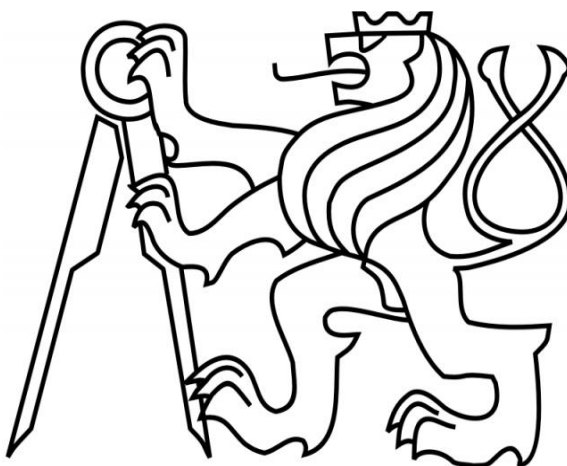


# České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra geomatiky



## Diplomová práce

**Moderní možnosti zpracování historických fotografických  
dat ze syrského Aleppa**

**Modern processing possibilities of historical photographic data  
from Aleppo in Syria**

Bc. Jan Zachariáš

Vedoucí práce: Prof. Dr. Karel Pavelka

## **Zadání**

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma  
*„Moderní možnosti zpracování historických fotografických dat ze  
syrského Aleppa“*

vypracoval samostatně s využitím literatury a informací,  
na něž v práci odkazuji.

V Praze dne: 19.5.2017

Bc. Jan Zachariáš

## **Anotace**

Název práce: Moderní možnosti zpracování historických fotografických dat ze syrského Aleppa

Autor: Bc. Jan Zachariáš

Vedoucí práce: Prof. Dr. Ing. Karel Pavelka

Akademický rok: 2016/2017

Katedra: Geomatiky (155)

Abstrakt: Tato diplomová práce se zabývá katalogizací měřických a fotografických dat z Umajjovské mešity, pořízených v roce 1999 v syrském Aleppu. Dále se zabývá tvorbou digitálního modelu vybraných částí mešity a následným vytvořením ortofotomozaiky vybraných částí použitím nových moderních metod. Veškeré zpracování bylo provedeno v softwaru Agisoft Photoscan.

Klíčová slova: Sýrie, Aleppo, Umajjovská mešita, snímek, vlíčovací bod, digitální model, ortofoto, Agisoft Photoscan

## **Anotation**

Title: Modern processing possibilities of historical photographic data from Aleppo in Syria

Author: Bc. Jan Zachariáš

Supervisor: Prof. Dr. Ing. Karel Pavelka

Academic year: 2016/2017

Department: Department of Geomatics

Abstract: This diploma thesis deals with cataloguing of existing photogrammetric and geodetic data from Umyyad mosque acquired in 1999 in Syrian Aleppo. Next, it is focused on creation of a digital model of selected parts and the subsequent creation of an orthophotomosaics using new modern methods. All processing was done in Agisoft Photoscan software.

Keywords: Syria, Aleppo, Umayyad mosque, photoplan control point, digital model, orthophoto, Agisoft Photoscan

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval panu prof. Dr. Ing. Karlu Pavelkovi za cenné rady, trpělivost a pomoc při zpracování mé diplomové práce. Další poděkování patří panu Ing. Jaroslavu Šedinovi za pomocné rady s problematikou výpočetního softwaru. V neposlední řadě patří poděkování také rodině a přátelům za jejich podporu.

# Obsah

Obsah.....	7
1 Úvod.....	9
2 Dokumentace historických objektů.....	10
2.1 Základní fotogrammetrické metody .....	10
2.1.1 Jednosnímková fotogrammetrie.....	10
2.1.2 Průseková metoda .....	11
2.1.3 Laserové skenování.....	11
2.2 Dokumentace památek v Sýrii.....	12
3 Umajjovská mešita.....	15
3.1 Poloha .....	15
3.2 Historie .....	15
3.3 Architektura .....	16
3.3.1 Nádvoří .....	16
3.3.2 Interiér.....	16
3.4 Občanská válka.....	16
3.4.1 Poničení mešity.....	17
4 Dostupná data.....	19
4.1 Přístroje k pořízení dat.....	19
4.1.1 Réseau komory .....	19
4.1.2 Komora Rolleiflex 6006 .....	20
4.1.3 Komora UMK 10 .....	20
4.1.4 Digitální fotoaparát Olympus C-2000 Zoom.....	22
4.2 Obrazová data .....	22
4.3 Geodetické zaměření .....	23
4.4 Vyhodnocení v roce 2000.....	23
5 Rekonstrukce fotoplánů moderní technologií .....	25
5.1 Výběr snímků .....	25
5.2 Vlíčovací body.....	25
6 Zpracování pomocí Agisoft PhotoScan .....	27
6.1 Definice projektu .....	27
6.2 Spojení snímků .....	28
6.3 Určení vlíčovacích bodů.....	29

6.4	Husté mračno bodů a model mesh.....	31
6.5	Tvorba ortogonální mozaiky .....	34
6.6	Další možné funkce Agisoft PhotoScan .....	35
7	Dosažené výsledky.....	37
7.1	Vnitřní stěny nádvoří .....	37
7.2	Vstupní brána.....	37
7.3	Podlaha nádvoří .....	38
7.4	Dosažená přesnost .....	39
8	Závěr .....	40
9	Seznam obrázků .....	41
10	Seznam tabulek .....	43
11	Použitá literatura .....	44
12	Přílohy - výsledné fotoplány .....	45



# 1 Úvod

Na přelomu tisíciletí byla v syrském Aleppu zdokumentována vzácná Umajjovská mešita, která je vedena na seznamu Světového dědictví UNESCO. V mešitě byla v roce 1999 pořízeno mnoho měřičských snímků zdobených fasád a vnitřního nádvoří, vstupní brány a dalších detailů jak v exteriéru, tak interiéru mešity. Dále byla celá mešita geodeticky zaměřena přibližně 2700 podrobnými body.

Umajjovská mešita byla z naměřených dat v roce 1999-2000 vyhodnocena i fotogrammetricky, avšak většina tehdejších záznamů byla v analogové formě. Byly vytvořeny fotoplány stěn a nádvoří, dále byly vyhotoveny vektorové modely z geodetického měření.

Mešita se stala obětí občanské války, která v Sýrii probíhá od roku 2011. Během bojů v roce 2013 byl zničen původní minaret, zbytek mešity byl silně poškozen.

Cílem této diplomové práce je výše popsaná existující data utřídít do logických celků a pokusit se z nich vyhotovit nové výstupy pomocí moderních technologií. Jako nejvhodnější byl určen software Agisoft Photoscan, pomocí kterého byly z obrazových dat vytvořeny prostorové digitální modely, z nichž byla následně vypočítána ortofota. Řada výsledků totiž nebyla po téměř dvaceti letech nalezena.

## 2 Dokumentace historických objektů

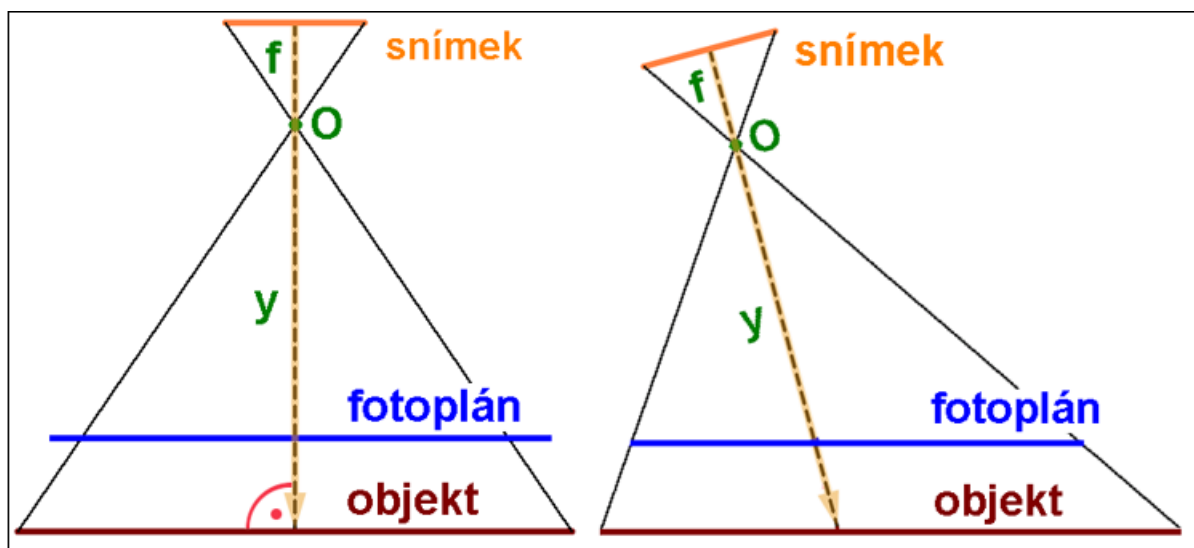
### 2.1 Základní fotogrammetrické metody

Dnešní technologický vývoj velice usnadňuje, urychluje a především zlevňuje tvorbu fotogrammetrické dokumentace historických objektů. Mezi nejzákladnější metody fotogrammetrie lze zařadit jednosnímkovou fotogrammetrii, dále pak prostorové metody, jako jsou průřezová metoda, stereometoda nebo laserové skenování.

