

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

DOKUMENTACE A VIZUALIZACE DROBNÝCH  
PAMÁTKOVÝCH OBJEKTŮ A PŘEDMĚTŮ

2018

Jan KOVÁŘ

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ  
OBOR ÚZEMNÍ INFORMAČNÍ SYSTÉMY PRO VEŘEJNOU  
SPRÁVU



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
DOKUMENTACE A VIZUALIZACE DROBNÝCH  
PAMÁTKOVÝCH OBJEKTŮ A PŘEDMĚTŮ

Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Karel Pavelka  
Katedra geomatiky

květen 2018

Jan KOVÁŘ

# ZADÁNÍ



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Kovář Jméno: Jan Osobní číslo: 458678  
Zadávající katedra: katedra geomatiky  
Studijní program: Územní informační systémy pro veřejnou správu  
Studijní obor: Územní informační systémy pro veřejnou správu

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Dokumentace a vizualizace drobných památkových objektů a předmětů  
Název bakalářské práce anglicky: Documentation and visualization of small historical structures and objects  
Pokyny pro vypracování:  
Vypracujte stručnou rešerši používaných metod pro dokumentaci památkových předmětů a objektů.  
Z fotografických snímků vytvořte minimálně tři případové studie prostorových modelů objektů či předmětů.  
Zvolte vhodné vizualizační metody a pokuste se některé objekty či předměty vytisknout na 3D tiskárně.  
Seznam doporučené literatury:  
Pavelka, K.; Pavlík, M.; Řezníček, J.; Kašíčka, F.; Bílá, Z.  
Exaktní dokumentační metody průzkumu památek. Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2016. ISBN 978-80-0  
Jméno vedoucího bakalářské práce: prof. Dr. Ing. Karel Pavelka  
Datum zadání bakalářské práce: 19.2.2018 Termín odevzdání bakalářské práce: 27.5.2018  
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 nutně 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“.*

26.2.2018 Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

## **ANOTACE**

Název práce: Dokumentace a vizualizace drobných památkových objektů a předmětů.

Autor: Jan Kovář

Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Karel Pavelka

Akademický rok: 2017/2018

Katedra: Geomatiky (155)

Abstrakt: Tématem této bakalářské práce je seznámení s problematikou dokumentace a vizualizace drobných památkových objektů a předmětů pomocí metody IBMR (Image Based Modeling and Rendering). Objekty a předměty byly vybrány v lokacích v Peru, Iráku, Kapverd, Chorvatska a Grónska. Práce obsahuje popis a využití metody IBMR v současnosti, následnou aplikaci metody IBMR pomocí softwaru Agisoft PhotoScan Professional, ve kterém se zpracují pořízené snímky památkových objektů a předmětu, vytvoří se bodová mračna nebo 3D modely a následně se v softwaru Geomagic Studio provede úprava pro následný 3D tisk vybraných 3D modelů.

Klíčová slova: 3D, dokumentace, 3D tisk, památkové objekty a předměty, fotogrammetrické snímky, IBMR, Agisoft PhotoScan Professional, Geomagic Studio

## **ANOTATION**

Title: Documentation and visualization of small historical structures and objects.

Author: Jan Kovář

Supervisor: prof. Dr. Ing. Karel Pavelka

Academic year: 2017/2018

Department: Geomatics (155)

Abstract: The topic of this bachelor thesis is the introduction of documentation and visualization of small historic structures and objects using the method of IBMR (Image Based Modeling and Rendering). The structures and objects were selected in locations in Peru, Iraq, Cape Verde, Croatia and Greenland. The thesis contains the description and the current utilization of IBMR method followed by the application of IBMR method using the software of Agisoft PhotoScan Professional, in which the taken pictures of the historical structures and objects will be processed, the point clouds or 3D models will be created. The software of Geomagic Studio will accomplish the adjustment for the subsequent 3D print of chosen 3D models.

Keywords: 3D, Documentation, 3D Print, Historical structures and objects, Photogrammetric Images, IBMR, Agisoft PhotoScan Professional, Geomagic Studio

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Dokumentace a vizualizace drobných památkových objektů“ vypracoval samostatně. Veškeré podklady, ze kterých bylo čerpáno, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne.....

.....

Jan Kovář

## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěl bych poděkovat panu prof. Dr. Ing. Karlu Pavelkovi za poskytnuté snímky k řešeným objektům a hlavně za konzultace, při kterých mi poskytnul mnoho rad pro správné zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat i svým rodičům a přítelkyni, kteří mi byli celé roky tohoto bakalářského studia oporou.

# Osnova

<b>1. Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>2. Cíle práce .....</b>	<b>10</b>
<b>3. Rešerše.....</b>	<b>11</b>
<b>4. Seznámení s problematikou .....</b>	<b>16</b>
4.1 Metoda pořízení snímků IBMR .....	16
4.2 Software Agisoft PhotoScan Professional.....	18
4.3 Software Geomagic Studio.....	18
4.4 3D tisk .....	19
<b>5. Zpracování památkových objektů a předmětů .....</b>	<b>21</b>
5.1 Zadané památkové objekty a předměty, případové studie: .....	21
5.1.1 Puquíos – studny a vodohospodářské stavby starověkého Peru .....	21
5.1.2 Keramické nálezy: Irák, Peru .....	24
5.1.3 Dřevěný artefakt – část vinného lisu.....	26
5.1.4 Alqosh , případová studie dokumentace stavebního prvku .....	27
5.1.6 Zionův kostel v Ilulissat, Grónsko.....	28
5.1.7 Kostel z dob otrokářských na ostrově Sal, Kapverdy .....	29
5.1.8 Kostel sv. Marko, poloostrov Pelješac, Chorvatsko .....	30
5.2 Tvorba 3D modelů pomocí softwaru Agisoft Photoscan Professional .....	31
5.3 Práce v programu GeoMagic .....	34



5.4 Tvorba 3D modelu v 3D tiskárně .....	37
<b>6. Zhodnocení výsledků .....</b>	<b>38</b>
6.1 Puquíos Orcona, Nasca region, Peru .....	38
6.2 Keramický střep, Peru.....	42
6.3 Dřevěný lis v San Xavier, Peru .....	43
6.4 Sloup v historické budově ve městě Alqosh, Irák .....	44
6.5 Keramické střepy z iráckého Kurdistanu (Machmur, Alqosh).....	46
6.6 Kostel v městě Ilulissat, Grónsko.....	51
6.7 Kostel z dob otrokářských na ostrově Sal, Kapverdy.....	52
6.8 Kostel sv. Marco, poloostrov Pelješac, Chorvatsko .....	54
<b>7. Závěr .....</b>	<b>55</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>56</b>
<b>Literatura .....</b>	<b>60</b>

# 1. Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou dokumentace a vizualizace drobných památkových objektů a předmětů. Téma jsem si vybral, protože mě vždy zajímali historické památky po celém světě a velice se mi zalíbila vizualizace památek pomocí fotogrammetrické metody IBMR (Based Modeling and Rendering).

Metoda spočívá vizualizací fotografických snímků, ze kterých se vypočítají mračna bodů v softwaru Agisoft PhotoScan Professional, z mračna se vytvoří 3D model, který se upraví nebo vytvoří v softwaru GeoMagic Studio a připraví se pro tisk pomocí 3D tiskárny.

Pro zpracování bakalářské práce a tvorbu 3D modelů byly vybrány tyto různorodé památkové objekty a předměty:

- a. Puquios – studny či obdobné vodohospodářské stavby v Peru
- b. Keramické artefakty z archeologických nalezišť (Irák, Peru)
- c. Dřevěný relikt – zbytek historického lisu na víno v San Xavier, Peru
- d. Nosný sloup budovy v historické části města Alqosh, (Irák, Kurdistan)
- e. Zionův kostel v městě Ilulissat, Grónsko
- f. Kostel z dob otrokářských na ostrově Sal, Kapverdy
- g. Kostel sv. Marco na poloostrově Pelješac, Chorvatsko

Snímky památkových objektů a předmětů pořídil prof. Dr. Ing. Karel Pavelka.

## 2. Cíle práce

Cílem práce bylo vytvořit rešerši na téma bakalářské práce, popsat problematiku, kterou se bakalářská práce zabývá, zpracovat poskytnuté snímky historických objektů a předmětů technologií IBMR (Image Based Modeling and Rendering) a vytvořit bodová mračna nebo 3D modely v programu Agisoft PhotoScan Professional. Dále se práce zabývá úpravou, tvorbou 3D modelů v programu GeoMagic Studio a možným tiskem modelů na 3D tiskárně. Závěrem jsou zhodnoceny výsledky a popsány vyskytlé problémy při zpracování.

### 3. Rešerše

Podle zadání bakalářské práce bylo první částí provedení stručné rešerše, která se zabývá konkrétní problematikou dokumentace a vizualizace drobných památkových objektů a předmětů. Byly vyhledány vhodné publikace na základě doporučené literatury a analýz elektronických i tištěných zdrojů.

Mezi vhodnými nalezenými zdroji je Národním památkovým ústavem poskytovaná literatura, která je bezplatně dostupná široké veřejnosti na internetových stránkách ústavu.

Následné další publikace byly nalezeny na stránkách Národního ústavu šedé literatury, kde jsou volně přístupné absolventské práce.

Informace z nalezených publikací byly použity pro pochopení a vypracování jednotlivých částí bakalářské práce.

#### *Exaktní metody průzkumu památek s využitím geodetických a geofyzikálních metod, [1]*

Publikace se zabývá moderními metodami při dokumentaci a průzkumu památek. Je rozdělena na osm kapitol. Jednotlivé kapitoly se zabývají metodami pro výzkum a dokumentaci památek (např. fotogrammetrie, 3D skenování, georadarový průzkum, moderní panoramatické fotografie a využití magnetometru). Kapitoly obsahují historii vývoje jednotlivých metod, popis metodiky, používané přístroje při jednotlivých metodách a ukázky na konkrétních zkoumaných historických památkách i s výsledky.

#### *Metodika digitalizace, 3D dokumentace a vizualizace jednotlivých typů památek, [2]*

Publikace se zabývá současnými metodami a technologiemi při dokumentaci a vizualizaci památek. Publikace je rozdělena na tři kapitoly. První dvě kapitoly ukazují metodu laserového skenování a metodu průsekové fotogrammetrie, kdy každá metoda je rozdělena na teoretickou a aplikační část. Teoretická část vysvětluje terminologii, postupy a používané technologie. V aplikační části jsou ukázky při řešení projektu a jejich výsledky. Poslední kapitola popisuje postupy vytvoření 3D modelů. Publikace je bezplatně poskytována na internetových stránkách Národního památkového ústavu.

***Metodika 3D dokumentace a vizualizace interiérů památkových objektů, [3]***

Publikace se zabývá nejvíce používanými metodami při 3D dokumentaci památkových objektů, kterými jsou 3D laserové terestrické (pozemní) skenování a průseková fotogrammetrie. Jedná se o metody, které lze využít, jak v exteriéru, tak i při dokumentaci interiérů a jednotlivých drobných památkových objektů. Publikace je bezplatně poskytována na internetových stránkách Digitálního depozitáře.

***Digitální a digitalizovaná fotografie pro vědecké účely v památkové péči, [4]***

Publikace popisuje zásady při pořizování snímků, digitální zpracování snímků, správný výběr fotopřístroje pro fotodokumentaci v památkové péči, jako základní zdroj informací pro fotografy zabývající se touto tematikou. Publikace je bezplatně poskytována na internetových stránkách Národního památkového ústavu.

***3D recording, documentation and management of cultural heritage, [5]***

Publikace se zabývá problematikami 3D dokumentací a technikami ochrany památkových objektů, popisuje jednotlivé fotogrammetrické metody, různé techniky 3D modelování a využití bezpilotních systémů v této problematice. Publikace dále obsahuje základní informace o nasazení pokročilých digitálních technologií a metod pro zhodnocení, zachování a obnovu stávajících struktur historických budov.

***Methods for 3D digitization of Cultural Heritage, [6]***

Publikace popisuje technické požadavky jednotlivých metod 3D dokumentace, které se používají v památkové péči. Řešenými metodami jsou: laserové skenování, fotogrammetrie exaktní a topografická metoda. Publikace je veřejnosti dostupná na internetu.

***Metodika dokumentace drobných památek, [7]***

Publikace popisuje základní principy dokumentace drobných památek. Skládá se ze tří hlavních kapitol. V první kapitole se definuje rozdělení drobných památek pomocí typologie (dle slohového období, materiálu, funkce, atd.). Druhá kapitola se zaměřuje na přípravnou fázi při dokumentaci (mapové podklady, odborná literatura) a v poslední kapitole se popisuje struktura dokumentace a metody 3D dokumentace. Publikace je bezplatně poskytována na internetových stránkách Národního památkového ústavu.

***Bakalářská práce, Tvorba 3D modelu historického objektu a jeho vizualizace pomocí 3D tisku, [8]***

Práce se zabývá problematikou 3D dokumentace a následné vizualizace pomocí 3D tisku objektů z města Machu Picchu. Je zde popsána historie objektů, metody geodetické, fotogrammetrické, 3D skenování a přístroje, které se používají při dokumentacích historických objektů. Dále je zde uvedena historie a postup vyhotovení 3D modelu v softwaru Agisoft PhotoScan Professional a zpracování mračen bodů v programu GeoMagic Studio. Na závěr je popsán 3D tisk a výsledné modely historických objektů.

***Ověřená technologie nízkonákladové 3D fotogrammetrické dokumentace památkových objektů, [9]***

Publikace se zabývá fotogrammetrickou metodou IBMR (Image Based Modeling and Rendering), která se dnes používá pro 3D dokumentaci a vizualizaci památkových objektů. Popisuje zde správný postup pořízení snímků, jejich následné zpracování a vytvoření 3D modelu v programu Agisoft PhotoScan Professional. Publikace je veřejnosti dostupná na internetu.

