

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ

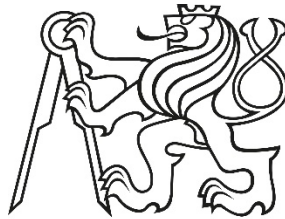
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

OBOR GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A GEOINFORMATIKA

Program Geodézie a kartografie



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Fotogrammetrické práce pro doplnění 3D modelu  
hradu Helfenburk u Úštěka

Photogrammetric work to complete the 3D model  
of the castle Helfenburg near Ústěck

Vedoucí práce: Ing. Bronislav Koska, Ph.D.

Katedra speciální geodézie

květen 2017

Michal NOVOTNÝ



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Novotný Jméno: Michal Osobní číslo: 439254

Zadávací katedra: Katedra speciální geodézie

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Fotogrammetrické práce pro doplnění 3D modelu hradu Helfenburk u Úštěka

Název bakalářské práce anglicky: Photogrammetric project to supplement of 3D model of the castle Helfenburk near Ústěck

Pokyny pro vypracování:

Fotogrammetrické zaměření hradu Helfenburk u Úštěka.

Zpracování fotogrammetrického projektu s optimalizací na vřícovací body z laserového skenování.

Aplikace textur na optimalizovaný mesh model.

Seznam doporučené literatury:

Štroner, M. - Pospíšil, J. - Koska, B. - Křemen, T. - Urban, R. - et al.: 3D skenovací systémy. 1. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, ČVUT v Praze, 2013. 396 s. ISBN 978-80-01-05371-3, 2013.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Bronislav Koska, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 1.3.2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017

*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*


  
Podpis vedoucího práce

  
Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

1.3.2017  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta(ky)

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá doplněním mračna bodů z letecké a pozemní fotogrammetrie do mračna bodů hradu Helfenburk u Úštěka z pozemního laserového skenování, které bylo provedeno v předchozích letech. Tato data byla dále rozšířena o mračno bodů z letecké a pozemní fotogrammetrie. Zpracování snímků bylo provedeno v programu Agisoft PhotoScan. Z bodů v polohovém souřadnicovém systému S-JTSK (Souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální) a výškovém systému Bpv (Výškový systém baltský – po vyrovnání) byla dále vyhotovena trojúhelníková síť, která byla redukována na optimální počet trojúhelníků.

Snímky z letecké a pozemní fotogrammetrie byly dále použity k texturování hradu, aby se vytvořený 3D model co nejvíce podobal skutečnosti

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Fotogrammetrie, mračno bodů, 3D model, textury, hrad Helfenburk u Úštěka

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis deals with the addition of the point cloud from aerial and terrestrial photogrammetry to the point cloud of the castle Helfenburk near Ústěk from terrestrial laser scanning, which was done in previous years. These data were extended with the point cloud from aerial and terrestrial fotogemmetry. Image processing was performed in program Agisoft PhotoScan. From the points in the position coordinate system S-JTSK(Datum of Uniform Trigonometric Cadastral Network) and the vertical system Bpv (Baltic Vertical Datum - After Adjustment) was futher created mesh model, which was reduced to the optimal number of triangles.

Images of aerial and terrestrial photogrammetry were also used for texturing the castle to make the created 3D model most similar to reality.

## **KEYWORDS**

Photogrammetry, point cloud, 3D model, textures, castle Helfenburk near Ústěk

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že tuto bakalářskou práci s názvem Fotogrammetrické práce pro doplnění 3D modelu hradu Helfenburk u Úštěka jsem vypracoval samostatně na základě odborných konzultací s vedoucím práce. Použitou literaturu a podklady k vypracování bakalářské práce uvádím v seznamu zdrojů.

V Praze dne .....

.....

podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Touto cestou bych chtěl poděkovat Ing. Bronislavu Koskovi Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce a konzultace, které byly nezbytné. Poděkování také patří studentce Veronice Vávrové za částečné zpracování dat, bez čehož bych se neobešel při své práci. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Bohumilu Michalíkovi a panu Ing. Jakobovi Jonovi za snímkování hradu leteckou fotogrammetrií. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat rodině a přátelům za podporu, trpělivost a ohleduplnost v mém dosavadním studiu.

# Obsah

Seznam zkratk .....	9
Úvod.....	10
1 Hrad Helfenburk u Úštěka .....	11
1.1 Základní informace .....	11
1.2 Historie hradu.....	11
1.3 Popis hradu.....	12
2 Použité technologie.....	14
2.1 Letecká fotogrammetrie .....	14
2.1.1 Měřické komory .....	14
2.1.2 Metody snímkování.....	16
2.1.3 Vlivy ovlivňující přesnost .....	16
2.1.4 Výstupy letecké fotogrammetrie .....	16
2.2 Pozemní fotogrammetrie.....	17
2.2.1 Měřické komory .....	17
2.2.2 Metody snímkování.....	19
2.2.3 Vlivy ovlivňující přesnost .....	20
2.2.4 Využití pozemní fotogrammetrie .....	20
3 Měření hradu Helfenburk.....	21
3.1 Existující použítá měření.....	21
3.1.1 Vybudování geodetického bodového pole .....	21
3.1.2 Data z pozemního laserového skenování .....	21
3.1.3 Data z leteckého laserového skenování.....	21
3.2 fotogrammetrické zaměření .....	22
3.2.1 Snímkování leteckou fotogrammetrií.....	22
3.2.2 Snímkování pozemní fotogrammetrií.....	24



4 Zpracování .....	26
4.1 Tvorba mračna bodů v softwaru Agisoft PhotoScan .....	26
4.1.1 Orientace snímků.....	26
4.1.2 Optimalizace na vlíčovací body ze skenování.....	28
4.1.3 Mračno bodů.....	30
4.1.4 Redukce dat .....	32
4.2 Tvorba textury .....	33
5 Výsledky .....	36
6 Závěr .....	39
Použité zdroje .....	40
Seznam obrázků.....	42
Seznam příloh .....	43

## Seznam zkratek

CCD	Elektronický obrazový senzor z anglického Charge-coupled device
CMOS	Elektronický obrazový senzor z anglického Complementary metal-oxide semiconductor
RGB	Barevný model z červené, zelené a modré z anglického red, green, blue
ISO	Citlivost fotografické vrstvy
RAW	Surová data ze snímače digitálního fotoaparátu z anglického Raw
NEF	Nezpracovaný souborový formát společnosti Nikon Z anglického Nikon Electronic Format
JPG	Formát obrazového souboru z anglického (Joint photographic group)
RAM	Operační paměť počítače z anglického Random access memory
CPU	Centrální procesorová jednotka z anglického Central processing unit
GPU	Grafická procesorová jednotka z anglického Graphic processing unit)

## Úvod

Cílem této bakalářské práce je vytvořit 3D model zříceniny hradu Helfenburk, který se nachází 3 km jihovýchodně od města Ústěk. Model by měl obsahovat realistickou texturu ze snímků z letecké a pozemní fotogrammetrie. Výstup bude sloužit jako dokumentace pro historické studie.

Práce se zabývá doplněním mračna bodů z laserového skenování o mračna bodů vytvořená z leteckých a pozemních snímků. Dále pojednává o připojení mračna bodů přes vlčovací body. Také se zabývá redukcí vzniklého kompletního mračna bodů na optimální velikost. V závěru bude popsáno texturování 3D modelu.

Bakalářská práce je členěna do několika částí. V první části je uvedeno seznámení s hradem, s historií a také se současným stavem objektu. Druhá část obsahuje seznámení s leteckou a pozemní fotogrammetrií, s možnými metodami a s možným využitím pořízených dat.

Další část je věnována samotnému snímkování, které je rozděleno na letecké a pozemní. V této kapitole jsou popsány úkony v softwaru Agisoft PhotoScan, které byly nezbytné pro vytvoření 3D modelu hradu a pro vytvoření textur.

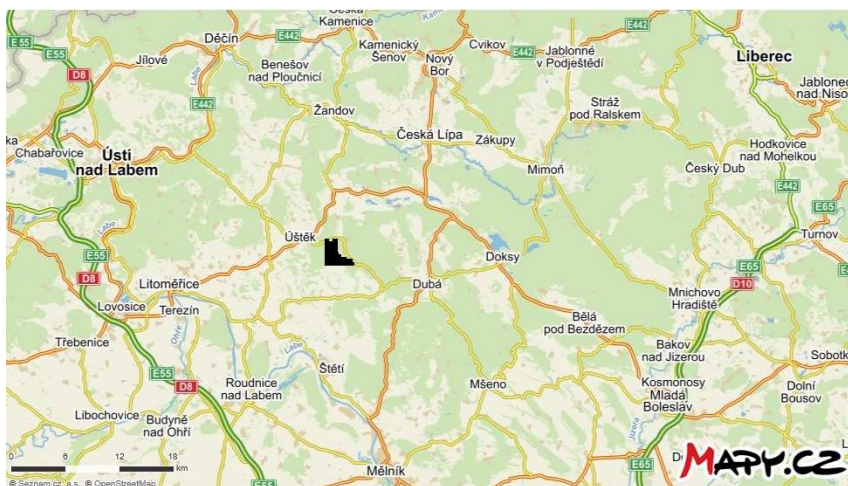
Výsledkem této bakalářské práce je digitální 3D model s realistickými texturami.

# 1 Hrad Helfenburk u Úštěka

Tato kapitola se zabývá komplexem hradu Helfenburku u Úštěka. Budou zde uvedeny informace o hradu, kde se hrad nachází a v jakém období byl vystavěn. Také zde bude popsáno, jak se hrad během let vyvíjel. Dále bude vylíčen popis, jak hradní komplex vypadá v současné době.

## 1.1 Základní informace

Hrad Helfenburk byl v průběhu času nazýval Hrádek, Hradec nebo také Hradištko. Zřícenina hradu se nachází v České Republice v kraji Ústeckém a náleží městu Úštěk (Obr. 1). Hradní komplex leží asi tři kilometry jihovýchodně od města Úštěk. Objekt spadá do okresu Litoměřice s katastrálním územím Rašovice u Kalovic. Hradní celek je vystavěn na příhodném místě na skalních pískovcových blocích v koncové části hřebene mezi dvěma údolími (Obr. 4). Severnějším údolím protéká Hradecký potok. [1]



Obr. 1: Přehledné umístění

[online]. In.: [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <https://mapy.cz>

## 1.2 Historie hradu

Počátky hradu (Obr. 2) sahají před rok 1375, kdy byly dochovány záznamy o prodeji hradu. Novým majitelem se stal arcibiskup Jan Očko z Vlašimi, avšak hrad neodpovídal jeho představám a požadavkům na opevnění a tentýž rok došlo k rozsáhlým rekonstrukcím hradu. Stavební přeměny změnily charakter hradu, stavba byla z bezpečnostních důvodů velice komplikovaná. Roku 1379 se do správy hradu dostal synovec Jana Očka z Vlašimi, Jan z Jenštejna, který pokračoval v rekonstrukcích. Za jeho

vlády byl dokončen hradební komplex a věž, která je v dnešní době nejvíce zachovalá. Významná stavební činnost Jana z Jenštejna skončila před rokem 1395.

Roku 1400, po smrti Jana z Jenštejna, hrad připadl arcibiskupskému majetku a těsně před vypuknutím Husitské revoluce hrad pravděpodobně sloužil jako přechodná pokladnice relikvií, knih, liturgického nádobí a jiných cenných artefaktů z pražského Svatovítského chrámu. Poslední významný český arcibiskup sídlící na hradě byl Konrád z Vechty.

