jsou nevhodné a matoucí, ač by se například podle pravidla o asociativitě barev mohlo zdát, že jde o dobrý nápad. Příklad zmíněného výstupu lze vidět na obr. 38b (kapitola 3.2.5).

Výběr barev do hypsometrického plánu má velký význam na jeho vypovídající hodnotu. V této práci byl zvolen přechod z červené přes žlutou do modré barvy. Spolu s vedoucím práce bylo dohodnuto použít ostré přechody mezi barevnými stupni a nulový bod nastavit jako střed intervalu (ne jako dělicí bod). Po testování počtu barev (obr. 6) bylo rozhodnuto použít 9 barevných stupňů. Funkční vztahy dělicích bodů je možné použít všechny, každý má jiné výhody. Všechna tato pravidla byla použita k tvorbě výsledných výstupů, které jsou přílohou této práce.

2.3 Členění mračna bodů, úroveň detailu

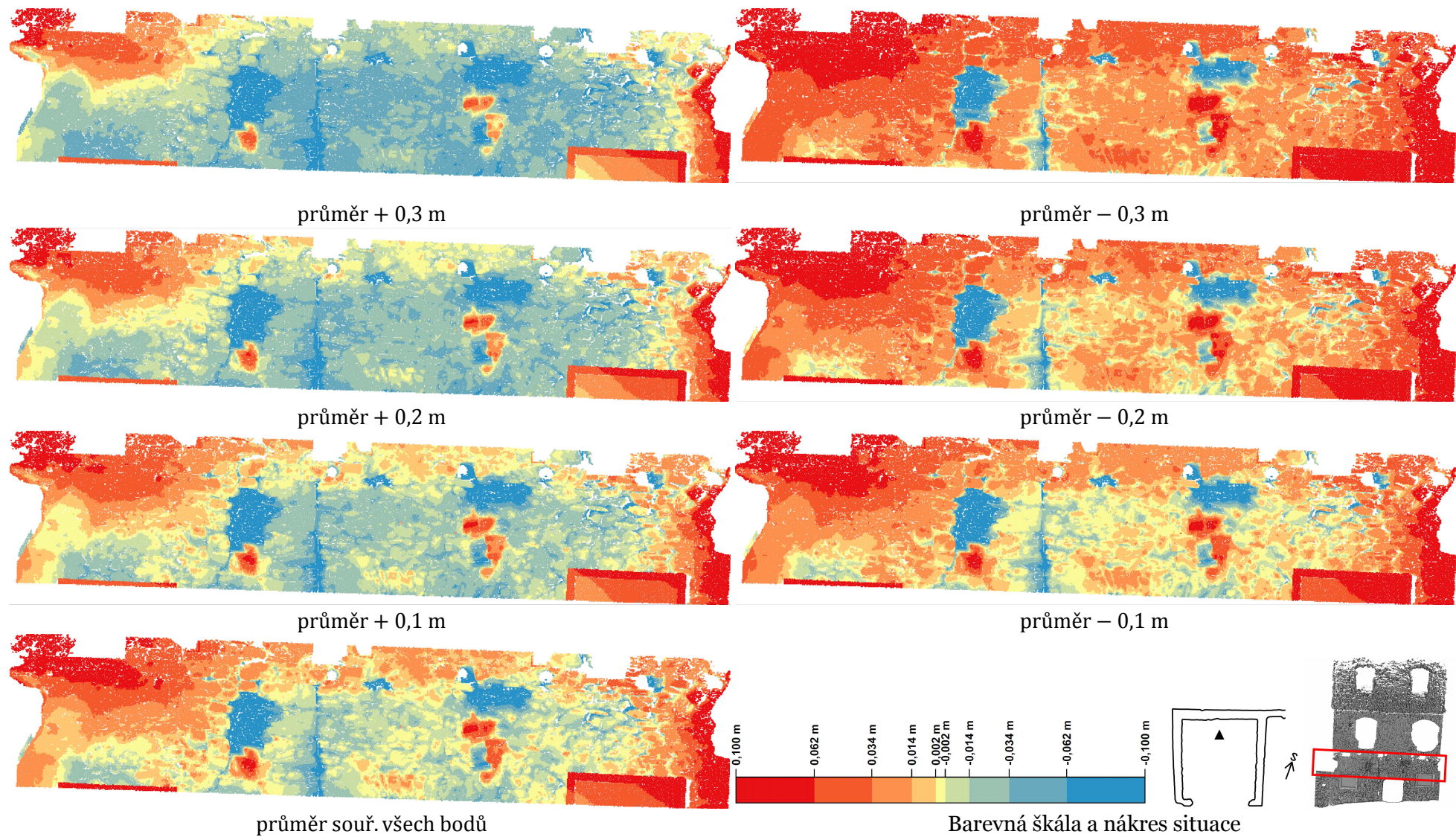
Při konzultaci s Ing. Filipem Špačkem ze společnosti Geoline s.r.o. bylo doporučeno vytvořit kromě celých zdí i výstupy detailnější, tedy menší části zdí ve větším měřítku, a to až 1:20. Proto bylo rozhodnuto dělit mračna bodů u zdí na třetiny (po patrech) a ty zobrazit samostatně. Pro tyto výstupy je pak možné použít kromě lineárního rozložení škál především kvadratické či exponenciální. Tím zeď získá nejen bližší pohled, nýbrž i podrobnější barevné výškové rozlišení (stupnice bude „šitá na míru“ menšímu množství bodů) a mohly by tak vzniknout nové poznatky. Porovnání dvou barevných škál u detailu zdi je na obr. 8. Idea s detailnějším členěním vzešla především z častých přání klientů z řad Národního památkového ústavu na zaměstnance firmy Geoline s.r.o.



Obrázek 8: Porovnání dělení bar. škály pro detail zdi – kvadratické (výše) a exponenciální

Další experiment proběhl se zobrazením „superdetailu“, tedy ještě většího přiblížení části zdi. Pro tento výstup muselo být individuálně vybráno speciální místo v modelu, které bylo z hlediska reliéfu obzvláště zajímavé a u něhož by při ještě větším přiblížení mohly vyplynout na povrch nové informace. Po konzultaci s vedoucím práce byla od modelu oddělena část severní zdi brány výškově umístěná mezi dveřním otvorem u země a okenními otvory. V těchto místech by se podle zkušeností vedoucího práce měly nacházet otisky náběhu stropních kleneb, jejichž pozůstatky jsou patrné ve dvou hlubokých prohlubních ve zdi.

Pro tento stupeň detailu byla vytvořena vlastní rovina a pohled je tak natočen kolmo k ní. Svislý směr byl zachován a výstup je tedy frontálním pohledem. Byla použita kvadratická barevná škála, která rozlišuje malé rozdíly blízko u nulové hladiny (referenční roviny) a proto bylo nutné pečlivě zvolit polohu nulové hladiny ve směru kolmém na zeď. Obr. 9 ukazuje zobrazení hypsometrie pro nulovou hladinu v místě průměru souřadnic všech bodů a totéž při posunu hladiny o jeden až tři centimetry na každou stranu.



Obrázek 9: Testování posunu referenční roviny, kvadratická škála, 9 barev

Očekávaný nález náznaků stropní klenby neproběhl. Z výstupů jsou zde patrné pouze všelijaké nerovnosti dané zdi, které ale u zobrazení celé zdi či pouze detailu tolik vidět nebyly. Při zobecnění lze ale říci, že pohled v „superdetailu“ (zvláště při použití jiné škály než lineární) může ukázat skryté tvary, které by jinak byly stěží viditelné i lidskému oku při zkoumání předmětu živě v terénu. Kompletní výkres se zobrazením superdetailu je přílohou této práce.

2.4 Volba referenční roviny

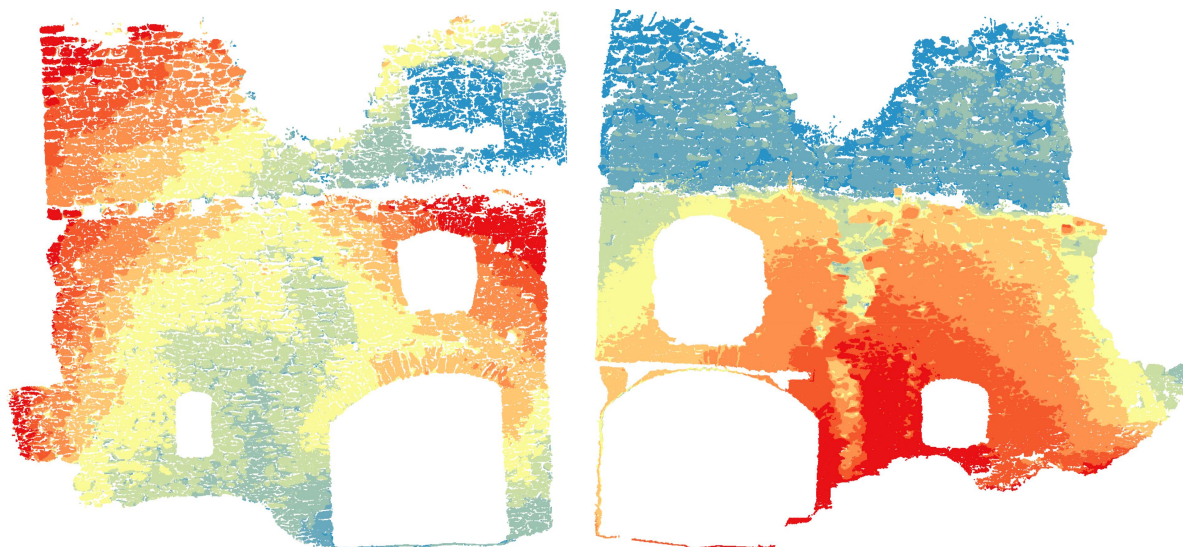
Aby měl hypsometrický plán zdi dostatečnou vypovídající hodnotu, musí být jasně stanoveno, odkud se barevné odchylky měří a podle toho na výstup nahlížet. Tedy pokud jde o rovinu, je důležité co nejpřesněji popsat, jak rovina vznikla a kde přesně se nachází. Z každé možnosti pak může vzniknout vizualizace vypovídající o něčem jiném.

Po konzultaci s vedoucím práce byly testovány tyto možnosti:

- Svislá rovina natočená proložením roviny mračnem (frontální pohled)
- Obecná rovina proložená mračnem
- Svislá rovina rovnoběžná s rovinou protější strany zdi

Při konzultaci s vedoucím práce a doc. Ing. Michaelem Ryklem, Ph.D. z Fakulty architektury ČVUT bylo zkoumáno, pro které výstupy se hodí jaká rovina. Oba konzultanti se shodli na tom, že největší smysl má zobrazovat frontální pohledy (ref. rovina svislá – rovnoběžná s osou Z). Pro její otočení kolem osy Z se jevílo jako nejlepší řešení použití funkce nahrazení rovinou v odpovídajícím software, protože v tomto směru je zřejmě nejlepším odhadem výpočet.

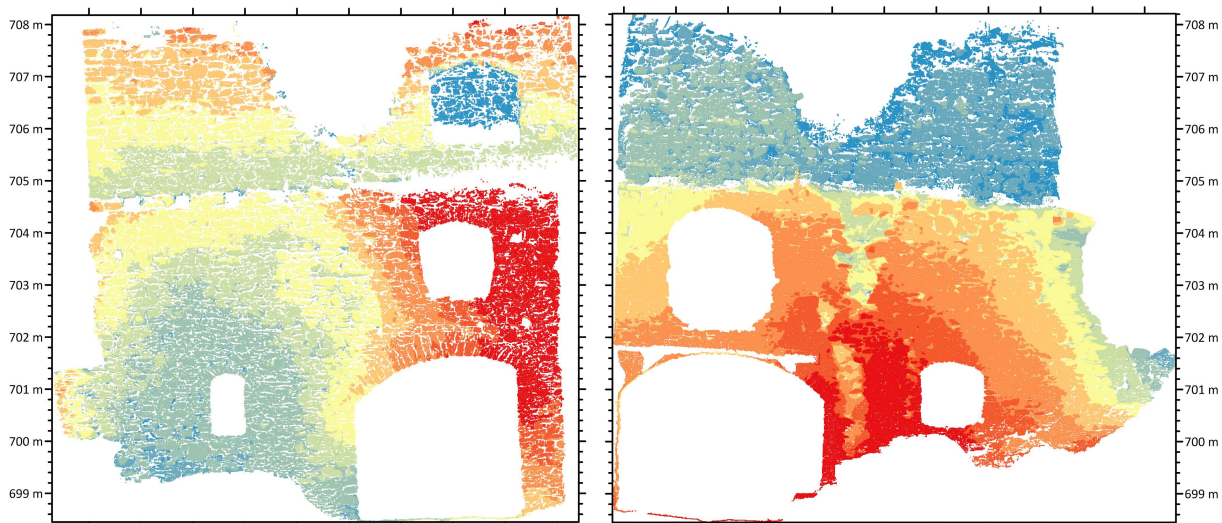
Pro výkres detailu zdi byla po dohodě použita shodná metoda (vertikální rovina s natočením pomocí výpočtu). Jedná se ale o jiné roviny než v případě celé zdi, rovina zde nahradila menší počet bodů a vystihuje tak lépe charakter detailu. Výstupy z experimentů s různými referenčními rovinami jsou na obrázcích níže.



Obrázek 10: Ref. rovina vytvořena individuálně pro každý výstup

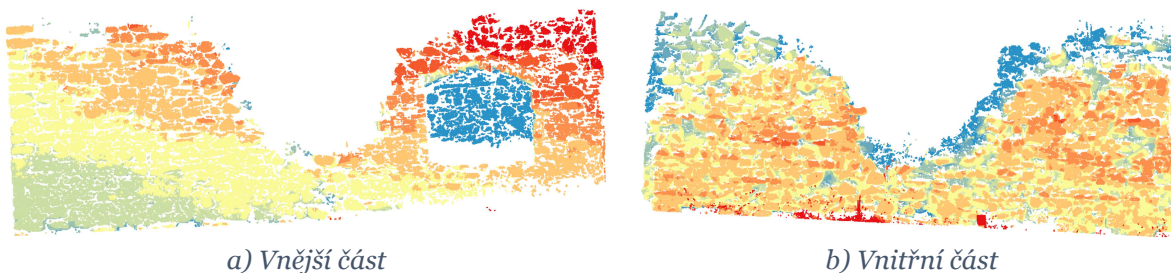
Kromě správného natočení roviny velmi záleží také na jejím posunutí ve směru vpřed-vzad, protože se jedná o nulovou hladinu hypsometrie. V této práci byla snaha přijít na univerzální obecné řešení. Jako nejlepší byl zvolen výpočet aritmetického průměru souřadnic Z všech bodů a o tuto hodnotu pak všechny souřadnice redukovat. Nulová hladina tak bude ležet v průměrné poloze bodů zdi. Takový postup je sice univerzální, ale nezaručuje nejlepší výsledky. Lze proto obecně doporučit testování také jiných poloh roviny. Odborník pak musí zhodnotit, který

výstup má nejvyšší vypovídající hodnotu. Jeden z problémů aritmetického průměru může být například rozdílná hustota bodů ve spodní a vrchní části mračna (častý případ pozemního laserového skenování) – rovina je pak posunuta k místům, kde je více bodů.



Obrázek 11: Ref. roviny rovnoběžné pro obě strany téže zdi

Na obr. 10 a 11 je možné porovnat rozdíl běžného výstupu (ref. rovina nahrazuje body stěny s nejmenším součtem odchylek) a výstupu jiného, kdy jsou roviny pro protější strany zdi srovnány tak, aby byly navzájem rovnoběžné. Lze si tak všimnout jejich slabé sbíhavosti (zeď je na jedné straně silnější). Taková informace z obrázku vyvstane zřejmě pouze odborníkovi, ale sbíhavost stran stěny lze určit i vypočtením vodorovného úhlu dvou referenčních rovin z jejich normálových vektorů (zde roven 2,91 gon). V tomto ohledu tedy hypsometrický plán pomůže pouze tehdy, je-li sbíhavost o něco větší.