***Diplomová práce, Moderní možnosti zpracování historických fotografických dat ze syrského Aleppa, [10]***

Práce se zabývá vytvořením ortofot částí Umajjovské mešity v syrském Aleppu, které se vypočtou z 3D modelu zpracovaném v programu Agisoft PhotoScan na základě historických snímků. Jsou zde popsány základní fotogrammetrické metody, které se používají při dokumentaci historických objektů, použité přístroje při pořizování snímků a postup zpracování snímků a vytvoření 3D modelu v programu Agisoft Photoscan Professional.

***Disertační práce, Možnosti využití nových metod k dokumentaci a prezentaci historických objektů, [11]***

Práce se zabývá klasickými metodami, ale i novými metodami, které se dají použít k dokumentaci a prezentaci historických objektů. V první kapitole jsou zde popsány metody geodetické, fotogrammetrické a laserové skenování, které se dnes používají. Druhá kapitola popisuje metody klasické (vytvoření fotoplánu a tvorba 3D modelu bez automatických metod). Třetí kapitola popisuje použití moderních automatických metod. V závěrečné části je tvorba vlastního programu pro jednoduchou formu dokumentace a prezentace památek.

***A Review of Image - based Rendering Techniques, [12]***

Publikace se zde zabývá průzkumem technik metody Image - Based Rendering. Metoda je rozdělena na tři části podle toho, jak moc se využívá geometrie na techniku: vykreslování bez geometrie, vykreslování s implicitní geometrií a vykreslování s explicitní geometrií. V jednotlivých částech se popisují vlastnosti technik, jejich použití a ukázky aplikace technik. Publikace je veřejnosti dostupná na internetu.

***Bakalářská práce, Tvorba a úpravy trojúhelníkové sítě pro vytvoření 3D modelu hradu Helfenburk u Úštěka, [13]***

Práce se zabývá zpracováním trojúhelníkové sítě ze snímků pořízených z leteckého měření a pozemního fotogrammetrického měření pro vizualizaci hradu Helfenburk v podobě 3D modelu. Jsou zde popsány postupy zpracování v programech PoissonRecon, SurfaceTrimmer , Geomagic Studio a Agisoft PhotoScan Professional s následnou ukázkou výsledků.

## 4. Seznámení s problematikou

Tato kapitola bakalářské práce obsahuje seznámení s metodou IBMR (Image Based Modeling and Rendering), její princip, dnešní využití a softwary, které tuto metody využívají. Dále je zde popsán postup práce a využití softwarů Agisoft PhotoScan Professional a Geomagic Studio při zpracování zadaných památkových objektů a předmětů. Na závěr kapitoly je popsána technologie tisku na 3D tiskárně.

### 4.1 Metoda pořízení snímků IBMR

Technologie IBMR (Image Based Modeling and Rendering) je fotogrammetrická metoda tvorby mračna bodů z fotografických snímků pomocí obrazové korelace. Na konci prvního desetiletí 21. století tato metoda zaznamenala prudký rozvoj, spojený s výkonem osobních počítačů a software. Je to technologie, která pracuje na principu obrazové korelace snímků z různých stanovisek. Nepotřebuje přesné kalibrované fotogrammetrické komory ani snímky s rovnoběžnými osami záběru jako stereofotogrammetrie, vyžadován je jen velký překryt mezi snímky a to nad 70%. [1]

#### **Metoda se dá rozdělit na čtyři části:**

1. Pořízení digitálních dat (snímků) – základem při snímkování je jen dodržet dostatečný překryt snímků, zajistit neměnnost vnějších vlivů (osvětlení, jiná vzdálenost k objektu, změny nastavení fotoaparátu apod.). U snímkování není vhodné používat změnu ohniskové vzdálenosti objektivu (zoomování).
2. Tvorba řídkého mračna bodů – proces, který funguje na principu obrazové korelace. Najde stejné body na více snímcích a propojí je. Vypočítají se vnější a vnitřní prvky orientace snímků.
3. Tvorba hustého mračna bodů – z předchozí části se spočítá husté mračno bodů, které se počítá ze všech snímků. Bodům se přiřadí textura, vzniká tedy texturované husté mračno bodů, které již znázorňuje přibližně 3D model.



4. Další zpracování, např. vytvoření trojúhelníkové sítě – je to proces (Delaunayova triangulace), který spojí tři nejbližší body v mračnu a vytvoří trojúhelník. Vytvořený trojúhelník je výjimečný tím, že v jeho opsané kružnici nenáleží již žádný jiný bod. [9]

Dnes se tato metoda používá jako jednoduchá a nenákladná technologie v pozemní fotogrametrii, pro zpracování dat z leteckých systémů RPAS (Remotely Piloted Aircraft System, též zvaných UAV - Unmanned Aerial Vehicle, obecně ale dálkově pilotovaný letecký systém či prostředek) a také jako levná náhrada za 3D skenování. Díky jednoduchosti a ekonomičnosti je tato metoda využívána při dokumentaci a vizualizaci historických objektů a předmětů většinou v podobě 3D modelu. [1]

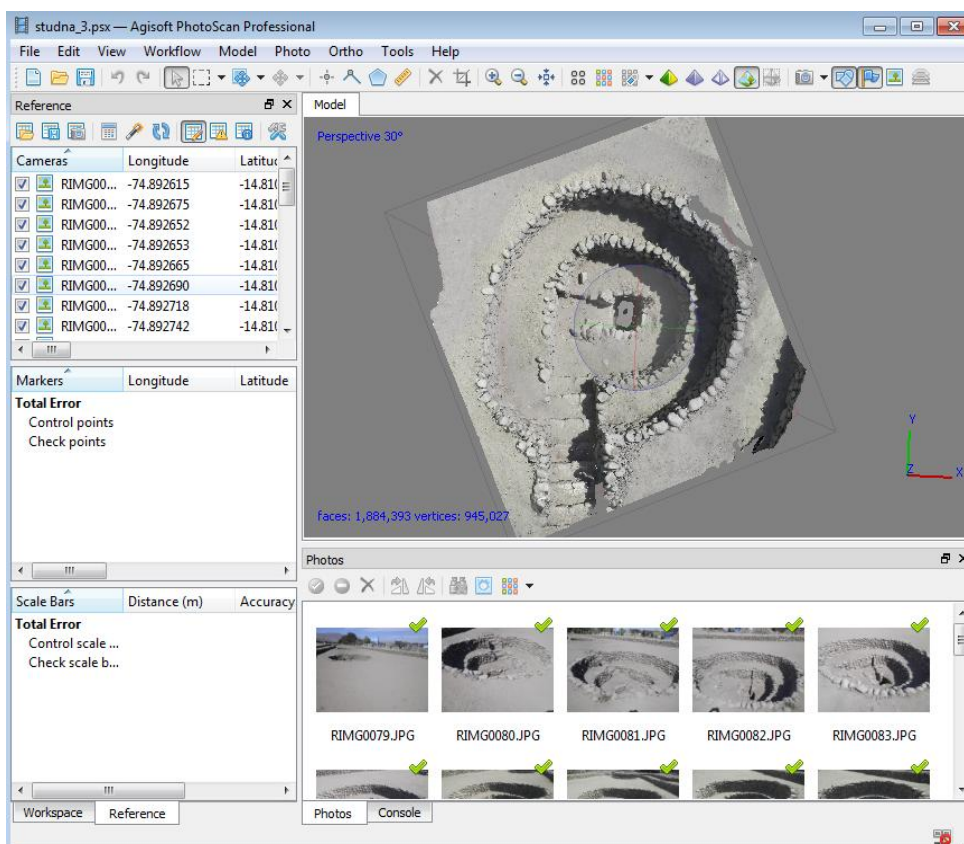
Výše uvedené metody se dnes používá mnoho softwarů, kdy každý je určen pro jiná vstupní data. Např. software 3DF Zephyr od společnosti 3D Flow, který se používá k vytvoření 3D modelů z pořízených snímků stejně tak jako software PhotoModeler od společnosti PhotoModeler Technologies. Na výstupy z leteckých systémů RPAS se používá např. software Pix 4D od společnosti Pix4D SA, nebo software Aerogis od společnosti GisCat. [9]

## 4.2 Software Agisoft PhotoScan Professional

Tento software vytvořený společností Agisoft LLC, se používá pro tvorbu ortofotomap, digitálních modelů povrchů a obecně polygonálních modelů s texturami ve vysokém rozlišení, je dnes rozšířený a hojně využíván pro svou jednoduchost s prací se snímky.

Software má snadné a přehledné uživatelské prostředí a umožňuje v několika krocích dosáhnout výsledku – 3D texturovaného síťového modelu či texturovaného mračna bodů. Postup v softwaru je ve velké míře automatizovaný a proto je potřeba výkonný hardware (procesor Intel i7, operační paměť min. 16 GB, grafická karta min. GTX 980).

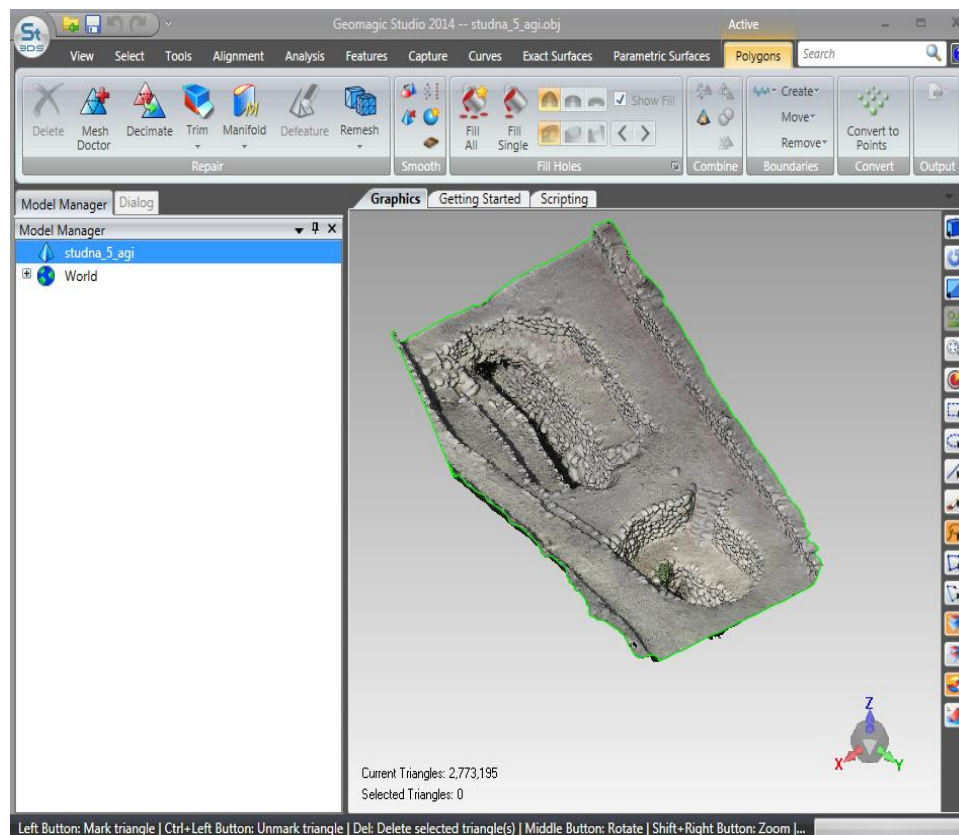
Data, se kterými pracujeme lze georeferencovat do souřadnicového systému, buď pomocí souřadnic identických bodů anebo pomocí GNSS souřadnic při pořízení snímků. [14] [18]



Obr. 4.1: Agisoft PhotoScan – pracovní plocha [vlastní tvorba]

## 4.3 Software Geomagic Studio

Software Geomagic Studio je vytvořen společností 3D Systems, které sídlí v jižní Karolině v USA. Software obsahuje mnoho nástrojů pro úpravu mračen bodů (např. odstranění odlehlých bodů, redukce šumu apod.), úpravě polygonových sítí 3D modelu (např. vyplnění otvorů, vyhlazení, odstranění hrot apod.) a k automatické tvorbě povrchů pro 3D modely. Software se hlavně používá pro přípravu 3D modelu na 3D tisk. [17]



Obr. 4.2: Geomagic Studio – pracovní plocha [vlastní tvorba]

#### 4.4 3D tisk

Technologie 3D tiskáren je již dlouhou dobu známa, ale až v posledních letech se začala rychle rozšiřovat. Jako první si tuto techniku tisku patentoval Charlese Hull v roce 1986. První firmou, která vyráběla 3D tiskárny byla firma 3D Systems, později se ale začaly na trhu objevovat další firmy, např. Z - Corporation, Makerboot Industries, Ultimaker, aj. [26]

3D tisk je proces, při kterém se tvoří fyzický 3D model z digitálního souboru 3D modelu vytvořeného v softwaru. Tvorba fyzických 3D modelů vzniká tak, že se počítačový 3D model převede na tenké vrstvy, které se v prostoru 3D tiskárny postupně sestavují. Nejpoužívanějšími materiály jsou ABS (akrylonitrilbutadienstyren), PLA (polylaktid) a HDPE (polyethylen). [28]

**V současnosti se používají nejčastěji tyto technologie tisků:**

SLS (Selective Laser Sintering) – Směs práškového materiálu se postupně natavuje laserovým paprskem.

SLA (Stereolithography apparatus) – Jedná se o nejstarší technologii, která se používá od roku 1986. Jedná se o postupné vytvrzování polymerů pomocí ultrafialového záření.

FDM (Fusing Deposition Modeling) – Nejrozšířenější metoda 3D tisku, která funguje na principu nanášení roztaveného materiálu v tenkých vrstvách.

SLM (Selective Laser Melting) – Materiál ve formě prášků se ve vrstvách přímo natavuje pomocí laserového paprsku. [26]

Dnes se 3D tisk využívá v mnoha oborech např. stavebnictví a architektura (modely budov), umění (hudební nástroje, šperky), archeologie (kopie artefaktů), školství (modely), zdravotnictví (kmenové buňky, uši, cévy, kosti), apod. [26]

## **5. Zpracování památkových objektů a předmětů**

Kapitola se zabývá popisem vybraných památkových objektů a předmětů. Následuje popis vytvoření bodových mračen, 3D modelů v programu Agisoft Photoscan Professional a úprava nebo tvorba 3D modelů v programu GeoMagic Studio pro přípravu na tisk v 3D tiskárně.