Po smrti Konráda z Vechty se hrad dědil a prodával, tudíž rychle měnil majitele a upadl v zapomnění. Během Tricetileté války byl hrad vypleněn a zpusťšen. Zřícenina zůstala opuštěna do roku 1887, kdy majitel panství Josef von Schroll zahájil opravy hradu a rekonstrukci zřícené věže. Nyní je ve vlastnictví města Úštěk a od roku 1978 se o údržbu a průvodcovskou činnost stará skupina dobrovolníků. [2], [3]



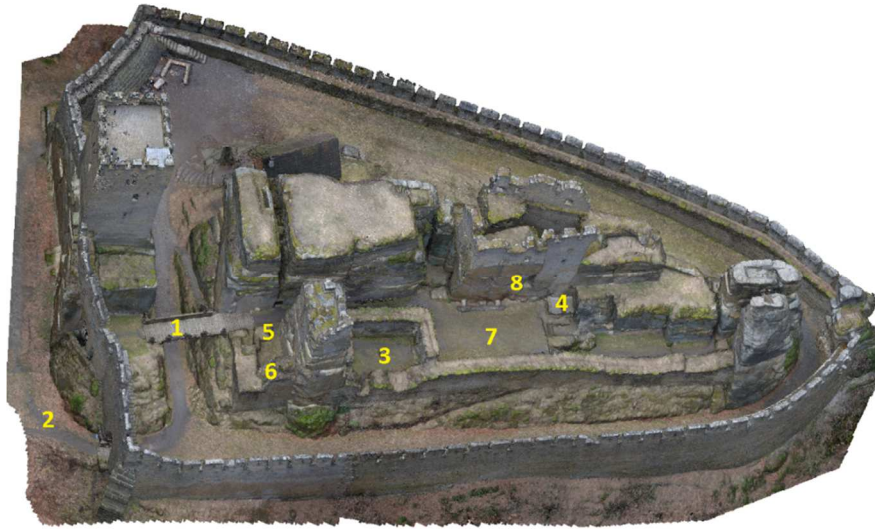
*Obr. 2: Letecký snímek hradu Helfenburk*

### 1.3 Popis hradu

K hradu (Obr. 3) vedla přístupová cesta z plošiny od Rašovic po hřebeni z pískovcových skalních bloků, patrné jsou pouze koleje od povozů přes skalní bloky. Jedinou překážkou byl vytesaný příkop (1) mezi věží a hradním jádrem. Cesta jej překonávala pomocí padacího mostu, kde je skalní průrva. Příkop chránil obytné části hradu. Nynější cesta (2) je však svedena k severnímu úpatí skal a sahá až pod úroveň paty skal. Za opevněním byl prostor s hospodářskými budovami (3) s hlubokou studnou (4) a sklepy. Přístup do obytné části situované na horní plošině byl z bezpečnostních důvodů velice komplikovaný. Hned za hradní branou je malá předsíň (5), ze které vedlo lomené schodiště (6) vytesané v síle zdi do prvního patra. Schodiště vedlo k protesnému



tunelu, který vedl nad hospodářský trakt, ze kterého bylo teprve možné pokračovat na hradní ochoz (7), odkud se dalo vstoupit do obytného prostoru hradu (8). Obytné prostory hradu a ochoz byly spojeny můstkem, který byl z bezpečnostních důvodů zčásti padací.



Obr. 3: Schématický obrázek hradu

Věž zůstala nejlépe dochovanou částí hradu a je součástí hradeb. Čtvercový půdorys dovozoval věž využívat k obývání. Do věže vedl vstup hrotitým portálem, který byl v 19. století přestavěn na okno. Na jižní a severní straně věže byla úzká okna, zatímco na východní stěně žádná okna nebyla, zde byla okna vybudována při novodobých opravách. V případě napadení byla věž využívána jako ochrana bran před jejich prolomením. Před přímým útokem hrad chránil příkop. [2], [3]



Obr. 4: Podrobné umístění

[online]. In.: [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <https://mapy.cz>



## 2 Použité technologie

*„Fotogrammetrie je vědní a technický obor o získávání spolehlivých informací o fyzických objektech a prostředí, zaznamenávání, měření a interpretaci snímků.“ [4].* Fotogrammetrie je vedle geodézie a dálkového průzkumu země další vědní obor, který se zabývá geometrickými vztahy. Fotogrammetrie vychází z fotografického záznamu, jenž je založen na středovém promítání. Tato technologie je jedním ze zdrojů geografických lokalizovaných informací pro GIS (geografický informační systém).

### 2.1 Letecká fotogrammetrie

Letecká fotogrammetrie se zabývá sběrem dat bez kontaktu s povrchem země. Dříve se pořizovaly snímky z balónů, nyní se pořizují z letadel nebo z bezpilotních letadel. S příchodem digitálních fotografií se letecká fotogrammetrie začala hojně využívat, neboť lze díky této metodě rychle vyhodnotit velké územní celky, což se stalo velice praktické pro mapovací práce, sběr dat pro GIS a digitální model terénu.

#### 2.1.1 Měřické komory

Mezi základní vybavení (Obr. 5) pro leteckou fotogrammetrii jsou měřické komory. Hlavním prvkem měřické komory je objektiv tvořený soustavou čoček, které mají za úkol zmírňovat optické vady, a tím zlepšovat obrazové kvality snímků. Objektivy se sestavují s ohledem na světelnost a rozsah zorného pole. Podle rozsahu zorného pole se objektivy rozdělují na normální a širokouhlé. Za použití širokouhlého objektivu dochází ke zhoršení geometrických vlastností snímku na jeho okrajích, ale snímek zabírá větší rozsah území, což je velice ekonomické jak na počet snímků, tak na jejich zpracování.

Další nezbytnou součástí jsou uzávěrky leteckých měřických komor. Aby doba expozice byla co nejkratší, musejí být využívány elektronické uzávěrky, které dokáží zajistit minimální dobu průchodu světla. Při nesplnění této podmínky, by při pohybu letadla docházelo k porušení centrální projekce.

Při letecké fotogrammetrii je důležité dodržovat dostatečný překryv snímků, aby při zpracování nedocházelo k nežádoucím problémům při identifikaci bodu na více snímcích. O tuto funkci se stará regulátor překryvu, což je pomocné zařízení, které určuje časový interval mezi jednotlivými expozicemi v závislosti na úhlové rychlosti letadla a jeho výškou nad terénem. Regulátor překryvu také kontroluje odchylky od kurzu letu.

Dříve se pro určování a udržení nadmořské výšky používal statoskop, což je citlivý diferenční barometr. V současnosti se používá zařízení IMU/GNSS. Je to zařízení, které dokáže v čase určovat prostorovou polohu díky technologii GNSS (globální navigační satelitní systém) a orientaci měřické komory. Z těchto údajů lze určit prvky vnější orientace. V minulosti obnovení prvků vnější orientace bylo možné až z měřických snímků.

Snímky vznikaly na filmových skleněných kazetách, nebo na filmu z celuloidu či polyesteru. Tyto snímkové nosiče měly fotograficky citlivou vrstvu na světlo, které způsobovalo chemickou reakci. Při této reakci došlo k černání fotografického materiálu. V současné době se používají elektronické součásti, které převádějí obraz do digitální podoby. Jedná se o prvek CCD, CMOS, super CCD a fotočlánek. Všechny součásti pracují na podobném principu, a to tak, že převádějí energii z elektromagnetického záření na napěťový signál, jež se vzorkuje a převádí na digitální výstup, který se ukládá na paměťové médium. [5], [6]



Obr. 5: Cessna 401 s komorou Zeiss LMK 2015

[online]. In: [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <http://aerialsurveysintl.com/ZeissLMK.html>



### 2.1.2 Metody snímkování

Letecké snímkování se rozděluje na jednosnímkové a vícesnímkové. Při jednosnímkové metodě lze zaměřit pouze rovinné území a vyhodnocení je ve 2D. Hlavní metodou letecké fotogrammetrie je stereofotogrammetrie, u které lze z téhož bodu na dvou snímcích ve 2D (tedy na stereodvojici) vyhodnotit prostorové vyjádření tohoto shodného bodu. Při snímání rozsáhlého území je důležité dodržet dostatečný překryv snímků, a to v podélném směru 60-80 % a v příčném směru 20-40 %. [6]

### 2.1.3 Vlivy ovlivňující přesnost

Přesnost zejména ovlivňuje rozlišovací schopnost snímku, hlavně pokud nedokážeme jednoznačně identifikovat jednotlivé prvky na snímku a poté s dostatečnou přesností odečíst snímkové souřadnice. Volba vlíčovacích bodů a jejich určení ovlivňuje výpočet souřadnic geodetických bodů, který se provádí transformací. Na výsledné souřadnice má negativní vliv nepřesné určení prvků vnější orientace, především pokud bude chybně určena poloha a orientace fotokomory při pořízení snímků. Vnitřní orientace také ovlivňuje výslednou přesnost, proto se provádí kalibrace komor pro přesné určení prvků vnitřní orientace. Dalším vlivem může být smaz snímku. Smaz vzniká při nežádoucím pohybu s fotokomorou při expozici. Také nevhodné meteorologické podmínky působí na kvalitu pořízení snímku. U přesných prací se musí brát v úvahu zakřivení země a vliv refrakce. Při jednosnímkové fotogrammetrii přesnost znehodnocuje výškově členitý terén, neboť se středovým promítáním zobrazuje do roviny snímku.

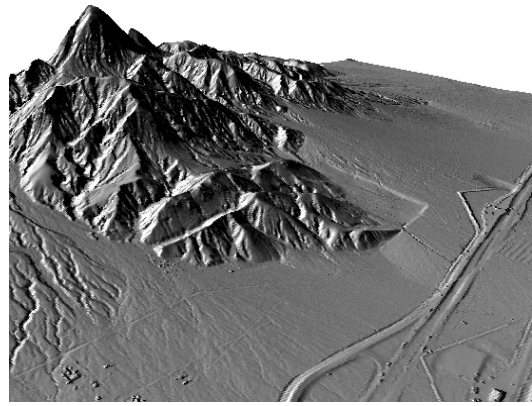
### 2.1.4 Výstupy letecké fotogrammetrie

Snímek (popřípadě snímky) můžeme použít k vytvoření ortofota. Jeden z nejvýznamnějších příkladů je Ortofoto České republiky (Obr. 6), které poskytuje ČÚZK (Český úřad zeměměřický a katastrální). Z leteckých snímků lze také vyhodnotit mračno bodů, jež se dále může využít pro výpočet vrstevnicového plánu nebo k vytvoření digitálního výškového modelu (Obr. 7). Model slouží k výpočtu kubatur, k navrhování terénních úprav nebo k tvorbě analýz. Letecká fotogrammetrie se hojně využívá pro mapování rozsáhlých celků často i nepřístupných míst. Nezanedbatelnou výhodou jsou barevné snímky, které mají velikou vypovídací hodnotu a umožňují snazší orientaci a rychlejší práci s daty. [7], [8]



Obr. 7: Ortofoto České republiky

[online]. In.: [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(jrvzqx01a0udag251v5mkxzf\)\)/Ukazky/velke/CZ-CUZK-](http://geoportal.cuzk.cz/(S(jrvzqx01a0udag251v5mkxzf))/Ukazky/velke/CZ-CUZK-)



Obr. 6: 3D model z rastrových dat

[online]. In.: [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extension/3d-analyst/fundamentals-of-3d-surfaces.htm>

## 2.2 Pozemní fotogrammetrie

Pozemní fotogrammetrie je metoda získávání snímků ze statického stanoviska na zemi. Tato technologie je vhodná pro vyhodnocování menších objektů, u kterých máme větší požadavky na detail. Pozemní fotogrammetrie se využívá pro dokumentování fasád, fresek a kleneb, také se využívá k určování deformací mostů a hrází nebo k jiným velmi přesným pracím. Dále se používá v kriminalistice při dokumentování trestných činů či rozsáhlých dopravních nehod, kde je známa pod pojmem blízká fotogrammetrie.