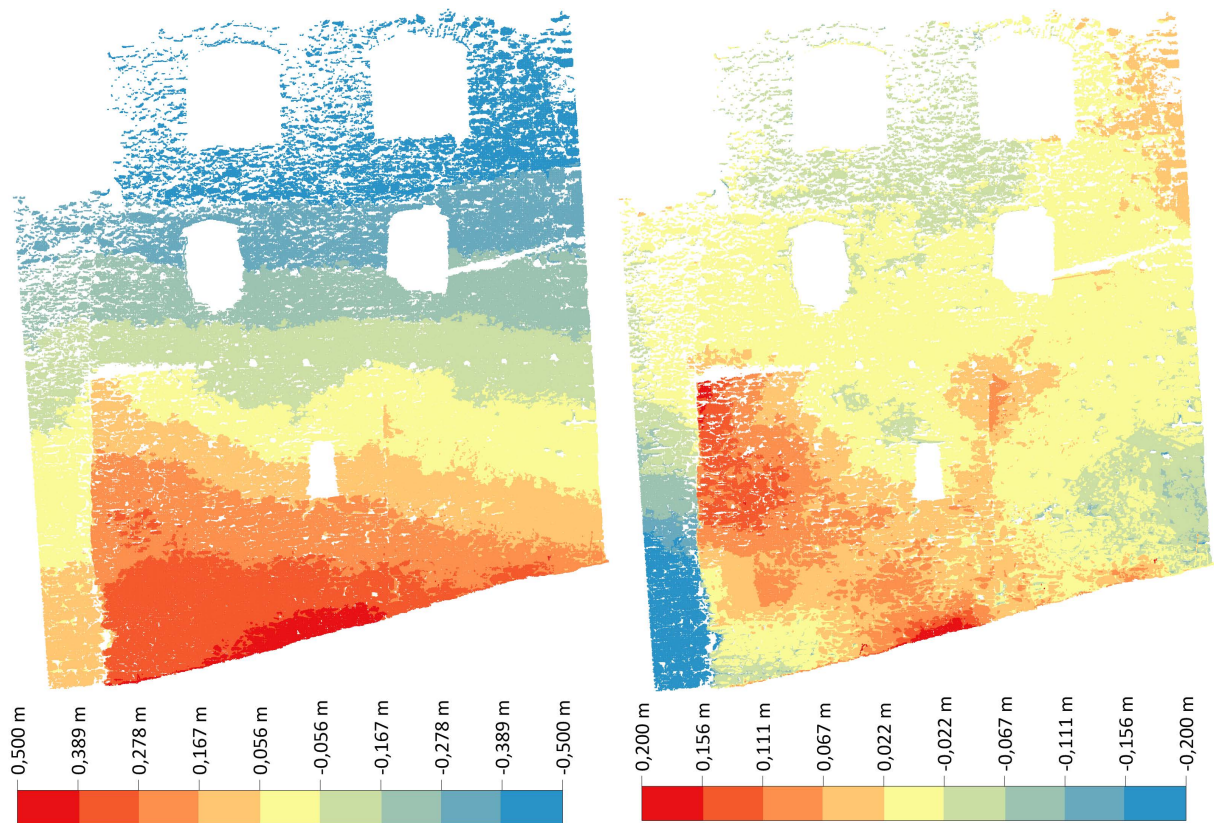
a) Vnější část

b) Vnitřní část

Obrázek 12: Ref. rovina vytvořena individuálně pro detail horní části téže stěny

Na obr. 10 si lze všimnout, že horní části zdi mají charakter odlišný od zbytku stěny. Na levé části obrázku horní část výrazně úhlově odbíhá od zbytku stěny. Podobný jev nastal části pravé, která je viditelně odsazena vzad. Celkový pohled na zeď sice tento jev odhalí, ale přesný frontální pohled na samotnou horní část neposkytne. Proto je výhodné zobrazit také detail těchto dvou částí (obr. 12), který odhalí další informace.

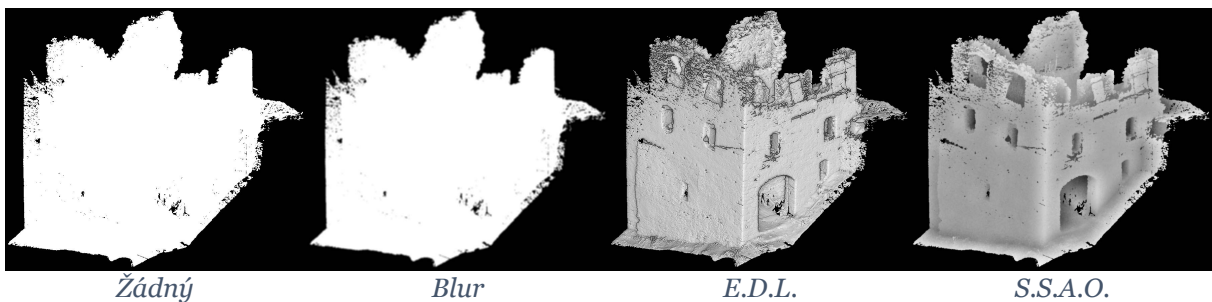
Jako poslední experiment s polohou roviny byla vytvořena rovina nahrazující vnější stranu severní zdi, která je svým tvarem specifická. Je totiž vcelku plochá, ale nakloněná. U frontálního pohledu je tak patrný sklon, ale malé nerovnosti nelze odhalit. Proto byl otestován nový výstup s rovinou, která není svislá. Výsledek vypovídá o reliéfu zdi z jiného pohledu než pohled frontální a znalec z něho dokáže vyčíst další nové informace, například vyboulení stěny napravo od spodního okna. Frontální a nový ortogonální pohled lze porovnat na obr. 13.



Obrázek 13: Frontální (vlevo) a ortogonální pohled na vnější stranu severní zdi

2.5 Vizualizace mračna bodů

Další možné testování by mohlo zkoumat vizualizaci bodů na výstupu. Nejedná se o ortofoto, síťového modelu, ale skutečně o pouhé zobrazení modelu bodového (mračno bodů). Tím je myšleno kromě barev v rámci hypsometrie především osvětlení a stínování bodů tak, aby pohled dával dobrou představu o tvaru objektu. Také velikost zobrazovaných bodů je možné měnit a tím měnit i charakter výstupu. Bohužel software často nenabízí detailní vysvětlení fungování těchto funkcí, přestože jimi disponuje. Testování osvětlení, stínování mračen bodů a vliv velikosti bodu v této práci rozvedeno nebude, je zde ponechán prostor pro další výzkum. Příklad rozdílu ve stínování modelu je na obr. 14.



Obrázek 14: Příklady metod stínování bodového modelu (CloudCompare)

2.6 Shrnutí

Po diskuzi a testování všech různých vizualizací byly spolu s vedoucím práce dohodnuty standardy vyprodukovaných finálních výstupů. Pro zobrazení jedné strany zdi jako celek je vhodné použít lineární dělení barevné škály, protože se jedná o jeden z obecných výstupů, a proto zde není místo pro speciální dělení. Celek zdi je také vhodné zobrazit jak ve své ideální svislé rovině, tak v rovině „průměrné“, tedy též svislé, ale prostorově vyrovnané s rovinou opačné strany zdi.

Jako další výstup bylo dohodnuto zobrazení různých částí zdi v detailu (dělení po patrech). Frontální pohled zůstane zachován a bude použito kvadratické či exponenciální dělení škály. Posledním výstupem bude objekt v „superdetailu“ a to s porovnáním posunu roviny tak jako na obr. 9.

Různými vizualizacemi byla snaha dokázat zachytit co nejvíce tvarů zdi, které by mohly vést k rozpoznání dějů vznikajících uvnitř historické stavby. Lze uvést různé děje zmíněné docentem Ryklem, kdy se především z důvodu vodní eroze do zdi dostává voda, která následně při nízkých teplotách zamrzá a hýbe kameny ve zdi. Vlivem takových podmínek může mít zeď dutý či vypuklý tvar, a to jak vypuklý na obou stranách nebo na každé straně s tvarem opačným. Pro pracovníky památkové péče je pak velice důležité zjistit, co přesně se uvnitř zdi děje, aby mohli na správném místě a ve správné míře zasáhnout. I toto je jeden z důvodů, proč klást důraz na správnost, smysluplnost a úplnost výstupů z dat laserového skenování historických objektů.

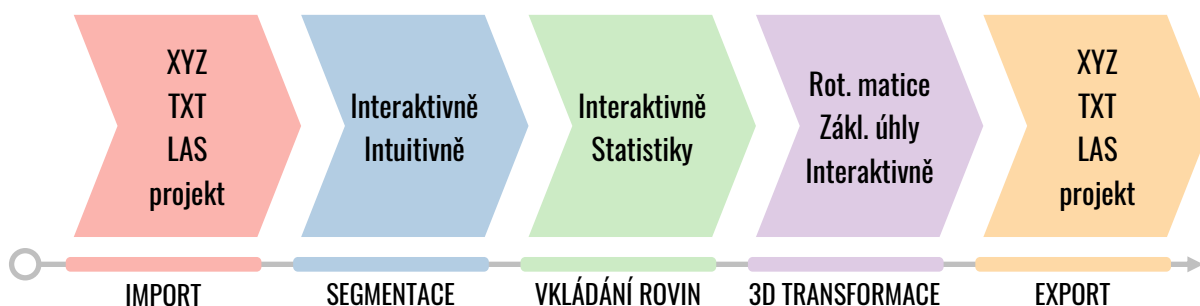
3 Srovnání software

Podle pravidel vizualizace zkoumaných v předchozích kapitolách (a shrnutých v kapitole 2.6) proběhlo testování možností software dostupného na trhu. Zkoumání je rozděleno na dvě části a pro každou z nich je možné použít program jiný. Každá část vždy popisuje možnosti konkrétního programu a problémy, na které je možné narazit.

3.1 Software pro zpracování mračna bodů

Prvním krokem je výběr základního programu pro prohlížení a úpravu mračen bodů. Takový program musí přetvořit mračno bodů do podoby následně použitelné v programech pro vytváření barevné hypsometrie (kapitola 3.2). Jednotlivé části textu se vždy zabývají jedním z vybraných programů a uživatel pak může zvolit ten, ke kterému má blíže, ať už snadným ovládním či finančními dispozicemi.

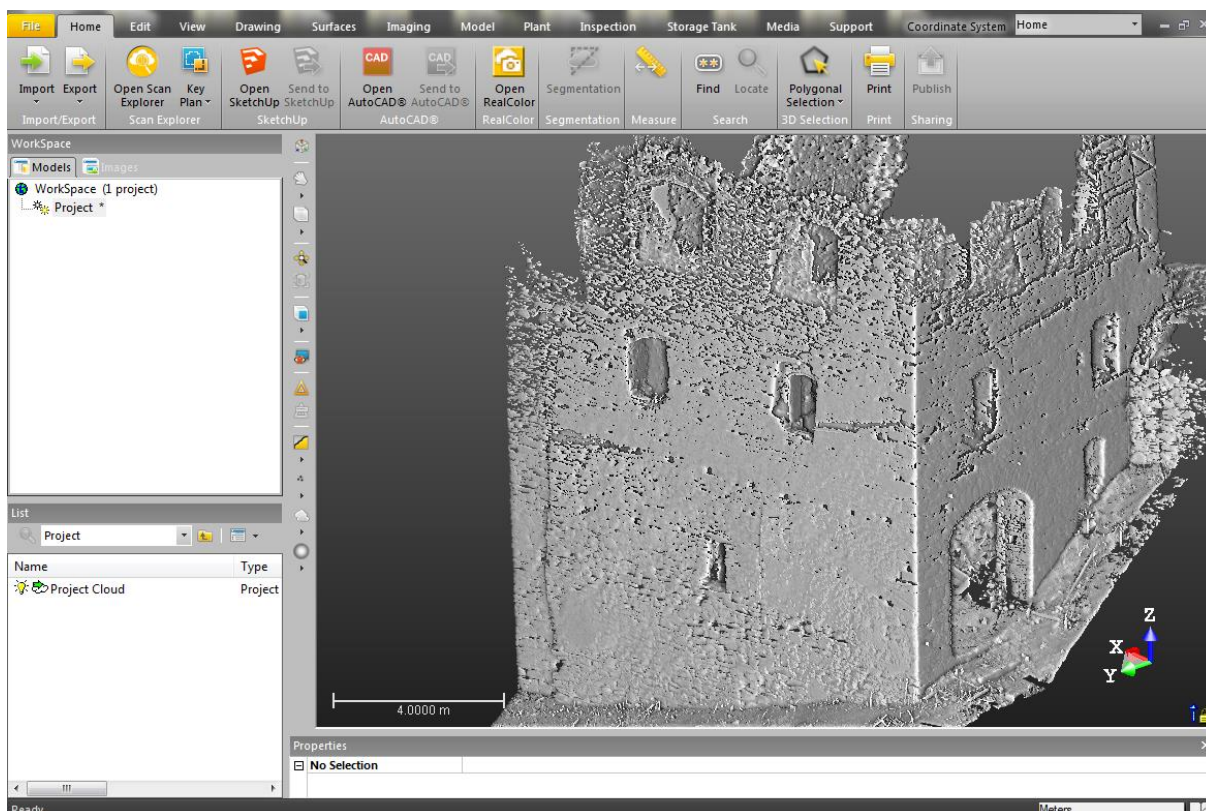
Základní funkce potřebné pro tuto práci jsou shrnuty ve vývojovém diagramu (obr. 15).



Obrázek 15: Diagram průběhu práce

3.1.1 Trimble RealWorks

Společnost Trimble (USA) je známá především díky výrobě GNSS přijímačů, INS systémů nebo totálních stanic. Postupem času ale přidává i přístroje k laserovému skenování a tomu odpovídající software. Program Trimble RealWorks zvládne veškeré úpravy od surových skenů po finální podobu a má přehledné a intuitivní grafické prostředí.



Obrázek 16: Prostředí programu Trimble RealWorks po importu dat

Po importu dat do Trimble RealWorks je vhodné si soubor uložit ve formátu RWP, který zachová celý projekt (strukturu objektů, vlastní souřadnicové systémy a jiná nastavení). Import bodů je možný ve formátu LAS nebo textovém (ASC a TXT). Snímek prostřední programů je na obr. 16.

Pracovní prostředí je přehledné, obsahuje okno „WorkSpace“, „List“ a okno s 3D pohledem. Důležitým prvkem je barevné schéma natočení os souřadnic v rohu obrazovky, které je výhodné sledovat při častých transformacích. S tím souvisí i přehled o aktuálním souřadnicovém systému v rozbalovacím seznamu v dalším rohu obrazovky. Měřítko zobrazení 3D pohledu je zde také a mění se dynamicky podle přiblížení modelu.

Segmentace bodů se zde provádí interaktivně a celý přístup je velmi intuitivní. Dělit mračno bodů lze pomocí obdélníku, kruhu nebo polygonu, a potom zachovat body vně či uvnitř. Oddělené body se zobrazí v seznamu objektů (List) jako nový objekt.

Program umožňuje z bodů modelovat mnoho tvarů, zde postačí rovina. Nejprve je nutné nastavit body, se kterými se právě nepracuje, neviditelnými, aby nerušily 3D pohled. Je důležité si nespřést rovinu (Plane) a vodorovnou rovinu (Horizontal Plane), která se používá pro modelování podlah. Rovina se následně objeví jak v pohledu, tak v seznamu objektů (List).

Velká síla programu spočívá v ovládnutí transformace souřadnic. Funkce nabízí zamknutí rotačních i translačních pohybů počátku tak, aby měl uživatel přehled, které parametry právě mění, a aby s nimi nedopatřením nezměnil jiné. Zpočátku je vhodné zamknout posun počátku soustavy. Dále je nutné zamknout směr osy Z, která musí zachovat svůj vertikální směr pro frontální pohled. Dále se musí otočit směr osy Y tak, aby směřovala kolmo na vytvořenou rovinu. Hledání hodnot do matice otočení by bylo složité, naštěstí program nabízí při kliknutí na příslušné tlačítko srovnat osu kolmo ke zvolenému tvaru (rovině). Nakonec je nutné odemknout otočení osy Z a celý systém systematicky natáčet o násobky 90° tak, aby osy

směřovaly tak, jak je popsáno v kapitole 3.2. Jako poslední krok musí uživatel pojmenovat nově vytvořený souřadný systém a ten se následně objeví v seznamu jako samostatný objekt.

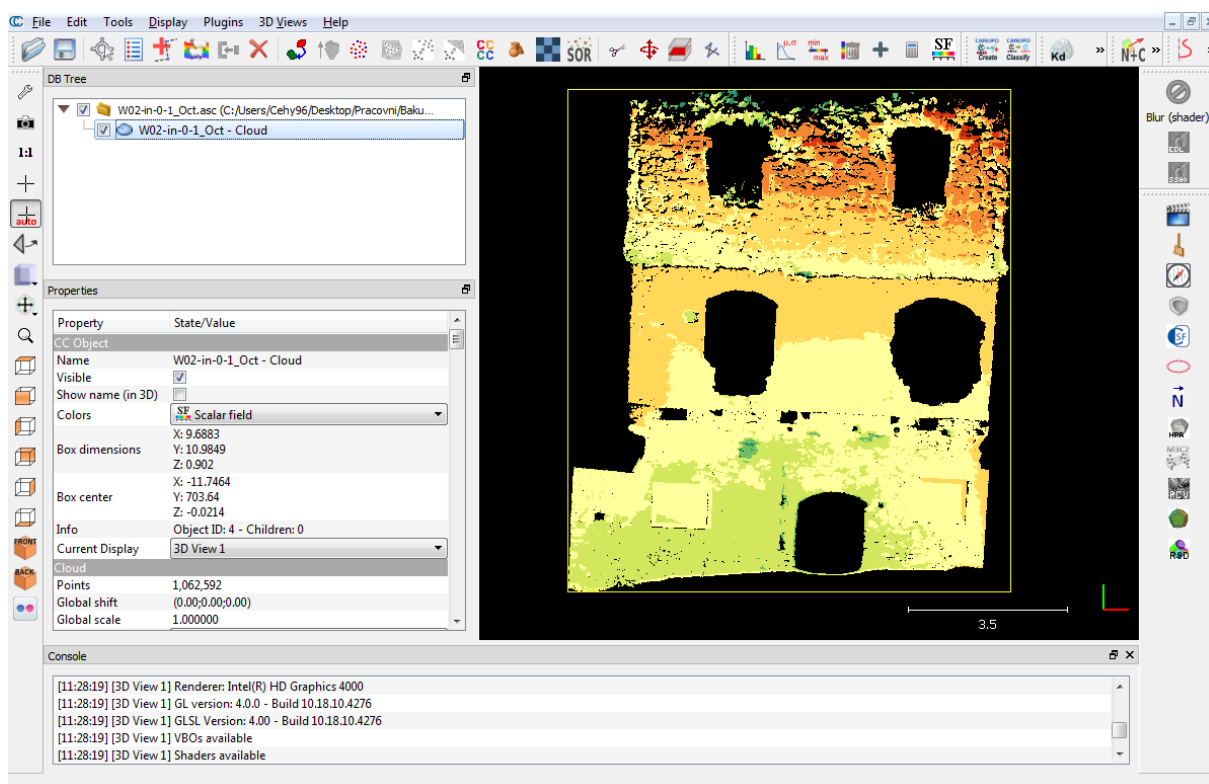
Body jsou nyní připraveny pro export. Velice důležité je při exportu nezapomenout nastavit předem vytvořený souřadnicový systém. Program totiž nabízí všechny systémy nalezené v projektu.