### **5.1 Zadané památkové objekty a předměty, případové studie:**

V práci jsou užita obrazová data z různých oblastí, dokumentují různé předměty a jsou pořízeny odlišnými kamerami. Z hlediska typů použití se jedná o klasické ukázky možností zpracování dat a dnešní možnosti softwarů. Obecně je můžeme nazvat případovými studii.

#### **5.1.1 Puquíos – studny a vodohospodářské stavby starověkého Peru**

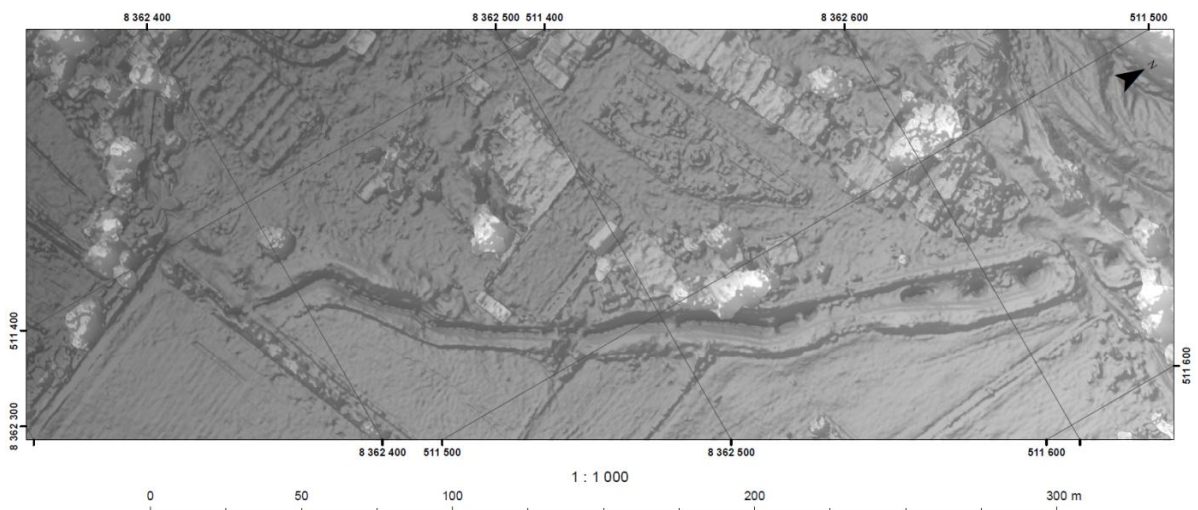
V Peru existují vodohospodářské stavby, zvané puquíos. Stejný název má i velké město, puquíos jsou v Peru běžně známé a dodnes využívané vodohospodářské stavby, často ve formě podzemních akvaduktů s přístupovými místy, studněmi. Studny byly poprvé objeveny v 30. letech 20. století. Předmětem případové studie v této práci jsou puquíos poblíž města Nasca, asi 400km jižně od hlavního města Limy; Toto místo je známé mnohem více díky památce UNESCO – geoglyfům v nedaleké pampě. [29] Archeologové i mnozí jiní odborníci jsou přesvědčeni, že puquíos začali budovat lidé kultury Nazca někdy od 4. století z důvodu postupného vysychání krajiny, které bylo důsledkem klimatických změn. [29] [30] [31] [32]

Puquíos nejsou jen studny, ale výborně postavená síť podzemních akvaduktů, které jsou často rozděleny po 20 až 35 metrech svislým tunelem pro čerpání vody, a slouží i jako údržbářské vstupy. Celé systémy slouží k zavlažování krajiny a zásobování vesnic vodou v některých případech dodnes. Puquíos byly studovány několika odborníky z různých oborů vědy, studoval je již např. Haddingham. [15] [19] [20] [32]

Jako případová studie obdobných objektů byla zvolena soustava studní – puquíos s názvem podle nedaleké vesnice – Orcona. Místní puquíos jsou zachované, funkční a dokonce restaurované pod ochranou památkového úřadu v Peru (INC).



Obr. 5.1: Ortofoto snímek Puquíos Orcona [33]



Obr. 5.2: Digitální model povrchu Puquíos Orcona [33]



Obr. 5.3: Puquíos Orcona – studní systém [podkladová data]

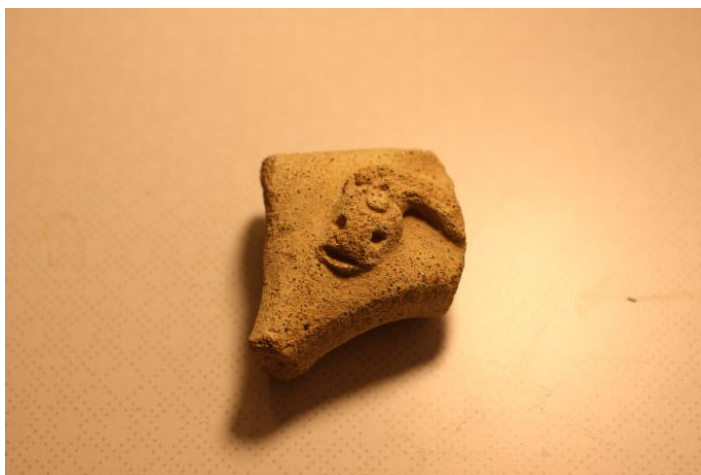


Obr. 5.4: Puquíos Orcona – studní systém [podkladová data]

### 5.1.2 Keramické nálezy: Irák, Peru

Tato případová studie se zabývá možnostmi a ukázkou 3D dokumentace zejména keramických střepů či nádob. Keramika obecně je jedním z nejčastějších nálezů při archeologických pracích. Většinou je ale přísně zakázané jakékoliv nálezy z lokalit v cizích zemích odvážet či schraňovat bez patřičné licence. Proto je zde ukázáno, že poměrně jednoduchou technikou lze tyto nálezy dokumentovat a později si je eventuálně vytisknout jako repliky pomocí technologie *rapide prototyping* (3D tisk).

Zde je užit nález ze severního Iráku, z lokality Machmúr (Makhmour al Kadima), kde byl prováděn pozemní průzkum a povrchový sběr v roce 2015 ve spolupráci s archeology (FF, ZČU v Plzni). Střep je zřejmě pozůstatek středověké užitkové nádoby. Dále jsou zde nálezy střepů z lokality starobylého města Alqosh v Iráku a nálezy střepu z Peru.



Obr. 5.5: Keramický nález z Machmúru, Irák [podkladová data]



Obr. 5.6: Keramický nález z města Alqosh, Irák [podkladová data]





Obr. 5.7: Keramický nález z města Alqosh, Irák [podkladová data]



Obr. 5.8: Keramický nález z města Alqosh, Irák [podkladová data]



Obr. 5.9: Keramický nález z Peru, oblast Casma, Sechin Alto [podkladová data]

### 5.1.3 Dřevěný artefakt – část vinného lisu

V roce 2008, v době kdy metody IBMR nebyly ještě užívány, byl při německo – české expedici „Peru – Nasca 2008“ pořízeno mnoho obrazového materiálu. Při dokumentaci poškozeného kostela v San Xavier byl v blízkosti nalezen zbytek obrovského lisu na víno z koloniální doby, cca z 18. století (dedikace kostela je polovina 18. století dle nápisu na průčelí a dochovaném zvonu ve zvonici, obdobné lisy byly k vidění i na jiných místech zejména v klášterních areálech). Část lisu byla fotografována kalibrovanou zrcadlovkou Canon 20D s objektivem 10-22mm. Získaný obrazový materiál v současné době bylo možno vyhodnotit novou metodou IBMR do podoby mračna bodů a 3D modelu.



Obr. 5.10: Dřevěný artefakt – vinný lis v Palpě, Peru [podkladová data]



Obr. 5.11: Dřevěný artefakt – části vinného lisu v San Xavier [podkladová data]

#### 5.1.4 Alqosh , případová studie dokumentace stavebního prvku

Cílem této studie byla dokumentace a tvorba 3D modelu stavebního prvku – sloupu v historické budově v centru starobylého města Alqosh v severním Iráku – Kurdistánu. Snímky byly pořízeny v březnu 2018 při druhé etapě dokumentace svatyně proroka Nahúma. Sloupy ve svatyni jsou stejného druhu, jako zde uvedený sloup v nedaleké lépe zachované budově, která nyní slouží jako malé muzeum. Jedná se o typický příklad mosulské architektury.



Obr. 5.12: Sloup z města Alqosh [podkladová data]

### 5.1.6 Zionův kostel v Ilulissat, Grónsko

Zions Kirke (Zionův kostel) se nachází přibližně 220 kilometrů severně od arktického kruhu v západní části Grónska. Tento kostel je jeden z nejsevernějších kostelů na světě, byl postavený v roce 1782 a obnovený v roce 1907. Nedaleko od kostela se nachází ledovec Kangia, Ilulissat, který je od roku 2004 zapsán v seznamu světového dědictví UNESCO. [25]



Obr. 5.13: Zionův kostel v Ilulissat [podkladová data]



Obr. 5.14: Zionův kostel v Ilulissat [podkladová data]

### 5.1.7 Kostel z dob otrokářských na ostrově Sal, Kapverdy

V roce 1460 byl ostrov Sal objeven, kvůli extrémnímu suchu byl ale opuštěný až do konce 18. století. V roce 1796 bohatý obchodník Manuel António Martins přivezl otroky z Afriky, aby zde těžili sůl. Později byl zde s požehnáním biskupa postaven kostel známý jako Nossa Senhora da Piedade (panna Maria mírumilovná). Kostel dostal dnešní podobu až v roce 1853, kdy byl zcela dokončen.



Obr. 5.15: Kostel na ostrově Sal [podkladová data]



Obr. 5.16: Kostel na ostrově Sal [podkladová data]

### 5.1.8 Kostel sv. Marko, poloostrov Pelješac, Chorvatsko

Jedná se o drobnou, ale historickou sakrální stavbu lokálního významu, která lze dobře modelovat. Jak se ukázalo, pro kvalitní 3D dokumentaci by bylo třeba snímky např. z dronu.



Obr. 5.17: Kostel sv. Marco na poloostrově Pelješac [podkladová data]

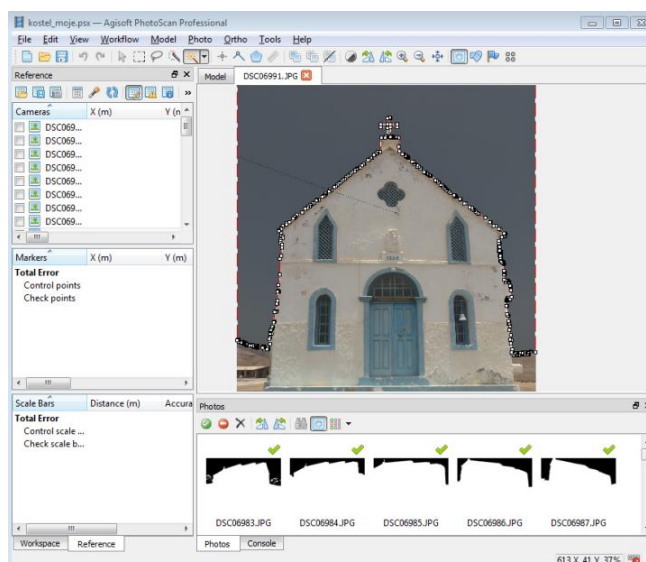


Obr. 5.18: Kostel sv. Marco na poloostrově Pelješac [podkladová data]

## 5.2 Tvorba 3D modelů pomocí softwaru Agisoft Photoscan Professional

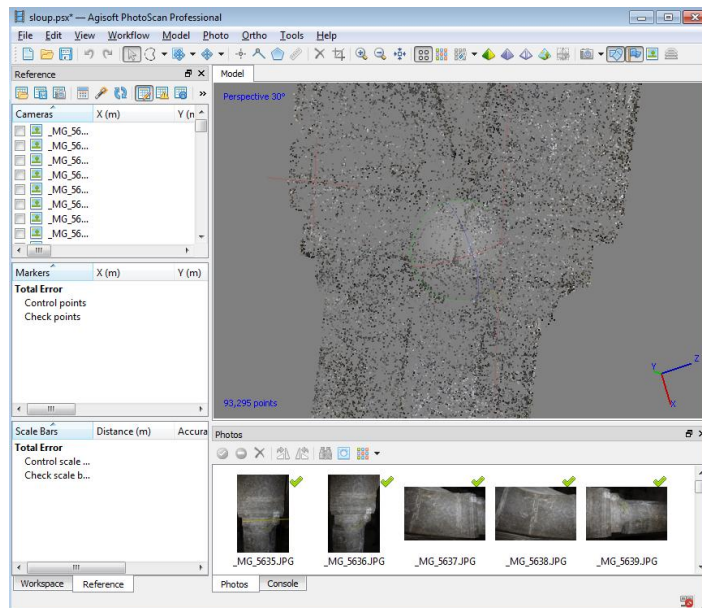
Postup vytvoření 3D modelu v tomto softwaru je založen na metodě IBMR. Vytvoření 3D modelu bych rozdělil na těchto sedm kroků:

1. Načtení digitálních dat (snímků) – Pomocí funkce *Add photos* se do Softwaru načtou námi vybrané snímky objektů a předmětů.
2. Tvorba masky – U některých snímků historických objektů a předmětů se program při tvoření řídkého mračna bodů zabývá spíše pozadím nebo okolím než přímo objektům či předmětům. Je třeba tomu zamezit pomocí funkce *Add Mask*, která nám ohraničí prvek a program poté hledá body přímo ve výběru.