### 2.2.1 Měřické komory

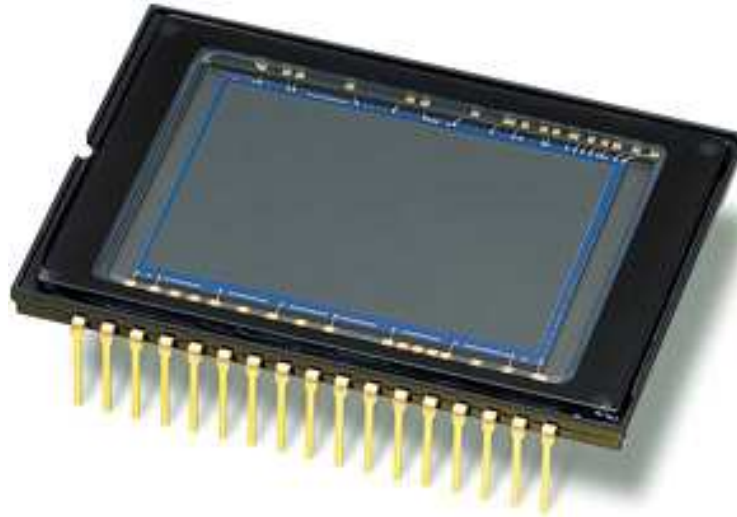
Prvotním zařízením pro pozemní fotogrammetrii byl fototeodolit (Obr. 8), který se skládá z měřické komory a ze zařízení, jenž dokáže měřit osu záběru, popřípadě vytyčovat jiné směry potřebné pro danou metodu. Nejprve se vyráběly komory s vodorovnou osou záběru, avšak postupně se začaly vyrábět univerzální měřické komory, které umožňovaly naklánět osu záběru. Fotografická komora také šla zavěsit do vidlice ve dvou polohách, což umožňovalo dosáhnout stejného zorného pole ve vodorovném i šikmém směru. Za zmínění stojí také dvojitě komory, které měly pevnou základnu a hodily se pro blízkou stereofotogrammetrii. S příchodem digitálních aparátů se začaly používat i takzvané neměřické komory, u kterých nebyly známy prvky vnitřní orientace. U těchto komor se vzdálenost od objektu volí podle požadované přesnosti a kvality snímků. Pokud není možné určit radiální distorzi a dále ji zahrnout do výpočtu, lze brát v úvahu pouze 60 % snímku kolem pomyslného středu snímku, neboť radiální distorze roste směrem k okrajům snímku.



Obr. 8: Fototeodolit PH\*252972

[online]. In: [cit. 2017-03-06]. Dostupné z:  
<http://amhistory.si.edu/surveying/enlarge.cfm?recordnumber=997215>

Digitální komory otevřely nové možnosti v pozemní fotogrammetrii. Nevýhodou může být vyšší spotřeba elektrické energie. Výhodou digitálních komor je volba expozičního času, rozpětí se pohybuje od 1/8000 po desítky sekund. Barevná hloubka je informace o intenzitě záření obvykle ve složkách RGB, které je nutno kódovat. Počet barev se obvykle pohybuje do 16,7 milionu barev. Citlivost CCD senzorů (Obr. 9) se udává podle šumu, který lze ovlivnit nastavením hodnoty ISO. Současné objektivy se skládají z komplikovaných soustav čoček, které dovolují měnit ekvivalentní ohniskovou vzdálenost. Toto nastavení dovoluje měnit optické zvětšení, které lze kombinovat i s digitálním zvětšením. Změna ohniskové vzdálenosti při snímkování je nežádoucí, neboť kalibrace komory se provádí při stálé ohniskové vzdálenosti. U digitálních komor je problematické ukládání dat. Čím je komora kvalitnější a obraz má lepší rozlišení, tím jsou ukládaná data větší. Data se ukládají na paměťová média výměnná nebo vestavěná. Výměnná média jsou praktičtější. Lze je vyjímat a vkládat do různých komor, popřípadě do počítače, zatímco vestavěná média se propojují s počítačem kabelem, aby mohlo dojít k procesu přenášení dat. V dnešní době se paměťová média vyrábějí v různých kapacitách, a to v několika GB. Komprimovaná či nekomprimovaná data se ukládají do zvoleného grafického formátu. Nevýhodou některých komprimací může být ztráta informace. [6], [9]



Obr. 9: Elektronický obrazový senzor CCD

[online]. In.: [cit. 2017-04-11]. Dostupné z:  
<http://www.digimanie.cz/jak-si-vybrat-kompakt-snimaci-cipy/3253-2>

### 2.2.2 Metody snímkování

Jednosnímková pozemní fotogrammetrie se nijak zvlášť neodlišuje od letecké. Je postavena na stejných základech a matematických vyjádřeních, jediný rozdíl je ve způsobu využití. Vychází z geometrického vztahu mezi dvěma rovinami, z čehož vyplývá, že zachycovaný objekt musí být rovinný, jinak dochází k výrazným radiálním posunům podrobných bodů. Pro tuto metodu se může volit libovolná komora, bez známých parametrů. Ohled při volbě komory se bere na to, aby komora nevykazovala velkou distorzi objektivu.

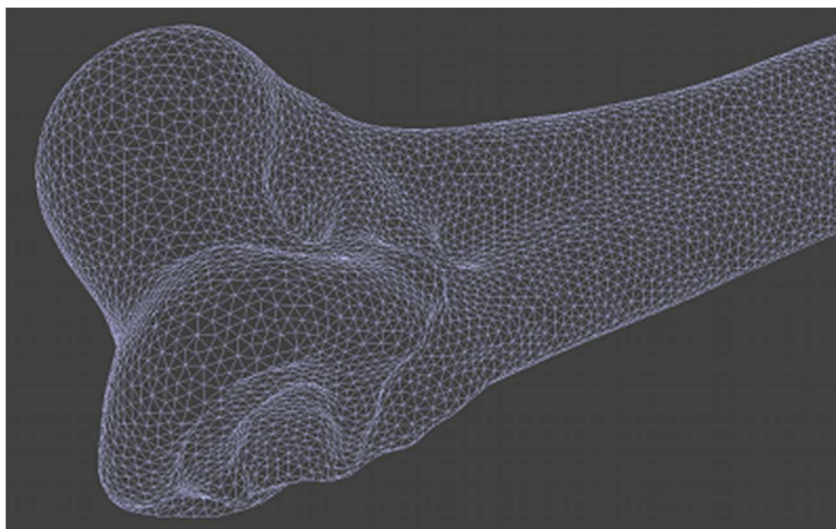
Další využívaná metoda je průseková fotogrammetrie, která vychází z protínání vpřed řešeného pomocí měřických snímků. Komplikací je, že se na snímcích měří monokulárně a je složité identifikovat tentýž bod na obou snímcích protínání. V současné době se používá digitální řešení. Omezení ve zpracování spočívá v množství zpracovávaných dat, avšak počítačová technologie je v současnosti velice vyspělá, a tudíž dovoluje na specializovaných počítačích zpracovat několik GB dat naráz. Snímkování se provádí tak, že se pořídí dostatečné množství snímků s konvergentní osou záběru, které obklopují měřený objekt. Nutnou podmínkou je dostatečný překryv snímků pro identifikaci spojovacích bodů. Lze tvrdit, že vyšší počet snímků vede ke zpřesnění určených bodů, ovšem pracnost vyhodnocení je velice vysoká. Pro výpočet je nezbytné zaměřit dostatečný počet identických bodů a celý výpočet je založen na blokovém vyrovnání.

### 2.2.3 Vlivy ovlivňující přesnost

Přesnost ovlivňují optické a geometrické vady objektivu, které lze zjistit pomocí kalibrace komory. Tyto vady lze pak eliminovat ve výpočtu. Kvalita snímků je rozhodující, avšak s dnešními komorami a krátkou vzdáleností od předmětu by neměl být problém pořídit kvalitní snímky. U jednosnímkové fotogrammetrie má hloubková členitost objektu vliv na výsledné souřadnice. Souřadnice ovlivňuje radiální posun, který nesmí být zanedbán. Při více snímcích je potřeba dodržet dostatečný překryv a konfiguraci snímků. Počet vlíčovacích bodů je také zásadní, při vyšším počtu je snazší kontrola a body se vyrovnávají. Vlícovací body by měly být zaměřeny s vyšší přesností, než je požadovaný výstup. [6]

### 2.2.4 Využití pozemní fotogrammetrie

Ze snímků z pozemní fotogrammetrie lze vytvořit mapu či plán objektu. Tento výstup může sloužit pro projekční a stavební firmy jako podklady či jiná dokumentace. Ve stavebnictví se také využívá k určení deformací. Dokumentace a podklady mohou sloužit pro památkovou péči a architekty při případných rekonstrukcích či při úplných obnovách staveb. Samotné snímky mají vysokou vypovídací hodnotu a mohou sloužit k inventarizaci skládek, dolů a lomů. Nejčastěji se ze snímků v dnešní době vytvářejí detailní 3D modely s realistickou texturou, které mohou sloužit ke kontrole přesnosti k testování a k různým výpočtům. Vyhotovená mračna bodů slouží k nejrůznějšímu modelování, které se používají i pro lékařské účely (Obr. 10). [10]



Obr. 10: Trojúhelníkový 3D model

[online]. In.: [cit. 2017-03-06]. Dostupné z:

<http://www.pointwise.com/theconnector/May-2011/Meshing-Complex-CAD.shtml>



## 3 Měření hradu Helfenburk

V této kapitole budou uvedeny základní informace o všech vstupních datech, která byla převzata nebo vytvořena ze samotného měření a bez kterých bychom se neobešli pro tvorbu 3D modelu s realistickými texturami.

### 3.1 Existující použitá měření

V této části bude popsáno, jak bylo vybudováno geodetické bodové pole a jakým způsobem bylo provedeno podrobné měření. Dále budou také zmíněna data převzatá z leteckého laserového skenování.

#### 3.1.1 Vybudování geodetického bodového pole

Bodové pole bylo vybudováno v únoru roku 2014 a zaměřeno následující měsíc v rámci diplomových prací. Měření prováděl dnes již absolvent Ing. Lukáš Vosyka. Skládá se z 24 bodů, které jsou uvnitř i vně hradního komplexu. Bodové pole bylo následně vyrovnáno a připojeno do polohového systému S-JTSK a výškového systému Bpv pomocí metody GNSS. Více informací se můžete dozvědět v diplomové práci Ing. Lukáše Vosyky. [11]

#### 3.1.2 Data z pozemního laserového skenování

Data převzatá z pozemního laserového skenování byla pořízena přístrojem Trimble TX5. Zaměření bylo provedeno v rámci diplomových prací dnes již absolventy Českého vysokého učení technického v Praze, a to Ing. Alžbětou Prokopovou, Ing. Janou Poesovou a Ing. Petrou Dífkovou. Skeny byly pořízeny ze 127 stanovisek. Data byla převzata ve formě mračna bodů, která jsou polohově připojena k závaznému systému České republiky S-JTSK a výškově k systému Bpv. Více informací o laserovém skenování se můžete dozvědět v diplomové práci Ing. Petry Dífkové. [12]

#### 3.1.3 Data z leteckého laserového skenování

Data z leteckého laserového skenování byla zakoupena z Geoportálu ČUZK. Na Geoportálu byl objednan Digitální model reliéfu České republiky 5. generace a Digitální model povrchu České republiky 1. generace pro mapový list Dubá 5-4. Získaná data byla aktualizovaná ČUZK v roce 2010. [13], [14]

## 3.2 fotogrammetrické zaměření

V této části budou uvedeny postupy, nastavení a jednotlivé úkony, které bylo potřebné provést před samotným snímkováním leteckou a pozemní fotogrammetrií. Také zde budou uvedeny náležitosti týkající se jednotlivých snímků.

### 3.2.1 Snímkování leteckou fotogrammetrií

Před samotným snímkováním leteckou fotogrammetrií byla nezbytná rekognoskace celého hradu, která byla důležitá k navržení leteckých trajektorií, aby se zamezilo nežádoucím kolizím a nehodám. Letecká dráha musela být navržena tak, aby na snímcích byly zachyceny veškeré detaily a zákoutí, které nemusí být zachyceny na snímcích z pozemní fotogrammetrie. Součástí rekognoskace bylo také zhodnocení meteorologických podmínek. Zhodnocení sloužilo k rozhodnutí, zdali byl let uskutečnitelný, popřípadě k nastavení parametrů komory.

Letecké snímkování bylo provedeno 8.3.2017 mezi 11 a 15 hodinou. Povětrnostní podmínky byly ideální, neboť bylo prakticky bezvětrí. Světelné podmínky byly velice příznivé pro leteckou fotogrammetrii a přetrvávaly po celou dobu snímkování. Bylo zataženo s rozptýleným světlem, které nevytvářelo ostré stíny a objekt byl rovnoměrně osvětlen v celé ploše. Měření neovlivňovaly ani srážky, které by znemožnily let a snímkování.