#### 2.1.1 Jedsnósnímková fotogrammetrie

Jedsnósnímková fotogrammetrie je založena na principu vztahu dvou rovin, a to roviny snímku a roviny objektu. Jsou dvě základní možnosti pořizení snímku podle osy záběru. [1]

- kolmá na objekt
- není kolmá na objekt

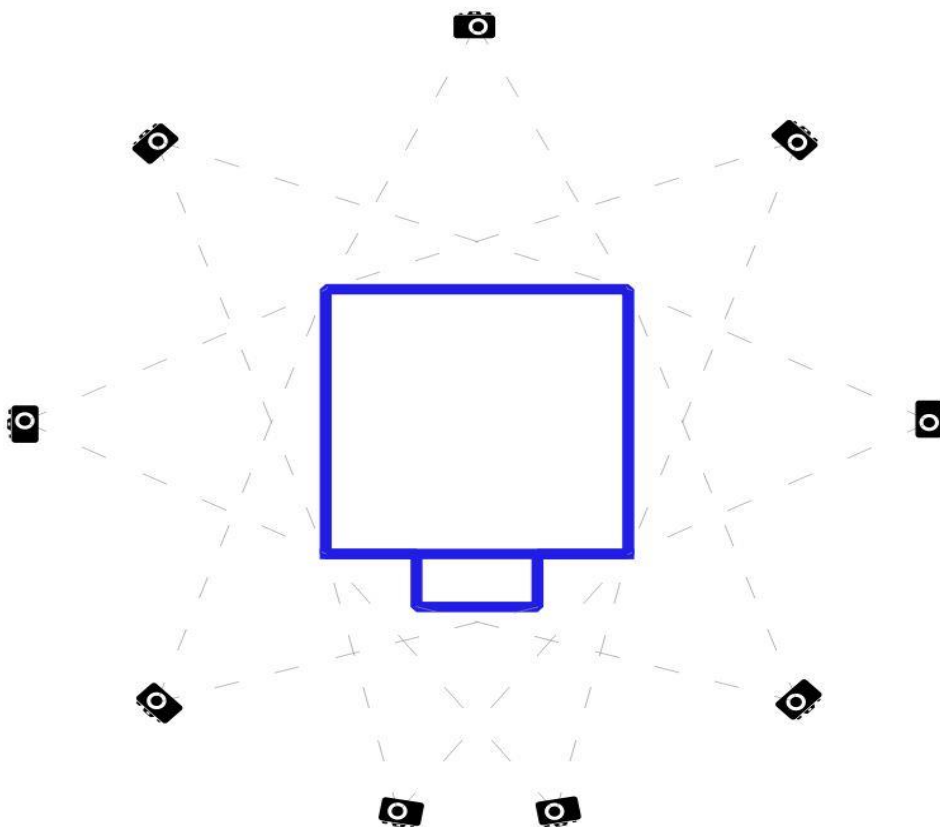


obr. 1 Případy jednosnósnímkové fotogrammetrie [1]

Když je osa záběru kolmá na objekt, pak jsou měřítka podrobných bodů rovinné části objektu na snímku přibližně konstantní a plán se od snímku liší pouze měřítkem. V případě, že osa záběru na objekt kolmá není, lze fotoplán pro rovinnou část objektu vypočítat kolineární transformací, přičemž jsou k výpočtu potřeba minimálně 4 identické body ležící v základní rovině fotoplánu.

### 2.1.2 Průseková metoda

Tato metoda pracuje na principu protínání minimálně ze dvou stanovisek (jednoduchá geodetická úloha). K získání prostorového modelu daného objektu je nutné pořízení snímků celého objektu s velkým překryvem (obvyčejně 60-100%). K podrobnému vyhodnocení je možno použít přirozeně nebo uměle signalizovaných bodů, pro základní výpočet modelu je potřeba určit prvky vnitřní a vnější orientace. Prvky vnitřní orientace je nejlépe definovat předem kalibrací použité kamery, prvky vnější orientace se vypočtou z množiny pravidelně rozložených a dobře identifikovatelných bodů na po sobě jdoucích snímcích. Pokud model má mít měřítko, je třeba znát alespoň jednu prostorovou vzdálenost na objektu, pokud je požadován výstup do referenčního geodetického systému, je zapotřebí minimálně tři geodeticky zaměřených vřícovacích bodů.



obr. 2 Princip průsekové metody

### 2.1.3 Laserové skenování

Obecně se jedná o 3D metody hromadného určování podrobných bodů neselektivní metodou. Nejznámějším principem je měření vzdálenosti, kterou urazí laserový paprsek mezi

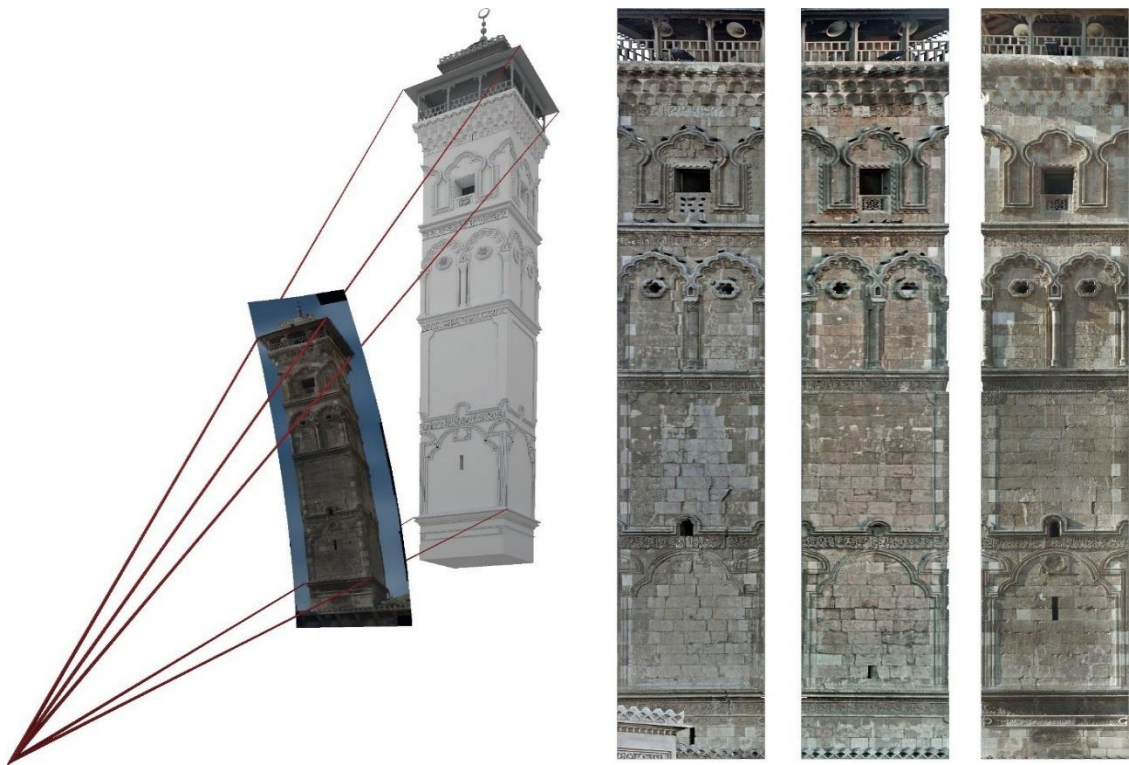
zdrojem záření a objektem, spojené s měřením úhlů pro výpočet prostorové polární metody. Vzdálenost je určena časem mezi vysláním paprsku a přijetím po odrazu od objektu nebo pomocí fázového rozdílu přijaté vlny. Tímto způsobem se vytváří mračno bodů, ze kterého lze následně vytvořit digitální model.

Metoda laserového skenování je často využívána, ale při zohlednění pořizovací ceny skeneru a transportních problémů mnohem nákladnější. Při dnešní dostupnosti kvalitních fotoaparátů, výkonného hardwarového vybavení a vhodného softwaru lze využít i metody průsekové fotogrammetrie či technologie založené na obrazové korelaci; těmito metodami lze vytvořit velmi přesný digitální model objektu, pokud jeho povrch splňuje určité požadavky (kvalitní struktura povrchu či dostatek přirozeně signalizovaných bodů).

## 2.2 Dokumentace památek v Sýrii

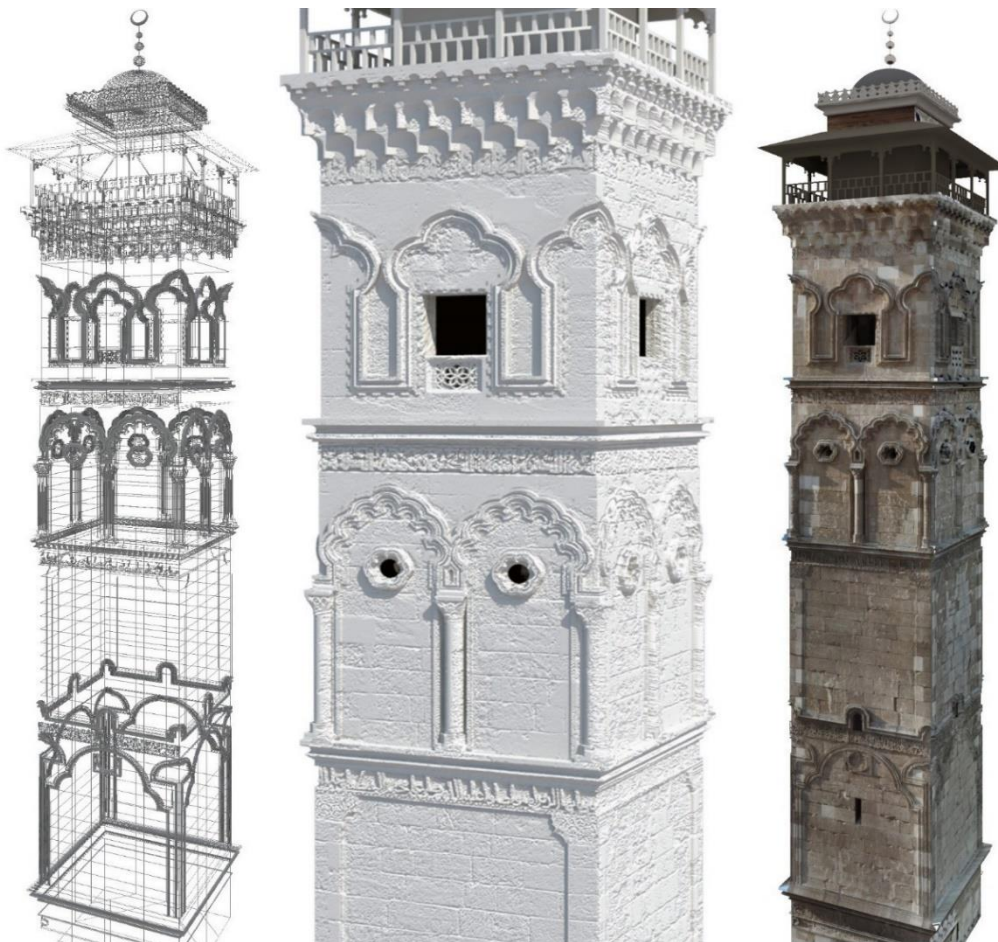
Dokumentací a tím i částečně záchranou zničených či poškozených památek obecně se zabývá např. CIPA / ICOMOS (Mezinárodní výbor pro dokumentaci kulturního dědictví) ve spolupráci s ISPRS (Mezinárodní společnost pro fotogrammetrii a dálkový průzkum). Současným cílem CIPA je vytvoření databáze otevřeného přístupu, platformy pro sdílení informací zaměřené na místa a památky chránící a zachovávající kulturní dědictví. V popředí zájmu jsou současná problematická území Sýrie, ale i dalších zemí. Těžce poškozena byla např. města Aleppo či Palmyra, která byla poničena občanskou válkou, ale i řáděním tzv. Islámského státu.