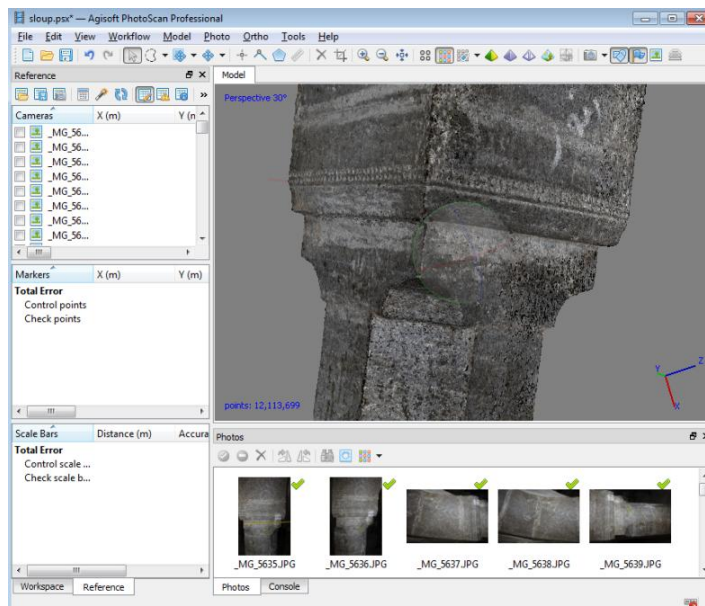
Obr. 5.19: Agisoft PhotoScan Professional – tvorba masky [vlastní tvorba]

3. Tvorba řídkého mračna bodů – Provádí se pomocí funkce *Align photos*, což je proces fungující na principu obrazové korelace. Na konci se vypočítají vnější a vnitřní prvky orientace snímků. Při spuštění funkce lze nastavit kvalitu zpracování a limit klíčových bodů. Pro zadané objekty a předměty byla nastavena kvalita zpracování *Highest* a limit klíčových bodů 40 000.



Obr. 5.20: Agisoft PhotoScan Professional – tvorba řídkého mračna bodů [vlastní tvorba]

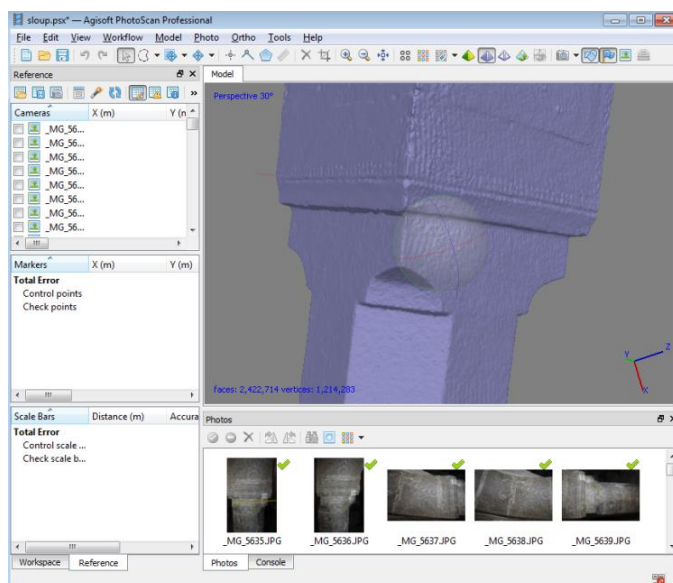
4. Tvorba hustého mračna bodů – Provádí se pomocí funkce *Build dense cloud*. Při spuštění funkce lze nastavit kvalitu zpracování a filtr mračna. Pro zadané objekty a předměty byla nastavena kvalita zpracování *High* a filtr mračna byl zvolen podle členitosti objektu (*mild* – pro členité prvky, *aggressive* pro hladké prvky a *moderate* je kombinace obou) Výsledkem je husté texturované bodové mračno, které již připomíná 3D model.



Obr. 5.21: Agisoft PhotoScan Professional – tvorba hustého mračna bodů [vlastní tvorba]

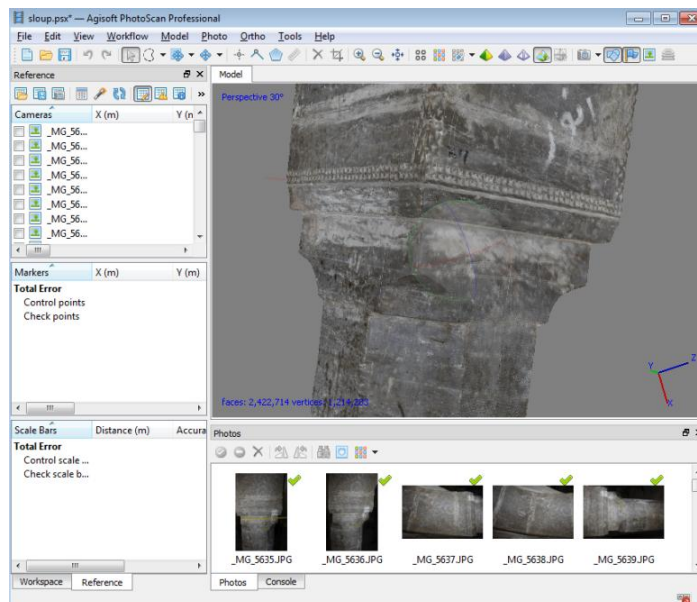


5. Vytvoření polygonové trojúhelníkové sítě – Provádí se pomocí funkce *Build mesh*. Při spuštění funkce lze nastavit hustotu polygonové sítě, poté se spustí proces (Delaunayova triangulace), který spojí tři nejbližší body v mračnu a vytvoří trojúhelník. Vytvořený trojúhelník je výjimečný tím, že v jeho opsané kružnici nenáleží již žádný jiný bod. Výsledkem je finální 3D model bez textury.



Obr. 5.22: Agisoft PhotoScan Professional – tvorba polygonové sítě [vlastní tvorba]

6. Vytvoření texturovaného 3D modelu – Pomocí funkce *Build texture* se vytvoří textura ze snímků na vytvořený 3D model.



Obr. 5.23: Agisoft PhotoScan Professional – tvorba textury [vlastní tvorba]

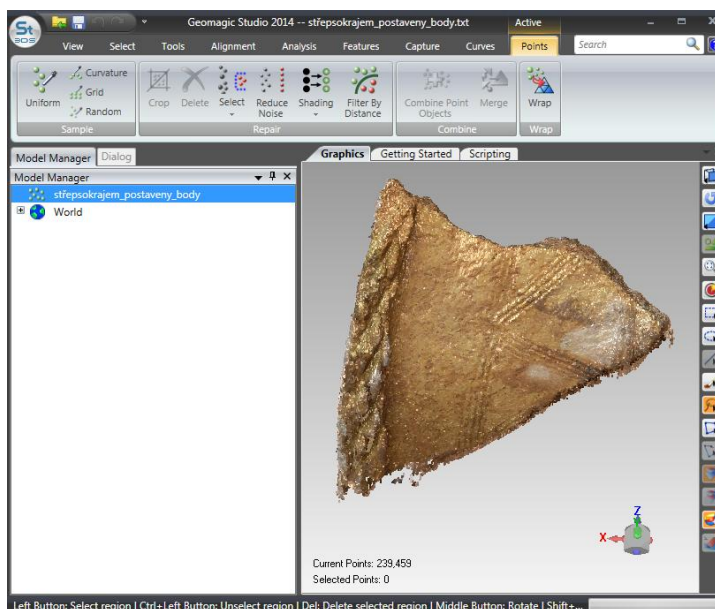
7. Export 3D modelu nebo bodového mračna – Z programu je nutné výsledky exportovat pro další zpracování. Hlavním formátem programu je *.psx*. Lze exportovat husté bodové mračno (např. v podobě *.txt*, *.obj*, ...), nebo vytvořený 3D model (např. v podobě *.obj*, *.3ds*, ...). Software také podporuje export 3D modelu ve formátu *.pdf* pro vizualizace v programu *Acrobat Reader DC*

### 5.3 Práce v programu GeoMagic

Software Agisoft PhotoScan Professional nám vytvoří texturovaná mračna bodů a 3D modely, aby bylo možno s 3D modely nebo mračny pracovat v softwaru GeoMagic Studio je nutné je exportovat ve formátech *.obj* (pro 3D modely) a *.txt* (pro mračna bodů).

Práci v softwaru GeoMagic lze rozdělit do těchto sedmi kroků:

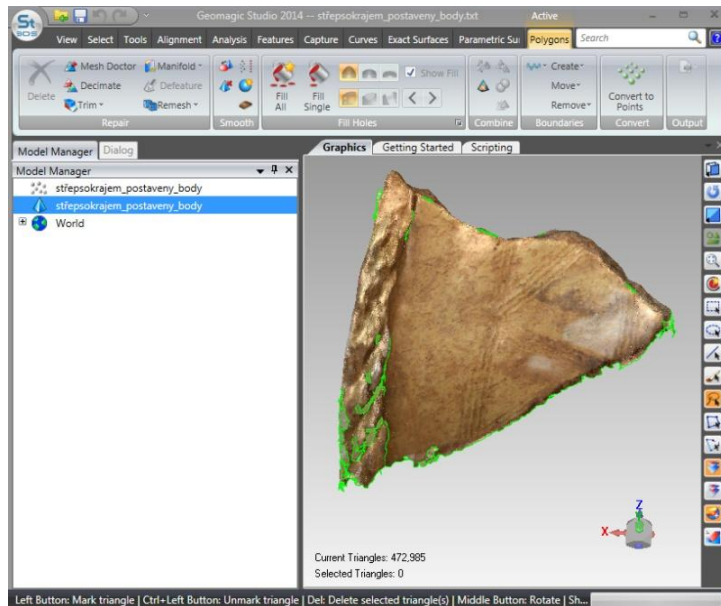
1. Načtení 3D modelu nebo bodového mračna – Pomocí funkce *Open* se do softwaru načte 3D model nebo bodové mračno.



Obr. 5.24: GeoMagic Studio – načtení modelu, bodového mračna [vlastní tvorba]

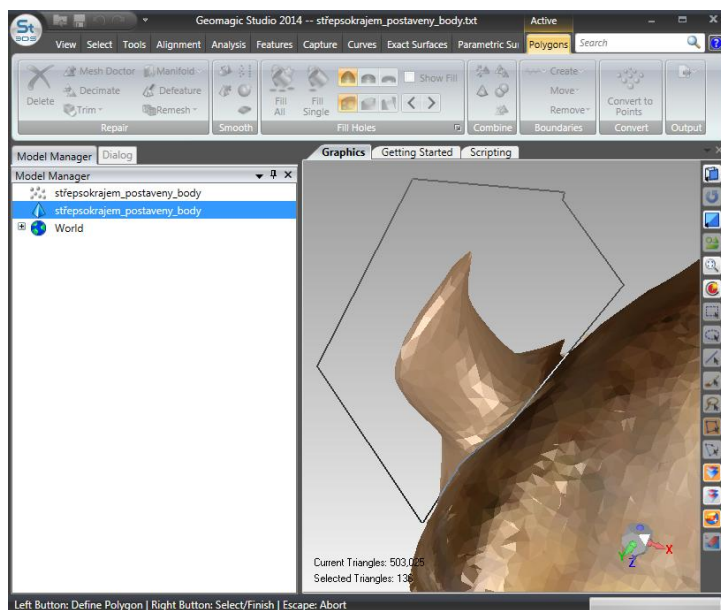
2. Odstranění odlehlých bodů v bodovém mračnu – Provádí se pomocí funkce *Disconnected Compenents*, která nám automaticky vybere odlehlé body a následně je vymažeme.

3. Vytvoření polygonové sítě z bodového mračna – Abychom dostali 3D model je třeba vytvořit polygonovou síť pomocí funkce *Wrap*.



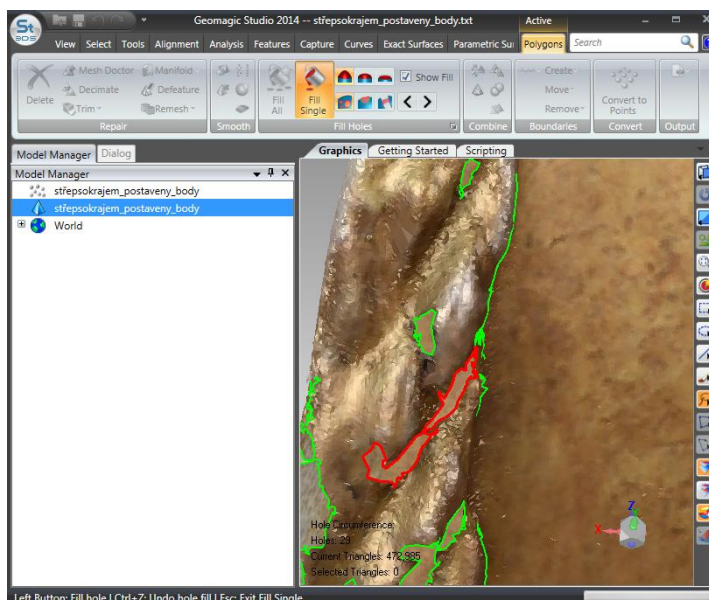
Obr. 5.25: Geomagic Studio – tvorba polygonové sítě [vlastní tvorba]

4. Odstranění nepřesností v 3D modelu – Na začátek je třeba odstranit nepřesnosti, kdy je nejprve třeba je označit. Na výběr je několik funkcí výběru, které se liší tvarem (např. *line*, *rectangle*, *circle*, ... *selection*).