Trimble RealWorks je výbornou volbou pro jakékoli úpravy mračna bodů především pro svou přehlednost. Nabízí vše, co je k této práci potřeba a nabízí mnoho možností pro funkci prostorové transformace.

3.1.2 CloudCompare

CloudCompare je určen primárně k porovnávání více mračen bodů (sleduje např. změny v čase). Postupem času byly ale přidávány další funkce a dnes je to plnohodnotný program ke zpracování dat laserového skenování. Program je multiplatformní, nabízí tedy verzi i pro operační systémy Linux či Mac OS.

CloudCompare umí importovat přes 50 formátů souborů, a to jak mračno bodů, tak 3D model (mesh), rastrové obrázky, geometrie či celé projekty. Zde se zaměříme pouze na mračno, které lze načíst ve formátu TXT, ASC, CSV, LAS a 13 dalších. Pohled na základní pracovní prostředí po importu dat je na obr. 17.



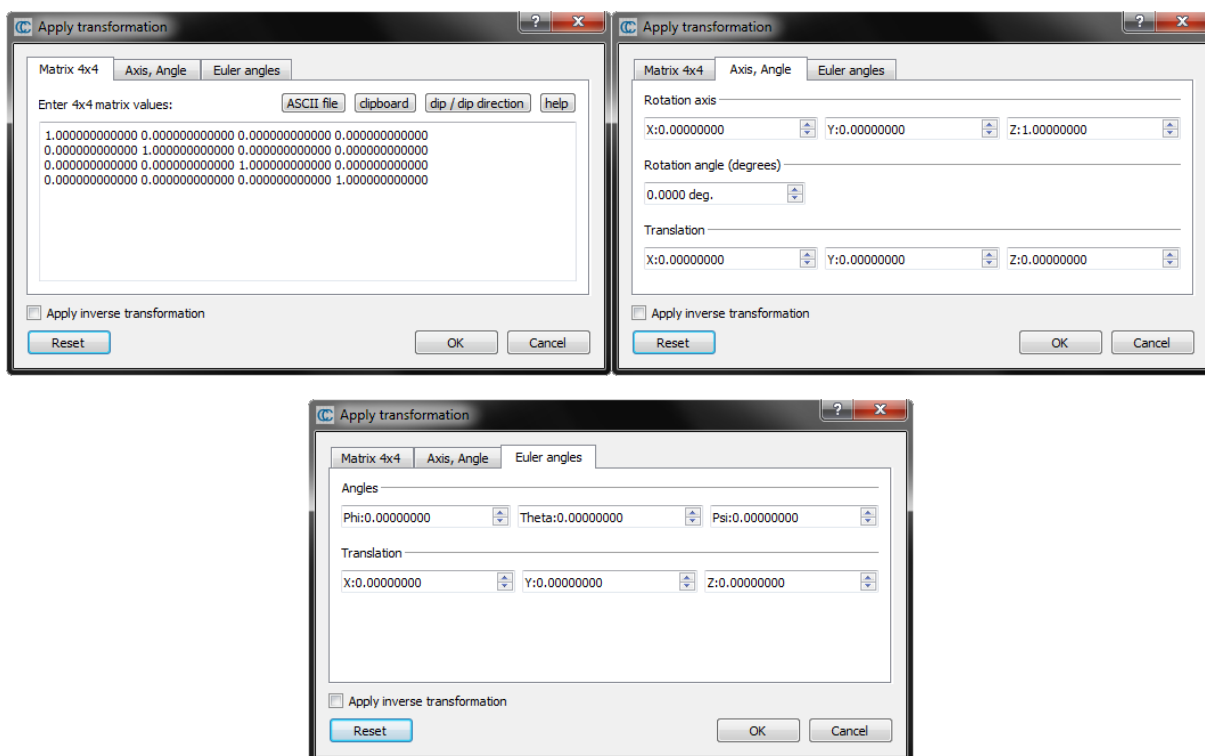
Obrázek 17: Grafické prostředí programu CloudCompare

Dělení mračna bodů na dílčí části se provádí interaktivně pomocí polygonu nebo obdélníku. Po ukončení výběru je důležité výběr potvrdit a teprve pak se mračno rozdělí. Během vytváření výběru nelze 3D pohled otáčet, je proto nutné si mračno natočit dle potřeby už před zahájením kreslení!

Výpočet roviny s nejmenším součtem chyb je překvapivě rychlý a vytvoří v seznamu objektů jeden nový, a sice rovinu. Pro lepší viditelnost je vhodné si rovinu obarvit podle svých potřeb.

Při označení více bodových objektů funkce nevytvoří jednu rovinu pro všechny označené body, ale jednu rovinu pro každý objekt. Toto chování se liší od jiných programů.

Vnikne-li proložená rovina, je potřeba provést transformaci souřadnic podle stanovených pravidel. Dialog funkce obsahuje tři záložky, z nichž je možné použít kteroukoli z nich. S každou lze docílit stejného výsledku, ale jiným způsobem zadání. Prvním způsobem je zadání matice rotace (**Matrix 4x4**). Po zadání transformační matice ve správném tvaru se na jejím základě provede posun i rotace naráz. Druhý způsob se jmenuje **Axis, Angle** – do tří kolonek se zadá směr vektoru, okolo kterého bude rotace probíhat, a to o úhel zadaný v kolonce další. Translační pohyb je pak zadáván zvlášť. Poslední ze způsobů rotace je metoda **Eulerových úhlů** (Euler angles), což je známá metoda definující prostorové otočení na základě tří hodnot v úhlových stupních. Některé metody jsou intuitivní, ale vyžadují více klikání. Jiné vyžadují důkladné studium, ale je možné jejich parametry generovat automaticky. Snímek dialogu všech tří metod transformace je na obr. 18.



Obrázek 18: Metody prostorové transformace v CloudCompare

Pokud chce uživatel projít procesem bez velkého přemýšlení, je doporučen úplně jiný a nejjednodušší postup. Po vytvoření roviny z bodů se v okně konzole (Console) vypíše matice, která po vložení do prvního z dialogů popsaných v předchozím odstavci transformuje souřadnice tak, jak je potřeba (normála roviny bude rovnoběžná s osou Z), (CloudCompare, 2015).

Posledním krokem je export bodů pro použití v dalším software. Ten je možný opět do mnoha formátů, z nichž všechny základní jsou podporovány.

Program CloudCompare není tak robustní jako jeho konkurenti. Grafické prostředí není tak přehledné, ale je k dispozici zdarma a disponuje všemi potřebnými funkcemi pro tuto práci. Je vhodné uvést, že nenabízí známou funkci „Zpět“, kterou se obnoví stav dat před poslední použitou funkcí. Vše je tedy potřebné průběžně ukládat a při chybném kroku se vrátit otevřením poslední uložené verze.

3.1.3 Leica Cyclone

Program Cyclone od společnosti Leica Geosystems (Švýcarsko) je určen pro zpracování surových dat laserového skenování a je dodáván k přístrojům od stejné firmy.

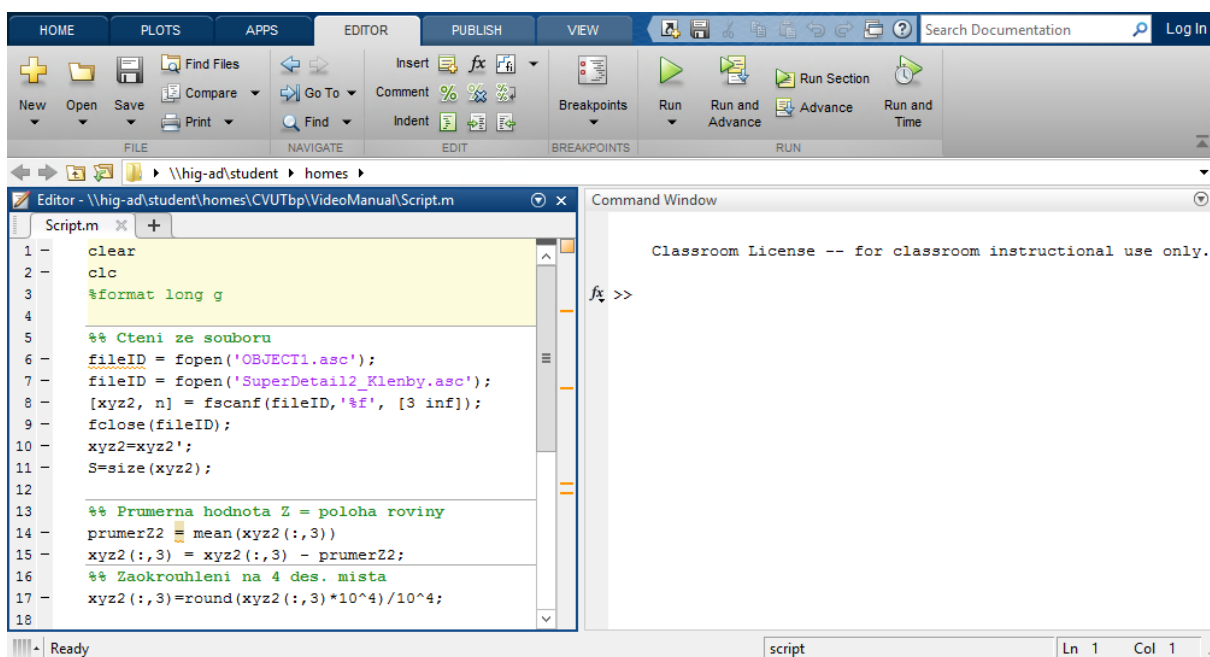
Popis pracovního postupu pro zpracování mračna bodů v tomto programu by byl vzhledem ke složitosti samotného Leica Cyclone rozsáhlý. Proto byl v této práci vynechán a zachován pouze postup pro vytvoření barevné hypsometrie, a to proto, že je tento program v praxi hojně využíván. Aby tedy uživatelé, kteří jsou zvyklí na práci s ním, byli schopni tento výstup s jím dostupným programem také vytvořit.

3.1.4 Geomagic Studio

Předchozí práce na prostorovém modelu (v rámci práce Ledecské K. (2018)) byly prováděny v programu Geomagic Studio. Možnosti tohoto programu byly blíže prozkoumány, ale z důvodu špatné dostupnosti licence, pomalého chodu programu, ale i stáří dostupné verze (2013) byl popis postupu v tomto software vynechán. Naproti tomu program disponuje silnými algoritmy pro práci s prostorovými daty (například více způsobů ředění mračen) a je celkově robustní. Stejně tak má i relativně snadné a známé ovládání (shodné s Trimble RW) a může být pro práci doporučen.

3.1.5 Matlab

Jako další nástroj pro zpracování mračna bodů je možné použít program Matlab. Jedná se o výpočetní software umožňující spouštění skriptů. Ukázka pracovního prostředí programu je na obr. 19.



Obrázek 19: Pracovní prostředí programu Matlab

S Matlabem nelze provádět operace popsané v předchozích kapitolách, nicméně je s ním možné rychle testovat posuny souřadnic bodů a tím definovat nulovou hladinu pro zobrazení barevné hypsometrie. Ve výše zmíněných programech lze posunu též docílit, ale poloha lze definovat pouze ručně, ne na základě výpočtu (rozložení bodů). V programu Matlab je možné pro nulovou hladinu použít například aritmetický průměr souřadnic Z všech bodů, medián, rozdělení kvantilů či jiné statistiky. Při testování polohy nulové hladiny byly použity dvě

hodnoty, a to aritmetický průměr a medián. Výsledky byly ale na pohled totožné, a proto byl nadále používán pouze aritmetický průměr.

Matlab je pro početní úpravy textových souborů bezpečně nejlepší volbou. Nevýhodou je nutnost znát syntax jazyka, kterým se sestavují skripty. Existuje i alternativa v podobě programu Octave, který je šířen zdarma a podporuje stejný jazyk a většinu funkcí.

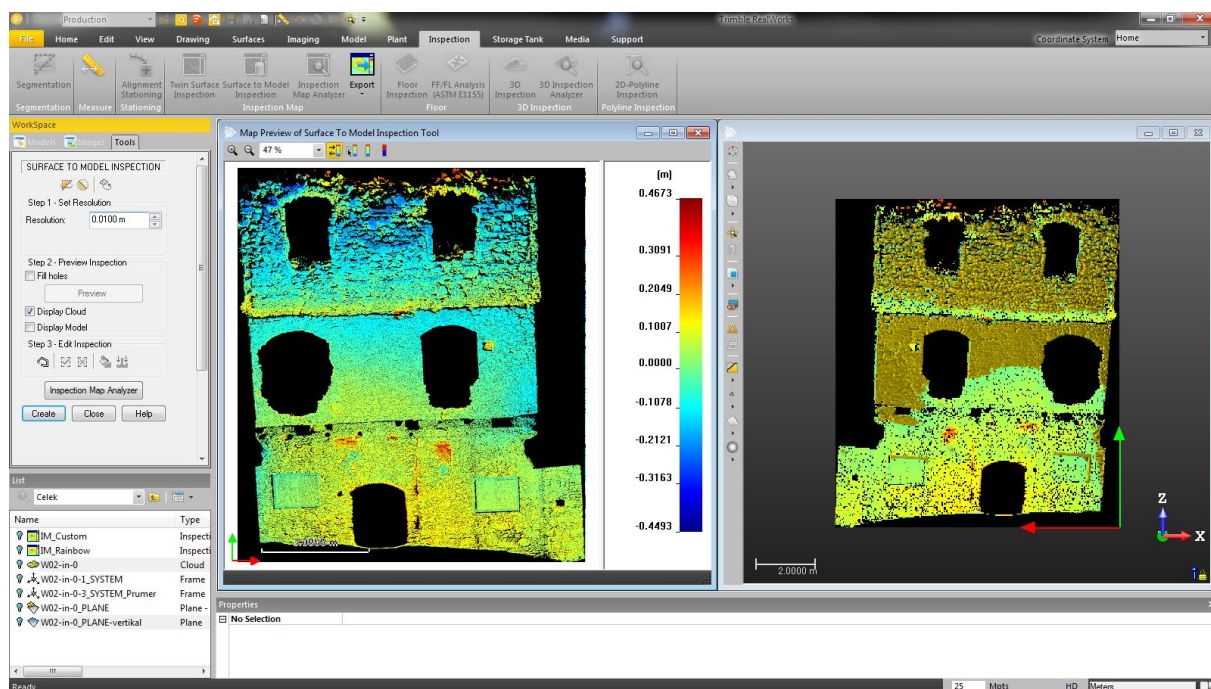
3.2 Software pro vizualizaci barevné hypsometrie

Pro úpravy a vizualizace popsané v této kapitole existují dva možné přístupy. Většina programů neumí zobrazit barvy podle odchylek od obecné roviny, ale dokáže barevně rozlišit výšku. Proto je jeden postup takový, že se souřadný systém mračna transformuje tak, že se obecná rovina přemění v rovinu XY (úroveň země). Odchylka od roviny je pak reprezentována souřadnicí Z (výškou). Pro takové úpravy lze použít programy prezentované v předchozí kapitole. Odměnou za úpravy je možný výběr z mnoha programů, které z takto upravených bodů dovedou vytvořit hypsometrický plán.

Oproti tomu druhý přístup je mračno netransformovat, ale využít programy, které umí hypsometrii zobrazit přímo z obecně položené referenční roviny. Následující stránky popisují možnosti vytvoření hypsometrického plánu z mračna bodů pomocí různého software.