Dle [2] pořídil nejucelenější data Gabriele Fangi, který dělal v roce 2010 dokumentaci památek v Aleppu. G. Fangi k záznamu dokumentace použil osobně vyvinutou metodu sférické fotogrammetrie. Ta spočívá v pořízení panoramatické fotografie, což je série digitálních snímků pořízených z jednoho stanoviska tak, aby pokryly celé okolí. Snímky se poté promítnou na kouli, která se následně mapuje do roviny, jak je znázorněno na obr. 3. Tato metoda je dle G. Fangiho jednoduchá ze tří hlavních důvodů: snadný převod sférických souřadnic do kartézských, neomezené rozlišení snímku (záleží na kvalitě objektivu) a možnost využít zorného pole až 360°.



obr. 3 Ukázka mapování panoramatické fotografie [2]

Díky této metodě se G. Fangimu podařilo vytvořit prostorový model dnes neexistujícího minaretu Umajjovské mešity v Aleppu. Použil okolo 550 snímků, ze kterých vytvořil 25 panoramatických fotografií. Pro orientaci byla vybrána panoramata s nejvyšší kvalitou a pomocí průsekové metody bylo vytvořeno mračno bodů, které bylo převedeno na texturovaný model, který je na obr. 4.



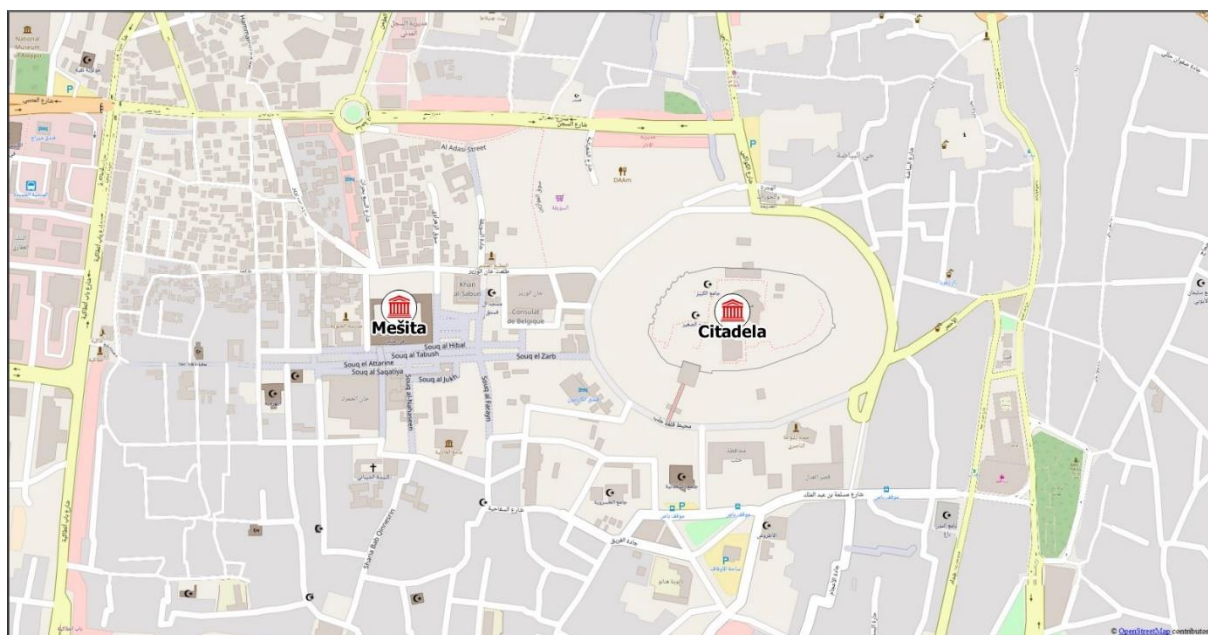
obr. 4 Digitální model minaretu vytvořený G. Fangim [2]

Za zmínku stojí také práce publikovaná na internetových stránkách [3dmekanlar.com](http://3dmekanlar.com). Tento web se zabývá tvorbou 360° panoramatických fotografií a je možné prohlédnout si mnoho památek z oblasti Blízkého východu. Mezi ně patří i zpracovaná panoramatická prohlídka Umajjovské mešity v Aleppu z doby ještě před poničením objektu občanskou válkou – tedy včetně minaretu. [3]

## 3 Umajjovská mešita

### 3.1 Poloha

Umajjovská mešita se nachází v samém centru Aleppa, což je s 1,8 miliony obyvatel podle [4] druhé nejlidnatější město v Sýrii. Mešita je postavena ve čtvrti al-Jalloum uprostřed Starého města, které bylo v roce 1986 prohlášeno za památku Světového dědictví UNESCO. Nedaleko mešity se nachází vstup na tržiště Al-Madina a také citadela, která je považována za jeden z nejstarších a největších hradů na světě.



obr. 5 Mapa Starého města v Aleppu (OpenStreetMap)

### 3.2 Historie

Umajjovská mešita v syrském Aleppu je nazývána též jako Velká mešita. Dle [5] je největší a jednou z nejstarších mešit v Aleppu. Její výstavba začala za vlády dynastie Umajjovců v roce 715 a dokončena byla o dva roky později. Místo, na kterém byla mešita postavena, sloužilo v helénistickém období jako agora, která se později stala zahradou pro katedrálu sv. Heleny během křesťanského období v Sýrii.

Ve druhé polovině 11. století byla mešita renovována, na nádvoří byla postavena fontána a v severozápadním rohu mešity 45 metrů vysoký minaret, který byl dostavěn roku

1094. Nynější podoba mešity však pochází až ze 13. století, neboť ta byla v roce 1260 zničena při nájezdu Mongolů.

Umajjovská mešita se stala obětí syrské občanské války v letech 2012 a 2013, kdy byla poškozena a celý minaret byl zničen.

V mešitě jsou údajně uloženy ostatky sv. Zachariáše, který byl otcem Jana Křtitele.

### 3.3 Architektura

Velká mešita v Aleppu obsahuje řadu architektonických podobností s mešitou v Damašku.

#### 3.3.1 Nádvoří

Většina nádvoří se připojuje k různým částem mešity, umístěných za sloupovým podloubím. Nádvoří je známé pro svou složitou mozaiku z černých a bílých kamenů. Dále se zde nachází otevřená modlitebna Estrade, sluneční hodiny a zastřešené fontány pro očistu. Fontány jsou celkem dvě – velká a malá. Velká se skládá z šestiúhelníkové pánve na vodu, která nese žluté vápencové pilíře podpírající střechu. Malá fontána má dvanáctiúhelníkovou nádrž obklopenou šesti pilíři, které také nesou střechu.

#### 3.3.2 Interiér

Nejvýznamnější částí je svatyně v jižní části mešity, která obsahuje Zachariášovu kapli, dřevěnou kazatelnu z 15. století a vyřezávaný mihráb. Mihráb je kulatý, hluboký a předpokládá se, že se podél jeho jižní strany nachází Zachariášův hrob.

Mešita obsahuje další tři svatyně, které přiléhají zbývajícím stranám nádvoří. Východní a severní mají po dvou lodích a jejich interiér je převážně dochovaný z 11. století, zatímco západní má pouze jednu loď a je moderního rázu.

Mešita obsahuje i malé muzeum, které ukrývá celou řadu islámských rukopisů. [6]

### 3.4 Občanská válka

Od března 2011 probíhá na území celé Sýrie občanská válka, kdy mezi sebou válčí hned čtyři hlavní strany. Syrská armáda hájí zájmy prezidenta Asada, opoziční Svobodná syrská armáda chce v zemi reformu a snaží se o svrnutí prezidenta Asada. Syrští Kurdové usilují



o samostatnost svých autonomních oblastí a islamisté usilující o obnovení kalifátu, který nazývají Islámským státem.

Kvůli válce bylo poničeno na Blízkém východě mnoho historicky významných památek. Nejvíce na válku doplatila města Palmyra a Aleppo. V Palmyře, která je od roku 1980 na seznamu Světového dědictví UNESCO, byl islamisty srovnán se zemí vzácný Baal-Šaminův chrám a další známé objekty. Přestože Palmyra jako zázrakem odolávala válečnému běsnění, po jejím dobytí asadovskými a ruskými vojsky byla opuštěna a ponechána bez dozoru, čehož na krátkou dobu využili bojovníci tzv. Islámského státu a mnoho objektů zničili.