Snímkování bylo zrealizováno fotoaparátem Nikon Coolpix A (Obr. 11), který disponuje obrazovým snímačem CMOS s 16,2 milionů pixelů a širokoúhlým objektivem NIKKOR s pevnou ohniskovou vzdáleností 18,5 mm s rozmezím pro nastavení citlivosti ISO od 100 do 6400. Nejkratší expozice je 1/2000 s. Fotoaparát podporuje obrazová data ve formě komprimovaných souborů RAW (NEF) a umožňuje zpracování dat přímo ve fotoaparátu.

Po rekognoskaci byla nastavena citlivost ISO na hodnotu 400. Clonové číslo na hodnotu 3, délka expozice byla 1/640 s. Rozměry snímků jsou 4928 x 3264 pixelů s barevným rozlišením RGB. Výstupní formáty byly nastaveny na RAW (NEF) a JPG. Velikost souborů RAW (NEF) se pohybuje okolo 19 MB a soubory JPG okolo 8 MB.



Obr. 11 Nikon Coolpix A

[online]. In: [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <https://cdn.megapixel.cz/images/w800h800/8/22688.jpg>

Jako letecký nosič byl použit bezpilotní MikroKopter (Obr. 12) s šesti vrtulemi vyrobený firmou HiSystems GmbH, který se též obecně nazývá jako hexakoptéra. Úřad pro civilní letectví udělil povolení pro tento stroj s poznávací značkou OK-X002D. Hexakoptéra disponuje GNSS přijímačem, kompasem a umožňuje držet aktuální výšku letu a vrátit se do místa ze kterého vzlétla. Před samotným letem byla pomocí GNSS určena poloha přístroje, aby bylo možné určovat výšku letu, která byla zjišťována pro snazší manipulaci s hexakoptérou ve vzduchu. Hexakoptéra byla pilotována dvěma samostatnými radiovémi vysíláči, které byly ovládány Ing. Bohumilem Michalíkem a Ing. Jakubem Jonem ze společnosti G4D. Prvním vysílačem byl ovládán let stroje a také se jím pořizovaly snímky. Pomocí druhého rádiového zařízení byl ovládán gimbal, který urovňuje fotoaparát ve třech osách a umožňuje jeho natočení. Tím bylo zajištěno správné natočení na snímáný objekt. Druhý ovladač také umožňoval kontrolovat stav baterie a výšku letu a jiné telemetrické informace. Pro zvládnutí bezpečného letu a pořízení kvalitních snímků byla důležitá komunikace a správná synchronizace mezi obsluhou vysílačů.



Obr. 12 MikroKopter s doplňky vyroben firmou HiSystems GmbH



Celkově bylo provedeno 7 letů, přičemž každý let trval přibližně 15 minut. Dohromady bylo nasnímáno 1031 snímků, které byly použity pro zpracování. Kompletní data z letecké fotogrammetrie měly velikost 29,3 GB. [15], [16]

### 3.2.2 Snímkování pozemní fotogrammetrií

Pozemní snímkování bylo provedeno 8.3.2017 mezi 15 a 16 hodinou. Snímky byly pořízeny mnou a Veronikou Vávrovou. Použit byl fotoaparát Nikon Coolpix A, který byl též použit při leteckém snímkování. Dále byl použit fotoaparát Nikon Coolpix L810 (Obr. 13), který disponuje obrazovým snímačem CCD s 16,1 milionů pixelů s vysoce širokoúhlým objektivem NIKKOR s ohniskovou vzdáleností, která se pohybuje od 22,5 do 585 mm. Rozmezí pro nastavení citlivosti ISO se pohybuje od 80 do 1600. Nejkratší expoziční čas je 1/1500 s. Fotoaparát ukládá snímky pouze ve formátu JPG.

Po opětovné rekognoskaci byla přehodnocena nastavení fotoaparátu Nikon Coolpix A, neboť bylo snímkováno z kratší vzdálenosti a byla mírně zhoršena intenzita světla. Nastavení citlivosti ISO bylo ponecháno na hodnotě 400. Clonové číslo bylo také ponecháno, avšak délka expozice byla zkrácena na hodnotu 1/320 s. Výstupní formáty a rozměry snímků nebyly změněny. Velikost souborů formátu RAW (NEF) se u pozemního snímkování pohybovala okolo 20 MB a u souborů JPG okolo 9 MB.



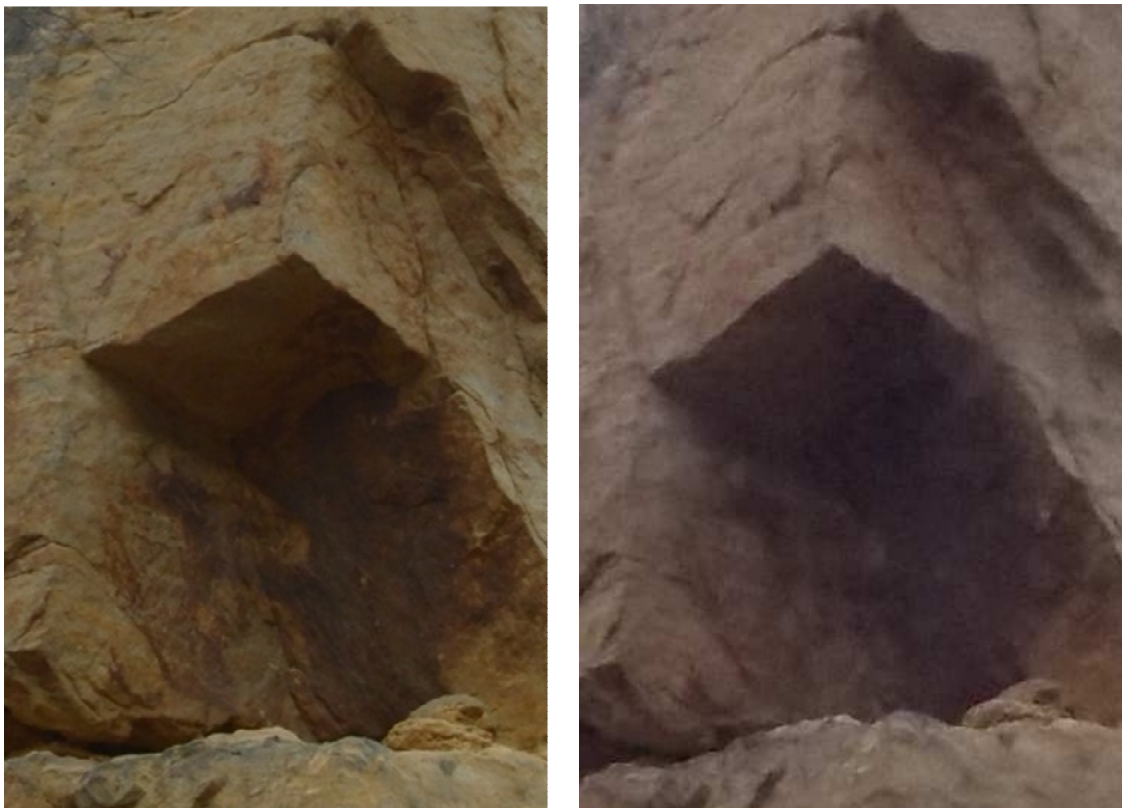
*Obr. 13 Nikon Coolpix L810*

[online]. In.: [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: <https://cdn.megapixel.cz/images/w800h800/4/26554.JPG>

Nastavení fotoaparátu Nikon Coolpix L810 bylo zvoleno na automatický režim, neboť nebylo možné nastavit potřebné parametry vyhovující snímkování. Poté se citlivost ISO pohybovala od 80 po 125. Délka expozice byla v rozmezí od 1/30 s po 1/500 s. Rozměry snímků jsou 4608 x 3456 pixelů s barevným rozlišením RGB. Výstupní formát je implicitně nastaven na JPG. Velikost snímků se při tomto nastavení pohybovala okolo 7 MB.

Snímkování bylo prováděno s ohledem na dostatečný překryv snímků, který byl okolo 80 %. Snímky byly pořízeny jak kolmo k objektu, tak pod obecným úhlem. Celkově bylo vyhotoveno 1060 snímků, z toho 665 snímků fotoaparátem Nikon Coolpix A a 395 snímků z fotoaparátu Nikon Coolpix L810. Kompletní data z pozemní fotogrammetrie měla 20,6 GB.

Po kontrole snímků (Obr.14) v počítači bylo rozhodnuto, že snímky z fotoaparátu Nikon Coolpix L810 jsou nedostatečně kvalitní pro následné zpracování. Proto byly snímky z tohoto fotoaparátu vyloučeny. Pro následné vyhodnocení a zpracovány byly použity pouze snímky z fotoaparátu Nikon Coolpix A. [17]



*Obr. 14 Identické snímky – vlevo Nikon Coolpix A, vpravo Nikon Coolpix L810*

## 4 Zpracování

V této kapitole budou popsány kroky zpracování snímků, vytvoření mračna bodů a další práce s modelem. Veškeré popsané kroky byly nezbytné pro tvorbu připojeného 3D modelu hradu s texturami.

### 4.1 Tvorba mračna bodů v softwaru Agisoft PhotoScan

V této části bude uvedeno seznámení se softwarem Agisoft PhotoScan, jež je produktem společnosti Agisoft LLC sídlící ve městě Petrohrad v Rusku. Tento software je známý pod názvem PhotoScan. Software dokáže zpracovat tisíce snímků, které zvládne zorientovat a propojit přes klíčové body. Při zpracování automaticky zkalibruje fotoaparát a vytvoří mračno bodů, z kterého poté umožňuje vytvořit trojúhelníkovou síť. PhotoScan je uživatelsky přátelský a převážně automatický software, který je však velice náročný na zpracovávající hardware. Společnost uvádí, že většina projektů je omezena množstvím paměti RAM a také doporučuje vysokou rychlost CPU, a to více než 3 GHz. Dále informuje, že PhotoScan podporuje akceleraci GPU, jež umožní urychlit zpracování a prohlížení modelů. Společnost také uvádí doporučené konfigurace na sestavení Hardwaru. Více informací o těchto parametrech lze získat na oficiálních stránkách společnosti Agisoft LLC. [18]

Data byla zpracovávána na výkonném fakultním počítači, který je vyhrazen na náročné výpočty. Počítač disponuje procesorem Intel(R) Core(TM) i7 – 5820K, CPU s 3,30 GHz a 64,0 GB paměti RAM, grafickou kartou NVIDIA GeForce GTX 1070 a operačním systémem Windows 10 Pro.

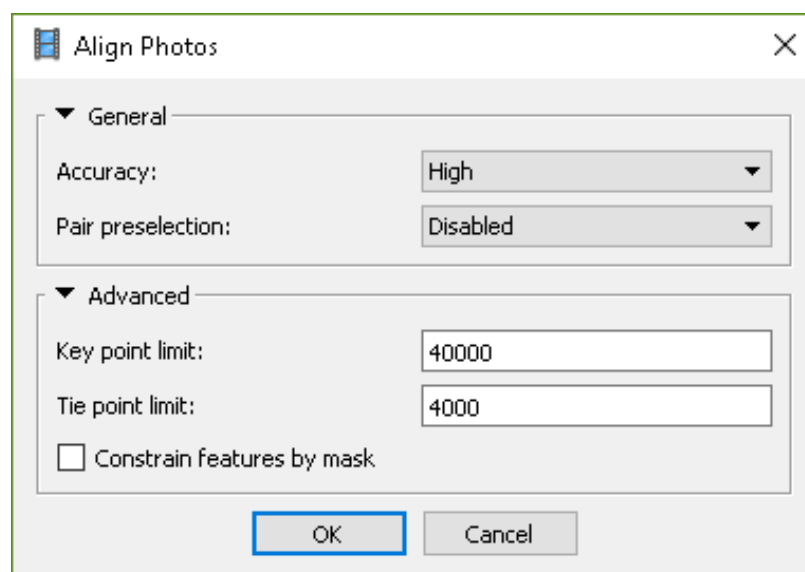
#### 4.1.1 Orientace snímků

Nejprve byly vyřazeny snímky, které nezabíraly objekt měření. Protříděné snímky byly nahrány do softwaru ve formátu JPG pomocí funkce *Workflow – Add photos*, kde byl vybrán adresář se snímky. V našem případě bylo přidáno 1657 snímků. Poté byla spuštěna funkce na orientaci snímků *Workflow – Align Photos* (Obr. 15). Tato funkce byla spuštěna několikrát, přičemž při každém spuštění byly voleny jiné parametry. Cílem bylo zorientovat co nejvíce snímků s dostatečným počtem klíčových bodů. V dialogovém okně této funkce lze nastavit parametry *Accuracy*, *Pair preselection*, *Key point limit* a *Tie point limit*.