3.2.1 Trimble RealWorks

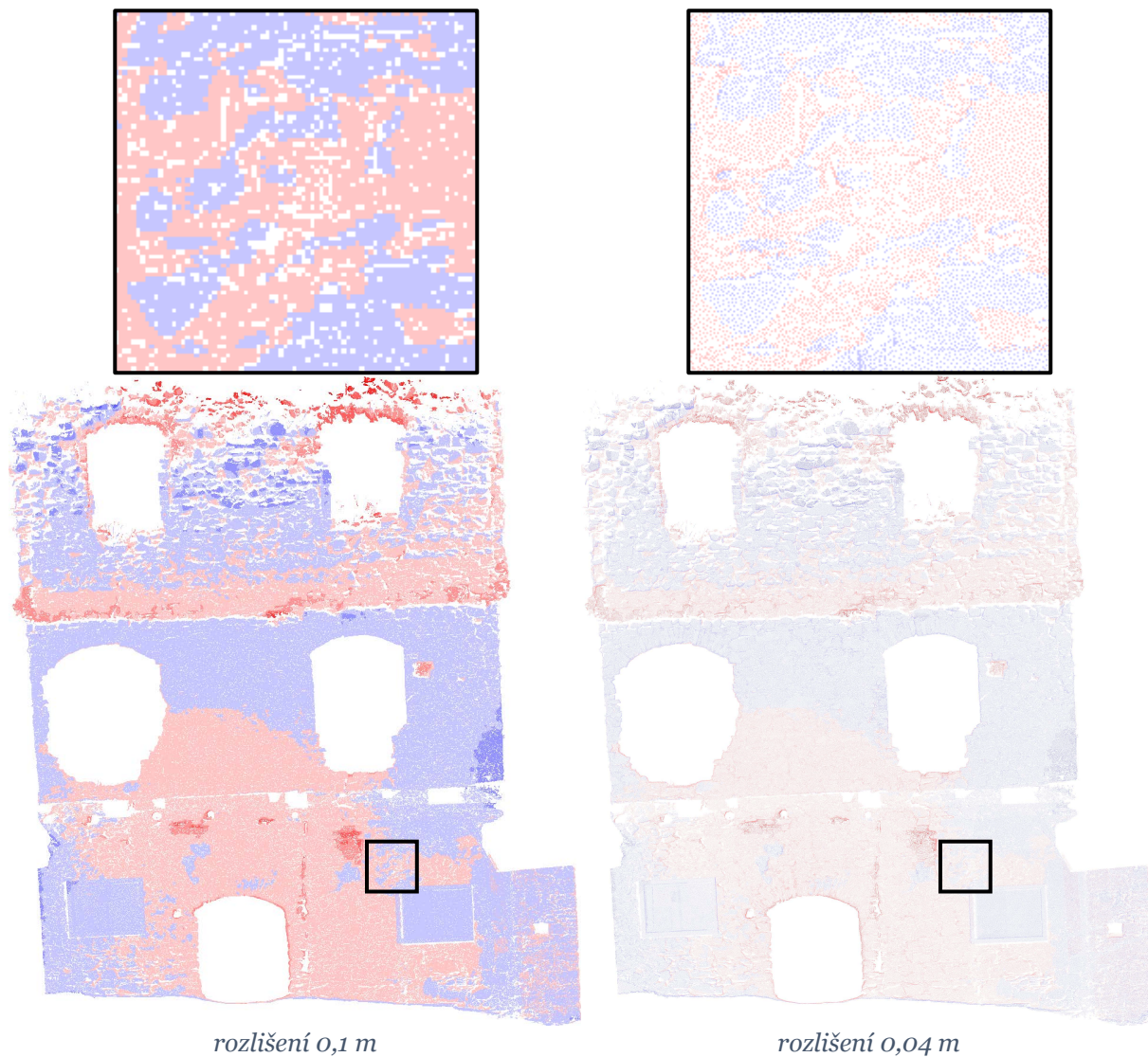
Program Trimble RealWorks dokáže mimo správu a úpravu mračen bodů i analyzovat rovinnost části mračna. Velkou výhodou je, že není nutné transformovat souřadnice. Jediná nutnost je mračno segmentovat a vytvořit referenční rovinu, k níž budou odchylky vztaženy. Nevýhodou je, že program nezobrazuje barevné body, ale rastrovou mřížku reprezentující body. Přesnost výstupu je tím značně snížena.



Obrázek 20: Uspořádání oken při vytváření inspekční mapy, Trimble RealWorks

Analýza rovinnosti se provádí funkcí „Surface to Model Inspection“. Uspořádání obrazovky se změní jako na obr. 20 a je možné volit rozlišení výpočetních operací, které se bude rovnat

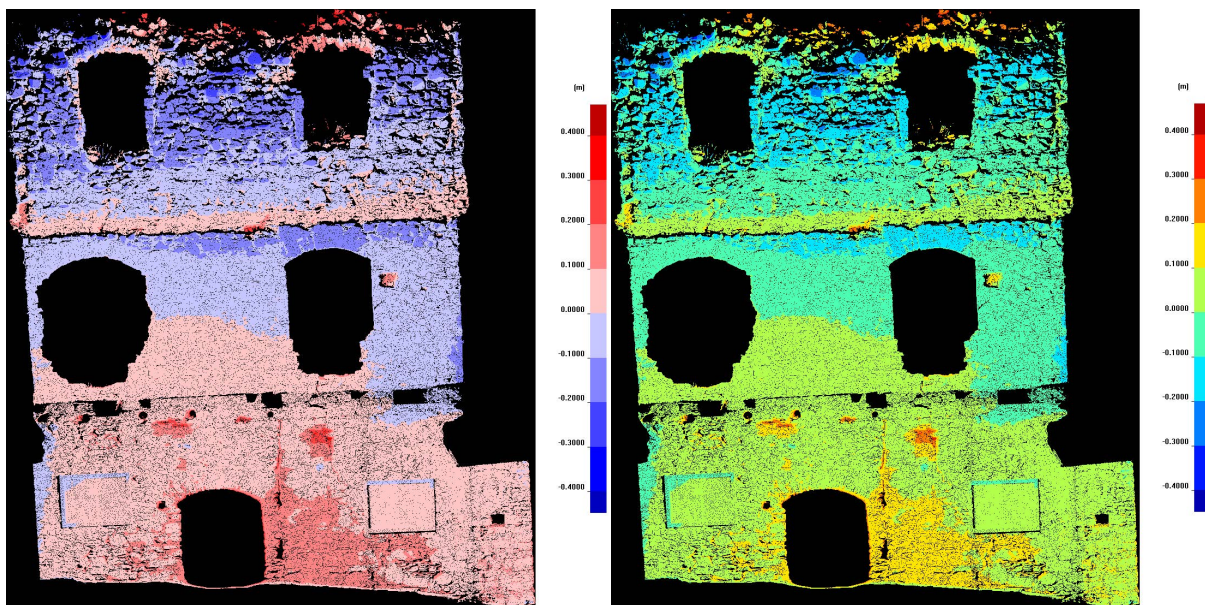
rozlišení výsledného obrázku. Při vyšších hodnotách dojde k tomu, že se zobrazí menší body s většími mezerami (porovnání dvou hodnot rozlišení je na obr. 21). Mezi body tedy začne prosvítat pozadí a čitelnost výstupu tím rapidně klesá. Naopak nižší rozlišení snižuje kvalitu výsledku, je proto nutné zkusit různé hodnoty a dojít k řešení, které vyhovuje danému zadání a přesnosti. Pro ukázkou bylo zvoleno rozlišení 0,01 m, které bylo zvoleno jako největší možné, aniž by mezi body prosvítalo černé pozadí.



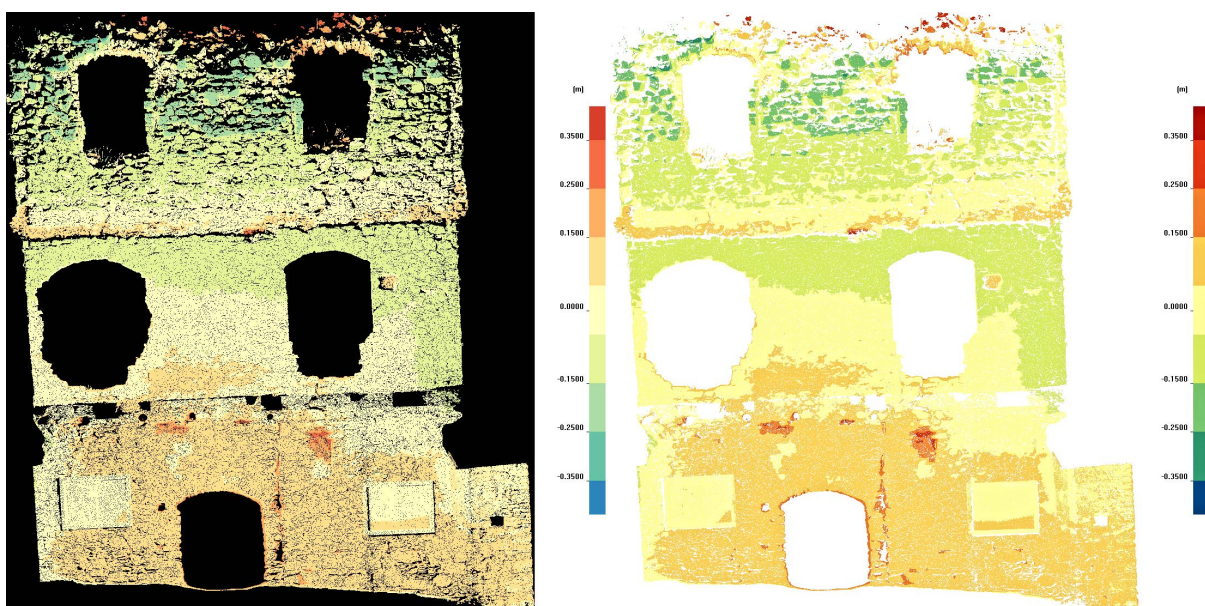
Obrázek 21: Porovnání hodnot rozlišení inspekční mapy, Trimble RealWorks

Tlačítka v horní části okna lze měnit vlastnosti barevné stupnice. Je možné ji zobrazit/skrýt, zvolit výchozí barvy spektra, modro-červený barevný přechod nebo si vytvořit stupnici vlastní. Dvě výchozí stupnice (na obr. 22) mají nevýhodu, že nulová hodnota je dělicí bod na stupnici, a nikoliv bod uprostřed intervalu (to odporuje pravidlům vzešlých z kapitoly 2). Dialog pro vytvoření vlastní stupnice je na obr. 24a. Stupnice lze exportovat do formátu TXT a je tedy možné ji předpřipravit v jiném programu (například Matlab) a následně importovat do Trimble RealWorks. Struktura TXT souboru je na obr. 24b. Po vytvoření inspekční mapy (Inspection map) a její stupnice se dá obojí exportovat do obrazového formátu TIF. Rozlišení obrázku se volí už v předchozím kroku a teď už nelze ovlivnit. Kromě souboru formátu TIF se vytvoří i soubor formátu TXT obsahující souřadnice rohových bodů obrázku, které se dají použít jako referenční délka a poloha při tvorbě výkresu v programu AutoCAD. Černé pozadí obrázku není možné jednoduše změnit, pouze pomocí záměny barev v programu na grafickou

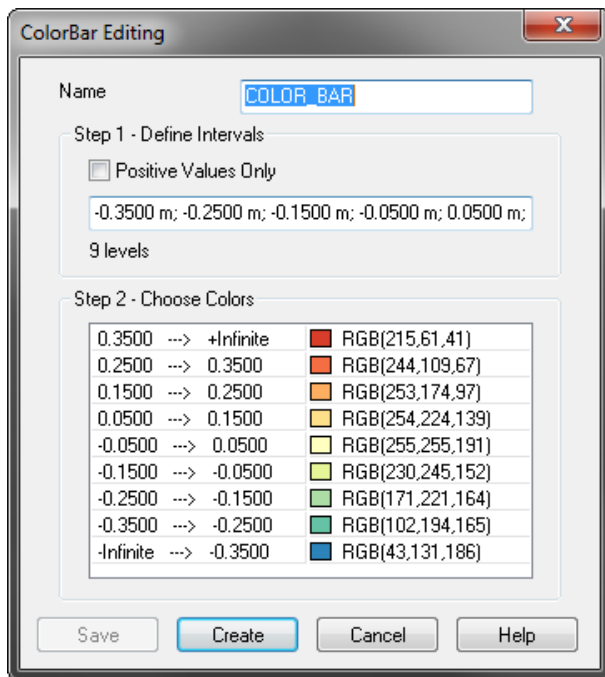
úpravu, což je popsáno v následující kapitole i se souvisejícími problémy. Ukázka takové záměny je na obr. 23.



Obrázek 22: Trimble RealWorks – nástroj Inspection Map, dvě výchozí stupnice



Obrázek 23: Trimble RealWorks – vlastní stupnice (vlevo), grafická úprava pozadí



a) Dialog ColorBar Editing

```
#ColorBar 'COLOR_BAR' created from
RealWorks , Thu Apr 26 10:34:54 2018

215;61;41
0.3500
244;109;67
0.2500
253;174;97
0.1500
254;224;139
0.0500
255;255;191
-0.0500
230;245;152
-0.1500
171;221;164
-0.2500
102;194;165
-0.3500
43;131;186
```

b) Struktura souboru exportované stupnice

Obrázek 24: Trimble RealWorks – vytváření vlastní stupnice

Trimble RealWorks byl sice doporučen jako nástroj pro úpravu mračna bodů, ale funkce pro tvorbu hypsometrie má velkou nevýhodu ve zvláštním přístupu k rozlišení výstupu. Nicméně dokáže ukládat a načítat barevné škály ze souborů, což práci značně usnadní.

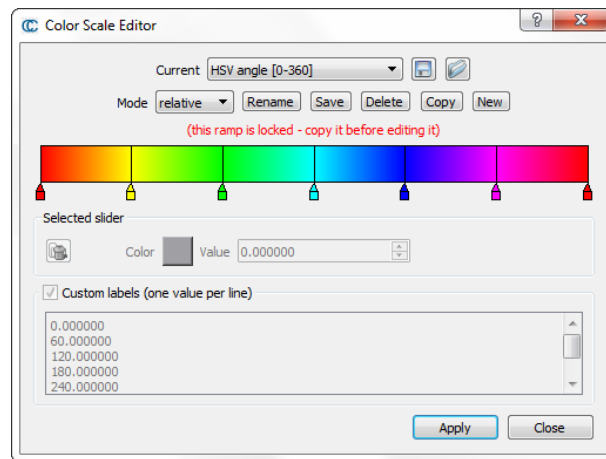
3.2.2 CloudCompare

Program CloudCompare umožňuje použití obou přístupů popsaných na počátku části 3.2. Jejich postup je odlišný, ale barevná vizualizace v závěru má postup shodný.

3.2.2.1 Transformovaný souřadný systém

Po importu souboru slouží pro zobrazení základní výškové hypsometrie příkaz „Height Ramp“. V dialogu (obr 26b) je na výběr buď výchozí barevné schéma (Default), plynulý přechod mezi dvěma barvami vlastního výběru (Custom) anebo výchozí barevné schéma se zadanou hodnotou kroku (Bending). Tento výsledek může být pro mnohé uživatele dostačující.

Je ale možné mít nad vizualizací ještě větší kontrolu. Pro další postup je nutné vytvořit tzv. skalární pole (Scalar Field) pro souřadnici Z. V sekci Color Scale je možné zvolit jedno z jedenácti výchozích barevných schémat nebo otevřít dialog Color Scale Editor. Tento editor zobrazí body na stupnici, mezi kterými je plynulý barevný přechod. Každý bod má danou barvu v systému RGB a polohu od počátku. Dialog je na obr. 25.