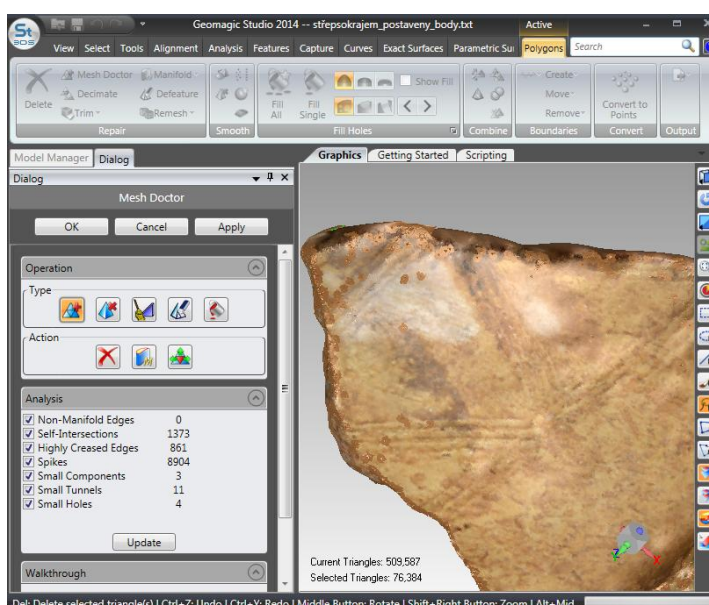
Obr. 5.26: Geomagic Studio – odstranění nepřesností [vlastní tvorba]

5. Vyplnění otvorů v 3D modelu – Pro 3D tisk je třeba, aby 3D model byl celistvý a proto musíme pomocí funkce *Fill holes* vyplnit otvory. Tato funkce nám otvor vyplní polygonovou sítí. Možnost vyplnění lze provést ručně, nebo automaticky.



Obr. 5.27: Geomagic Studio – vyplnění otvorů [vlastní tvorba]

6. Automatická oprava polygonů v 3D modelu – Tento proces se spouští pomocí funkce *Mesh Doctor*. Probíhají v ní funkce: *Fill holes* (Vyplnění otvorů), *Defeature* (Deformace), *Remove spikes* (Odstranění hran), *Clean* (Vyhlazení).



Obr. 5.28: Geomagic Studio – automatická oprava polygonů [vlastní tvorba]

7. Export 3D modelu – Hlavním formátem softwaru je *.wrp*. Program také umožňuje vytvořit 3D model ve formátu *.pdf* pro vizualizaci v programu *Acrobat Reader DC*.

#### **5.4 Tvorba 3D modelu v 3D tiskárně**

3D tisk vybraných datových 3D modelů se provede pomocí tiskárny ZPrinter 450, kterou na trh uvedla společnost Z Corporation. Tato tiskárna pracuje na principu nanášení speciálního pojiva po tenkých vrstvách (0,089–0,102 mm) na prášek. [34]

##### **Úprava modelu před tiskem:**

Před tiskem nejprve model musí upravit tak, aby neobsahoval žádné otvory tzv. vodotěsnost. Musí se vytvořit tenká skořepina modelu, ta se zhotoví v programu Geomagic Studio vytvořením zmenšené kopie modelu. Důležité je nastavení měřítka modelu, protože tiskárna pracuje s přesně definovanými tisknutelnými rozměry udávající tisknutelnou oblast, kterou nelze přesáhnout. [8]

##### **Výpočet nákladů tisku:**

V softwaru ZPrint, který je dodáván k 3D tiskárně se vypočítají náklady na čas a cenu materiálu. [8]

##### **Výroba modelu:**

Rotující válec tiskárny přesune tenkou vrstvu prášku do pracovního prostoru a tisková hlava nanese lepidlo ve vodorovném řezu vyráběného modelu. V další fázi sjede pracovní plocha o krok směrem dolů, čímž vytvoří prostor pro další vrstvu prášku. Postup se opakuje až do zhotovení celého prototypu. Po dokončení tisku se aktivují jemné vibrace „roštu“, které z velké části modelu setřesou nepoužitý prášek. [34]

##### **Zasychání a napuštění modelu:**

Vytisknutý model se nechá několik hodin zaschnout, poté je doporučeno model napustit infiltrátem (penetrací), který uzavírá povrchovou strukturu modelu. [34]

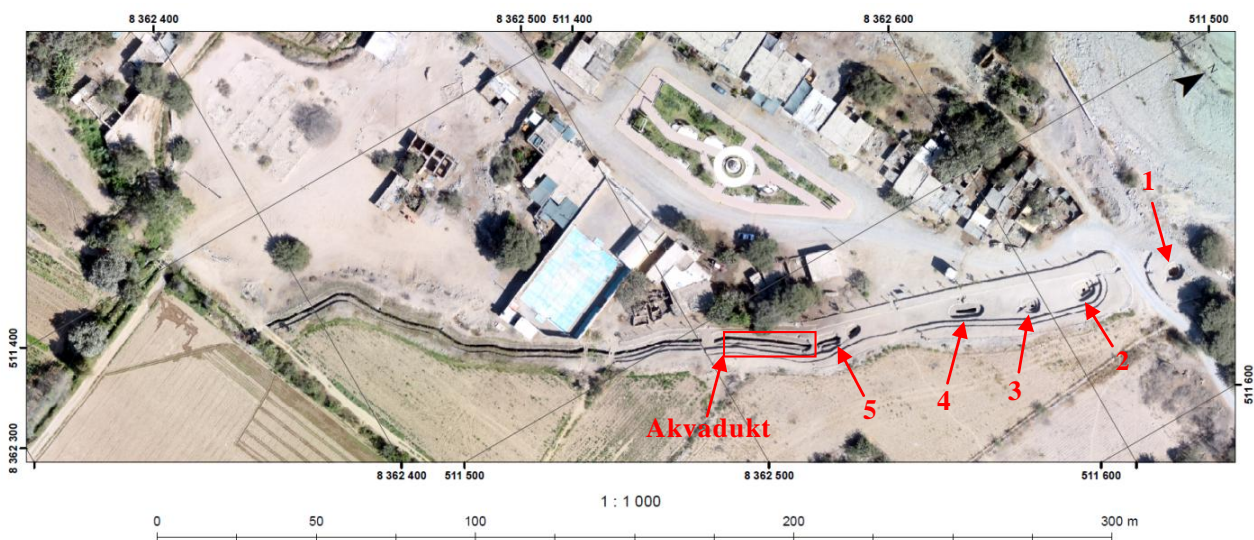
## 6. Zhodnocení výsledků

V této kapitole jsou ukázky jednotlivých výsledných 3D modelů zadaných památkových objektů a předmětů, jejich následné zhodnocení i s řešenými problémy, které se při zpracování 3D modelů objevovali.

### 6.1 Puquíos Orcona, Nasca region, Peru

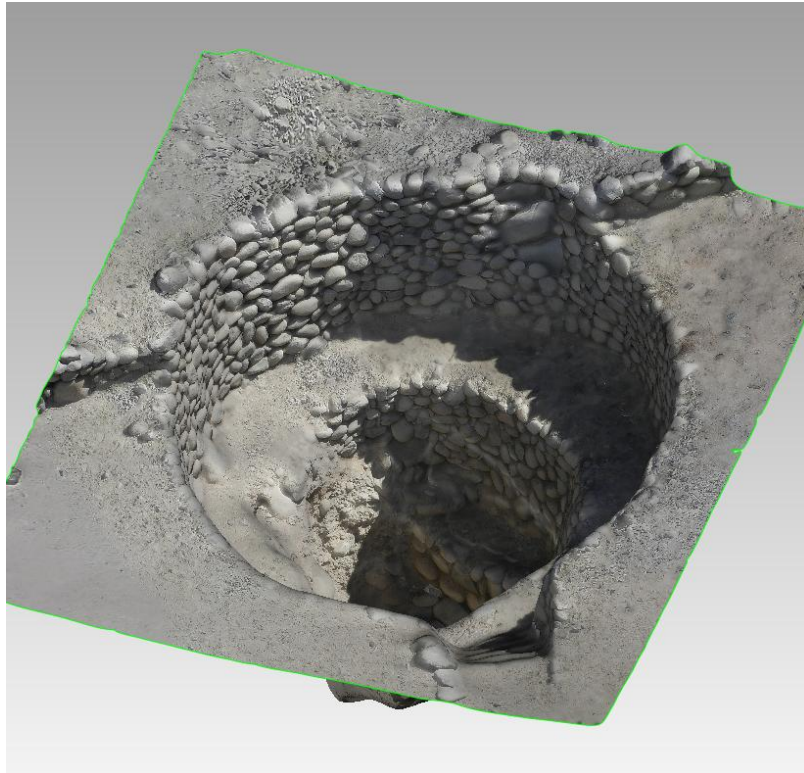
Poskytnuté snímky byly rozděleny na pět studen a jeden akvadukt. Všechny studny se podařily zpracovat v softwaru Agisoft PhotoScan Professional a vytvořit jejich 3D modely, které se poté upravily v softwaru GeoMagic Studio pro přípravu na 3D tisk.

U akvaduktu i přes to, že byla udělána spousta fotek, se nevydařil softwaru Agisoft PhotoScan Professional vytvořit 3D model. Domnívám se, že byl nedostatečný překryt mezi snímky, nebo na snímcích je taková podobnost kamenných útvarů, že software nedokázal určit identické body na snímcích.



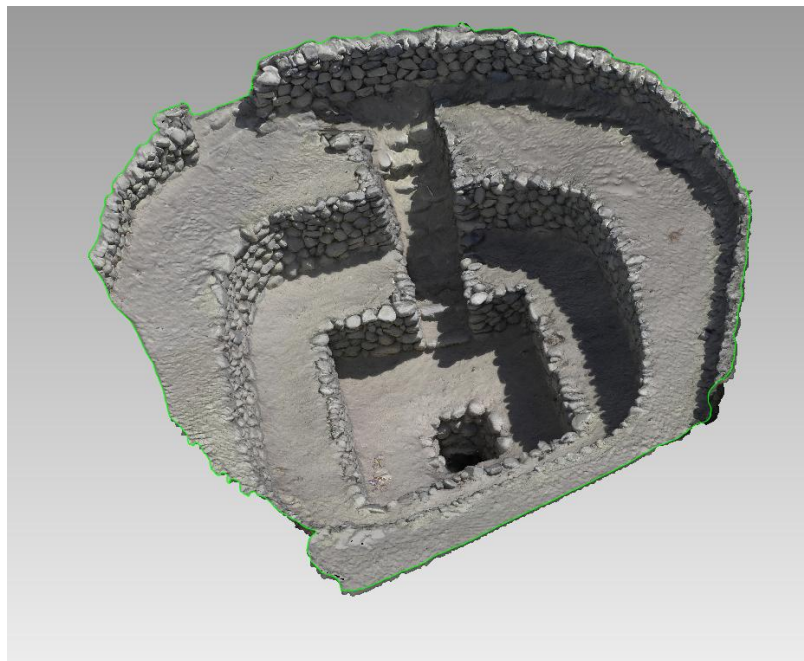
Obr. 6.1: Ortofoto snímek vodohospodářského systému puquíos – umístění studen [33]

### Studna č. 1



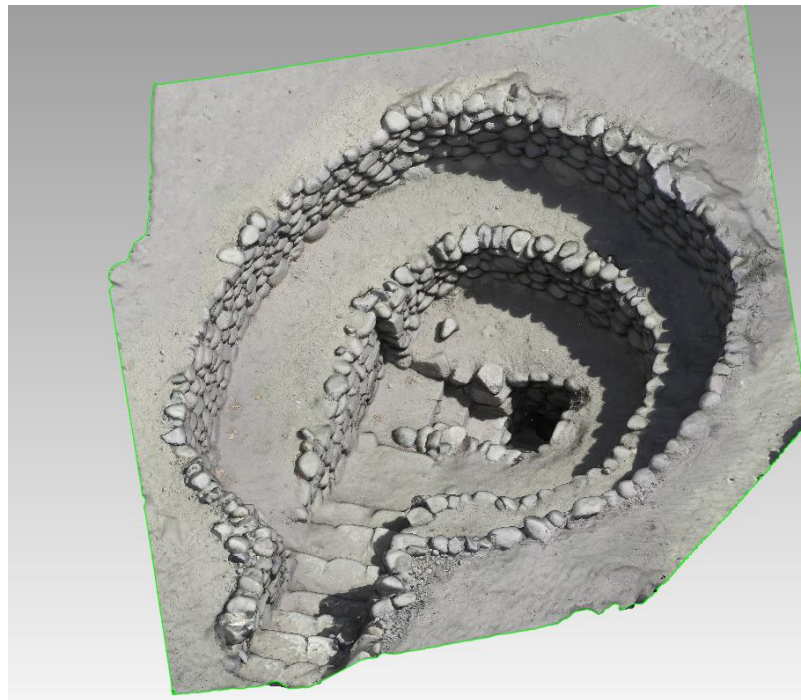
Obr. 6.2: Geomagic Studio – 3D model studny č. 1 [vlastní tvorba]

### Studna č. 2



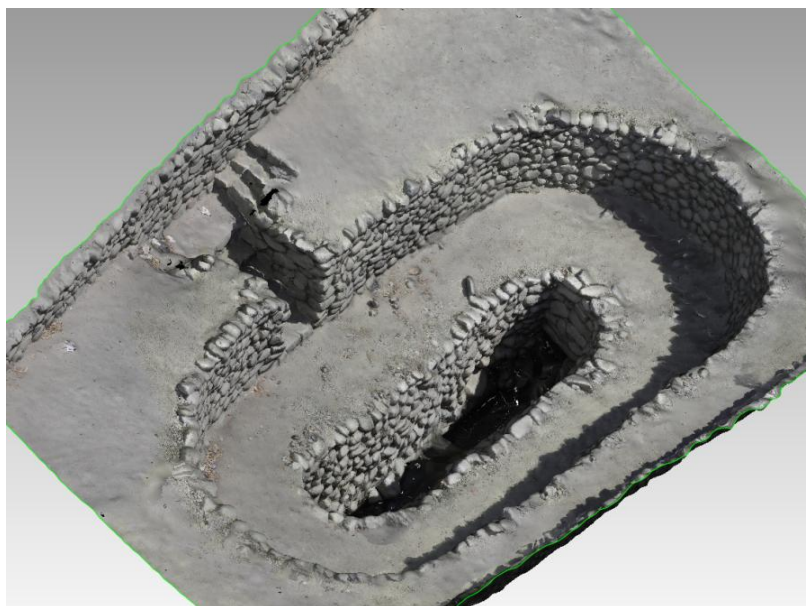
Obr. 6.3: Geomagic Studio – 3D model studny č. 2 [vlastní tvorba]