V rozbalovacím okně pro parametr *Accuracy* lze nastavit hodnoty *Highest*, *High*, *Medium*, *Low* a *Lowest*. Tyto hodnoty udávají, s jakou přesností budou zjištěny odhady polohy kamery pro jednotlivé snímky. Při nastavení hodnoty *High* software pracuje s původní velikostí snímků, zatímco s nižším nastavením snižuje rozlišení snímků vždy na čtvrtinu původního. Nastavení hodnoty *Highest* se doporučuje při velmi ostrých obrazových datech a převážně pro výzkumné účely. Volba těchto parametrů se výrazně projevuje na časovém zpracování snímků.

V rozbalovacím okně pro parametr *Pair preselection* lze nastavit hodnoty *Disabled*, *Generic* a *Reference*. Tento výběr udává, jak se budou vybírat dvojice snímků k následnému vyhodnocení. Hodnota *Disabled* porovnává každý snímek vždy se všemi ostatními snímky. Porovnání těchto dvojic je však časově náročné na výpočet. Další hodnota *Generic* nejprve vybírá snímky s nižší přesností a poté pracuje stejně jako hodnota *Disabled*. Hodnota *Generic* má však nevýhodu, že pokud se snímky překrývají v malém rozsahu nezahrne je do výpočtu jako dvojici snímků. Po vyhodnocení všech dvojic použije původní nezkomprimované snímky pro výpočet orientace komor. Poslední hodnota *Reference* vybírá dvojice snímků podle pozice fotokomory.

Dále se volí parametr *Key point limit*. Jeho hodnota udává horní hranici počtu klíčových bodů, které mají být brány ve fázi zpracování. Jako poslední se volí parametr *Tie point limit*, jehož hodnota udává maximální počet spojovacích bodů, které se identifikují na každém snímku.



Obr. 15 Výchozí nastavení funkce *Align Photo*

Po testování bylo vybráno nastavení, které nejvíce vyhovovalo jak v počtu zorientovaných snímků, tak v časové náročnosti výpočtu. Vybráno bylo následující nastavení: *Accuracy* bylo zvoleno na hodnotu *High*, *Pair preselection* bylo nastaveno na *Disabled*, *Key point limit* byl nastaven na hodnotu 10000 a *Tie point limit* na 1000. S tímto nastavením výpočet trval 36 hodin, přičemž bylo zorientováno 1600 snímků, které tvořily takzvaný *Chunk 1*. *Chunk* je oddíl, který lze po aktivaci v programu PhotoScan spravovat odděleně. Zbýlých 57 snímků se nezdařilo zorientovat automaticky. Jednalo se o snímky z vnějšího opevnění hradu, kde byly snímky realizovány pod velkým úhlem protnutí k leteckým snímkům. Příčinou byla vegetace, která znemožňovala nižší let. Dalším faktorem nezorientování snímku bylo roztržení pásu snímků z pozemního snímkování ve dvou místech, neboť v těchto místech nebyl dodržen dostatečný překryv snímků, který byl znemožněn svažtým terénem s vegetací.

Při výpočtu orientací snímků dochází k výpočtu zjištění parametrů komory. Jedná se o prvky radiální distorze, tangenciální distorze a ohniskové vzdálenosti. Parametry komory lze uložit a použít je při jiných výpočtech se stejnou komorou. V našem případě byly parametry z komory z 1600 snímků uloženy a použity pro výpočet orientace zbylých 57 snímků. (viz. Příloha č. 2). Parametry komory byly uloženy pomocí funkce *Tools – Camera Calibration – Save*. Poté byl vytvořen druhý *Chunk* spuštěním funkce *Add Chunk* v panelu *workspace*. Do tohoto nového oddílu *Chunk 2* byly vloženy nezorientované snímky. Oddíl *Chunk 2* byl nastaven aktivním po vyvolání funkce *Set Active*. Následně byla oddílu přiřazena kalibrace komory pomocí funkce *Tools – Camera Calibration – Load*. Po nastavení byl spuštěn výpočet orientace kamer pro zbylých 57 snímků, které byly následně zorientovány. [19]

#### 4.1.2 Optimalizace na vlíčovací body ze skenování

Vygenerované orientace snímků s klíčovými body pro *Chunk 1* a *Chunk 2* byly nyní obecně umístěny a natočeny v prostoru s neznámým měřítkem. Optimalizace, tedy připojení do souřadnicového systému, byla provedena přes vlíčovací body, které byly odečteny z mračna bodů z pozemního skenování a označeny na snímcích.

Nejprve bylo mračno bodů z pozemního skenování otevřeno v programu CloudCompare, kde bylo možné prohlížet model a používat funkce, které umožňují odečítání souřadnic pro vybrané body. Vlíčovací body bylo nutno vybírat tak, aby je bylo možné identifikovat jak v mračnu bodů, tak na jednotlivých snímcích. Pro první

optimalizaci byly vybrány tři vlíčovací body, aby bylo mračno klíčových bodů přibližně transformováno pro následně snazší práci s výběrem vlíčovacích bodů. Souřadnice vlíčovacích bodů odečtených z laserového skenování byly s číselným názvem uloženy do textového souboru.

Vlíčovací body byly následně označeny na snímcích po vyvolání funkce *Create Marker* nad konkrétními snímky, které byly pojmenovány tak, aby souhlasily s názvy v textovém souboru. Pokud již byl vytvořen vlíčovací bod, mohl být označen na následujících snímcích spuštěním funkce *Place Marker*. Důležité bylo označit konkrétní body na dostatečném počtu snímků. První tři body byly označeny na počtu snímků, které se pohybovalo od 9 do 17. Následně byl do PhotoScanu nahrán textový soubor s vlíčovacími body a byla spuštěna funkce *Import* v panelu *Reference*, ve které byl vybrán příslušný textový soubor a nastaveno rozvržení souboru.

Po otevření textového souboru s vlíčovacími body došlo k transformaci, která optimalizuje snímky a klíčové body do souřadnicového systému S-JTSK a výškového systému Bpv. Tato optimalizace používá sedmiprvkovou podobnostní transformaci. Pokud se vloží nový vlíčovací bod do jednoho snímku, který byl součástí transformace ukáže se jeho pozice na následujících snímcích, na kterých je viditelný. Následně stačí bod na snímcích aktivovat a umístit bod do přesné polohy. Tímto způsobem bylo vloženo do oddílu *Chunk 1* dalších 13 bodů které byly také označeny na 9 až 17 snímcích. O konkrétním počtu označených snímků vypovídá Příloha č. 3. Po vložení vlíčovacích bodů byla spuštěna funkce *Optimize cameras*, při které dojde ke svazkovému vyrovnání. Výpočet probíhá na základě kolineárních rovnic iteračním postupem, které pracují s přímým vztahem mezi snímkovými a geodetickými souřadnicemi. Pomocí této funkce můžeme následně odečítat souřadnice přímo ze snímků.

V oddílu *Chunk 1* byly odečteny vlíčovací body pro oddíl *Chunk 2*, které byly vyexportovány do textového souboru. Textový soubor byl následně importován do oddílu *Chunk 2*, kde byly vlíčovací body označeny na snímcích. Tento krok nebyl jednoduchý, neboť *Chunk 1* obsahoval snímky z leteckého snímkování a *Chunk 2* snímky z pozemního snímkování. Po označení vlíčovacích bodů byla spuštěna funkce *Optimize cameras*. Identifikace byla komplikovaná, ale po sloučení obou oddílů pomocí funkce *Workflow – Merge Chunks* bylo možné body zkontrolovat pomocí směrodatných odchylek pro vlíčovací body, jež byly kontrolovány v panelu *Reference*. Některé body byly následně opraveny, aby splňovaly přesnost prvního oddílu. Přesnost prvního oddílu



byla 2 cm. Bylo vybráno 11 vlíčovacích bodů (viz. Příloha č. 4), které byly označeny na 6 až 13 snímcích. Výsledná chyba polohy vlíčovacích bodů činila 1,61 cm a chyba pixelová 0,076 pixelů. Tímto způsobem byly vytvořeny optimalizace s klíčovými body pro celý hradní komplex.

V posledním kroku byly odstraněny klíčové body, které byly příliš vzdálené od hradu. Dále byly pomocí funkce *Edit – Gradual Selection* vybrány body, které obsahovaly větší pixelovou chybu než 0,5 pixelu. Tyto vybrané body byly následně odstraněny. [19]

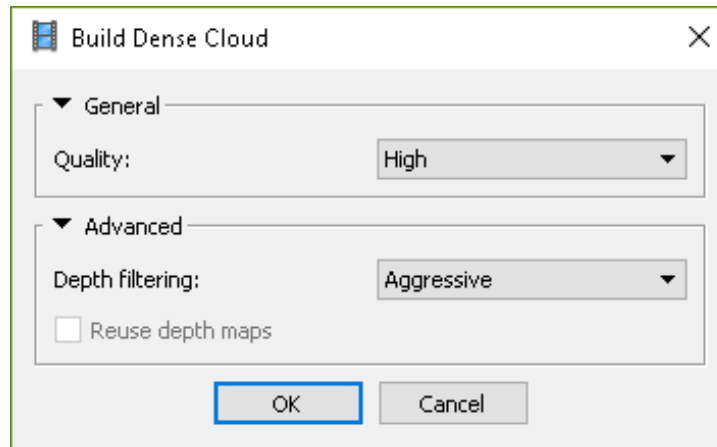
### 4.1.3 Mračno bodů

Při tomto kroku již byly zorientovány všechny snímky s klíčovými body a mohl být spuštěn výpočet na vygenerování mračna bodů z nafocených snímků. Před samotným výpočtem byla definována velikost oblasti, která byla optimálně nastavena a natočena. Tato oblast udává prostor, ve kterém bude probíhat výpočet. Oblast byla upravena pomocí funkce *Resize Region* v *Toolbar* panelu. Oblast by bylo možné také natočit pomocí funkce *Rotate Region* v témže panelu. V tomto okamžiku byla spuštěna funkce *Workflow – Build Dense Cloud*, při které bylo zobrazeno dialogové okno funkce (Obr. 16), ve kterém lze nastavit parametry *Quality* a *Depth filtering*. Výpočet podrobných bodů probíhá tak, že vypočte body pro každý snímek a poté je sloučí dohromady do jednoho mračna.

V rozbalovacím okně pro parametr *Quality* lze nastavit hodnoty *Lowest*, *Low*, *Medium*, *High* a *Ultra High*. Tyto hodnoty udávají požadavek pro kvalitu rekonstrukce. Vyšší nastavení kvality může vést k podrobnějším a přesnějším výsledkům. Toto nastavení je podobné jako ve funkci *Align Photos*, rozdíl je pouze v tom, že při nastavení *Ultra high* používá software pro výpočet originální snímky a každé nižší nastavení snímky převzorkuje. Zvolené nastavení má výrazný vliv na časovou náročnost výpočtu.

Dále lze v rozbalovacím okně pro parametr *Depth filtering* zvolit hodnoty *Disabled*, *Mild*, *Moderate* a *Aggressive*. Hodnota *Mild* se používá pro výpočet mračna bodů, při kterém chceme zachytit detaily objektu, toto má však za následek vypočtení chybných bodů, které můžeme považovat za odlehlá měření. Další hodnota je *Aggressive*, která se používá v opačném případě, to jest když bychom nepotřebovali zachytit detaily, ale potřebovali bychom mračno s bezchybnými body. Také je zde hodnota *Moderate*, což je kompromis mezi hodnotami *Mild* a *Aggressive*. Tuto hodnotu můžeme zvolit, pokud máme pochybnosti, jak dané mračno bodů zachytit, popřípadě na základě tohoto výpočtu

rozhodnout optimálnější nastavení. Poslední možností je *Disabled*, která nepracuje s žádným filtrem, avšak může mít za následek „zašumělé“ mračno bodů. [19]



Obr. 16 Nastavení funkce Build Dense Cloud

V našem případě bylo zvoleno výchozí nastavení, tedy pro parametr *Quality* byla zvolena hodnota *High* a pro parametr *Depth filtering* hodnota *Aggressive*. Pro toto nastavení bylo nutné rozdělit výpočetní oblast do dvou částí, neboť byl výpočet velice náročný nahardware a nebylo možné provést výpočet v celku. Pro takto velký rozdělený komplex výpočet trval dohromady 4 dny. Po kontrole mračna bodů (Obr. 17) bylo rozhodnuto, že zpracování proběhlo korektně s dostatečnou hustotou a nebylo třeba provádět nový výpočet s lepší hustotou mračna bodů.