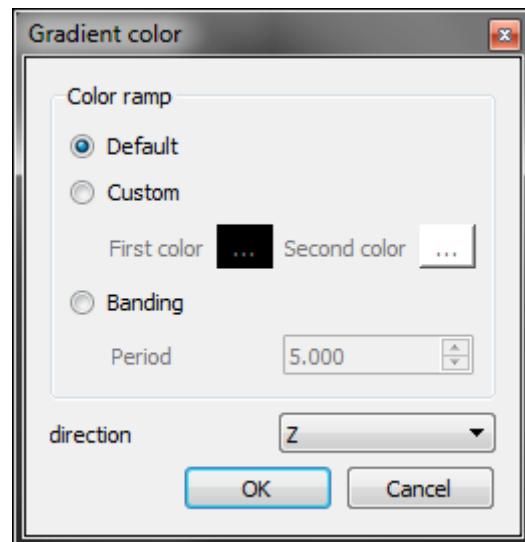


Obrázek 25: Editor barevných stupnic, CloudCompare

Jedna z výhod je možnost zvolit, zda body na stupnici definovat absolutně (absolute – přímo hodnotou Z) nebo relativně (relative – hodnota v procentech 0-100%). Naopak není možné nastavit průhlednost nebo jedním klikem otočit směr stupnice. Hlavní funkce je ale dostupná, a tou je export stupnic a následný import ze souboru. Uložená stupnice má formát XML, který lze upravit v obyčejném textovém editoru (struktura na obr. 26a). Je proto opět možné tento XML soubor vygenerovat pomocí vlastního skriptu. Při opakovaném použití různých stupnic s různými parametry je tento postup velmi výhodný a vytváří jistou míru automatizace procesu.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<CloudCompare>
  <ColorScale version="1">
    <Properties>
      <name>New scale</name>
      <uuid>{e50a7250-312c-4348-974a-72c023a2bd21}</uuid>
      <absolute>0</absolute>
    </Properties>
    <Data>
      <step r="43" g="131" b="186" pos="0"/>
      <step r="43" g="131" b="186" pos="0.11122642"/>
      <step r="102" g="194" b="165" pos="0.11132075"/>
      <step r="102" g="194" b="165" pos="0.22254717"/>
      <step r="171" g="221" b="164" pos="0.22264151"/>
      <step r="171" g="221" b="164" pos="0.33292453"/>
      <step r="230" g="245" b="152" pos="0.33301887"/>
      <step r="230" g="245" b="152" pos="0.44424528"/>
      <step r="255" g="255" b="191" pos="0.44433962"/>
      <step r="255" g="255" b="191" pos="0.55566038"/>
      <step r="254" g="224" b="139" pos="0.55575472"/>
      <step r="254" g="224" b="139" pos="0.66698113"/>
      <step r="253" g="174" b="97" pos="0.66707547"/>
      <step r="253" g="174" b="97" pos="0.77735849"/>
      <step r="244" g="109" b="67" pos="0.77745283"/>
      <step r="244" g="109" b="67" pos="0.88867925"/>
      <step r="215" g="61" b="41" pos="0.88877358"/>
      <step r="215" g="61" b="41" pos="1"/>
    </Data>
  </ColorScale>
</CloudCompare>
```

a) Struktura XML souboru s bar. stupnicí



b) Dialog příkazu Height Ramp

Obrázek 26: Vytváření výstupu barevné hypsometrie, CloudCompare

Stupnice v dialogu má vždy plynulý přechod mezi body. V hlavním okně se ale zobrazí tolik odstínů, kolik je nastaveno ve vlastnostech objektu (položka Steps). Porovnání několika hodnot je vidět na obr. 27. Na prvním ze čtyř obrázků je patrné, že uživatel nemá vliv na to, které barvy budou vybrány do diskrétně rozdělené stupnice. S tímto je nutné počítat a buď se smířit s takovým výběrem barev nebo použít postup vytvoření souboru se stupnicí pomocí skriptu (shodně s postupem v programu Surfer, kapitola 3.2.3). Takové řešení vloží vždy dva body

různých odstínů velmi blízko k sobě a stupnice pak vypadá, jako by nebyla spojitá. Počet diskrétních odstínů (Steps) se v tom případě zvolí nejvyšší možný (1024).



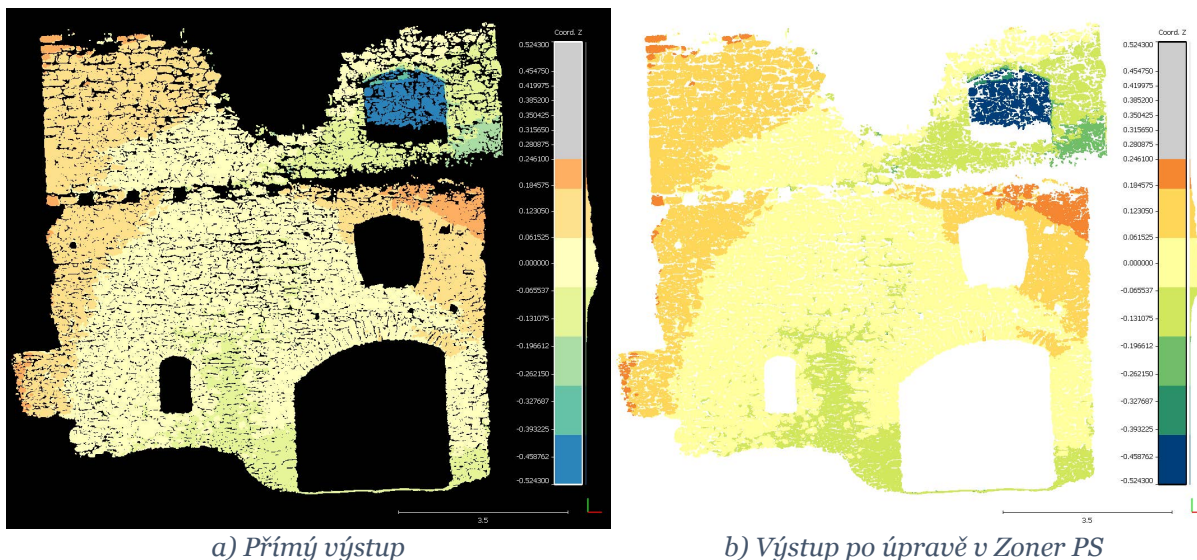
Obrázek 27: Ukázka různě volených počtů odstínů (Steps)

Další potřebná úprava je symetrie stupnice. Ta je vždy zasazena mezi nejvyšší a nejnižší bod, jejichž průměr nemusí být roven nule. Stupnice se stane symetrickou zaškrtnutím možnosti „symmetrical color scale“ ve vlastnostech objektu. Kontrolou je zaškrtnutí i následující možnosti („always show 0 in color scale“), která zobrazí popisek nulového bodu. Stupnice se tímto krokem z jedné strany omezí šedou barvou, což je na první pohled neestetické, ale zmizí tím z legendy hodnoty, které se ve vizualizaci nenachází, a to je správně.

Ještě před exportem výsledku je vhodné vedle mračna zobrazit zvolenou barevnou stupnici (možnost „Visible“). Na výsledném obrázku bude mračno tak, jak je zobrazeno v hlavním okně, proto je nutné ho natočit tak, aby jím proložená rovina byla kolmá na směr pohledu. Body mají souřadnice transformovány tak, že v kolmém směru na rovinu probíhá osa Z. Toho se dá využít a mračno natočit jedním ze základních pohledů, a sice pohledu „shora“ (Top).

Export obrázku se provede příkazem „Render to File“ a je nutné zadat přiblížení na hodnotu 1. Tak má uživatel jistotu, že bude výsledek vypadat přesně tak, jako vidí na obrazovce. Při nedodržení tohoto kroku se uživatel může dopustit stejné chyby, jako v případě programu Trimble RealWorks (jako na obr. 21). Další nutné nastavení je označení políčka „Render overaly items“, které do obrázku přidá grafické měřítko. Je nutné tuto funkci zapnout, jinak bude výsledek značně znehodnocen (bez rozměru).

Stejně jako v případě jiných programů je zde problém s černým pozadím, které sice může být čitelnější, ale není to standardní vzhled u výstupu tohoto typu (nehledě na mnohem vyšší spotřebu barvy při tisku). Je možné v grafickém editoru provést výměnu černé barvy za bílou a naopak (nikoliv inverze všech barev). Takové úpravy je možné dosáhnout v programu pro grafickou úpravu (například Adobe PhotoShop a další) nebo v Matlabu (načíst obrázek jako matici a vyměnit prvky s hodnotou 255, 255, 255 s prvky s hodnotou 0, 0, 0). V této práci byl použit program Zoner Photo Studio 18. výsledek po grafické úpravě měl velmi nízký kontrast s pozadím (odstíny žluté šly špatně rozeznat od pozadí), a proto byla pro tento výsledek ještě změněna stupnice tak, že každá barva se změnila na odstín s vyšším kontrastem k bílému pozadí. Výsledek před a po úpravě je na obr. 28.



Obrázek 28: Výstupy z programu CloudCompare

3.2.2.2 Obecný souřadný systém

Program CloudCompare jako jeden z mála dokáže zobrazit hypsometrii mračka bodů i bez transformace souřadnicového systému. Dá se k tomu využít klíčová funkce tohoto programu, a sice porovnání mračka bodů s mračnem jiným nebo s 3D modelem. CloudCompare pracuje s rovinou jako s malým 3D modelem a je tedy možné na body a rovinu aplikovat funkci analyzující vzdálenosti bodů od 3D modelu.

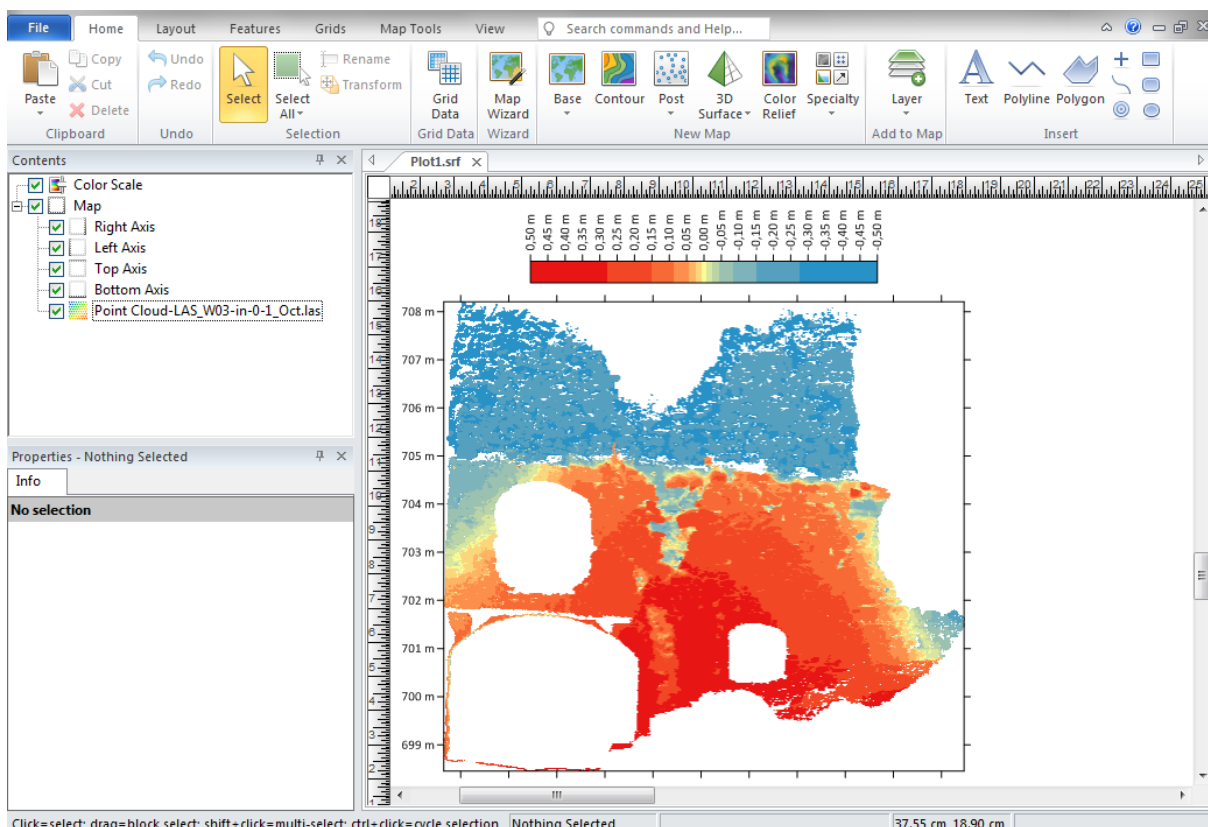
Po vytvoření referenční roviny (na jejích rozměrech nezáleží) se spustí výpočet funkce „Cloud/Mesh Dist“, která vytvoří nové skalární pole (Scalar Field), s nímž se dále pracuje stejně, jako je popsáno v kapitole 3.2.2.1. Po správném natočení se provede export do obrazového formátu (shodně s předchozí kapitolou).

Tento postup dokáže z neupraveného mračka bodů vcelku rychlým postupem vytvořit kvalitní hypsometrický model s vyšší mírou variability díky mnohým způsobům nastavení. Nicméně zůstává nutný proces segmentace mračka na jednotlivé zdi a není jednoduché se zde vypořádat s černým pozadím exportovaného obrázku.

CloudCompare je skvělý nástroj jak pro úpravu mraček, tak pro tvorbu hypsometrie. Jedinou nevýhodou je zmizení měřítka a hodnot u barevné škály při změně pozadí z černé na bílou. Pro práci může být doporučen také protože zvládne výstup vytvořit od začátku do konce bez změny programu.

3.2.3 Surfer

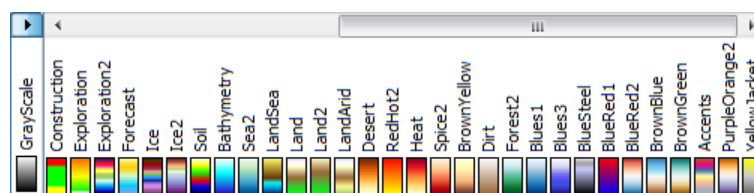
Program Surfer od společnosti Golden Software (USA) je určen k vizualizaci mnoha různých typů dat. Od verze 15 podporuje také import mraček bodů, a to pouze ve formátu LAS. Liší se od ostatních tím, že pracuje ve 2D. Má sice i mód pro práci ve 3D, ten ale není pro tento projekt vhodný. Snímek pracovního prostředí programu je na obr. 29.



Obrázek 29: Pracovní prostředí programu Surfer

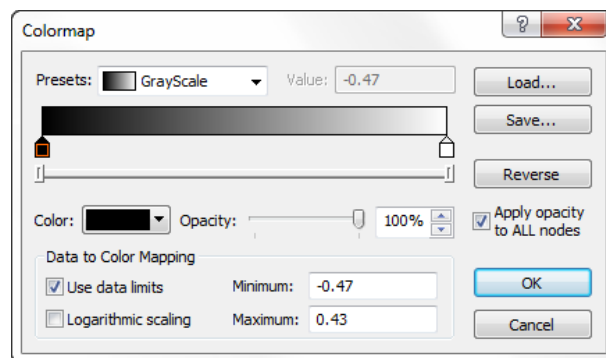
Import souboru je možný pouze ve formátu LAS. To přináší určitou nevýhodu, protože mnoho uživatelů běžně používá některý z textových formátů. Při importu je nutné zadat správné jednotky souřadnic (metry). V opačném případě budou data načtena chybně!

Zobrazení mračna bodů lze obarvit podle intenzity odraženého signálu, pořadí odrazu paprsku, klasifikace bodů nebo souřadnice Z (Elevation). Testovací data neobsahují žádné dodatečné informace o barvě, intenzitě nebo pořadí odrazu. Opět jediné, co se dá pro obarvení v tomto případě použít, je výška. Pro správné zobrazení zdi se musí souřadný systém nejprve transformovat tak, jak se popsáno v kapitole 3.2.



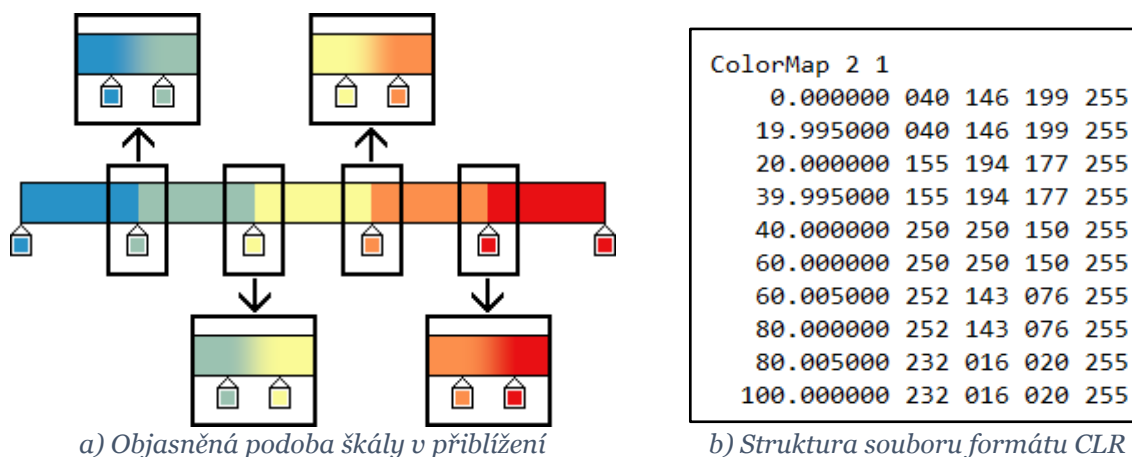
Obrázek 30: Přednastavené barevné stupnice, Surfer

Program nabízí mnoho výchozích stupnic. Dobrým pomocníkem můžou být názvy stupnic podle možného použití (např. terén, hloubkové stupně, teplotní stupně nebo barvy duhy, obr. 30). Nicméně mimo tyto definované stupnice je možné i vytvářet vlastní, a to postupem velmi podobným programu CloudCompare. Uživatel může do grafického okna (obr. 31) libovolně přidávat a mazat dělicí body stupnice s tím, že každý bod musí mít určenou barvu, průhlednost a polohu od počátku. Stupnice se pak vytvoří tak, že mezi všemi těmito body proběhne plynulý barevný přechod. Stupnice tak může být lineární, kopírovat různé funkce nebo být čistě náhodná (všechny její body se ale musí ručně zadat).



Obrázek 31: Dialog nastavení barevné stupnice

Aby byla dodržena pravidla stanovená v kapitole 2, nebylo možné se spokojit s plynulými přechody barev. Poloha barevného dělicího bodu na stupnici lze určit s přesností na 16 desetinných cifer. Aby bylo dosaženo ostrého barevného předělu, byly do stupnice přidávány body po dvojicích, vždy s miniaturním rozdílem vzdálenosti od počátku ($1 \cdot 10^{-6}$). Protože byly souřadnice bodů mračna exportovány na 4 desetinná místa, nemohlo se stát, že by v tomto malém intervalu ležel nějaký bod. Výše zmíněný plynulý přechod mezi body stupnice tak probíhá na úseku dlouhém $1 \cdot 10^{-6}$ (jednotek stupnice). Jednak při vizualizaci barevné škály není okem postřehnutelný a zároveň se ani neprojeví na vzhledu mračna bodů, protože bylo ošetřeno, že se žádný bod v tomto intervalu nenachází. Stejný postup byl použit i u programu CloudCompare. Detail přibližující podobu barevné stupnice v dialogu je na obr. 32a. Celý dialog s nastavením stupnice pak na obr. 31.