V Aleppu bylo poničeno celé historické centrum při konfliktu mezi syrskou armádou a opozicí. Mezi nejvýrazněji poničené památky se řadí citadela, a právě Umajjovská mešita. [7]

### 3.4.1 Poničení mešity

Dne 13. října 2012 byla mešita vážně poškozena při střetech ozbrojených skupin Svobodné syrské armády a vládních armádních sil. Prezident Asad přislíbil její opravu do konce následujícího roku. V dubnu 2013 však mešitu obsadily opoziční síly, které byly obklíčeny syrskou armádou. Při konfliktu 24. dubna byl zničen vzácný minaret mešity. [5]

Podle syrské státní tiskové agentury (SANA) není jisté, která z bojujících stran minaret zničila. Opoziční aktivisté uvádějí, že byl minaret zničen střelbou tanků syrské armády. Vláda naopak tvrdí, že byl minaret odpálen výbušninami povstalců.



obr. 6 Stav mešity v Aleppu na satelitních snímcích v letech 2016 a 2010 (Google Earth)



obr. 7 Pohled na nádvoří mešity a minaret před zničením [8]



obr. 8 Pohled na poničenou mešitu bez minaretu [8]

## 4 Dostupná data

Veškerá data použitá v rámci této diplomové práce byla pořízena mezi lety 1999 a 2000, kdy K. Pavelka ve spolupráci s firmou GeodézieCS dokumentovali Umajjovskou mešitu v Aleppu právě pro UNESCO a syrskou stranu.

### 4.1 Přístroje k pořízení dat

K pořízení měřičských snímků byly použity především réseau komora firmy RolleiMetric, konkrétně Rolleiflex 6006 a starší fotogrammetrická komora značky UMK 10/1318. Snímky 6 x 6 cm z komory RolleiMetric byly převedeny do digitální podoby vysoce kvalitním skenerem Nikon CoolScan, pro planfilmy z komory UMK byl využit profesionální skener pro digitalizaci leteckých snímků s velikostí pixelu 15  $\mu\text{m}$ . Dále byly pořízeny snímky digitálním fotoaparátem Olympus C-2000 Zoom. Nutno podotknout, že digitální fotoaparáty byly v té době teprve v počátcích využívání.

#### 4.1.1 Réseau komory

Dle [9] lze termínem réseau rozumět kvalitní dřívě neměřické komory, které mají před rovinou filmu umístěnou skleněnou destičku s mřížkou, dále je známa distorze objektivu a prvky vnitřní orientace.



obr. 9 Réseau mřížka

Mřížka je tvořena pravoúhloú sítí křížů, která je pravidelná, jak je názorné z obr. 9. Křížky jsou určeny s velkou přesností a slouží k definici souřadnicového systému snímku a pro určení deformace filmového materiálu. Při expozici jsou křížky přeneseny na film a po vyvolání jsou viditelné na snímku. Deformace (nerovnost filmu, srážka papíru a negativu, zkreslení) se určí proměřením křížků a při vyhodnocování je lze následně automaticky odstranit.

#### 4.1.2 Komora Rolleiflex 6006

Komora Rolleiflex 6006 byla vyráběna firmou RolleiMetric. Pracuje se svitkovým filmem o velikosti snímků 6x6 cm. Jedná se o plně automatickou komoru s mřížkou 11x11 křížků o vzájemné vzdálenosti 5 mm a možností výměny objektivů.



obr. 10 Komora Rolleiflex 6006

#### 4.1.3 Komora UMK 10

Komory systému UMK byly na území Československa velmi rozšířené a známé pro svou optickou kvalitu. Univerzální měřičskou komoru UMK 10 uvedla na trh v roce 1969 firma Zeiss Jena jako přístroj určený pro oblast inženýrské a průmyslové fotogrammetrie.

Při konstrukci této komory bylo použito v té době několik nových principů, díky nimž měla komora UMK 10 předpoklady pro široké využití. Orientační dalekohled byl oddělen od fotografické komory, dále bylo možné fotografickou komoru zavěsit do vidlice nosiče, a to jak na výšku, tak i na šířku. Tím bylo možné dosáhnout stejného zorného úhlu ve vodorovném i svislém směru.

Komora je konstruována pro skleněné desky, které jsou v dnešní době příliš drahé a prakticky nejsou ani vyráběné. Technická konstrukce však dovoluje na skleněné desky přilepit černobílý planfilm, jehož cena je výrazně nižší.



obr. 11 Měřičská komora UMK 10/1318

#### 4.1.4 Digitální fotoaparát Olympus C-2000 Zoom

Pro pořízení dokumentačních snímků byl použit digitální fotoaparát Olympus C-2000 Zoom. Fotoaparát disponuje velikostí snímače 6,4 x 4,8 mm a pořizuje snímky o rozlišení 1600 x 1200 pixelů (2 Mpx). Rozteč pixelů je 4  $\mu$ m. Díky nastavitelnému objektivu je možné využít trojnásobného optického zoomu.



obr. 12 Digitální fotoaparát Olympus C-2000 Z

## 4.2 Obrazová data

Pomocí třech výše popsaných kamer byl v roce 1999 pořízen obrazový materiál pro fotogrammetrické účely. Pro tvorbu fotoplánů byly pořízeny snímky všech čtyř vnitřních stran, ze střechy byly pořízeny snímky mozaikové podlahy nádvoří a snímky minaretu. Zdokumentovaná je také vnější zeď a vstupní brána na severní straně.

Dále byly nasnímány některé z prvků mešity. Mezi ně patří snímky velké a malé fontány, které se nacházejí na nádvoří, dřevěná kazatelna a vnitřní kopule v jižní části mešity. Nasnímáno bylo také mnoho detailů, jako např. různé arabské nápisy, vyřezávané dveře a výklenky.

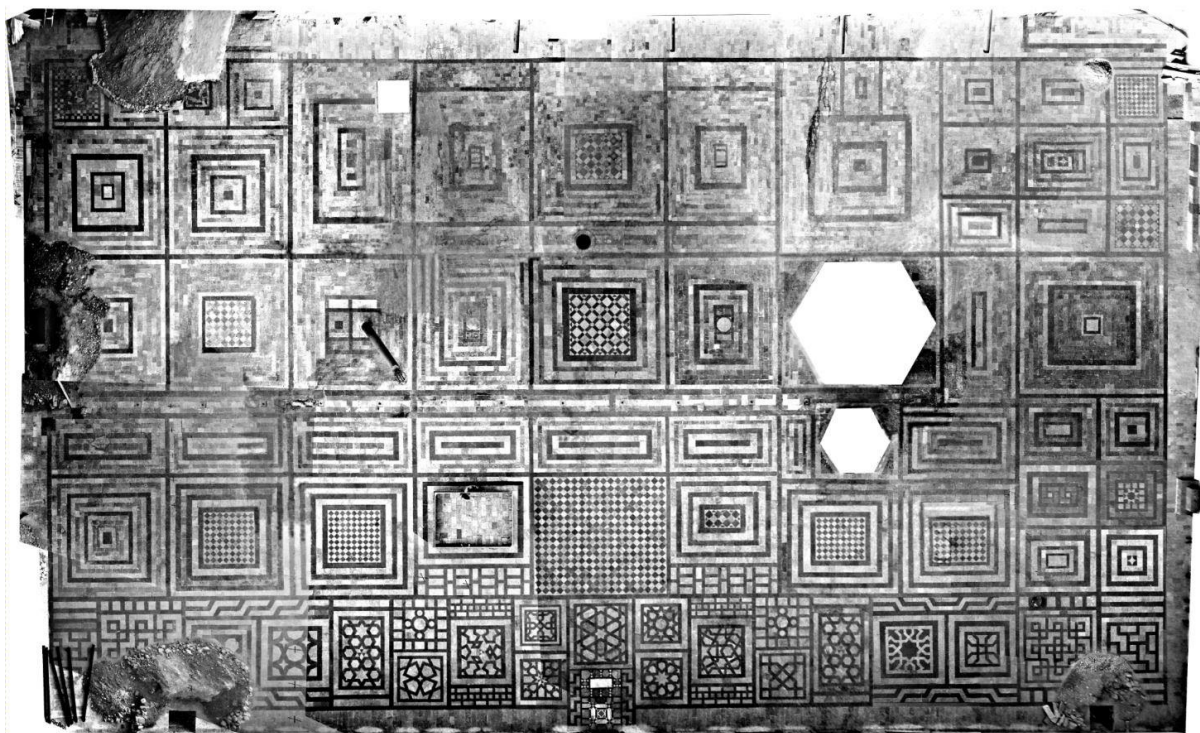
Veškerá obrazová data jsou roztříděna v příslušných složkách a jsou přiložena k této práci na DVD.

### 4.3 Geodetické zaměření

K pořízeným obrazovým materiálům byly zaměřeny i vlícovací body, respektive celá mešita byla geodeticky podrobně zaměřena. Celkově bylo určeno přes 2700 bodů po celé mešitě. Body byly určeny v souřadnicích zvoleného místního souřadného systému. Osy tohoto systému byly vloženy do stran mešity. Osa X byla proložena od východu k západu, osa Y pod severojižním směrem.