Vytvořené mračno bodů z fotogrammetrických snímků bylo upraveno odmazáním vzdálených bodů od hradeb. Tento krok byl proveden, neboť tyto body byly nadbytečné. Mračno bodů z laserového skenování bylo upraveno v programu CloudCompare, ve kterém byly taktéž odmazány body vzdálené od hradeb podobně jako v mračnu bodů z fotogrammetrie. Poté byla spuštěna funkce *Cloud subsampling*, která byla nastavena tak, aby vybrala a odmazala body, které byly v menší vzdálenosti než 5 mm. Tato funkce byla spuštěna, neboť se mračno z laserového skenování skládalo z některých totožných skenů, které byly v blízkém okolí věže. Následně byly odmazány body z interiéru věže, které nebyly potřebné k vytvoření trojúhelníkové sítě. Nadbytečné body by prodlužovaly následné zpracování v softwarech a mohly by vytvářet nekorektní trojúhelníkovou síť.

Upravená mračna bodů byla předána studentce Veronice Vávrové, která vytvářela model z trojúhelníkové sítě v programu PoissonRecon a SurfaceTrimmer Více informací v bakalářské práci Veroniky Vávrové

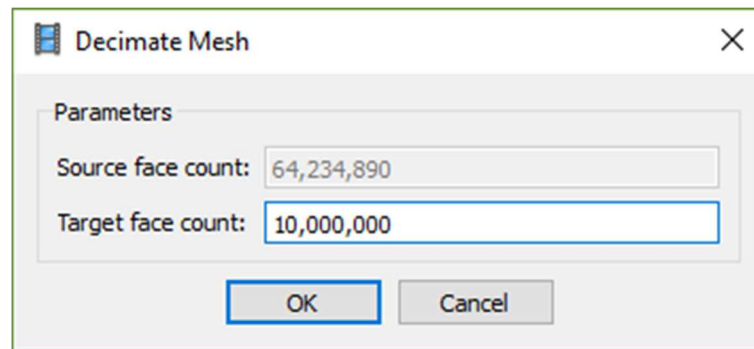




Obr. 17 Barevné mračno bodů hradního komplexu

#### 4.1.4 Redukce dat

Veronika Vávrová vytvořila model ve formě trojúhelníkové sítě, který obsahoval 64 milionů trojúhelníků. Tento počet byl příliš velký pro práci s modelem, proto byla data převzata a otevřena v programu PhotoScan, který umožňuje provést redukci na optimálnější počet trojúhelníků. PhotoScan umožňuje redukovat geometrii objektu s ohledem na nejpřesnější a nejméně výstižnější geometrii, která je možná pro zvolený počet výstupních trojúhelníků. Tato funkce *Tools – Mesh – Decimate Mesh* otevře dialogové okno (Obr. 18), které pod parametrem *Source face count* zobrazí aktuální počet trojúhelníků a do parametru *Target face count* se zvolí výsledný počet trojúhelníků. Tento výpočet není časově náročný a lze vyzkoušet redukci na různý počet výsledných trojúhelníků. V našem případě byla hodnota parametru *Source face count* 64 234 890 a výsledný počet trojúhelníků pro parametr *Target face count* byl zvolen 10 000 000. Tento výsledný počet trojúhelníků byl dostatečně velký pro zachování geometrie výsledného modelu. [19]



Obr. 18 Dialogové okno Decimate Mesh

Tento model byl následně opět předán studentce Veronice Vávrové pro následné opravy modelu. Model upravovala v softwaru Geomagic Studio, kde bylo jejím úkolem opravit model o vzniklé chyby vytvořené v softwaru PoissonRecon, aby byl výsledný model vodotěsný. Těmito úpravami připravila vodotěsný a topologicky čistý 3D model k poslednímu kroku této práce, konkrétně k vytvoření realistických textur na výsledném modelu.

## 4.2 Tvorba textury

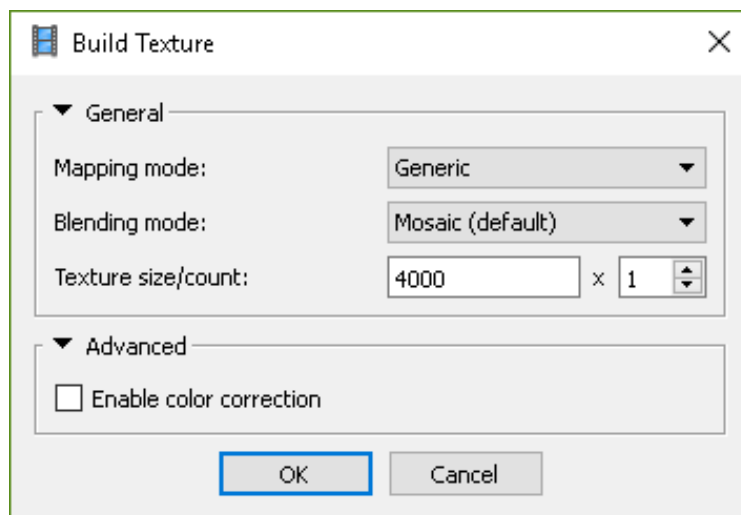
Před samotným výpočtem textur bylo nutné provést ruční odmaskování částí snímků, které nezabíraly zájmový objekt. Tyto části snímků bylo nutné odmaskovat z toho důvodu, aby se následně nepromítly na objekt ve výsledné textuře. Na snímcích z letecké fotogrammetrie se převážně jednalo o ramena hexakoptéry na kterých jsou umístěny rotory. Na snímcích z pozemní fotogrammetrie se jednalo o kmeny stromů. Nebylo možné odmaskovat všechny nežádoucí části, které byly na snímcích, jednalo se například o větvičky stromů. Tyto drobné objekty se poté promítli do textury hradu. Následně byl upravený 3D model nahrán do programu PhotoScan, kde byla spuštěna funkce *Workflow – Build Texture*. Po spuštění této funkce se otevře dialogové okno (Obr. 19), ve kterém je možno nastavit parametry *Mapping mode*, *Blending mode* a *Texture size / count*.

V rozbalovacím menu lze pro parametr *Mapping mode* nastavit hodnoty *Generic*, *Ortophoto*, *Adaptive ortophoto*, *Spherical*, *Single camera* a *Keep uv*. Tyto hodnoty udávají, jakou formou bude výsledný texturový obal vytvořen. Optimální volba může výrazně zlepšit vizuální kvalitu 3D modelu. Při volbě *Generic* nejsou nastaveny žádné předpoklady týkající se typu objektu a umožňuje parametrizovat libovolnou geometrii. V tomto případě se program snaží vytvořit co nejvíce jednotnou texturu. *Adaptive ortophoto* vytvoří texturu z ortografické projekce, při které rozdělí objekt

na horizontální a svislou část. Toto nastavení je vhodné, pokud chceme zachovat správné textury na stěnách domů, zatímco hodnota *Ortphoto* vytváří přesnější projekci s tím, že není brán ohled na kvalitu svislých částí. *Spherical* je určení k texturování kulových objektů. *Single camera* umožňuje vybrat konkrétní snímek, ze kterého se vytvoří textura. Toto nastavení by mohlo být použito pro rovinné objekty. *Keep uv* slouží k vytvoření textury z textury kterou již máme k dispozici. Toto nastavení se volí, pokud chceme obnovit texturu například v jiném rozlišení.

Parametr *Blending mode* vybírá způsob, jakým budou kombinovány hodnoty pixelů z různých fotografií. Pro tento parametr je možno nastavit hodnoty *Mosaic*, *Average*, *Max intensity*, *Min intensity* a *Disabled*. Hodnota *Mosaic* pracuje ve dvou stupňovém přístupu. V prvním stupni pracuje s nízkofrekvenční složkou pro překrývající se obrazy, při které se vyhýbá obrysům objektů. V druhém stupni zpracovává vysokofrekvenční složku, která je zodpovědná za detaily obrazu. Detaily jsou převzaty z jednoho snímku, který má vysoké rozlišení a pohled kamery je v normální poloze k povrchu rekonstruované oblasti. *Average* používá váženou průměrnou hodnotu všech pixelů z jednotlivých fotek, přičemž váha závisí na mnoha parametrech včetně vzdálenosti dotyčného pixelu od středu obrazu. *Max intensity* vybírá snímek, který má maximální intenzitu pro daný pixel a *Min intensity* naopak snímek, který má minimální intenzitu v daném pixelu. Při zvolení hodnoty *Disabled* se všechny fotografie vybírají jako vysokofrekvenční složka, obdobně jako u hodnoty *Mosaic*. Tento výběr je však nejnáročnější na zpracování textury.

Parametr *Texture size / count* určuje velikost dané textury v pixelech a počet souborů do kterých bude textura uložena. Takto lze dosáhnout vyššího rozlišení konečné textury modelu. Uložení vysokého rozlišení do jednoho souboru může selhat z nedostatků paměti RAM. Pro funkci *Build Texture* lze také označit parametr *Enable color correction*, který u datových sad s odlišným jasnem přepočítá stupně barev a opraví výrazné skoky odstínů. Tento parametr je vhodné zvolit, pokud jsou v texturách výrazné stíny od objektů, tato volba je však vysoce časově náročná. [19]



Obr. 19 výchozí nastavení funkce Build Texture

V našem případě byla za parametr *Mapping mode* zvolena hodnota *Generic*, neboť geometrie objektu je velice členitá. Parametr *Blending mode* byl zvolen na hodnotu *Mosaic*, tato hodnota byla zvolena z ekonomických důvodů na časové zpracování. *Texture size / count* bylo nastaveno na hodnoty 8192 x 3. Výsledné textury ve formátu JPG byly následně upraveny pro zlepšení vizuální kvality. Vytvořeným texturám modelu hradu byl zvýšen jas o 30 % a kontrast o 40 %. Tyto úpravy byly provedeny v programu XnView, který je určený k prohlížení, konverzi a úpravě grafických formátů.

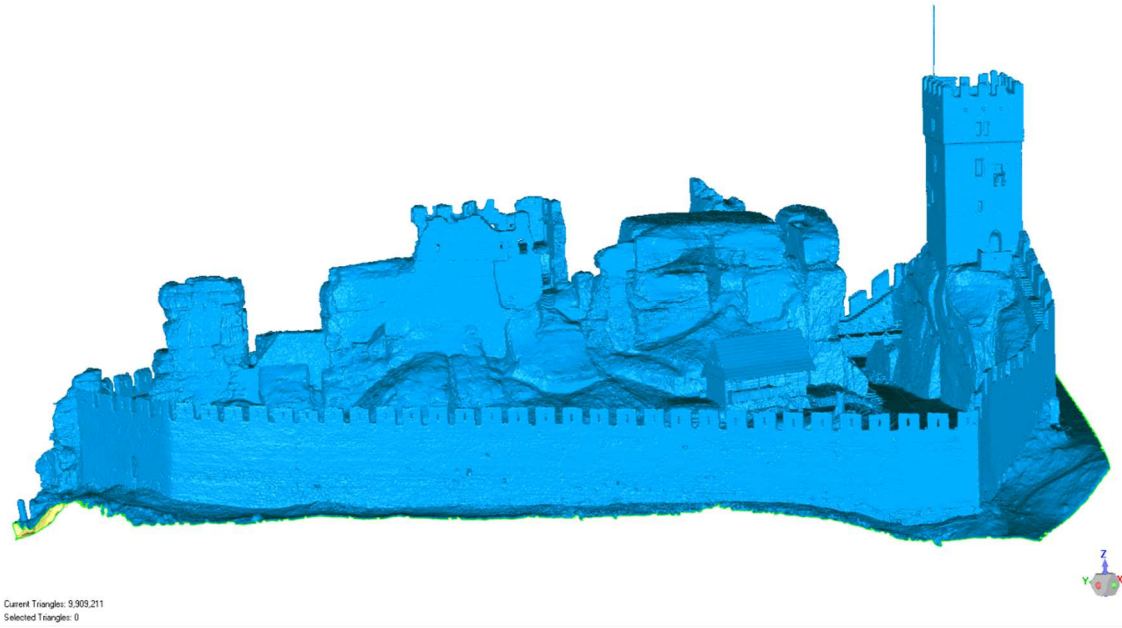
## 5 Výsledky

Pro připojení do polohového systému S-JTSK a výškového systému Bpv bylo použito 15 vlícovacích bodů, které byly odečteny z mračna bodů pořízeného z pozemního laserového skenování. Mračno bodů z pozemního laserového skenování bylo doplněno o mračno bodů z fotogrammetrického zaměření. Mračno z fotogrammetrického zaměření bylo přidáno s nižší vahou, aby zůstala zachována přesnost z laserového skenování.