Obrázek 32: Tvorba výstupu v programu Surfer

Program Surfer umožňuje ručně vytvořené stupnice barev ukládat a posléze načítat, čímž se postup začíná automatizovat. Následně bylo zjištěno, že soubor, do kterého Surfer stupnici ukládá má formát CLR a je textový (lze tedy upravit v běžném textovém editoru). Příklad obsahu takového souboru lze vidět na obr. 32b. Každý řádek obsahuje čísla udávající polohu bodu od počátku stupnice, jeho barvu (RGB) a průhlednost. Opět je možné data připravit ve vhodnějším software, například pomocí výpočetního skriptu a stupnice tak rychle měnit a testovat.

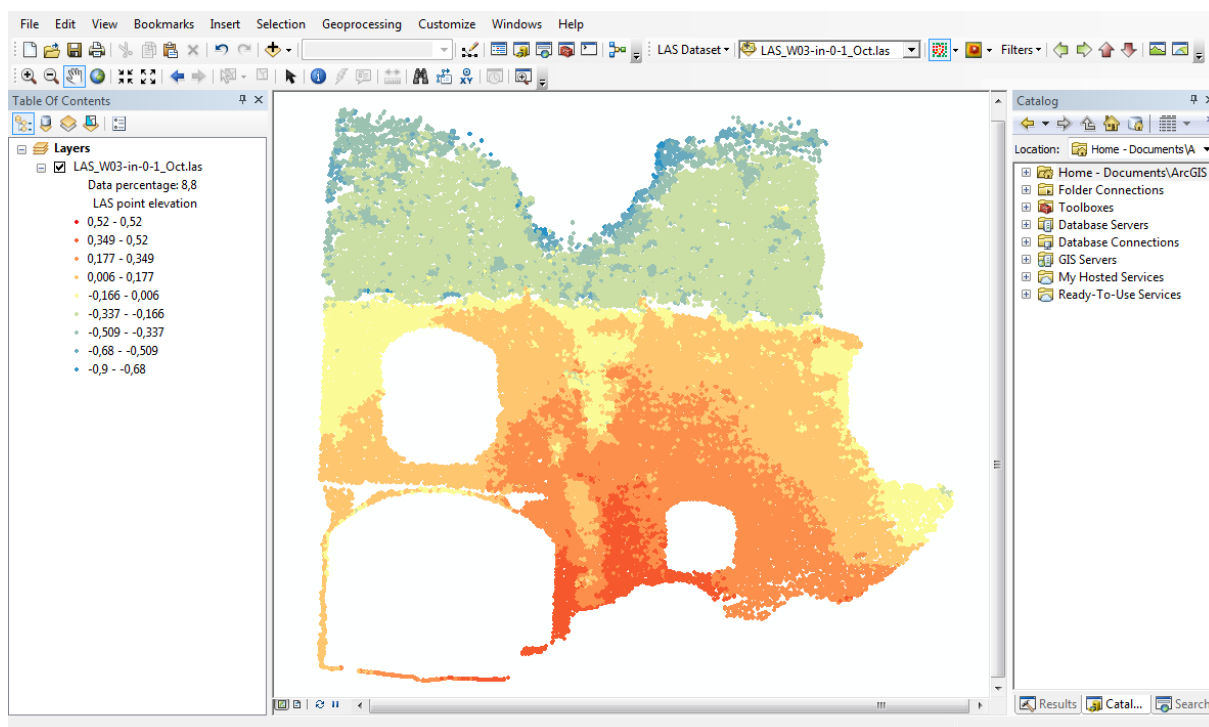
Vytvořená barevná stupnice se dá zobrazit vedle hypsometrického plánu a následně drobně upravit. Bohužel popisky dělicích bodů na stupnici lze definovat pouze pravidelným intervalem. Proto později u tvorby polynomických a exponenciálních nebylo možné zobrazit přesné hodnoty, ve kterých se mění barva bodu. Program také nabízí široké možnosti vzhledu stránky. Lze upravovat osy souřadnic včetně formátu jejich popisků nebo délky a frekvence bočních linií.

Velkou výhodou programu Surfer jsou široké možnosti exportu. Na výběr je z přibližně padesáti formátů. Nejzajímavějšími možnostmi jsou rastrové soubory (JPG, PNG, TIF) a vektorové soubory (PDF, SVG, SHP, EMF nebo i DXF). Formát DXF je univerzálním formátem pro výkresy v CADovských programech a možnost exportovat obarvené body i s osami souřadnic zde nabízí přímočarý postup, kterým výstup vložit do programu AutoCAD, ve kterém bude probíhat tvorba finálního výkresu.

Program Surfer je jednoznačně skvělý nástroj pro tvorbu hypsometrického plánu. Největší výhodou je možný export do vektorového formátu DXF nebo fakt, že mračno zobrazuje v plném rozlišení (každý bod je viditelný).

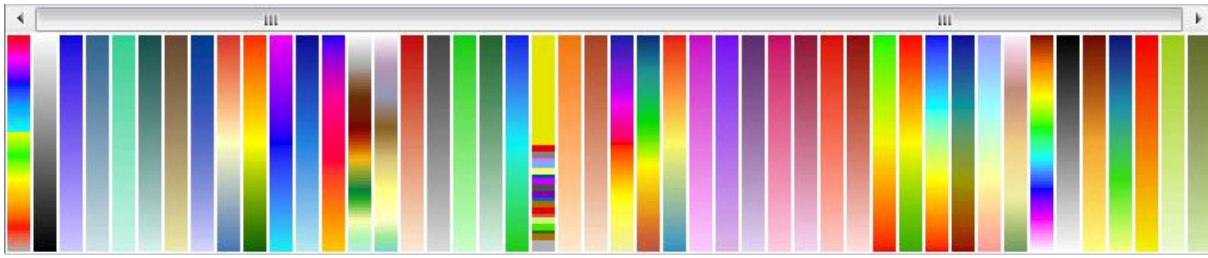
3.2.4 ArcMap

Program ArcMap je součástí softwarového balíku ArcGIS Desktop od společnosti Esri (USA). Tento software se zabývá správou geografických informačních systémů, tvorbou map a zpracováním a analýzou prostorových dat. Podporuje i data laserového skenování, pracuje ve 2D pohledu a nabízí mnoho možností exportu. Ukázka pracovního prostředí ArcMap je na obr. 33.



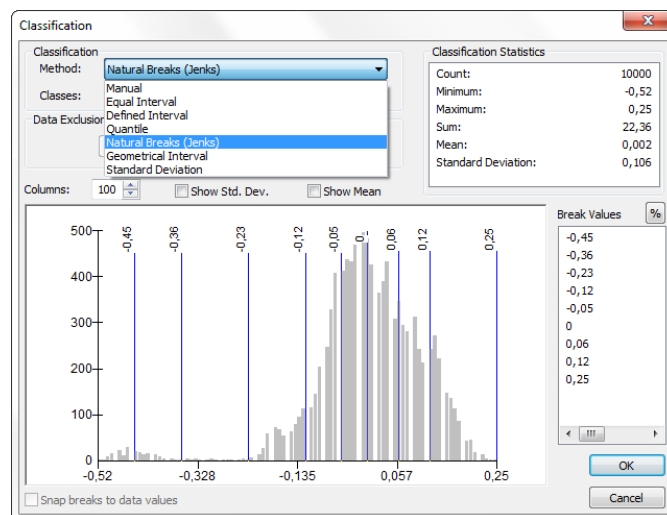
Obrázek 33: Pracovní prostředí programu ArcMap

Po načtení dat se s mračnem bodů pracuje ve 2D, je proto nutné mít body transformovány tak, jak je popsáno na počátku kapitoly 3.2. Výšky bodů se automaticky zobrazí barevně a tyto barvy lze upravovat mnoha způsoby. Jako základní krok si lze vybrat ze 46 výchozích barevných stupnic (obr. 34). Pokud si z těchto uživatel nevybere, lze si vytvořit vlastní. Způsob je jiný než v programech Surfer či CloudCompare, nicméně pravidelný barevný přechod i mezi více barvami lze vytvořit snadno. Je též možné zvolit různé metody přechodu z jedné barvy do druhé.



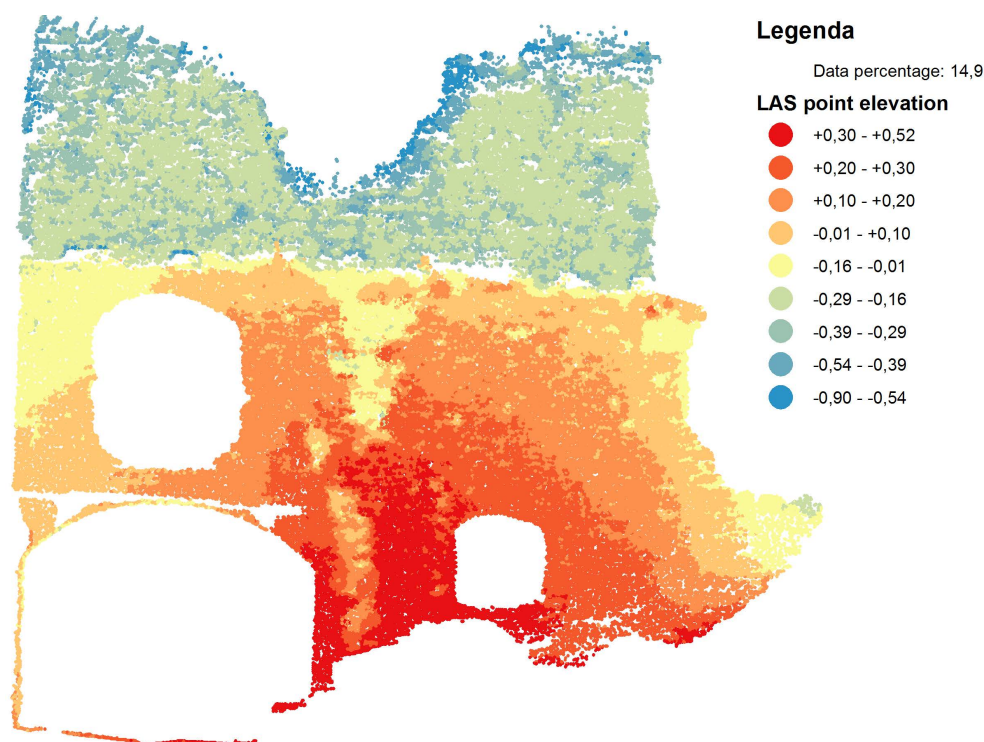
Obrázek 34: ArcMap – výchozí barevné stupnice

Barevné stupnice v ArcMapu mají vždy konkrétní počet tříd, do kterých je hodnota souřadnice Z rozdělena. Velkou nabídku má program ArcMap v rozdělení velikostí a počtu zobrazených barev, jak je vidět na obr. 35. Je na výběr z celkem sedmi módů pro velikosti tříd – ruční (Manual), shodné intervaly (Equal Interval, Defined Interval), metoda kvantilů (Quantile), Jenksova metoda (Natural Breaks), Geometrická řada (Geometrical Interval) a směrodatná odchylka (Standard deviation). Bohužel pouze jeden z módů (Defined Interval) splňuje základní podmínku stanovenou pro tuto práci, a sice symetrii podle bodu nula na stupnici. Je proto nutné zbylé metody z postupu vyloučit. To ale není takový limit, protože pomocí módu ručního výběru (Manual) se dá vytvořit jakákoli stupnice. Velkou výhodou je zobrazení histogramu hodnot na pozadí (šedé sloupce), díky kterému si uživatel udělá jednoduchou a rychlou představu o rozložení dat v barevných intervalech (obr. 35).



Obrázek 35: ArcMap – dialog metod klasifikace

Po rozdělení výškové stupnice na nějaký počet tříd se dají třídy obarvit automaticky podle některé z výchozích stupnic nebo zvolit pro každou třídu ručně vlastní barvu. Po výběru barevné stupnice lze ještě ovlivnit tvar, velikost, množství a hustotu zobrazených bodů. Jako tvar je nejlepší nechat výchozí možnost (plné kolečko), velikost je možné testovat, pro tuto práci byla nastavena na hodnotu 2,4 (kombinace optimálního překrytu bodů a velikostí mezer). Ve vlastnostech vrstvy je pak možné zvolit limit zobrazených bodů (max. hodnota 5 mil.) a jejich hustotu (na stupnici 0-10). Pro účely práce byly obě hodnoty nastaveny na své maximum.



Obrázek 36: Příklad výstupu z ArcMap

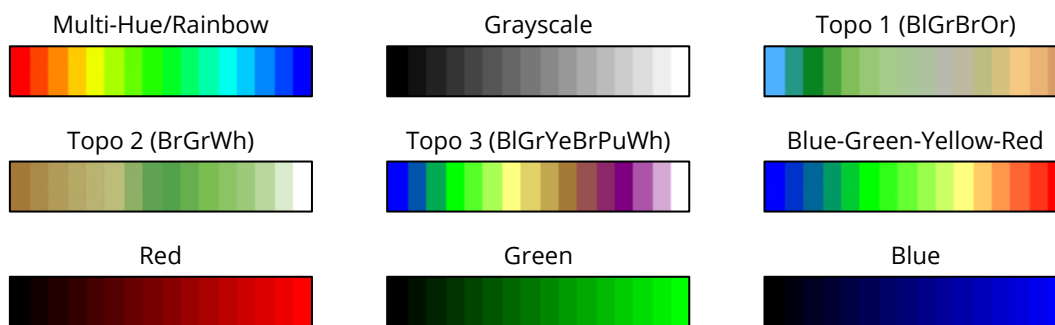
Výstup se v programu ArcMap vytváří v módu Rozvržení (Layout View), kde se mapové okno pokládá jakoby na papír a lze vedle něj doplnit další prvky (jako legenda, měřítko atp.). Zobrazení legendy je bohužel omezené, protože zobrazuje pouze barvu a rozsah každého intervalu. To je sice správně, ale mnohem lepší je legenda taková, jakou tvoří například program Surfer, protože je na ni názorně vidět šířka každého barevného intervalu. Export je možný do mnoha vektorových i rastrových formátů. Z těch nejpoužívanějších lze zmínit například formát PDF, SVG, JPG, PNG, BMP, TIF či GIF. Ukázka výstupu z programu ArcMap je na obr. 36.

Esri ArcMap je velice robustní nástroj disponující mnoha funkcemi, nicméně pro účely tvorby hypsometrie má velkou nevýhodu ve stylu zobrazení barevné škály. Tento styl není vůbec názorný, ale svůj účel splňuje. Je na zvážení, zda je vhodné tento program pro tvorbu využít.

3.2.5 Leica Cyclone

Pro program Leica Cyclone se v této práci předpokládá, že v něm uživatel ovládá základní i pokročilejší funkce zpracování mračna bodů. Program umí zobrazovat mračno bodů v barevné hypsometrii podle různých parametrů. Bohužel k dispozici jsou pouze velice základní funkce a jakékoliv pokročilejší parametry se měnit nedají. Předpokládá se, že jsou souřadnice transformovány podle stanovených pravidel. Leica Cyclone má ve výchozím nastavení zobrazení v perspektivě, proto je nutné ho nejprve změnit na paralelní (ortografické).

Obarvení bodů podle odchylky od roviny se provede příkazem „Edit Color Map“. Objeví se dialog, ve kterém se dá nastavit model obarvení (skutečná barva bodu, intenzita odrazu, výška, jedna barva nebo textura z obrázku). Dále barevné schéma, kdy je na výběr z pouze 9 schémat (obr. 37), které jsou navíc needitovatelné, a proto si s nimi musí uživatel vystačit.



Obrázek 37: Barevná schémata Leica Cyclone (počet barevných stupňů: 16)

Intervaly stupnice se pak nastavují pomocí startovní pozice na ose Z (Start), šířky intervalu (Delta) v metrech a počtem barev, na které se stupnice sama rozdělí (No. of Colors) – vyšší číslo znamená jemnější rozdíly, plynulého přechodu se dá docílit zadáním vysokého čísla.

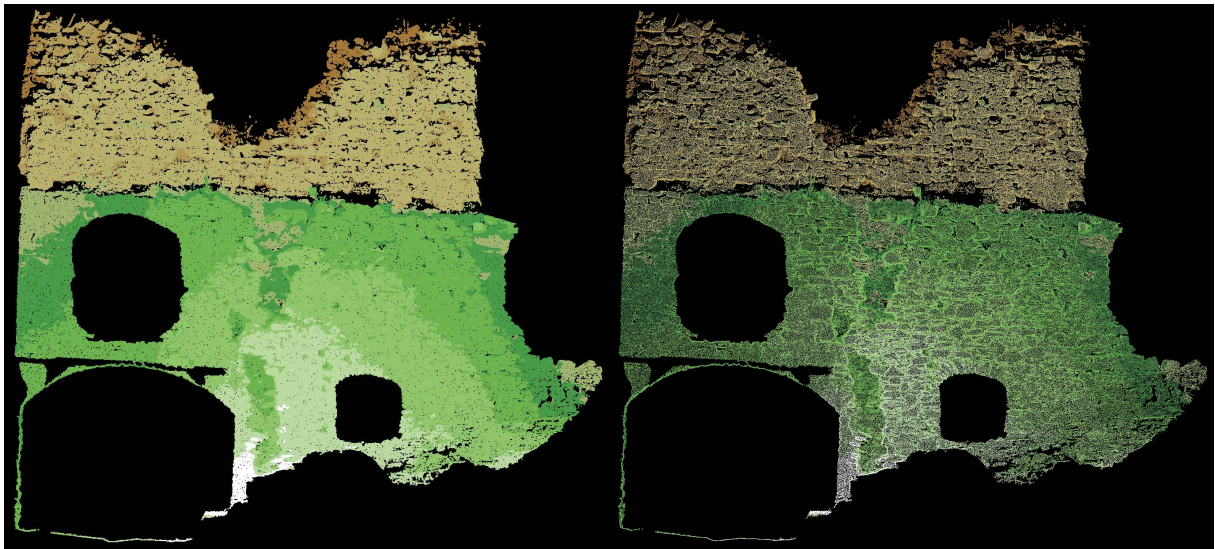
Nemožnost nastavení podrobnějších parametrů zde situaci značně komplikuje a bylo nutné toto omezení alespoň částečně obejít. V první řadě je potřeba, aby výsledná stupnice měla přechod mezi třemi barvami. V seznamu barevných schémat se nachází pouze jedno takové, a sice schéma „Topo 2“. Není sice možné tyto barvy změnit, ale svůj účel výsledný obrázek splní. Bohužel, parametry umístění schématu na ose Z je dáno pouze hodnotou Start a Delta. Pro vytvoření symetrické stupnice podle nulové hodnoty je nutné si intervaly rozpočítat tak, aby se střed nacházel přesně na hodnotě nula. Postup pro výpočet těchto hodnot je následující, známe-li počet odstínů (No. of Colors), šířku intervalu (Delta) a hodnotu Start:

$$Z = s - \frac{d}{2} - d \cdot \frac{o-1}{2},$$

kde Z je hodnota Start, s je střed stupnice (v tomto případě roven nule), d je šířka intervalu Delta a o je počet odstínů No. of Colors (musí být **liché** číslo).

Lze si všimnout, že výchozí pozadí v Leica Cyclone je černé, ale výstup z tiskárny by měl být na pozadí bílém. Pozadí je sice možné v programu změnit, ale vzhledem k tomu, že je použito barevné schéma s bílou barvou, body s touto barvou by na bílém pozadí zmizely. Proto je vhodné ponechat pozadí černé a výsledný obrázek upravit v grafickém editoru. Je nutné nejprve bílé pixely nahradit za jinou barvu (např. světle šedé), a pak až nahradit černé pozadí bílým. Další možné řešení by bylo použití inverze barev (negativ). Obr. 39 ukazuje rozdíl grafické úpravy a původního souboru.

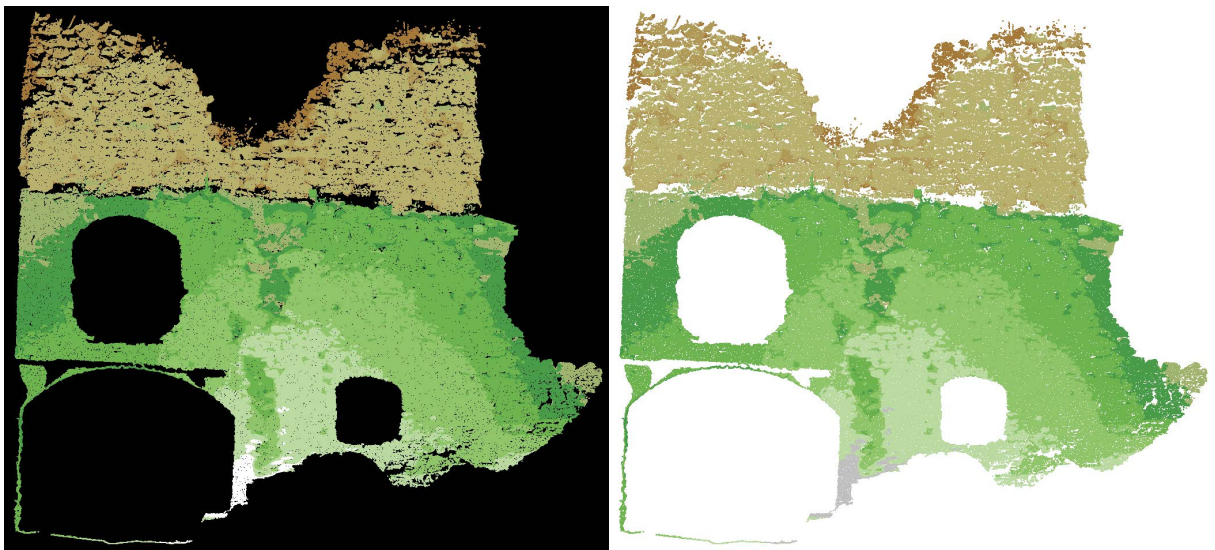
Po nastavení všech parametrů je nutné exportovat pohled do obrazového formátu (na výběr je BMP, JPG, PNG a TIF). Po jeho potvrzení je nutné zadat rozlišení výsledného rastru. Je doporučeno ponechat výchozí hodnotu, protože bude výsledek vypadat stejně jako na monitoru. Je důležité vědět, že při nastavení vyššího rozlišení ve snaze získat kvalitnější výsledek, se provede jakési skryté přiblížení, při kterém ale zůstane velikost bodu stejná! Rozdíl je patrný na obr. 38 a je shodný s efektem v programu Trimble RealWorks.



a) rozlišení 1916×1064

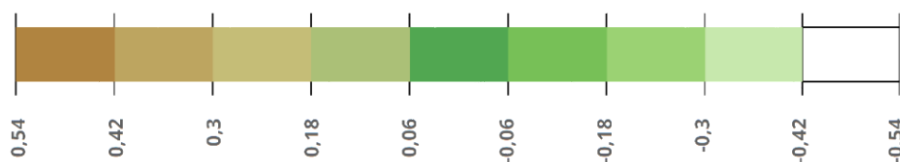
b) rozlišení 4000×2221

Obrázek 38: Leica Cyclone – změna rozlišení při exportu



Obrázek 39: Úprava výstupu nahrazením barev, původní (vlevo) a upravený

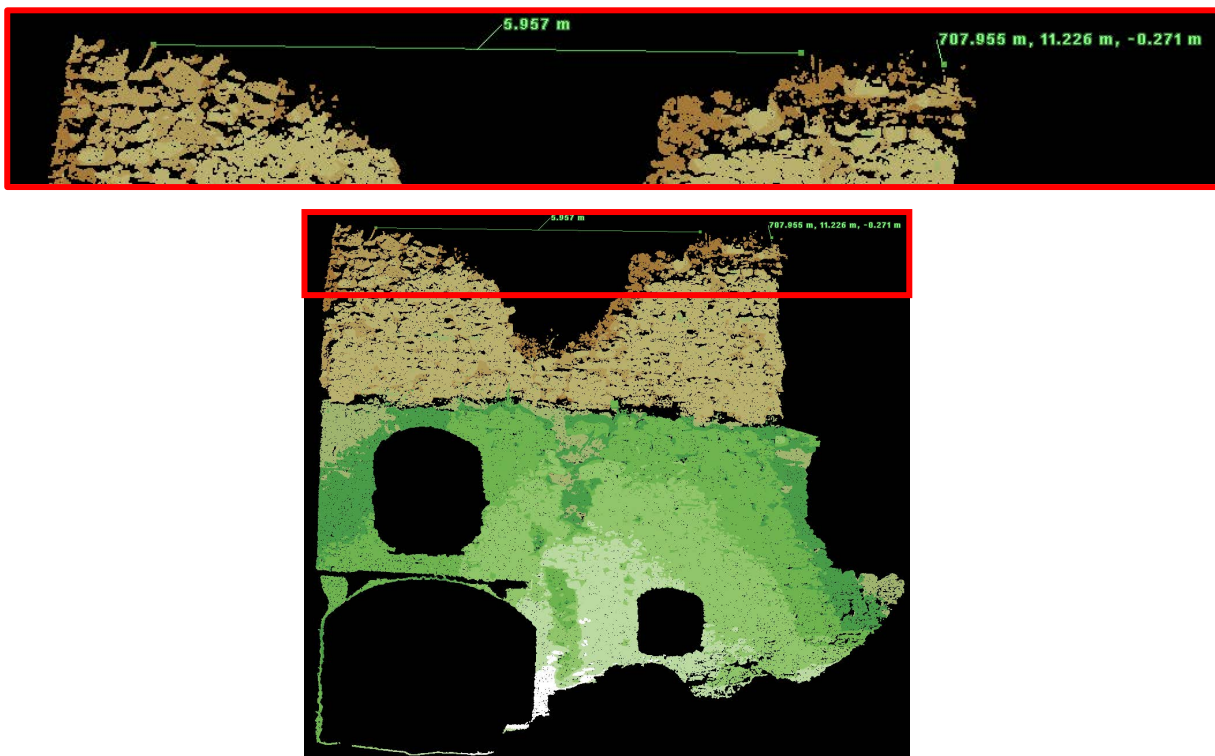
Velký problém těchto výsledků je, že se nezobrazí barevná stupnice s dělicími body ani jakékoliv měřítko. Z výkresů tedy není možné odvodit ani jeden rozměr, což je u technického výstupu jasný nedostatek. To se dá napravit vytvořením barevné stupnice ručně, neboť její parametry (Start a Delta) jsou známy. Obr. 40 ukazuje jeden z možných podob.



Obrázek 40: Barevná stupnice odvozená z hodnot dialogu, Leica Cyclone