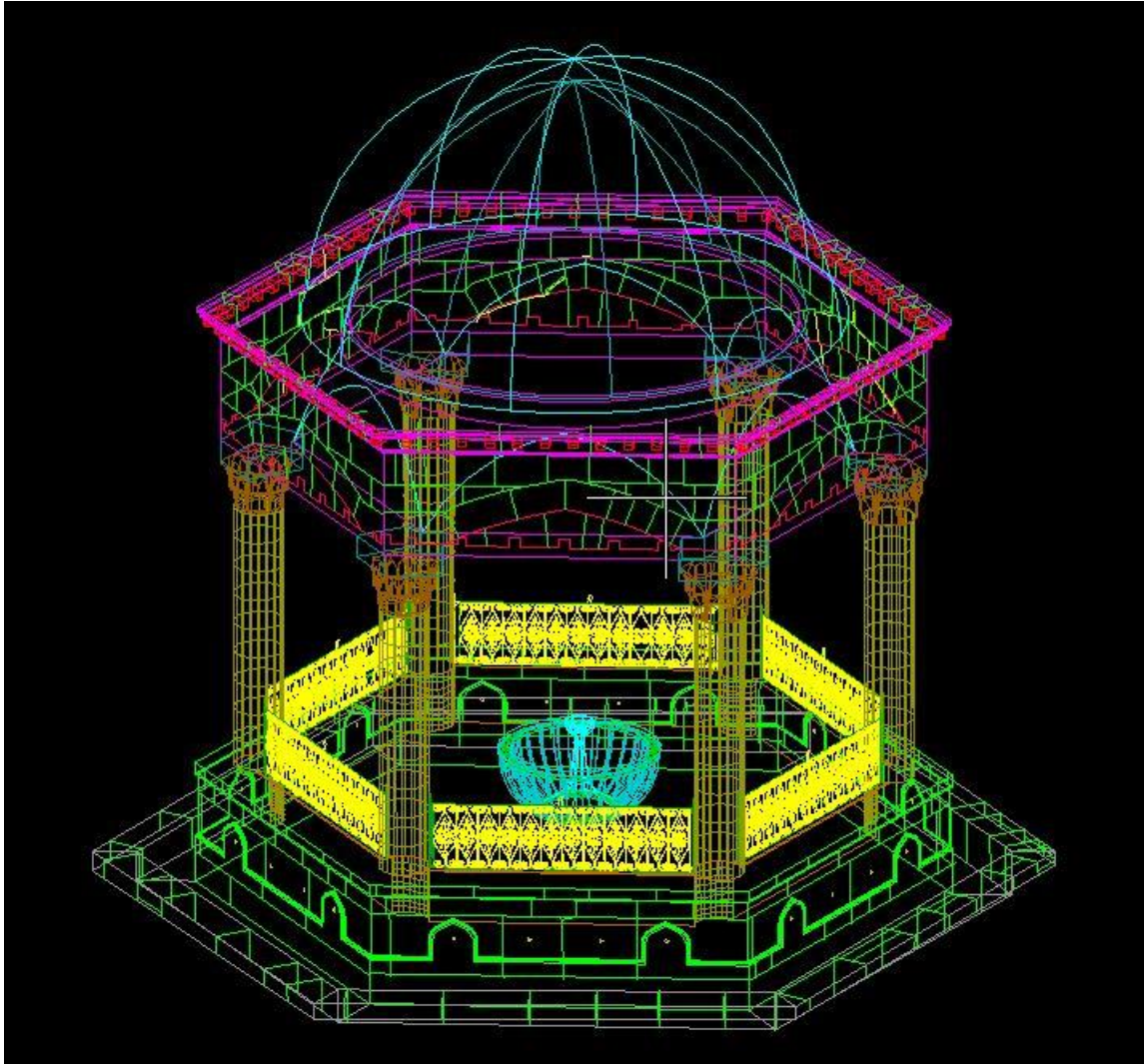
### 4.4 Vyhodnocení v roce 2000

V rámci projektu z přelomu tisíciletí byly vytvořeny fotoplány všech čtyř vnitřních stěn nádvoří. Vytvořen byl také plán nádvoří, který je na obr. 13. Všechny fotoplány byly vytvořeny v softwaru TopoL metodou jednosnímkové fotogrammetrie.

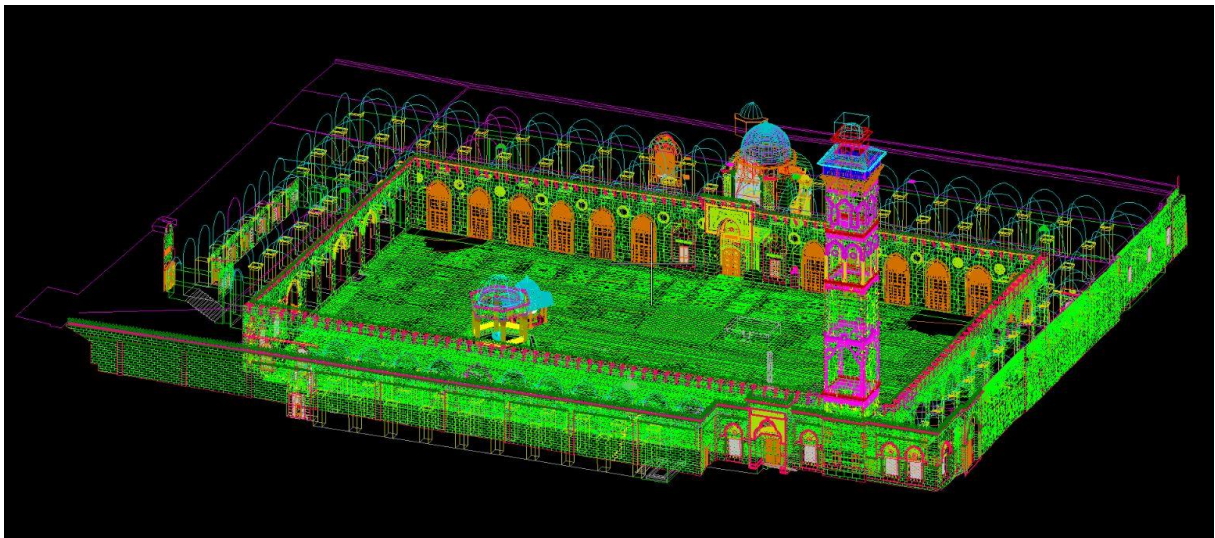


obr. 13 Fotoplán nádvoří z roku 2000

Fotoplány byly následně vyhodnoceny a zvektorizovány. Za použití bodů z geodetického měření byly vektory umístěny do prostoru a společně se zbytkem geodetického zaměření byly vytvořeny vektorové modely určitých částí mešity, jako například velké a malé fontány (viz obr. 14), minaretu atd. Po spojení jednotlivých částí vznikl model celé mešity, který je na obr. 15. Vyhodnocena a zvektorizována byla také řada detailů jako např. arabské nápisy, detail dveří, mříží v oknech atd.



obr. 14 Vektorový model velké fontány



obr. 15 Vektorový model celé mešity



## 5 Rekonstrukce fotoplánů moderní technologií

Cílem této diplomové práce bylo kromě katalogizace dat pořízených v roce 1999 také pokus o rekonstrukci fotoplánů a tvorba 3D modelu ze starých dat pomocí moderní technologie. Jako nejvhodnější se jevílo použít software Agisoft PhotoScan, který dovede z překrývajících se snímků vyrobit digitální model, ze kterého lze následně vyexportovat ortogfoto.

### 5.1 Výběr snímků

Při dokumentaci mešity v roce 1999 byly pořízeny snímky pro tvorbu fotoplánů pouze s malým překryvem, což je pro program Agisoft PhotoScan velký problém. Nedokáže totiž snímky správně zpracovat. Naštěstí byly vnitřní stěny mešity fotografovány třemi různými komorami vždy s jiným úhlem záběru a stanovisky. Při společném použití snímků ze všech komor vznikl potřebný překryv.

Počty použitých snímků pro jednotlivé vnitřní stěny mešity, severní vstupní bránu a nádvoří jsou specifikovány v následující tab. 1.

tab. 1 Počet použitých snímků

	<b>UMK (černobílé)</b>	<b>Rollei</b>	<b>Olympus</b>
jižní stěna - vnitřní	10	8	6
severní stěna - vnitřní	9	9	27
východní stěna - vnitřní	6	-	10
západní stěna - vnitřní	5	5	17
severní vstupní brána	4	-	8
nádvoří	-	22 (černobílé)	26

### 5.2 Vlícovací body

K určení polohy vlícovacích bodů se dochovaly náčrtky pouze ke zpracování nádvoří a severní vstupní brány. Poloha vlícovacích bodů při zpracování vnitřních stěn byla určena na základě vektorového modelu, který byl k dispozici.

V programu AutoCAD Civil 3D byly zobrazeny všechny vlíčovací body (cca 2700) a k nim byl importován vektorový model dané stěny. Výběrem byly ponechány pouze body, které byly v rovině dané stěny. Vektorový model byl včetně vlíčovacích bodů vyexportován do formátu pdf, následně vytištěn do papírové podoby a z tohoto materiálu již bylo možné určit přesnou polohu vlíčovacích bodů.