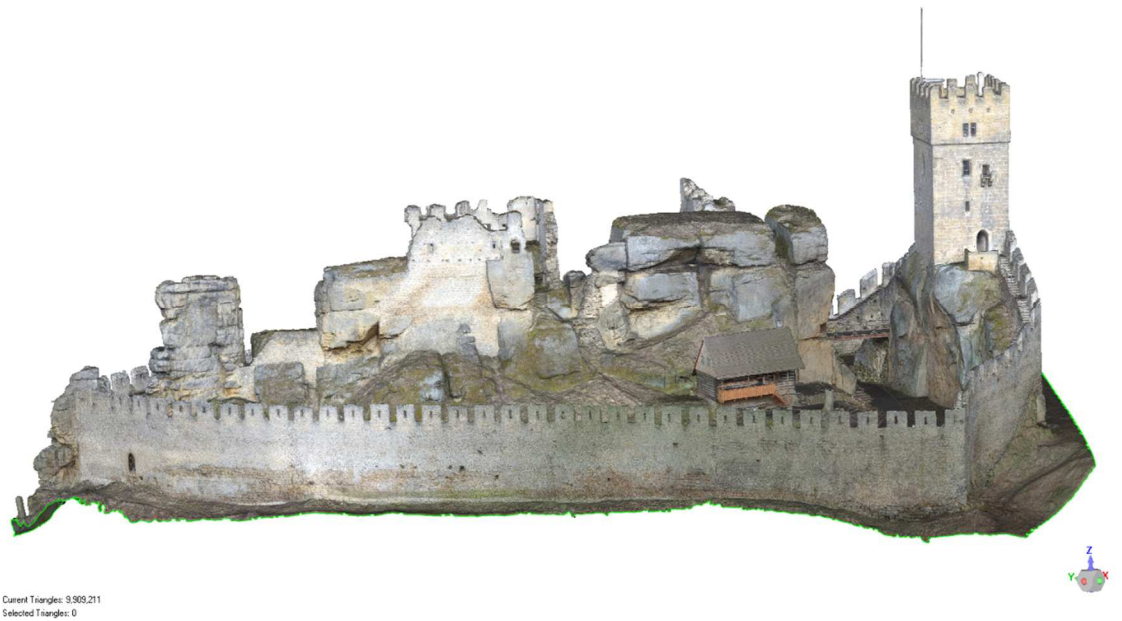
Z kombinovaného mračna bodů byl vytvořen prostorový trojúhelníkový model (Obr. 20), který obsahoval přibližně 64 milionů trojúhelníků. Po redukci a opravách modelu obsahuje okolo 10 milionů trojúhelníků. Výsledný model vychází z mračna bodů z laserového skenování a dosahuje obdobné přesnosti (experimentálně určena v diplomové práci Ing. Petry Dífkové jako 15 mm). Data z leteckého laserového skenování, která poskytuje ČÚZK nebyla pro zpracování použita z důvodů nedostatečné hustoty mračna bodů.

Prostorový trojúhelníkový model byl doplněn o textury z fotogrammetrického měření (Obr. 21). Výsledná textura byla vypočtena s rozlišením 2 cm na pixel. Tato textura je také vhodná pro další práce s modelem, například k odměřování vzdáleností, k výpočtům objemů použitého stavebního materiálu a k dalším historickým studiím. Textura dodává modelu lepší představu o geometrii objektu a vizuálně přibližuje model k realitě. Textury v otevřených prostorech dosahují vysoké kvality, jak lze pozorovat v Obr. 22, který zobrazuje vnitřní palác hradu a Obr. 23, který znázorňuje skalní strukturu z vnější části pod věží. Další ukázky jsou uvedeny v přílohách č. 5, 6, 7 a 8.

Veškeré podklady a výstupy pro vyhotovení modelu s texturami jsou umístěny na přiloženém strukturovaném USB flash disku (Příloha č. 1)



*Obr. 20 trojúhelníkový model*



*Obr. 21 trojúhelníkový model s texturou*





*Obr. 22 Vnitřní palác*



*Obr. 23 Vnější část skály pod věží*

## 6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo doplnit stávající mračno bodů z laserového skenování o mračno bodů z fotogrammetrického měření a vytvořit prostorový model s texturou hradu Helfenburk u Úštěka, který byl připojen do souřadnicového systému S-JTSK a výškového systému Bpv.

Pro doplnění mračna bodů a vytvoření textur byla zvolena metoda leteckého a pozemního fotogrammetrického měření. Na leteckém snímkování se podílela společnost G4D. Snímky byly realizovány kompaktním fotoaparátem Nikon Coolpix A. Fotogrammetrickým měřením byl nasnímán celý hradní komplex. Pro zpracování byly použity programy specializované k dané činnosti konkrétně CloudCompare a Agisoft Photoscan, pro práci s trojúhelníkovým modelem byly dále použity programy PoissonRecon, SurfaceTrimmer a Geomagic Studio.

Při zpracování bylo nejprve nutné zorientovat snímky, které byly následně optimalizovány přes vhodně zvolené vlíčovací body, jež byly odečteny z laserového skenování. Z orientovaných snímků bylo dále vypočteno mračno bodů, které doplnilo mračno z laserového skenování. Mračno z fotogrammetrického měření bylo s nižší vahou spojeno s mračnem z laserového skenování, aby bylo pouze doplněno a aby zůstala zachována přesnost mračna z laserového skenování. Ze spojených mračen byl vypočten trojúhelníkový model, který byl následně zredukován pro snazší manipulaci s modelem. Zredukovaný model byl následně vhodně upraven a byla zajištěna jeho topologická čistota. Tento opravený model byl dále použit pro texturování pomocí snímků z fotogrammetrického měření.

Veškerá data a výsledky jsou umístěna na přiloženém USB flash disku. V přílohách této práce je uvedena struktura přiloženého paměťového média, informace o kalibraci fotoaparátu, informace o vlíčovacích bodech a grafické ukázky modelu hradu.



## Použití zdroje

- [1] Zřícenina hradu Helfenburk. *Mapy.cz* [online]. seznam.cz a.s, OpenStreetMap, 2017 [cit. 2017-05-27]. Dostupné z:  
<https://mapy.cz/zakladni?x=14.3838600&y=50.5790273&z=17&source=base&id=1712578>
- [2] Hrádek u Úštěka (Helfenburk) – hrad. *Toulky po Čechách, Moravě, Slezsku i zahraničí* [online]. c 2007-2017 [cit. 2017 04 23]. Dostupné z:  
[http://www.toulykypocechach.com/lokalita.php?interni\\_nazev=hradekuusteka](http://www.toulykypocechach.com/lokalita.php?interni_nazev=hradekuusteka)
- [3] Helfenburk. Úštěk: oficiální web města [online]. [Jihlava: WEBHOUSE], c 2012 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://www.mesto-ustek.cz/zamky-hrady-zriceniny/d-144204/p1=1211>
- [4] Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí. *VUGTK: Terminologická komise ČÚZK* [online]. Zdiaby, VÚGTK c 2005-2017 [cit. 2017-05-27]. Dostupné z: <http://www.vugtk.cz/slovník/hledej.php>
- [5] HERMANY, Josef. *Fotogrammetria III. 2. Vydání*. Bratislava: ALFA, c1984.
- [6] PAVELKA, Karel. *Fotogrammetrie 1.1 vyd.* Praha: ČVUT v Praze, c 2009. ISBN 978 80 01 04249-6.
- [7] DROZDA, Jiří a Václav ŠAFÁŘ. Státní mapová díla Přednáška pro úředníky státní správy a samosprávy Dne 25. 11. 2014, 9:00-9:45 [online]. Zveřejněno 17.2. 2015 [cit. 2017-05-04]. Dostupné z:  
[http://www.vugtk.cz/OPVK/prezentace/02\\_StatniMapoveDilo\\_3.pdf](http://www.vugtk.cz/OPVK/prezentace/02_StatniMapoveDilo_3.pdf)
- [8] *Fotogrammetrie GIS-Stavinex*. GIS – STAVINVEX a.s. [online]. [Ostrava: FORSITE], c 2016 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z:  
<http://www.gis-stavinex.cz/fotogrammetrie/>
- [9] BÖHM, Jozef. *Fotogrammetrie učební texty* [online]. Vysoká škola báňská-technická univerzita Ostrava, c 2002 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z:  
<http://igdm.vsb.cz/igdm/materialy/Fotogrammetrie.pdf>
- [10] HODAČ, Jindřich. *Fotogrammetrie-úvod* [online]. ČVUT v Praze [cit. 2017-05-02]. Dostupné z:  
[http://lfgm.fsv.cvut.cz/lfgm\\_old/vyuka/k153fd11/1\\_Fotogrammetrie\\_uvod.ppt](http://lfgm.fsv.cvut.cz/lfgm_old/vyuka/k153fd11/1_Fotogrammetrie_uvod.ppt).
- [11] VOSYKA, Lukáš. *Vybudování vztažné sítě pro detailní zaměření hradu Helfenburk*. [online]. c 2015 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z:  
<http://gama.fsv.cvut.cz/~cepek/proj/dp/2015/lukas-vosyka-dp-2015.pdf>.  
Diplomová práce. ČVUT v Praze.
- [12] DIFKOVÁ, Petra. *Zaměření hradu Helfenburk u Úštěka a vytvoření prostorového modelu hradeb* [online]. c 2015 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z:  
<http://geo.fsv.cvut.cz/proj/dp/2015/petra-difkova-dp-2015.pdf>  
Diplomová práce. ČVUT v Praze.