Druhý problém v podobě absence měřítka se dá obejít funkcí měření vzdálenosti, která nakreslí spojnicí vybraných bodů a k ní jejich vzdálenost. Podobná funkce zobrazí souřadnice vybraného bodu. Obě tyto informace se po exportu objeví ve výstupu. Tímto postupem dostal

obrázek skutečný rozměr a polohu a dá se dále využít pro program AutoCAD. Výsledek exportu z Leica Cyclone se změřenou vzdáleností je na obr. 41.

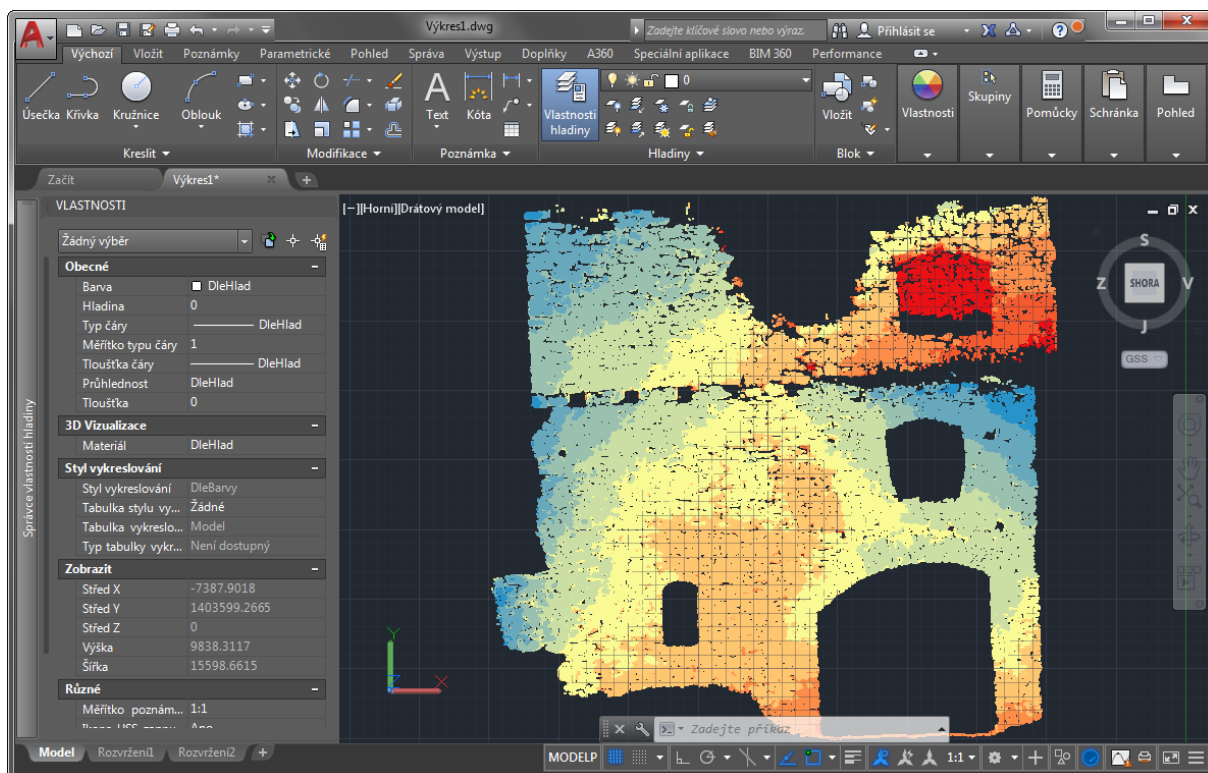


Obrázek 41: Leica Cyclone – export s rozměrem a polohovým umístěním

Leica Cyclone je mocný nástroj a nabízí mnoho funkcí na úpravu mračen bodů a 3D modelu, ale ve vytváření barevné hypsometrie je pozadu. Základní výsledek lze sice získat relativně snadno, ale pokročilejší nastavení nenabízí. Pro úlohu vytvoření barevné hypsometrie se doporučit nedá, ale pokud nároky na výsledek nejsou vysoké, není nutné instalovat nový software, nýbrž lze použít tento.

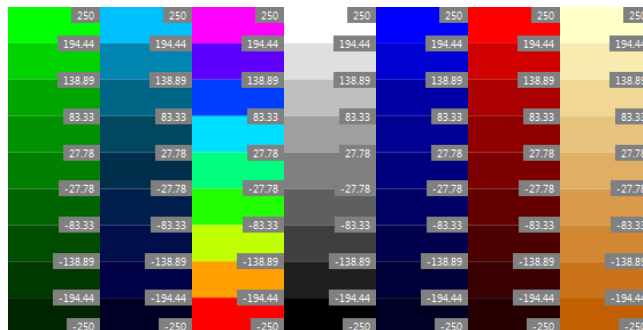
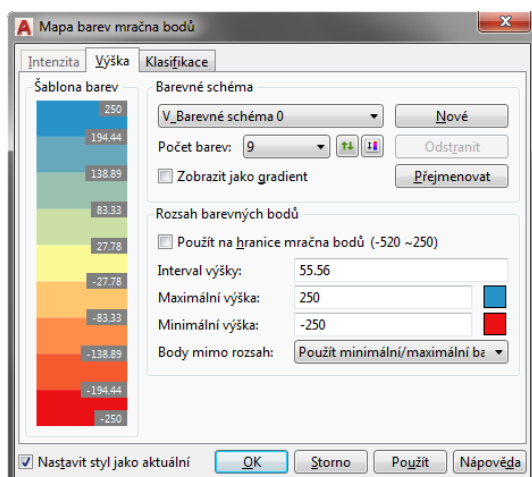
3.2.6 Autodesk AutoCAD

Program Autodesk AutoCAD je jeden z nejpoužívanějších nástrojů pro tvorbu technických výstupů a analýz. Také proto byl zvolen jako koncový článek pro tvorbu výstupů v této práci. Je zde využit jako jednotící prvek, který shromáždí dílčí části z různých programů a spojí je v jeden výkres. Bylo zjištěno, že i tento program dokáže kromě tvorby výkresů i importovat a analyzovat mračno bodů. Na obr. 42 je snímek okna programu během práce.



Obrázek 42: Pracovní prostředí programu AutoCAD

Import bodů je bohužel možný pouze ve formátu RCS, což je interní formát používaný mezi programy portfolia společnosti Autodesk. Převod z formátu LAS a ASC, který je použit v této práci, je možný v programu Autodesk Revit. Po převodu do správného formátu se provede připojení nového souboru do programu AutoCAD. Dále funkcí „Mapování barev“ se v dialogu nastaví vše potřebné. Snímek dialogu je na obr. 43. Je možné použít jednu ze sedmi výchozích barevných stupnic (tentýž obr.) nebo vytvářet stupnice vlastní. Počet barev musí být liché číslo, aby byla splněna podmínka intervalu obsahujícího nulový bod. Dále jde kliknutím na příslušný barevný obdélník libovolně změnit jeho barvu v systému RGB. Bodům lze též nastavit různou velikost a hustotu (je nutné zvolit hustotu maximální, aby nedošlo ke zkreslení).



Obrázek 43: AutoCAD – dialog Mapování barev (vlevo) a výchozí barevné stupnice

Tento program přináší velkou výhodu v tom, že ve finálním kroku, kdy se vše přesouvá právě do AutoCADu, je možné pokračovat v práci bez přesunu dat mezi programy. Také se zde pracuje s originálními daty (soubor se souřadnicemi bodů) a ne pouze s rastrovou reprezentací

(snímkem) bodů z jiného programu. Nicméně tato výhoda vzápětí zaniká, protože při exportu výkresu do formátu PDF či tisku se zobrazení bodů změní z vektorové reprezentace bodů na rastrový obrázek (nízké kvality). To se děje z neznámého důvodu a žádným nastavením to není možné ovlivnit.

Další nevýhodou je, že mračno bodů je k souboru DWG (formát výkresu AutoCAD) pouze připojeno jako externí reference. Při sdílení samotného DWG souboru se tedy reference přeruší a adresátovi se do programu body nenačtou.

Postupy v programu AutoCAD a Revit byly vytvořeny na základě konzultací s Ing. Tomášem Lendvorským (Senior Tech. Sales Specialist, Autodesk CZ).

Použití AutoCADu je výhodné, protože při finální tvorbě výkresu není nutné měnit software. Nevýhoda (při exportu) je ve zmíněné změně vektorové podoby bodů do rastrové, která má navíc velmi nízkou kvalitu.

4 Optimální pracovní postup

V předchozích kapitolách byly zkoumány a testovány možnosti různého software, a to jak pro zpracování mračna bodů do podoby použitelné pro tvorbu hypsometrie, tak i pro samotnou tvorbu hypsometrického plánu. Ze všech popsanych postupů byl pro každou část zvolen jeden program, který byl shledán optimálním pro účely tvorby výstupů této práce. K rozhodnutí vedly mnohé faktory, které jsou přiblíženy v následujících odstavcích. Postup je shrnut v diagramu – obr. 44.

4.1 Pracovní postup vzniku hypsometrického plánu

Jako výchozí software pro zpracování mračna bodů převzatého z práce Ledecké K. (2018) byl zvolen program Trimble RealWorks. Program byl zařazen do testování na základě doporučení od Ing. Filipa Špačka. Byl vybrán především pro snadnou dostupnost aktuální verze pro studenty pracující na bakalářské či diplomové práci. V neposlední řadě také kvůli ovládání programu, které je přirozené, intuitivní a běžný uživatel se v něm rychle zorientuje a dokáže využít mnoho funkcí i bez čtení nápovědy či manuálu k programu. Ostatní testované programy nemají příliš mnoho nevýhod oproti zvolenému Trimble RealWorks. Svými schopnostmi jsou srovnatelné a můžou ho snadno nahradit.

Pro tvorbu barevné hypsometrie z prostorového skenu byl zvolen program Surfer. Rozhodujícími faktory byla především míra splnění podmínek předem stanovených a popsanych v kapitole 2. Důraz byl kladen především na variabilitu rozložení barevné stupnice, možnost exportu do formátu DXF (vektorová kresba pro AutoCAD) nebo jednoduchost a plynulost celé tvorby v programu. Schopnosti všech testovaných programů jsou shrnuty v tabulce mezi přílohami práce.



Obrázek 44: Diagram znázorňující výsledný postup

Pro celý postup tvorby od importu testovacích bodových dat až po export výsledného výkresu byla vytvořena soustava video souborů snímajících obrazovku během tvorby. Tento druh výstupu byl zvolen z důvodu větší názornosti pro uživatele, kteří by stejný postup chtěli zopakovat na svém počítači. Zároveň je to dnes již standardní typ návodu pro postup v programech zveřejňovaný jak různými uživateli na fórech, tak samotnými tvůrci programů na svých webových stránkách. Jistá nevýhoda může nastat při opakování postupu za jiných podmínek, než bylo původně zamýšleno (například použití jiného operačního systému, než je použit na videu).

K tvorbě videa byl použit program FastStone Capture volně dostupný ke stažení. Nahrávání proběhlo na počítači s obrazovkou o velikosti 14 palců a operačním systémem Windows 7. Verze software byla aktuální k období tvorby této práce, tedy duben 2018. Videá jsou na žádost vedoucího práce dělena na krátké úseky. To aby bylo na webu podle názvů a atributů video souborů snadné vyhledat konkrétní funkci či konkrétní úsek pracovního postupu. Do videí jsou místy přidány poznámky, které mají většinou uvést širší souvislosti nebo dovysvětlit. To

mimo jiné z důvodu, že soubor neobsahuje zvuk, který někdy poskytuje tytéž informace u videí tohoto typu. Použití programu je velice prosté, přidání popisků též. Video soubor je součástí práce jako elektronická příloha.

4.2 Úpravy v programu AutoCAD

Po konzultaci s vedoucím práce bylo rozhodnuto postupy v různých programech spojit jednotícím koncem, a to převodem do programu AutoCAD a vytvořením finálního výstupu v něm. Důvod pro takový postup byl především z důvodu rozšíření daného programu mezi pracovníky památkových ústavů v České republice i obecně mezi lidmi zabývající se stavební či památkovou péčí, pro které je výhodné získat výstup kromě formátu k tisku (PDF) i ve formátu technickém. Takový formát umožní měření veličin (délek a úhlů), odečítání souřadnic nebo dalších analýz, které by se do běžné obrazové dokumentace nevešly. Proto byly všechny výstupy různými způsoby převedeny do formátu DWG a přetvořeny na technické výkresy pro prezentaci klientům. Celkový výstup je tedy klientovi předán jako soubor výkresu formátu DWG nebo DXF, dále jako interaktivní obraz formátu PDF i případně fyzický výtisk na papíře.

Program Surfer vybraný pro výsledné výstupy podporuje export do formátu DXF. V programu AutoCAD byl z tohoto souboru vytvořen výkres hypsometrického plánu tak, aby splňoval náležitosti technického výkresu a jednotný vzhled s výkresy tvořeny pracovištěm Laboratoře fotogrammetrie. Vektorový soubor obsahuje skutečný rozměr a umístění v prostoru zobrazovaných prvků a rozpisku standardního vzhledu. Výstup k odevzdání je pak exportován do formátu PDF a to tak, že je možné využít interaktivní funkce tohoto formátu. Jedná se o měření délek a vypínání viditelnosti vrstev výkresu (vrstvy výkresu jsou rozděleny též standardně dle zvyků Laboratoře fotogrammetrie – viz příloha práce).

Nakonec proběhly experimenty s integrací hypsometrického plánu do ostatních technických výstupů. Vnikne tak jeden PDF soubor obsahující mnoho různých výstupů, výkresů a dokumentací, které jsou všechny umístěny na sobě ve stejném souřadnicovém systému a klient tak má možnost pomocí vypínatelných vrstev porovnávat libovolné výstupy mezi sebou a na tomto základě provádět hlubší analýzy objektu. Na základě konzultací s docentem Ryklem bylo doporučeno do PDF souboru přidat vrstvu se svislým řezem a vrstvu pro ortofoto či fotoplán, protože z jeho zkušeností pracovníkům památkového ústavu velmi dobře poslouží pro orientaci ve výkresech. Bohužel fotoplán daného objektu nebyl k dispozici, a proto bylo do souboru přidáno ortofoto síťového modelu převzatého z práce Ledecké K. Svislý řez byl též převzat ze zmíněné práce. Integrace prvků (hypsometrický plán, ortofoto a svislý řez) byla provedena pouze u zobrazení vnitřní části severní zdi. K jiné části objektu nebyla taková dokumentace k dispozici.

4.3 Výstupy, vizualizace

Na základě veškerých testování a analýz v této práci byly vyhotoveny tři výkresy demonstrující ideální podobu a funkčnost použitých technologií. Výkresy jsou součástí bakalářské práce jako přílohy.

5 Použitý software, oslovení konzultanti