### Studna č. 3



Obr. 6.4: Geomagic Studio – 3D model studny č. 3 [vlastní tvorba]

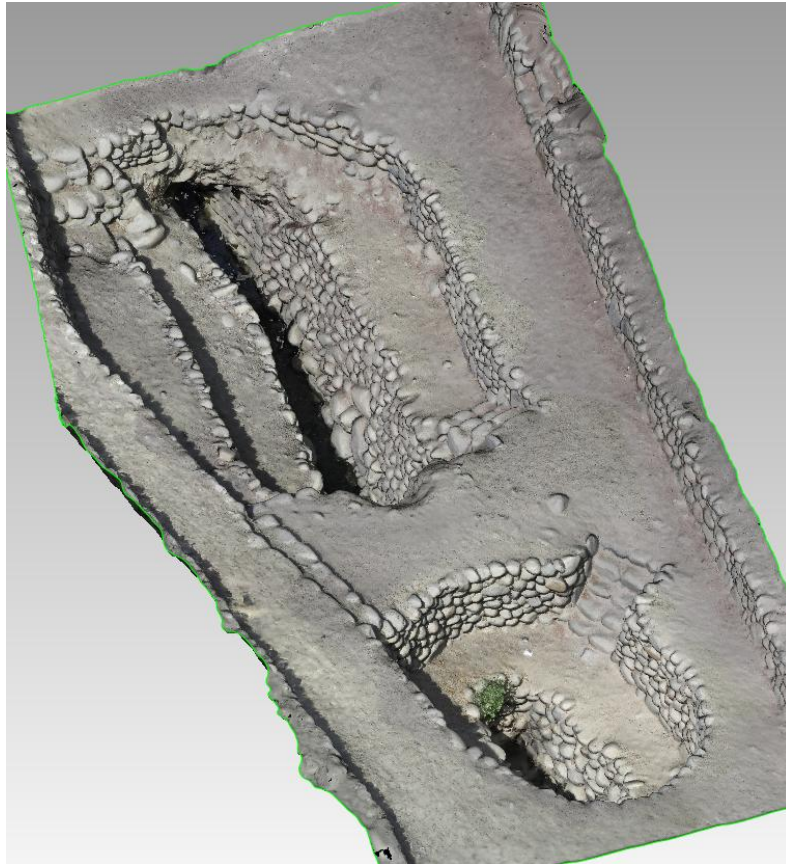
### Studna č. 4



Obr. 6.5: Geomagic Studio – 3D model studny č. 4 [vlastní tvorba]



## Studna č. 5



Obr. 6.6: Geomagic Studio – 3D model studny č. 5 [vlastní tvorba]

## Akvadukt



Obr. 6.7: Agisoft PhotoScan – 3D model akvaduktu [vlastní tvorba]

## 6.2 Keramický střep, Peru

Střep je pravděpodobně z obětní nádoby z hrobu, není ale typický pro kulturu Nazca, jako výše uvedené puquíos; zde se jedná možná o pozůstatky místní poslední předincké kultury Chimú ale spíše o keramiku o mnoho starší (Sechin).

Keramický střep se podařilo vyhotovit do 3D modelu. Pomocí programu Agisoft PhotoScan Professional se vytvořilo bodové mračno, než se však vytvořilo bodové mračno, musela se vytvořit maska. Mračno se exportovalo do softwaru Geomagic Studio, kde se provedly úpravy mračna a poté se zhotovil 3D model, ten musel být upraven pro tisk na 3D tiskárně. Největší úpravou byla nutnost odřezat zbytky textur, na které byl keramický střep položen (vlákna z ručníku), protože rušila celkový výsledek textury na střepu v 3D modelu.



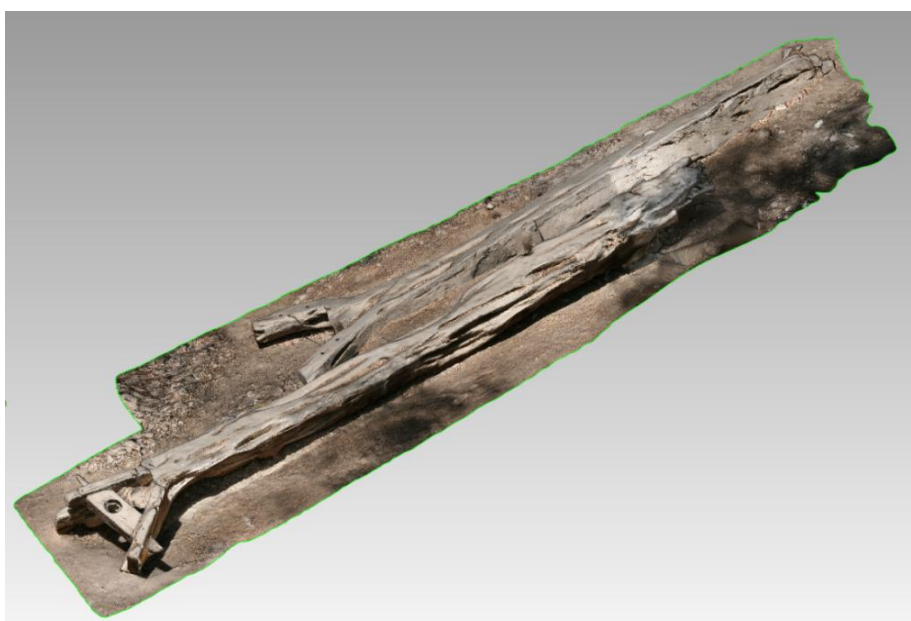
Obr. 6.8: Agisoft PhotoScan (vpravo) a Geomagic Studio (vlevo) – 3D model střepu [vlastní tvorba]

### 6.3 Dřevěný lis v San Xavier, Peru

Tyto části vinného lisu z koloniálních dob se ze zadaných snímků podařilo zpracovat v softwaru Agisoft PhotoScan Professional a vytvořit 3D model. Ve vzniklém 3D modelu vznikly otvory, což je pravděpodobně vlivem malého překrytu snímků na určitých místech. 3D model byl exportován do softwaru Geomagic Studio, kde se vzniklé otvory vyplnily a provedly takové opravy, aby byl 3D model připravený pro 3D tisk.



Obr. 6.9: Agisoft PhotoScan – 3D model lisu [vlastní tvorba]



Obr. 6.10: Geomagic Studio – 3D model lisu [vlastní tvorba]

#### 6.4 Sloup v historické budově ve městě Alqosh, Irák

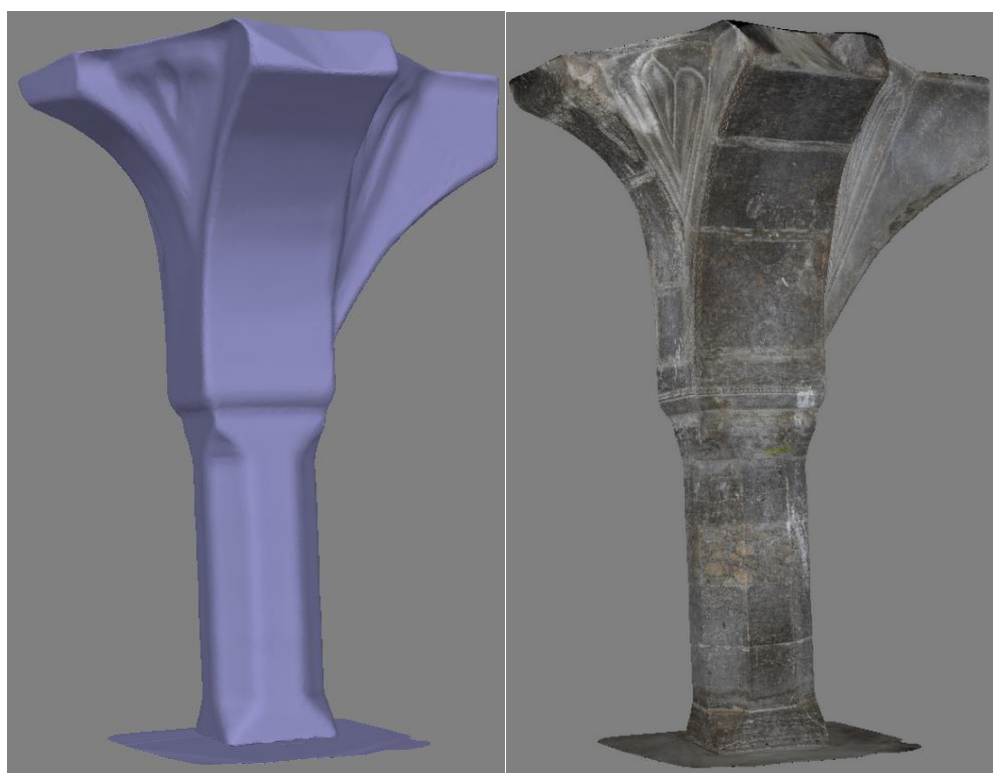
Snímky sloupu se podařily zpracovat v programu Agisoft PhotoScan Professional, bez jediného problému a vytvořit z nich 3D model. Model byl poté exportován do programu Geomagic Studio, kde byla potřeba vytvořit celistvost modelu. Otvory v dolní a horní podstavě sloupu se museli vyplnit pro zhotovení modelu v 3D tiskárně.



Obr. 6.11: Agisoft PhotoScan – Bodová mračna (vpravo) řídké a (vlevo) husté [vlastní tvorba]



Obr. 6.12: Agisoft PhotoScan – polygonová síť (vpravo) a (vlevo) 3D model s texturou [vlastní tvorba]



Obr. 6.13: Geomagic Studio – polygonová síť (vpravo) a (vlevo) 3D model s texturou [vlastní tvorba]

## 6.5 Keramické střepy z iráckého Kurdistánu (Machmur, Alqosh)

Byly zadány čtyři keramické střepy, u kterých se podařilo vyhotovit 3D model pomocí programu Agisoft PhotoScan Professional. Aby se vytvořilo bodové mračno, musela se vytvořit maska funkcí *Mask*. Mračno se exportovalo do softwaru Geomagic Studio, kde se provedly úpravy mračna a poté se zhotovil 3D model, u kterého se provedly úpravy pro tisk v 3D tiskárně.

### Keramický střep s hadí hlavou

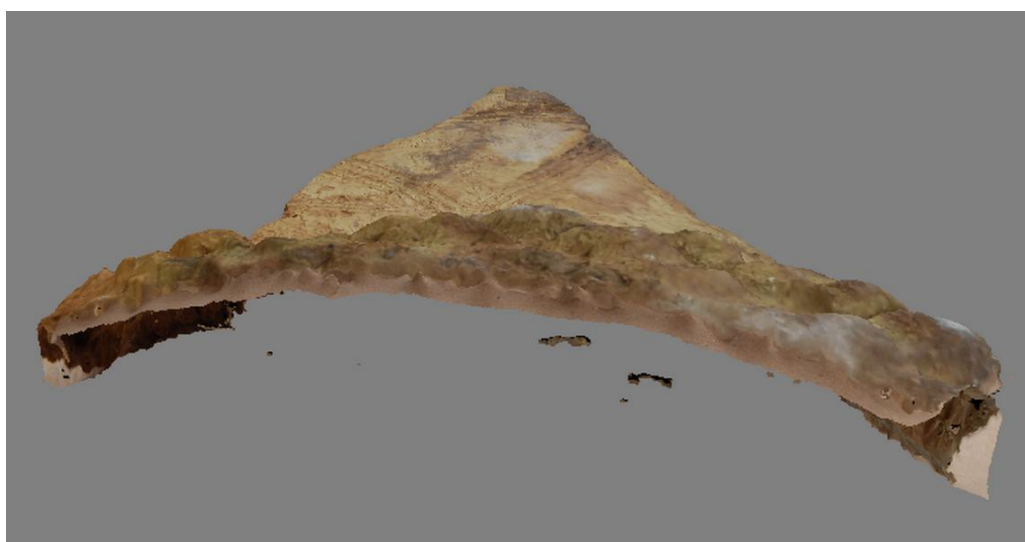
Při tvorbě tohoto střepu se bez použití masky nezdařilo vytvořit 3D model, protože se program při hledání identických bodů zaměřoval na okolí kolem střepu. Výsledkem byl střep s otvorem v místě, kde se nachází hadí hlava. Tento problém zcela vyřešila maska. Zajímavostí je, že ve starších verzích softwaru Agisoft PhotoScan se 3D model podařilo vytvořit bez použití masky.



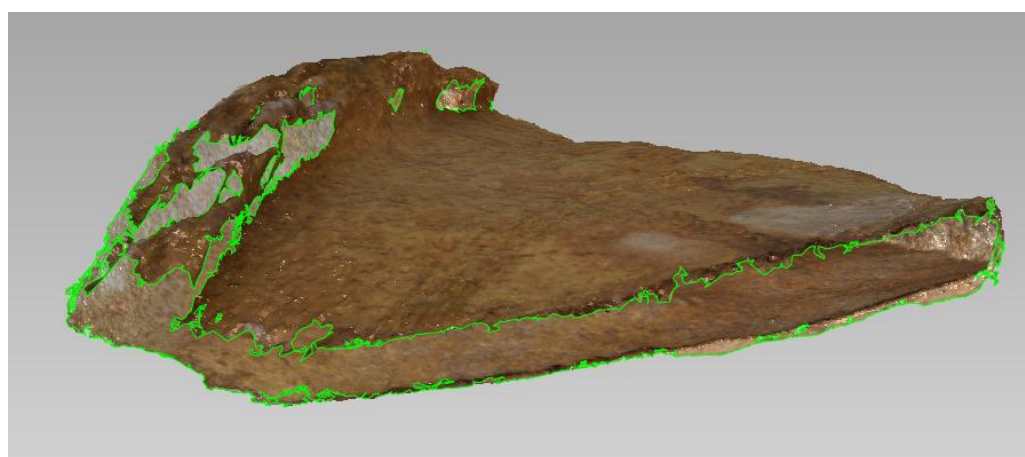
Obr. 6.14: Agisoft PhotoScan (vpravo) a Geomagic Studio (vlevo) – 3D model střepu [vlastní tvorba]

### **Keramický střep, Alqosh – část hrdla vázy**

Tento střep byl rozdělen do dvou 3D modelů, protože byly pořízeny snímky, kdy je jednou střep položený a podruhé umístěný vertikálně. U obou 3D modelů bylo nutno vytvořit masku. Oba 3D modely se podařilo zhotovit, avšak bylo nutné v softwaru Geomagic Studio u obou doplnit chybějící části, na kterých byl střep položen. U položeného celou spodní část a u vertikálně postaveného jednu stranu, na které byl postaven. Proto je pro 3D tisk vhodnější 3D model, který byl vytvořen ze snímků, kde byl střep umístěný vertikálně, protože byla doplněna pouze jedna strana a tak je model přesnější skutečnosti než střep položený.