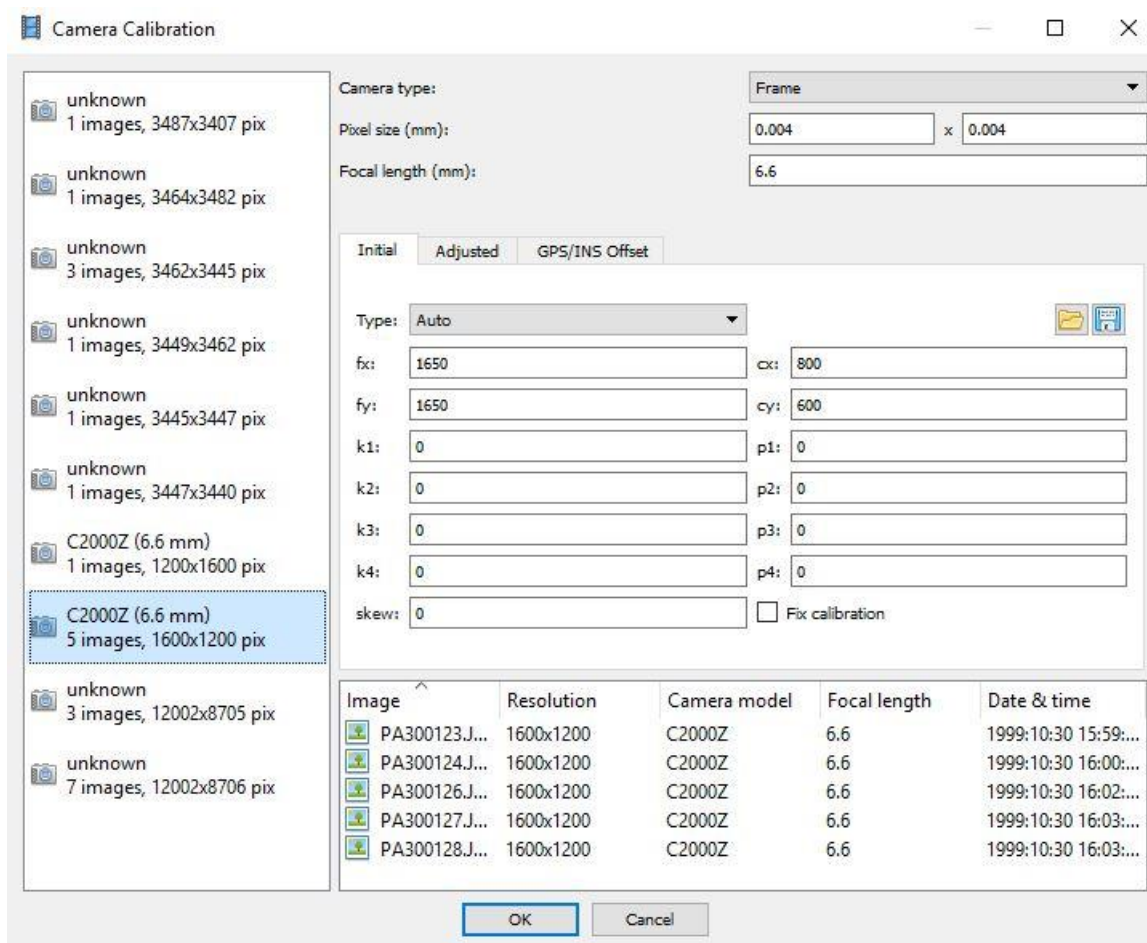
Při geodetickém zaměřování vlíčovacích bodů byly na zdi nakresleny křížky, které jsou zobrazeny i na snímcích. To při zpracování zjednodušilo určení jejich polohy.

## 6 Zpracování pomocí Agisoft PhotoScan

Agisoft PhotoScan je profesionální software určený pro automatické zpracování fotogrammetrických úloh. Mezi jeho největší přednosti se řadí všestrannost a jednoduchost. Program dokáže zpracovat digitální snímky na texturovaný 3D model, kterým může být terén, budova, interiér nebo jakýkoliv libovolný předmět.

### 6.1 Definice projektu

Pro každou část, která byla zpracována, byl v založeném projektu vytvořen tzv. *Chunk*. *Chunk* se dá chápat jako množina snímků, které mají být zpracovány společně. V případě této diplomové práce bylo založeno celkem šest takovýchto množin: čtyři pro vnitřní stěny mešity a po jednom pro vstupní bránu a nádvoří.



obr. 16 Formulář pro definici použitých kamer

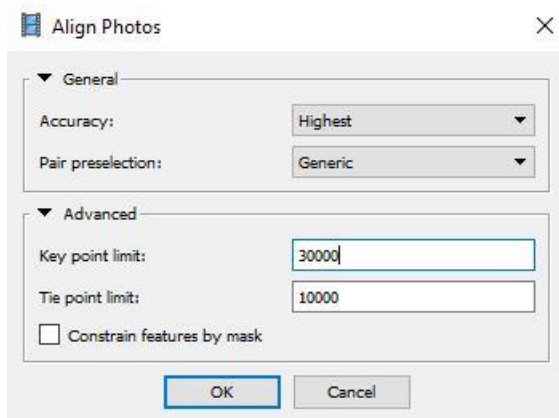
Do jednotlivých množin (*chunk*) byly naimportovány snímky přes nabídku *Workflow/Add Photos* a následně byla provedena definice kamery v nabídce *Tools/Camera Calibration*, jak je patrné z obr. 16.

## 6.2 Spojení snímků

Po naimportování snímků a nadefinování použitých kamer bylo dalším krokem spojení snímků. V tomto kroku se vypočítají prvky vnější orientace, s jakou přesností mají být vypočteny, lze nastavit v dialogovém okně, které se spustí *Workflow/Align Photos* (obr. 17).

U všech zpracovávaných částí byla nastavena přesnost (*Accuracy*) *High* nebo *Highest*, které pracují s plným rozlišením snímků, což bylo nutné vzhledem ke špatné kvalitě snímků. Možnost *Pair preselection* určuje, jestli mají být vypočteny podmnožiny snímků, ve kterých jsou vypočítány spojovací body. U výpočtu modelů v rámci této diplomové práce byla nastavena hodnota *Generic*, která odhadne sousedící páry snímků. Pouze v případě výpočtu spojovacích bodů u podlahy nádvoří byla nastavena hodnota *Disabled*.

Hodnota *Key point limit* definuje maximální počet klíčových bodů a hodnota *Tie point limit* definuje maximální počet spojovacích bodů pro snímek.

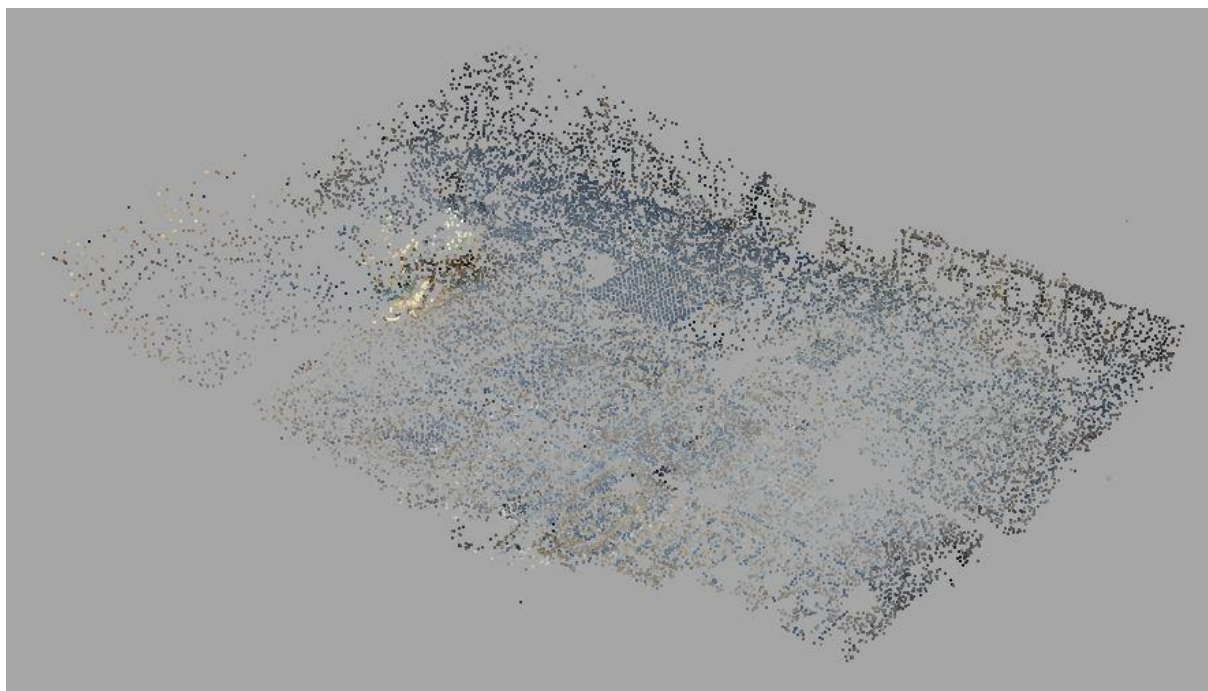


obr. 17 Nastavení výpočtu pro spojení snímků

Kromě výpočtu pro nádvoří se všechny snímky spojily správně. Správnost spojení snímku byla patrná z vizuálního pohledu na spojovací body.

Kvůli špatné kvalitě snímků (snímky byly z komory Rolleimetric pořízeny na nepříliš kvalitní černobílý film Fomapak 21 DIN; radiometrická kvalita digitalizovaných snímků není příliš vysoká) a jejich malého počtu a překryvu se u nádvoří všechny snímky nespojily a několik spojených snímků vytvořilo špatný obraz nádvoří. Špatně orientované snímky byly odpojeny a

následně byly připojovány po jednom. Tím se docílilo toho, že se nakonec některé snímky orientovaly správně. Nakonec se podařilo správně zpracovat 27 ze 43 snímků (i přes nadefinování vlíčovacích bodů). Některé oblasti nádvoří byly navíc špatně nasnímané, a proto například v severovýchodním rohu je spojovacích bodů minimum, jak je patrné z obr. 18.