Veškeré výpočetní operace a práce s programy byly prováděny na osobním počítači s následujícími parametry: procesor Intel Core i7-3632QM s osmi jádry a základní frekvencí 2.20 GHz, operační paměť 8 GB, grafická karta NVIDIA GeForce GT 740M s pamětí 2 GB, OS Windows 7 64-bit. Veškerý software byl s tímto přístrojem kompatibilní a nevykazoval žádné problémy při spuštění či během práce. Byl získán legálně buď domluvou s firmami a institucemi nebo využitím zkušební verze programu. Hlavním zdrojem informací pro ovládání programů byla internetová fóra (AutoCAD, 2018), online nápovědy (Girardeau-Montaut, 2018) a server YouTube (www.youtube.com) sdružující videa různého obsahu.

5.1 Oslovení konzultanti

Ing. Filip Špaček, Geoline s.r.o.

doc. Ing. Michael Rykl, Ph.D., Fakulta architektury ČVUT v Praze

Ing. Tomáš Lendvorský, Senior Tech. Sales Specialist, Autodesk CZ

Ing. Tomáš Janata, Ph.D., Katedra Geomatiky, FSv ČVUT v Praze

5.2 Použitý software

Tato kapitola nabízí stručný výčet programů použitých v této práci, jejich verzi a podobu ikony. Příkladá také odkazy na webové stránky výrobce, kde jsou k dispozici ke stažení. Také jsou u každého zmíněny podmínky jeho získání a způsob, jakým byl získán pro použití v této práci.

Trimble RealWorks 10.4



Web: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-realworks>
Placená licence, nabídnuta zdarma od společnosti Geotronics s.r.o. pro účely práce

CloudCompare 2.9.1



Web: <http://www.danielgm.net/cc/>
Licence GNU GPL, zdarma

Leica Cyclone 9.2.1



Web: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone>
Placená licence, využita licence pro studenty University of Gävle

Matlab R2017b



Web: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
Placená licence, využita instalace v počítačových učebnách FSv ČVUT

Surfer 15.3



Web: <http://www.goldensoftware.com/products/surfer>
Placená licence, využita zkušební verze zdarma

ArcMap 10.6



Web: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/>
Placená licence, využita licence pro studenty ČVUT

AutoCAD 2017



Web: <https://www.autodesk.cz/products/autocad/overview>
Placená licence, zdarma pro studenty po dobu 3 let

6 Závěr

Cílem práce bylo najít ideální řešení pro tvorbu hypsometrického plánu jako technického výstupu pro účely stavebněhistorického bádání. Nejprve proběhla v první části práce analýza vzhledu a obsahu takového výstupu (teorie barev, poloha ref. roviny atp.). Poté byly vybrány programy schopné pracovat s mračnem bodů a programy vytvářející hypsometrický plán. Byly nalezeny správné funkce a možnosti pro každý program a stručně popsány v další části. Na základě tohoto výzkumu byl zvolen optimální postup od importu prostorového mračna modů po export a tisk hotového plánu. Ten byl prezentován v části třetí spolu s příklady výstupů. Na závěr bylo vytvořeno video snímající obrazovku při aplikaci zvoleného postupu, které je elektronickou přílohou práce.

Jako optimální nástroje byly zvoleny programy Trimble RealWorks pro zpracování mračna bodů, následně program Surfer pro vytvoření barevné hypsometrie bodového modelu, a nakonec program AutoCAD pro vytvoření technického výkresu se všemi povinnými náležitostmi (viz přílohy práce). Celý tento postup je obsažen ve videonávodu. Zvolený postup nicméně není jediný možný a díky tomu, že byly popsány i postupy v ostatních programech, je tak možné se přizpůsobit různému softwarovému vybavení uživatele.

Tato práce může dobře posloužit pracovníkům památkových ústavů v České republice jako stručná metodika k digitální tvorbě hypsometrického plánu. Především vytvořený video soubor vyhovuje současným standardům výuky práce v software. Stejný způsob ukázek a návodů volí většina vývojářů a pro svou názornost a snadnou dostupnost je i kladně přijímán odbornou veřejností. Kromě videa je i popis funkcí programů inovativní v tom, že sdružuje informace k tvorbě jednoho výstupu na jednom místě. Většina běžných návodů se věnuje funkcím a programům odděleně a seskupit je na jedno místo je zdlouhavá práce.

Z časových důvodů nebyly v práci testovány možnosti software pro tvorbu ortofoto (se zaměřením na parametry stínování – intenzita, směr světla atp. a jejich vliv na čitelnost výstupu). Tato část byla plánována rozvést podobným způsobem jako hypsometrický plán – tedy analýza a prezentace možností dostupných programů a videonávod, jak výstupů dosáhnout. Jedná se o stejný případ v práci Ledecké K. (2018), kdy na podrobnější analýzu nezbyl čas. Stejně tak by se navazující výzkum mohl týkat možnosti vizualizace mračna bodů objektu v rozvinuté podobě (stěny objektu rozvinuty do roviny) nebo ještě hlouběji analyzovat vhodné parametry hypsometrického plánu. Například algoritmy spojitých barevných přechodů (HSV, CIE Lab a Lab LCh), nebo automatické vytváření intervalů barevných stupnic na základě pokročilejších statistik o mračnu bodů.

Díky této práci jsem si osvojil mnoho schopností obecné práce se softwarem, a to včetně rychlého zorientování se v ovládání nového programu. Zároveň jsem se naučil hledat způsoby, jak v programech dosáhnout čehokoli. Jedná se především o efektivní využití internetových vyhledávačů, sledování správných návodných videí či čtení různých fór sdružujících uživatele daného programu. Vše je samozřejmě nutné vyhledávat a číst v anglickém jazyce. Proto jsem rád, že se mé schopnosti zlepšily i v tomto směru.

7 Literatura

AutoCAD, 2018. *Autodesk Knowledge Network*. [Online]

Available at: <https://knowledge.autodesk.com/support/autocad>

Bláha, J. D., 2017. *Vybrané okruhy z geografické kartografie*. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně.

Brewer, C., 2005. *Designing Better Maps: A Guide for GIS Users*. 1 editor Redlands, Calif.: ESRI Press.

CloudCompare, 2015. *Fit Plane*. [Online]

Available at: http://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Fit_Plane

Girardeau-Montaut, D., 2018. *CloudCompare User Documentation*. [Online]

Available at: <http://www.cloudcompare.org/doc/wiki>

Hojovec, V., 1987. *Kartografie*. 1. editor Praha: Geodetický a kartografický podnik.

Kimerling, A. J., Buckley, A. R., Muehrcke, P. C. & Muehrcke, J. O., 2012. *Map Use: Reading, Analysis, Interpretation*. 7. editor Redlands, Calif.: Esri Press Academic.

Ledecká, K., 2018. *Hrad Andělská Hora (Kralovy Vary) - měřická dokumentace Druhé brány*. Bakalářská práce; Praha: Fakulta Stavební, ČVUT v Praze.

8 Seznam obrázků

Obrázek 1: Příklad barevné hypsometrie – Školní atlas světa	8
Obrázek 2: Spojitá varianta stupnice vyhodnocené jako nejlepší pro tento projekt	9
Obrázek 3: Plynulý (vlevo) a ostrý barevný přechod	10
Obrázek 4: Nulová hodnota jako dělicí bod (vlevo) a střed intervalu	11
Obrázek 5: Stupnice s různým funkčním rozložením hodnot	11
Obrázek 6: Výstupy s různými parametry (počet barev a funkční vztah).....	12
Obrázek 7: Příliš světlá varianta výstupu.....	14
Obrázek 8: Porovnání dělení bar. škály pro detail zdi – kvadratické (výše) a exponenciální ..	15
Obrázek 9: Testování posunu referenční roviny, kvadratická škála, 9 barev	16
Obrázek 10: Ref. rovina vytvořena individuálně pro každý výstup	17
Obrázek 11: Ref. roviny rovnoběžné pro obě strany těže zdi	18
Obrázek 12: Ref. rovina vytvořena individuálně pro detail horní části těže stěny	18
Obrázek 13: Frontální (vlevo) a ortogonální pohled na vnější stranu severní zdi	19
Obrázek 14: Příklady metod stínování bodového modelu (CloudCompare)	19
Obrázek 15: Diagram průběhu práce	21
Obrázek 16: Prostředí programu Trimble RealWorks po importu dat.....	22
Obrázek 17: Grafické prostředí programu CloudCompare	23
Obrázek 18: Metody prostorové transformace v CloudCompare	24
Obrázek 19: Pracovní prostředí programu Matlab	25
Obrázek 20: Uspořádání oken při vytváření inspekční mapy, Trimble RealWorks	26
Obrázek 21: Porovnání hodnot rozlišení inspekční mapy, Trimble RealWorks.....	27
Obrázek 22: Trimble RealWorks – nástroj Inspection Map, dvě výchozí stupnice	28
Obrázek 23: Trimble RealWorks – vlastní stupnice (vlevo), grafická úprava pozadí	28
Obrázek 24: Trimble RealWorks – vytváření vlastní stupnice.....	29
Obrázek 25: Editor barevných stupnic, CloudCompare	30
Obrázek 26: Vytváření výstupu barevné hypsometrie, CloudCompare.....	30
Obrázek 27: Ukázka různě volených počtů odstínů (Steps)	31
Obrázek 28: Výstupy z programu CloudCompare	32
Obrázek 29: Pracovní prostředí programu Surfer	33
Obrázek 30: Přednastavené barevné stupnice, Surfer.....	33
Obrázek 31: Dialog nastavení barevné stupnice	34
Obrázek 32: Tvorba výstupu v programu Surfer	34
Obrázek 33: Pracovní prostředí programu ArcMap	35
Obrázek 34: ArcMap – výchozí barevné stupnice	36
Obrázek 35: ArcMap – dialog metod klasifikace	36
Obrázek 36: Příklad výstupu z ArcMap	37
Obrázek 37: Barevná schémata Leica Cyclone (počet barevných stupňů: 16).....	38
Obrázek 38: Leica Cyclone – změna rozlišení při exportu	39
Obrázek 39: Úprava výstupu nahrazením barev, původní (vlevo) a upravený	39
Obrázek 40: Barevná stupnice odvozená z hodnot dialogu, Leica Cyclone.....	39
Obrázek 41: Leica Cyclone – export s rozměrem a polohovým umístěním.....	40
Obrázek 42: Pracovní prostředí programu AutoCAD.....	41
Obrázek 43: AutoCAD – dialog Mapování barev (vlevo) a výchozí barevné stupnice.....	41
Obrázek 44: Diagram znázorňující výsledný postup	43

9 Seznam příloh

Tištěné přílohy

1. Tabulka parametrů použitých programů
 2. Seznam vrstev výkresů, popis
 3. **Výkres 01:** Svislý řez, hypsometrický plán, ortofoto; S zeď, vnitřní strana.....1:50
 4. **Výkres 02:** Hypsometrický plán – DETAIL; V zeď, vnitřní strana, střední část....1:20
 5. **Výkres 03:** Hypsometrický plán – SUPERDETAIL; S zeď, vnitřní strana..... 1:10
-

Elektronické přílohy

6. Tabulka nahrazených rovinPDF
7. Video soubory s návodem k práci.....MP4
8. Textový soubor s prostorovými daty (převzat z práce Ledecké K., 2018).....ASC