Obr. 6.15: Agisoft PhotoScan – 3D model střepu položeného (chybějící strany) [vlastní tvorba]



Obr. 6.16: Agisoft PhotoScan – 3D model střepu umístěného vertikálně (chybějící strany) [vlastní tvorba]



Obr. 6.17: Geomagic Studio – 3D model střepeu položený (opravený) [vlastní tvorba]

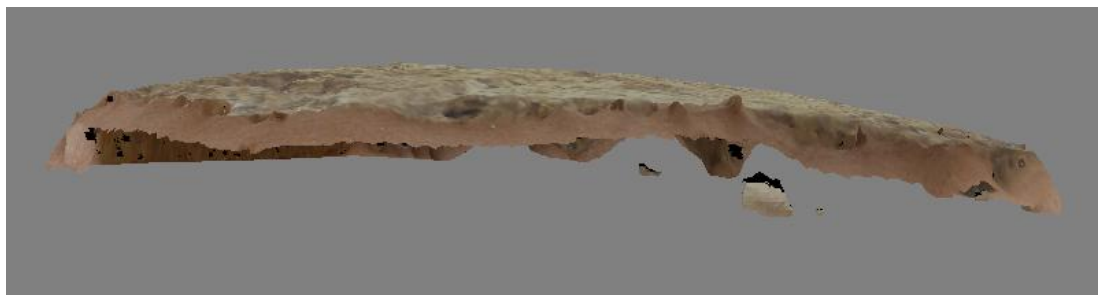


Obr. 5.18: Geomagic Studio – 3D model střepeu umístěného vertikálně (opravený) [vlastní tvorba]

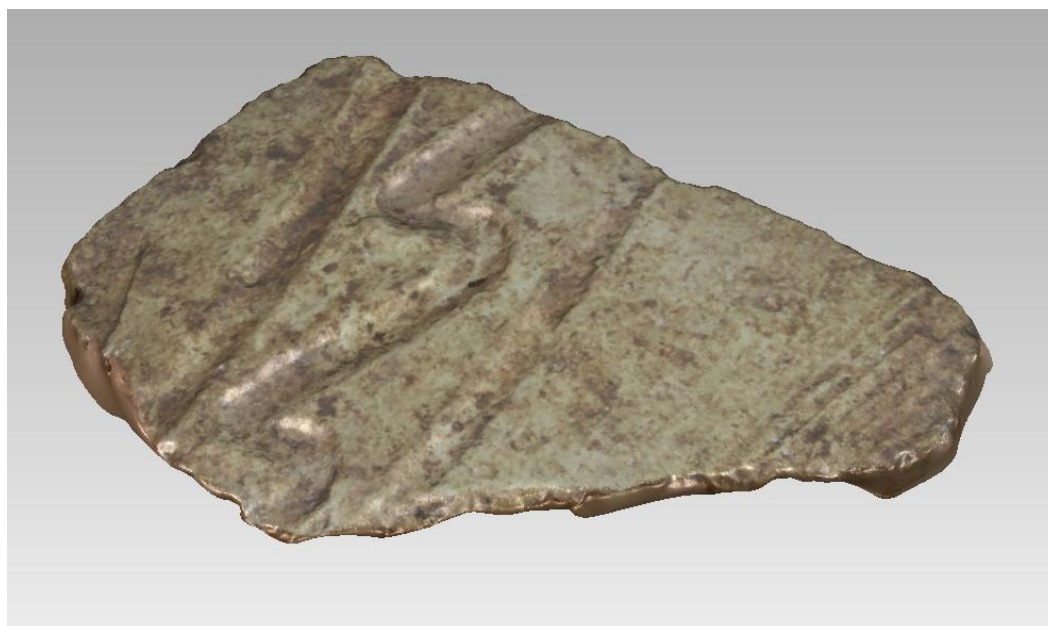


### **Keramický střep, Alqoshu, zelený**

Bodové mračno tohoto zeleně zbarveného střepu se zdařilo vytvořit v programu Agisoft PhotoScan Professional, ale jelikož byl střep fotografován shora, 3D modelu chyběla celá spodní strana a většina bočních, které se pokusně podařilo v softwaru Geomagic Studio vyplnit ručně po malých plochách. 3D model, ale není kvůli výplním velkých ploch zcela reálný.



Obr. 6.19: Agisoft PhotoScan – 3D model střepu (chybějící strany) [vlastní tvorba]



Obr. 6.20: Geomagic Studio – 3D model střepu (opravený) [vlastní tvorba]

### **Keramický střep, Alqosh, červený**

Bodové mračno tohoto červeně zbarveného střepu se podařilo zhotovit ze zadaných snímků. Při zhotovení 3D modelu chyběla pouze malá část jedné strany a spodní část na které byl střep položený. V softwaru Geomagic Studio se vyplnila spodní část po menších ploškách tak, aby se zabránilo vzniku velkých nepřesných ploch. I když po vyplnění spodní části není střep zcela reálný, myslím si, že se lze říci, že se realitě velice přibližuje.



Obr. 6.21: Agisoft PhotoScan – 3D model střepu (chybějící strany) [vlastní tvorba]



Obr. 6.22: Geomagic Studio – 3D model střepu (opravený) [vlastní tvorba]

## 6.6 Kostel v městě Ilulissat, Grónsko

I přes dostatečné množství snímků a dostatečného překrytu mezi nimi se 3D model tohoto kostela nepodařilo zhotovit. Program Agisoft PhotoScan Professional nedokázal i přes různé kombinace snímků a použití masky určit stanoviska snímků. Výsledkem každé kombinace byl vždy z poloviny nedokončený model. Problémem je nejspíše symetrie celého kostela z obou stran a tmavá barva celého objektu, kdy software nedokázal určit identické body při tvorbě bodového mračna, nebo je našel chybně vzhledem k opakující se textuře.



Obr. 6.23: Agisoft PhotoScan – 3D model kostela v Ilulissat (zhotovená strana) [vlastní tvorba]



Obr. 6.24: Agisoft PhotoScan – 3D model kostela v Ilulissat (nezdařená strana) [vlastní tvorba]

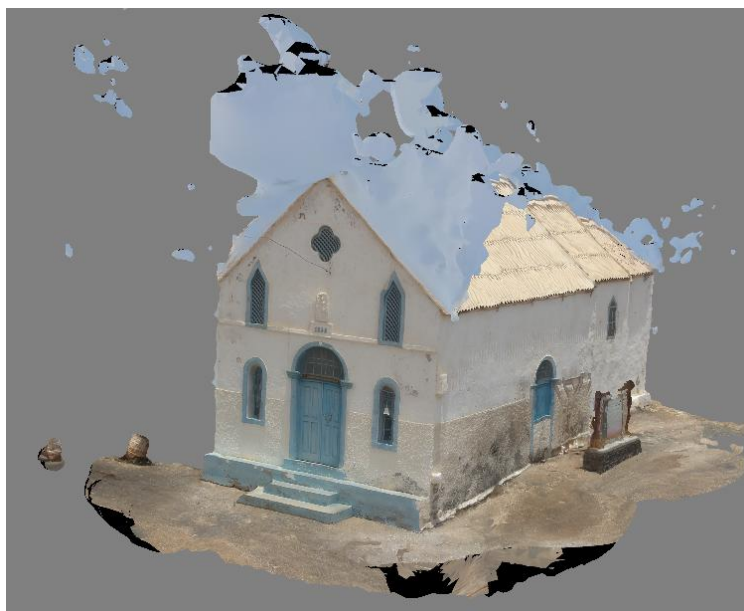
## 6.7 Kostel z dob otrokářských na ostrově Sal, Kapverdy

3D model tohoto kostela se nepodařilo vytvořit v softwaru Agisoft PhotoScan Professional tak, aby 3D model byl reálný. Před tvorbou řídkého mračna bodů se musela sestrojít maska objektu, protože software hledal identické body i na pozadí, kde je nebe a připojoval je k objektu, vznikala značná deformace objektu.

Dalším problémem bylo špatné vygenerování textury, kdy v čelní stěně kostela se generovala nesprávná textura, tento problém se vyřešil odstraněním snímku, který problém způsobil.

Tento 3D model není úplný, protože 3D modelu nebyl vytvořený kříž a pro nedostatek snímků z vrchu i hřeben střechy. Další nepřesnosti 3D modelu jsou deformace okolo oken. 3D model tedy není vizualizován tak, že by se mohl zhotovit 3D tisk.

Stejně, jako v případě střepu s hadí hlavou se ve starších verzích softwaru Agisoft PhotoScan 3D model podařilo vytvořit bez použití masky a bez těchto vzniklých chyb.



Obr. 6.25: Agisoft PhotoScan – 3D model kostela na ostrově Sal (deformace objektu)  
[vlastní tvorba]



Obr. 6.26: Agisoft PhotoScan – 3D model kostela na ostrově Sal (chybná/správná textura)  
[vlastní tvorba]



Obr. 6.27: Geomagic Studio – 3D model kostela na ostrově Sal (upravený) [vlastní tvorba]

## 6.8 Kostel sv. Marco, poloostrov Pelješac, Chorvatsko

3D model tohoto kostela se zdařilo zhotovit v softwaru Agisoft PhotoScan Professional až po zhotovení masky, před tím se software zaměřoval na hledání identických bodů v okolí. 3D model není však úplný, protože je malý počet vytvořených snímků shora, tudíž se nepodařilo přesně vykreslit jednu poloviční část střechy a její hřeben. Model je neúplný a tak není vhodný pro 3D tisk.



Obr. 6.28: Agisoft PhotoScan – 3D model kostela sv. Marco (špatné vykreslení střechy) [vlastní tvorba]

## 7. Závěr

Jedním z cílů této bakalářské práce bylo vytvořit rešerši a vyhledat pro ni literaturu týkající se problematiky dokumentace a vizualizace drobných památkových objektů a předmětů. Po úvodním seznámení s fotogrammetrickou metodou IBMR použitou při zpracování poskytnutých snímků historických objektů a předmětů v lokacích Peru, Iráku, Kapverd, Chorvatska a Grónska byly přiblíženy softwary Agisoft PhotoScan a Geomagic Studio.

Konečným výsledkem této bakalářské práce jsou 3D modely zadaných historických objektů a předmětů. V softwaru Agisoft PhotoScan se vytvořilo mračno bodů, které se exportovalo do softwaru Geomagic Studio, kde se po úpravách vytvořil 3D model, anebo se v softwaru Agisoft PhotoScan vytvořil 3D model, který se poté jen upravil v softwaru Geomagic Studio.

Celkem bylo zpracováno sedmnáct 3D modelů z nich se podařilo patnáct 3D modelů, ze kterých čtyři jsou nevhodné pro dokumentaci skutečného stavu, protože byly provedeny velké úpravy, které narušily tvar objektů a předmětů. Zbýlých jedenáct 3D modelů podstoupilo jen drobné úpravy a tak jsou vyhovující k dokumentaci skutečného stavu v podobě 3D tisku.

Během tvorby 3D modelů se objevovaly různé problémy, které se z většiny podařilo odstranit. Mezi nejčastější problém bych řadil špatné hledání identických bodů v softwaru Agisoft PhotoScan, kdy se software při jejich hledání většinou zaměřoval na okolí objektu. Tento problém byl vyřešen použitím masky. Další problémy vznikaly z nedostatečného počtu, nebo překrytu snímků, kdy nám vznikaly velké otvory či deformace, které se z většiny, ale ne všechny podařily opravit v softwaru Geomagic Studio. Při zpracování Zionova kostela se vyskytl problém, který se nepodařilo vyřešit a to špatné určení stanovisek snímků, kdy příčinou byla veliká podobnost objektu z obou stran a jeho černý nátěr, ve kterém program Agisoft PhotoScan špatně hledal identické body. Poté se vyskytovaly problémy typu špatně vygenerované textura 3D modelu a splývání textury podkladu s texturou objektu.

Pro zhotovení modelu na 3D tiskárně byly vybrány tři modely, které se nejvíce zdařily (sloup v městě Alqosh, keramický stěp s hadí hlavou a keramický stěp části hrdla vázy).