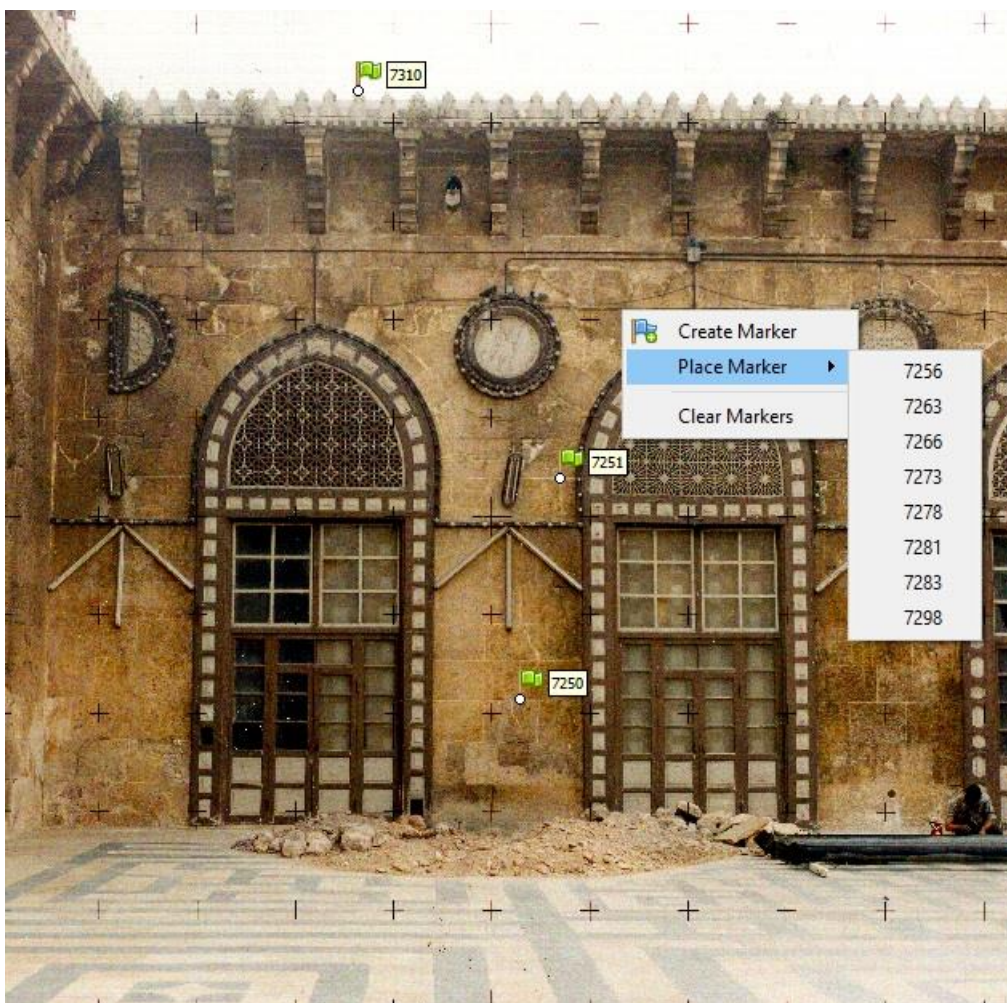


obr. 18 Spojovací body u nádvoří (severozápadní pohled)

### 6.3 Určení vlíčovacích bodů

Umístění v prostoru a rozměry modelu byly určeny pomocí vlíčovacích bodů. Pro každou zpracovávanou část (*chunk*) byl vytvořen textový soubor, který obsahoval souřadnice vlíčovacích bodů.

Vlíčovací body se do programu Agisoft PhotoScan naimportují v kartě *Reference*. Poté se body určí na jednotlivých snímcích (znázorněno na obr. 19). Když byl bod určen minimálně na dvou snímcích, tak se dopočítal i na ostatních snímcích a bylo možné ho myší jen posunout přesně na správné místo. Počet použitých vlíčovacích bodů je vypsán v tab. 2. Nejvíce bodů bylo k dispozici pro nádvoří, ale jelikož u některých nebylo možné z původního náčrtu určit jejich reálnou polohu na snímku, tak nebyly použity.



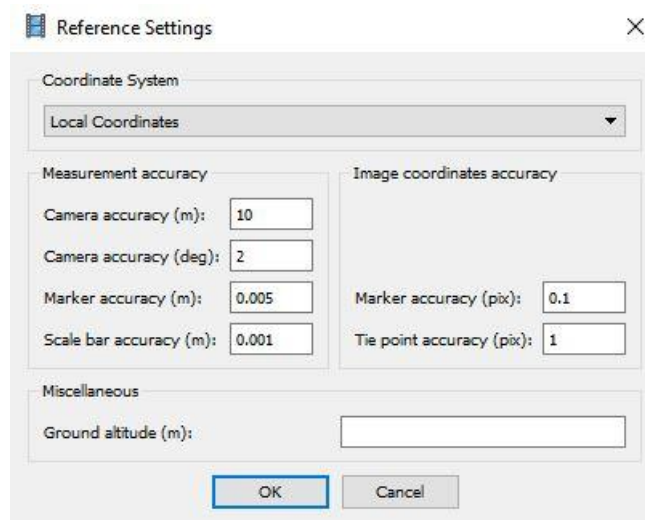
obr. 19 Definování vřícovacích bodů na snímku

tab. 2 Počet použitých vřícovacích bodů

	Počet
jižní stěna - vnitřní	11
severní stěna - vnitřní	19
východní stěna - vnitřní	11
západní stěna - vnitřní	13
severní vstupní brána	7
nádvoří	267

Po určení vřícovacích bodů k jednotlivým částem byl nastaven souřadnicový systém a parametry svazkového vyrovnání. Dialog pro nastavení se vyvolal pomocí ikony v kartě *Reference*. Jak je patrné z obr. 20, byl nastaven místní souřadnicový systém a jelikož není

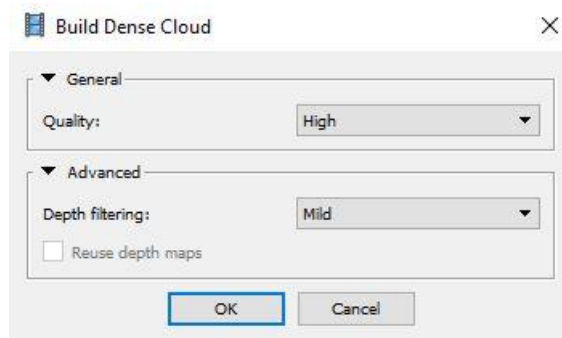
známá informace, s jakou přesností byly měřeny vlíčovací body, byla ponechána výchozí přesnost bodu (*Marker accuracy*) 5 mm.



obr. 20 Nastavení parametrů svazkového vyrovnání

## 6.4 Husté mračno bodů a model *mesh*

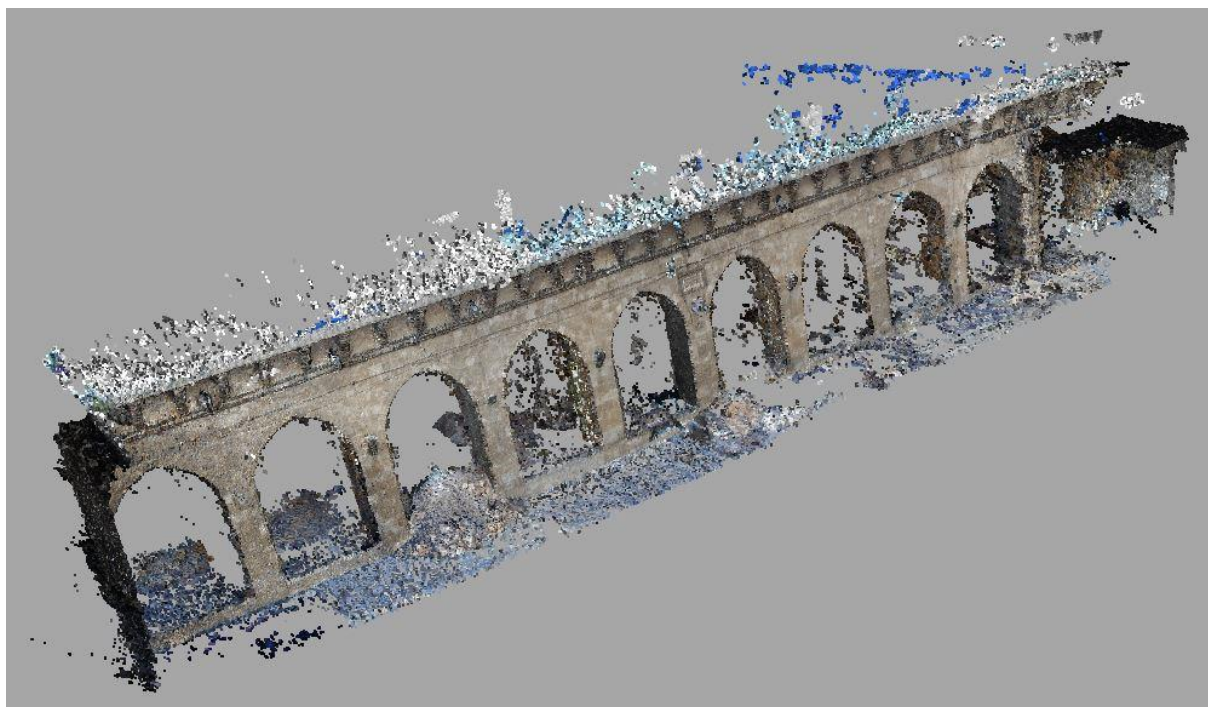
V dalším kroku zpracování bylo vytvořeno husté mračno bodů, kde výpočet se spustil funkcí *Workflow/Build Dense Cloud*. V nabídnutém dialogovém okně (viz obr. 21) šlo opět nastavit kvalitu výpočtu.