- [13] Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G) [mapový list Dubá 5-4]. Praha: Český úřad zeměměřický a katastrální, [aktualizace 2010] [cit. 2017-04-29]. Dostupné z:  
[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(rgunxqh5jgrm5mf2vsig0rfz\)\)/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&mapid=8&menu=302](http://geoportal.cuzk.cz/(S(rgunxqh5jgrm5mf2vsig0rfz))/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&mapid=8&menu=302)
- [14] Digitální model povrchu České republiky 1. generace (DMP 1G) [mapový list Dubá 5-4]. Praha: Český úřad zeměměřický a katastrální, [aktualizace 2010] [cit. 2017-04-29]. Dostupné z:  
[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(ufbfbkvdhf1oq5x3wumqyeou\)\)/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMP1G-V&mapid=8&menu=303](http://geoportal.cuzk.cz/(S(ufbfbkvdhf1oq5x3wumqyeou))/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMP1G-V&mapid=8&menu=303)
- [15] Použitý fotoaparát Nikon Coolpix A stříbrný bazar, MEGAPIXEL [online]. c 2001 2017 MEGAPIXEL s.r.o. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z:  
<https://www.megapixel.cz/nikon-coolpix-a-stribny-bazar#product-sec-param>
- [16] JURČÁK, Pavel. Zařízení pro monitorování obtížně dostupných prostor [online]. c 2015 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z:  
[https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/34035/jurcak\\_2015\\_dp.pdf](https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/34035/jurcak_2015_dp.pdf)  
Bakalářská práce. UTB ve Zíně.
- [17] Digitální kompakt Nikon Coolpix L810 černý, MEGAPIXEL [online]. c 2001 2017 MEGAPIXEL s.r.o. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z:  
<https://www.megapixel.cz/nikon-coolpix-l810-cerny#>
- [18] Agisoft PhotoScan. Agisoft. [online]. Petrohrad Agisoft LLC, c 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.agisoft.com/>
- [19] Agisoft PhotoScan User Manual Professional Edition, Version 1.3 [online]. Petrohrad: Agisoft LLC c 2017 [cit. 2017-05-04]. Dostupné z:  
[http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro\\_1\\_3\\_en.pdf](http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_3_en.pdf)

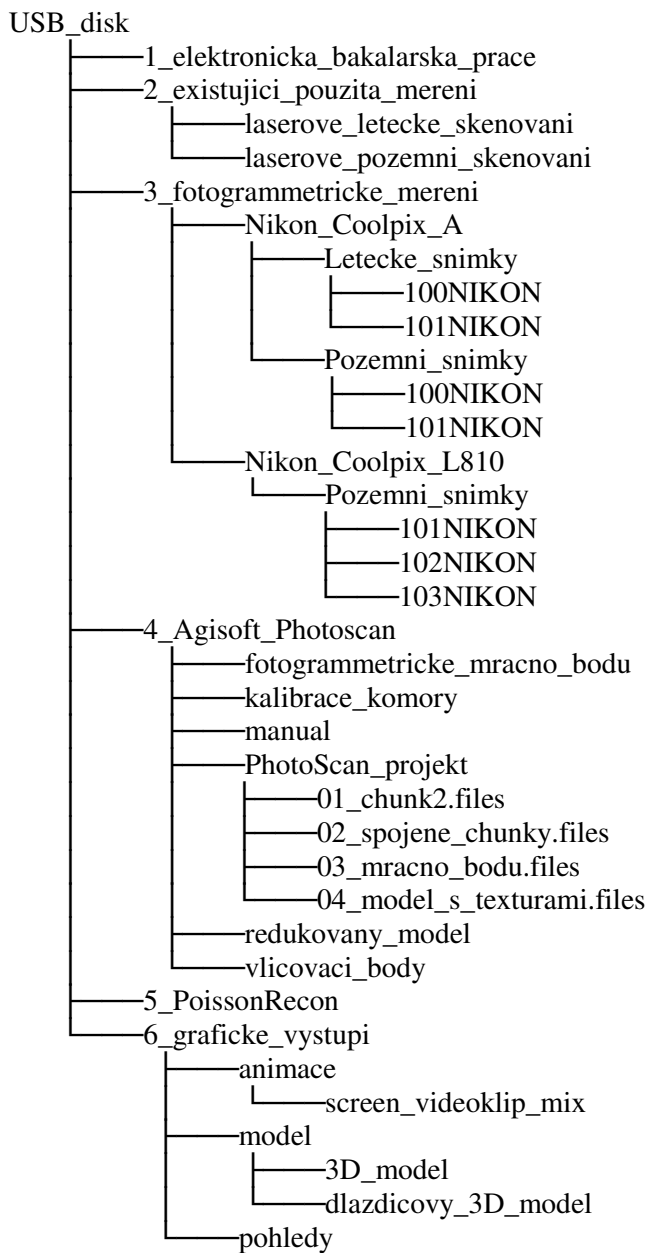
## Seznam obrázků

Obr. 1: Přehledné umístění .....	11
Obr. 2: Letecký snímek hradu Helfenburk .....	12
Obr. 3: Schématický obrázek hradu.....	13
Obr. 4: Podrobné umístění .....	13
Obr. 5: Cessna 401 s komorou Zeiss LMK 2015 .....	15
Obr. 6: Ortofoto České republiky .....	17
Obr. 7: 3D model z rastrových dat.....	17
Obr. 8: Fototeodolit PH*252972 .....	18
Obr. 9: Elektronický obrazový senzor CCD.....	19
Obr. 10: Trojúhelníkový 3D model .....	20
Obr. 11 Nikon Coolpix A .....	23
Obr. 12 MikroKopter s doplňky vyroben firmou HiSystems GmbH .....	23
Obr. 13 Nikon Coolpix L810.....	24
Obr. 14 Identické snímky – vlevo Nikon Coolpix A, vpravo Nikon Coolpix L810 .....	25
Obr. 15 Výchozí nastavení funkce Align Photo .....	27
Obr. 16 Nastavení funkce Build Dense Cloud.....	31
Obr. 17 Barevné mračno bodů hradního komplexu.....	32
Obr. 18 Dialogové okno Decimate Mesh .....	33
Obr. 19 výchozí nastavení funkce Build Texture .....	35
Obr. 20 trojúhelníkový model.....	37
Obr. 21 trojúhelníkový model s texturou.....	37
Obr. 22 Vnitřní palác .....	38
Obr. 23 Vnější část skály pod věží .....	38

## Seznam příloh

Příloha č. 1 - struktura přiloženého USB disku .....	44
Příloha č. 2 - kalibrace komory .....	44
Příloha č. 3 - vřícovací body chunk 1 .....	45
Příloha č. 4 - vřícovací body chunk 2 .....	45
Příloha č. 5 - jihozápadní pohled .....	46
Příloha č. 6 - půdorysný pohled .....	47
Příloha č. 7 - severovýchodní pohled.....	48
Příloha č. 8 - severozápadní pohled .....	49

## Příloha č. 1 - struktura přiloženého USB disku



## Příloha č. 2 - kalibrace komory

značení	popis	hodnota
f	Ohnisková vzdálenost měřená v pixelech	3841.7710294574026
cx	Pixelové souřadnice čočky optické osy s rovinou čidla	2.6928336241553552
cy		23.503264404590254
k1	Koeficienty radiálního zkreslení	0.072618475740808583
k2		0.079021968957352876
k3		-0.018491802260756196
p1	Koeficienty tangenciálního zkreslení	0.00034204062491046002
p2		-9.3374429870597849*10 <sup>-5</sup>

### Příloha č. 3 - vlíčovací body chunk 1

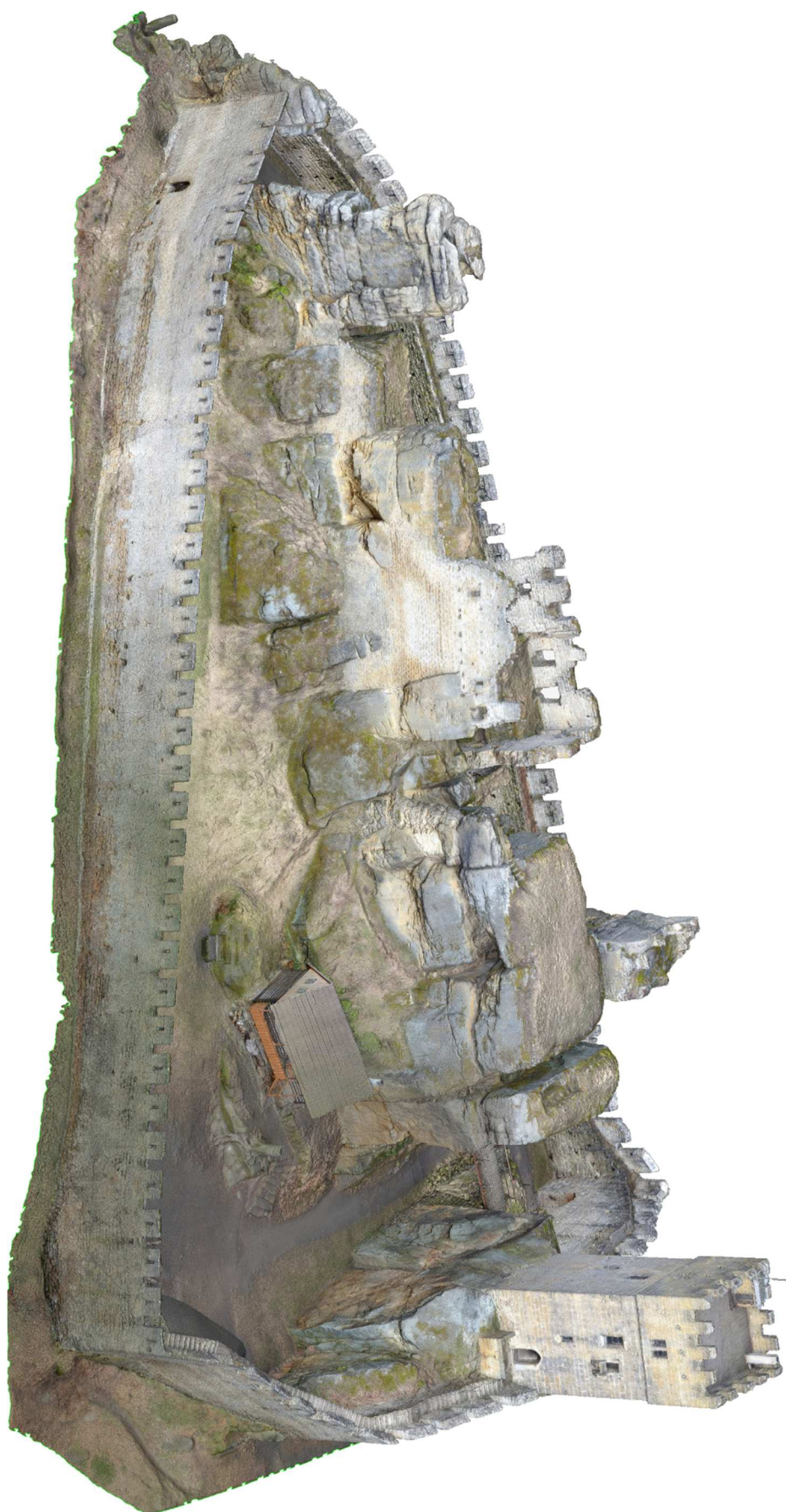
bod	X [m]	Y [m]	Z [m]	Přesnost [m]	Chyba [m]	Počet snímků	Chyba [pix]
101	-7939.852051	-450.959320	321.671265	0.005	0.016847	8	0.090
102	-7988.163086	-482.708740	313.364655	0.005	0.008092	10	0.048
201	-7961.933594	-471.548584	337.663605	0.005	0.017465	12	0.038
202	-7947.908691	-466.552185	321.186005	0.005	0.006329	10	0.073
203	-7987.570801	-462.999939	322.434204	0.005	0.020663	10	0.091
204	-7980.246094	-469.960571	318.859344	0.005	0.008611	11	0.056
205	-7941.184082	-454.971985	316.829834	0.005	0.005988	10	0.065
206	-7983.528809	-440.032837	331.182190	0.005	0.017229	11	0.030
207	-8018.582031	-417.048828	311.853516	0.005	0.004148	10	0.114
208	-7994.247070	-442.282074	331.130829	0.020	0.040749	13	0.075
209	-7992.114746	-432.453430	330.782013	0.005	0.015911	11	0.082
210	-8013.229004	-405.171753	316.206573	0.005	0.011942	6	0.064
211	-7966.350098	-485.019592	327.063599	0.005	0.011334	10	0.035
212	-7991.840820	-430.571960	318.240143	0.005	0.010508	12	0.109
213	-7960.540527	-455.234894	317.639465	0.005	0.012356	10	0.122

### Příloha č. 4 - vlíčovací body chunk 2

bod	X [m]	Y [m]	Z [m]	Přesnost [m]	Chyba [m]	Počet snímků	Chyba [pix]
501	-7975.770981	-422.418546	317.583725	0.020	0.009625	3	0.152
502	-7974.206996	-423.535489	317.601985	0.020	0.020385	2	0.011
503	-8020.275061	-418.030727	316.895666	0.020	0.029522	3	0.234
504	-8015.852444	-405.030714	313.744299	0.020	0.031051	3	0.060
505	-7999.363403	-406.141257	313.561621	0.020	0.018469	5	0.175
506	-8003.076806	-404.864304	307.751980	0.020	0.028773	5	0.306
507	-7984.167788	-416.003449	316.856751	0.020	0.042468	8	0.187
509	-7975.883649	-422.341114	311.734996	0.020	0.035489	4	0.056
510	-8020.491776	-414.485996	310.023345	0.020	0.028164	2	0.496
511	-7967.568167	-428.366691	317.753819	0.020	0.029675	4	0.122



**Příloha č. 5 - jihozápadní pohled**





**Příloha č. 6 - půdorysný pohled**





**Příloha č. 7 - severovýchodní pohled**



**Příloha č. 8 - severozápadní pohled**