## Seznam obrázků

Obr. 4.1: Agisoft PhotoScan – pracovní plocha [vlastní tvorba] .....	18
Obr. 4.2: Geomagic Studio – pracovní plocha [vlastní tvorba] .....	19
Obr. 5.1: Ortofoto snímek Puquíos Orcona [33] .....	22
Obr. 5.2: Digitální model povrchu Puquíos Orcona [33].....	22
Obr. 5.3: Puquíos Orcona – studní systém[podkladová data] .....	23
Obr. 5.4: Puquíos Orcona – studní systém [podkladová data] .....	23
Obr. 5.5: Keramický nález z Machmúru, Irák [podkladová data] .....	24
Obr. 5.6: Keramický nález z města Alqosh, Irák [podkladová data] .....	24
Obr. 5.7: Keramický nález z města Alqosh, Irák [podkladová data] .....	25
Obr. 5.8: Keramický nález z města Alqosh, Irák [podkladová data] .....	25
Obr. 5.9: Keramický nález z Peru, oblast Casma, Sechin Alto [podkladová data] .....	25
Obr. 5.10: Dřevěný artefakt – vinný lis v Palpě, Peru [podkladová data] .....	26
Obr. 5.11: Dřevěný artefakt – části vinného lisu v San Xavier [podkladová data] .....	26
Obr. 5.12: Sloup z města Alqosh [podkladová data] .....	27
Obr. 5.13: Zionův kostel v Ilulissat [podkladová data] .....	28
Obr. 5.14: Zionův kostel v Ilulissat [podkladová data] .....	28
Obr. 5.15: Kostel na ostrově Sal [podkladová data] .....	29
Obr. 5.16: Kostel na ostrově Sal [podkladová data] .....	29



Obr. 5.17: Kostel sv. Marco na poloostrově Pelješac [podkladová data] .....	30
Obr. 5.18: Kostel sv. Marco na poloostrově Pelješac [podkladová data] .....	30
Obr. 5.19: Agisoft PhotoScan Professional – tvorba masky [vlastní tvorba] .....	31
Obr. 5.20: Agisoft PhotoScan Professional – tvorba řídkého mračna bodů [vlastní tvorba] .....	32
Obr. 5.21: Agisoft PhotoScan Professional – tvorba hustého mračna bodů [vlastní tvorba] .....	32
Obr. 5.22: Agisoft PhotoScan Professional – tvorba polygonové sítě [vlastní tvorba]..	33
Obr. 5.23: Agisoft PhotoScan Professional – tvorba textury [vlastní tvorba] .....	33
Obr. 5.24: Geomagic Studio – načtení modelu, bodového mračna [vlastní tvorba] .....	34
Obr. 5.25: Geomagic Studio – tvorba polygonové sítě [vlastní tvorba] .....	35
Obr. 5.26: Geomagic Studio – odstranění nepřesností [vlastní tvorba] .....	35
Obr. 5.27: Geomagic Studio – vyplnění otvorů [vlastní tvorba] .....	36
Obr. 5.28: Geomagic Studio – automatická oprava polygonů [vlastní tvorba] .....	36
Obr. 6.1: Ortofoto snímek vodohospodářského systému puquiós – umístění studen [33]. .....	38
Obr. 6.2: Geomagic Studio – 3D model studny č. 1 [vlastní tvorba] .....	39
Obr. 6.3: Geomagic Studio – 3D model studny č. 2 [vlastní tvorba] .....	39
Obr. 6.4: Geomagic Studio – 3D model studny č. 3 [vlastní tvorba] .....	40
Obr. 6.5: Geomagic Studio – 3D model studny č. 4 [vlastní tvorba] .....	40

Obr. 6.6: Geomagic Studio – 3D model studny č. 5 [vlastní tvorba] .....	41
Obr. 6.7: Agisoft PhotoScan – 3D model akvaduktu [vlastní tvorba] .....	41
Obr. 6.8: Agisoft PhotoScan (vpravo) a Geomagic Studio (vlevo) – 3D model střepu [vlastní tvorba] .....	42
Obr. 6.9: Agisoft PhotoScan – 3D model lisu [vlastní tvorba] .....	43
Obr. 6.10: Geomagic Studio – 3D model lisu [vlastní tvorba] .....	43
Obr. 6.11: Agisoft PhotoScan – Bodová mračna (vpravo) řídké a (vlevo) husté [vlastní tvorba] .....	44
Obr. 6.12: Agisoft PhotoScan – polygonová síť (vpravo) a (vlevo) 3D model s texturou [vlastní tvorba] .....	45
Obr. 6.13: Geomagic Studio – polygonová síť (vpravo) a (vlevo) 3D model s texturou [vlastní tvorba] .....	45
Obr. 6.14: Agisoft PhotoScan (vpravo) a Geomagic Studio (vlevo) – 3D model střepu [vlastní tvorba] .....	46
Obr. 6.15: Agisoft PhotoScan – 3D model střepu položeného (chybějící strany) [vlastní tvorba] .....	47
Obr. 6.16: Agisoft PhotoScan – 3D model střepu umístěného vertikálně (chybějící strany) [vlastní tvorba].....	47
Obr. 6.17: Geomagic Studio – 3D model střepu položený (opravený) [vlastní tvorba].	48

Obr. 5.18: Geomagic Studio – 3D model střepu umístěného vertikálně (opravený) [vlastní tvorba] .....	48
Obr. 6.19: Agisoft PhotoScan – 3D model střepu (chybějící strany) [vlastní tvorba] ...	49
Obr. 6.20: Geomagic Studio – 3D model střepu (opravený) [vlastní tvorba] .....	49
Obr. 6.21: Agisoft PhotoScan – 3D model střepu (chybějící strany) [vlastní tvorba] ...	50
Obr. 6.22: Geomagic Studio – 3D model střepu (opravený) [vlastní tvorba] .....	50
Obr. 6.23: Agisoft PhotoScan – 3D model kostela v Ilulissat (zhotovená strana) [vlastní tvorba] .....	51
Obr. 6.24: Agisoft PhotoScan – 3D model kostela v Ilulissat (nezdařená strana) [vlastní tvorba] .....	51
Obr. 6.25: Agisoft PhotoScan – 3D model kostela na ostrově Sal (deformace objektu) [vlastní tvorba] .....	52
Obr. 6.26: Agisoft PhotoScan – 3D model kostela na ostrově Sal (chybná/správná textura) [vlastní tvorba] .....	53
Obr. 6.27: Geomagic Studio – 3D model kostela na ostrově Sal (upravený) [vlastní tvorba] .....	53
Obr. 6.28: Agisoft PhotoScan – 3D model kostela sv. Marco (špatné vykreslení střechy) [vlastní tvorba] .....	54

## Literatura

- [1] PAVELKA, Karel. *Exaktní metody průzkumu památek: s využitím geodetických a geofyzikálních metod*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2017. ISBN 978-80-01-05260-0.
- [2] BREJCHA, Marcel, Vladimír BRŮNA, Zdeněk MAREK a Bára VĚTROVSKÁ. *Metodika digitalizace, 3D dokumentace a 3D vizualizace jednotlivých typů památek: certifikovaná metoda*. Ústí nad Labem: Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště v Ústí nad Labem, 2015. Odborné a metodické publikace (Národní památkový ústav), svazek 75. ISBN 978-80-7414-954-2.  
Dostupné z: <https://www.npu.cz/cs/npu-a-pamatkova-pece/npu-jako-institute/publikace/7736-metodika-digitalizace-3d-dokumentace-a-3d-vizualizace-jednotlivych-typu-pamatek>
- [3] BRŮNA, Vladimír, Marcel BREJCHA, Martin FROUZ, Martina FROUZOVÁ, Zdeněk MAREK a Bára VĚTROVSKÁ. *Metodika 3D dokumentace a vizualizace interiérů památkových objektů*. Česko: [s.l.], 2015. Dostupné z: <http://invenio.nusl.cz/record/253869>
- [4] BEZDĚK, Ladislav a Martin FROUZ. *Digitální a digitalizovaná fotografie pro vědecké účely v praxi památkové péče*. Praha: Národní památkový ústav, 2014. Odborné a metodické publikace (Národní památkový ústav). ISBN 978-80-7480-017-7.
- [5] STYLIANIDIS, Efstratios a Fabio REMONDINO. *3D recording, documentation and management of cultural heritage*. Caithness, Scotland, UK: Whittles Publishing, 2016. ISBN 1849951683.
- [6] PAVLADIS, George et al. *Methods for 3D digitization of Cultural Heritage*. 2007, [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: [http://www.academia.edu/2374792/RECORDING\\_CULTURAL\\_HERITAGE](http://www.academia.edu/2374792/RECORDING_CULTURAL_HERITAGE)

- [7] HRUBÝ, Petr, Eva ALTOVÁ a Antonín KADLEC. *Metodika dokumentace drobných památek: certifikovaná metodika*. Ústí nad Labem: Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště v Ústí nad Labem, 2015. Odborné a metodické publikace (Národní památkový ústav). ISBN 978-80-85036-57-2.
- [8] POSKOČIL, PETR. *Tvorba 3D modelu historického objektu a jeho vizualizace pomocí 3D tisu*. Praha, 2018. [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/74488?show=full>. Bakalářská práce obhájená na Fakultě stavební Českého vysokého učení v Praze.
- [9] PAVELKA, Karel, Jaroslav ŠEDINA, Eva MATOUŠKOVÁ, Eva FALTÝNOVÁ a Jan ŘEZNÍČEK. *Ověřená technologie nízkonákladové 3D fotogrammetrické dokumentace památkových objektů*. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2015 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: [https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwibnfKZl6\\_aAhXC3SwKHWnkCW4QFgguMAA&url=http%3A%2F%2Fflfgm.fsv.cvut.cz%2Fnaki%2Fpdf%2FZ%2520tech%2520%2520ov%25C4%259B%25C5%2599en%25C3%25A1%2520technologie%2520IBM.pdf&usg=AOvVaw0oTyCuTiN8RH7QU91MO9H7](https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwibnfKZl6_aAhXC3SwKHWnkCW4QFgguMAA&url=http%3A%2F%2Fflfgm.fsv.cvut.cz%2Fnaki%2Fpdf%2FZ%2520tech%2520%2520ov%25C4%259B%25C5%2599en%25C3%25A1%2520technologie%2520IBM.pdf&usg=AOvVaw0oTyCuTiN8RH7QU91MO9H7).
- [10] ZACHARIÁŠ, JAN. *Moderní možnosti zpracování historických fotografických dat ze Syrského Aleppa*. Praha, 2017. [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/70852>. Bakalářská práce obhájená na Fakultě stavební Českého vysokého učení v Praze.
- [11] SVATUŠKOVÁ, Jiřina. *Možnosti využití nových metod k dokumentaci a prezentaci historických objektů*. Praha, 2011. [cit. 2018-05-11]. Disertační práce obhájená na Fakultě stavební Českého vysokého učení v Praze.
- [12] KANG, Sing Bing a Heung-Yeung SHUM. *A Review of Image-based Rendering Techniques*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2000 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/a-review-of-image-based-rendering-techniques/>.

- [13] VÁVROVÁ, Veronika. *Tvorba a úpravy trojúhelníkové sítě pro vytvoření 3D modelu hradu Helfenburk u Úštěka*. Praha, 2017. [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/68953>. Bakalářská práce obhájená na Fakultě stavební Českého vysokého učení v Praze.
- [14] *Agisoft PhotoScan*. Agisoft LLC [online]. [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <http://3dtechnologie.cz/agisoft-photoscan/>.
- [15] YIRKA, Bob Yirka. *Researchers believe they have uncovered the purpose of puquios in Nasca* [online]. 2016 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://phys.org/news/2016-04-uncovered-purpose-puquios-nasca.html>.
- [16] HLAVOŇ, Martin. *Seminář 3D skenování: Geomagic Studio*. [online]. 2012 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/3dskenovani/geomagic-studio-2012>.
- [17] ČERNÝ, Emil. *Seminář 3D skenování: Geomagic Studio* [online]. 2013 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/geomagic-studio-2013-zdokonalene-zpracovani-dat\\_20627.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/geomagic-studio-2013-zdokonalene-zpracovani-dat_20627.html).
- [18] LIEVENDAG, Nick. *3D Scan Expert: Agisoft PhotoScan Review* [online]. 2017 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://3dscanexpert.com/agisoft-PhotoScan-photogrammetry-3d-scanning-review/>.
- [19] BIMKA, David. *Dávní inženýři z planiny Nazca: Po stopách geniálního zavlažovacího systému*. [online]. 2016 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://www.stoplusjednicka.cz/davni-inzenyri-z-planiny-nazca>.
- [20] PARK, William. *These puzzling holes in the arid valleys of southern Peru tell us there was once a flourishing, sophisticated society here*. [online]. 2016 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <http://www.bbc.com/future/story/20160408-the-ancient-peruvian-mystery-solved-from-space>.

- [21] SEDINA, Jaroslav. *Videonávody k programu Agisoft PhotoScan*. [cit. 2018-05-11].
- [22] SEDINA, Jaroslav. *Návod k programu Agisoft PhotoScan*. [cit. 2018-05-11].
- [23] SEDINA, Jaroslav. *Videonávody k programu Geomagic Studio*. [cit. 2018-05-11].
- [24] SEDINA, Jaroslav. *Návod k programu Geomagic Studio*. [cit. 2018-05-11].
- [25] *Zion's Church, Ilulissat, Greenland* . International Travel News, [online]. 2017 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://www.intltravelnews.com/2017/zions-church-ilulissat-greenland>.
- [26] MASTNÝ, Gabriel. Technologie 3D tisku. *ITnetwork.cz* [online]. Onebit hosting, Unicorn College [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/nezarazene/3d-tisk/technologie-3d-tisk>.
- [27] CHALUPA, Michal. Technologie 3D tisku. *Pkmodel.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.pkmodel.cz/3dtisk.html>
- [28] 3D tisk.cs.*wikipedia.org* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/3D\\_tisk](https://cs.wikipedia.org/wiki/3D_tisk)
- [29] Pavelka, K., Klokočník, J., Kostelecký, J., *Astronomicko-historické otazníky Mezoameriky a Peru*. ČVUT, 2013, 288s.
- [30] FARFÁNOVÁ BARRIOSOVÁ, Eva. *Pohřebná tajemství starého peru*. Praha : Mladá Fronta, 2009. 187 s. ISBN 978-80-204-1-1743-5.

- [31] Hadingham E 1988: *Lines to the Mountain Gods, Nazca and mysteries of Peru*, Norman.307s.
- [32] Schreiber K. H., Lancho Rojas J. (2003) *Irrigation and Society in the Peruvian Desert: The Puquios of Nasca*. Lexington Books, Lanham, Maryland ISBN 9780739106419
- [33] HŮLKOVÁ, Martina, Jaroslav ŠEDINA a Karel PAVELKA. *RPAS for Documentation of Nazca Aqueducts*. Katedra geomatiky, Fakulta stavební, České vysoké učení v Praze, 2016.
- [34] BUK, Václav a Karel HEINIGE. *Když předměty rostou před očima* [online]. 23. Červen 2008 [cit. 2018-05-27].  
Dostupné z: <https://www.technikaatrh.cz/aktuality/kdyz-predmety-rostou-pred-ocima>