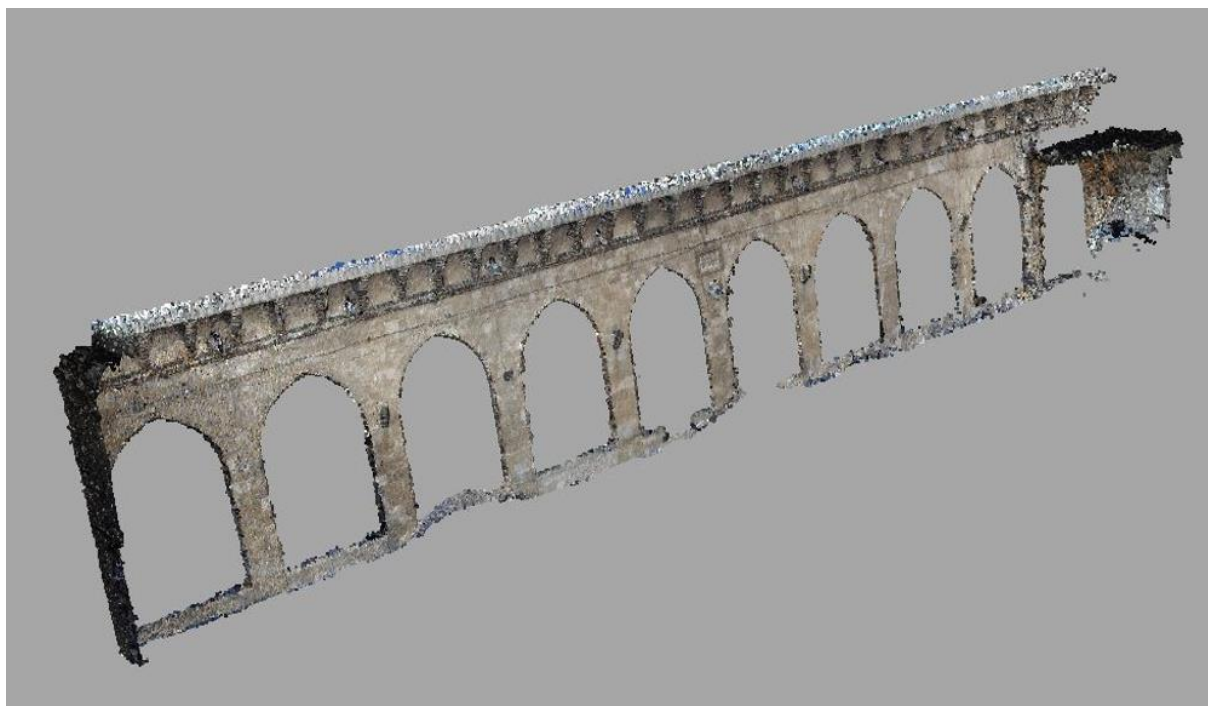
obr. 21 Nastavení výpočtu hustého mračna bodů

Jelikož výpočet hustého mračna bodů je poměrně náročný, byla volena kvalita *Medium*, popřípadě *High*. Nastavení *Depth filtering* dokáže filtrovat mračno bodů o odlehlé body, zde bylo na výběr ze tří možností: *Mild* je vhodný na členité objekty, *Aggressive* pro hladké objekty a *Moderate* je něco mezi těmi předchozími možnostmi. Jelikož fasády byly velmi členité a plné detailů, byla volena možnost *Mild*.

Po vytvoření hustého mračna bodů byla provedena jeho kontrola a pročištění zbytečných bodů, jak je vidět na obrázku obr. 22 a obr. 23. Pročištění bylo provedeno ručně vždy označením odlehlých bodů a jejich odmazáním.



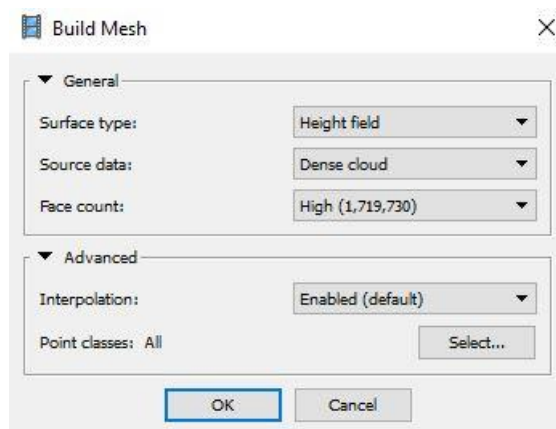
obr. 22 Vypočtené mračno bodů bez úprav (západní zeď)



obr. 23 Pročištěné mračno bodů (západní zeď)



Když bylo mračno bodů upraveno, přišel na řadu výpočet polygonové sítě neboli model *mesh*. Tuto funkci lze spustit ve *Workflow/Build Mesh*, kde byla v dialogovém okně možnost nastavení několika parametrů výpočtu (viz obr. 24).



obr. 24 Nastavení výpočtu polygonové sítě

Klíčové je nastavení položky *Surface type*, zde byly na výběr dvě možnosti. Možnosti *Arbitrary* slouží pro modely, které jsou uzavřené nebo výrazně členité. Touto metodou byl počítán *mesh* model vstupní brány. Druhá možnost *Height field* je vhodná pro zpracování leteckých snímků, a protože zpracování fasády vnitřních zdí a podlahy nádvoří je velmi podobné, byla použita právě druhá možnost. Ukázka plastického *mesh* modelu je na obr. 25.

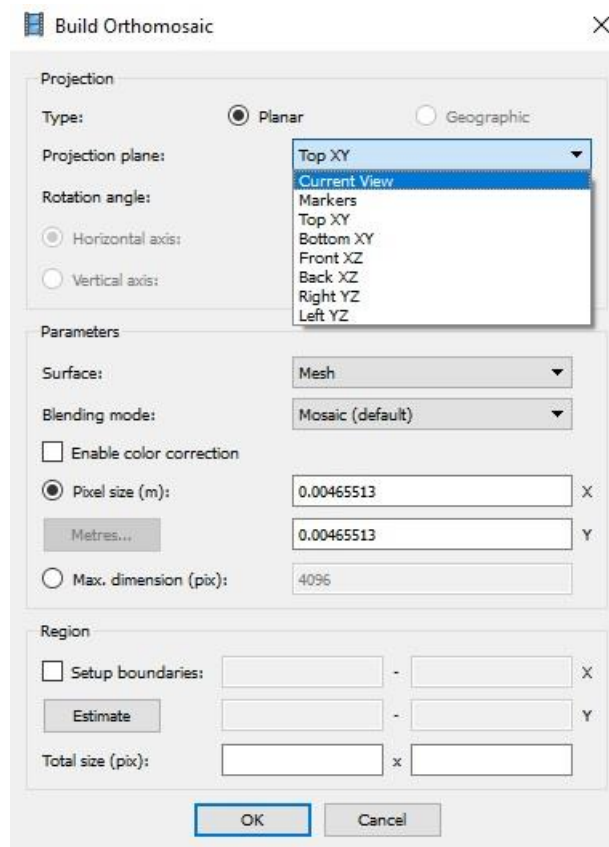


obr. 25 Model mesh (západní zeď)

## 6.5 Tvorba ortogonální mozaiky

Vytvořený prostorový model *mesh* slouží k výpočtu ortogonálního plánu jednotlivých částí, což byl cílem této diplomové práce. Výpočet pro tvorbu ortofota byl nalezen v nabídce *Workflow/Build Orthomosaic*. V dialogovém okně (obr. 26) byla vybrána rovina zobrazení. Jelikož byly osy místního souřadnicového systému promítnuty do stěn mešity, byl výběr roviny velmi jednoduchý, například jižní stěna se nacházela v rovině XZ, dále už jen záleželo, za jaké strany bylo potřeba stěnu vypočítat. Při volbě opačné strany se ortofoto jeví zrcadlově otočené.

Dále bylo možné nastavit vykreslovací mód a rozlišení pixelu. Vykreslovací mód byl ponechán na hodnotě *Mosaic*, která spojuje jednotlivé snímky dohromady a vytváří celistvou mozaiku z jednotlivých vytvořených ortofot.



obr. 26 Nastavení tvorby ortomozaiky

Na mnoha snímcích se nacházeli lidé, různá lešení či jiné předměty. Aby na výsledném ortofotu tyto prvky nebyly, bylo možné některé snímky vypnout, tak, aby se do výpočtu ortofota nezahrnovaly, nebo použít masku (obr. 27) a ze snímku vyříznout pouze nežádoucí prvky.



obr. 27 Tvorba masky snímku

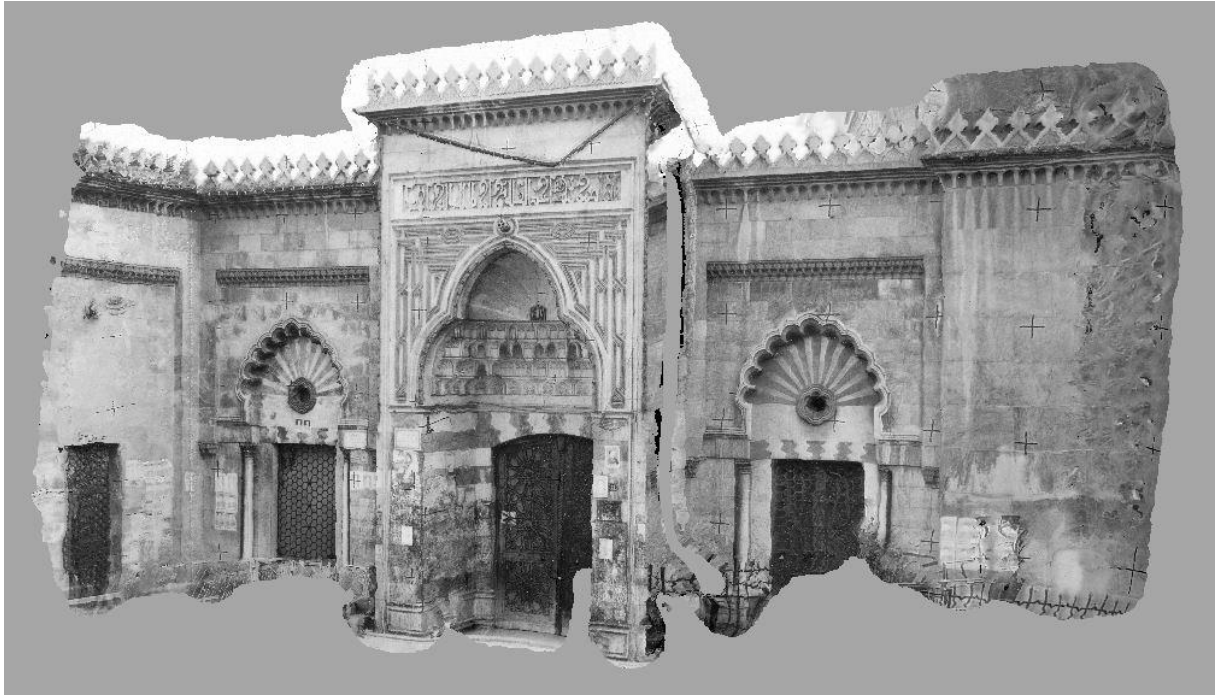
Po přidání masky a vypnutí některých snímků se znovu pustil výpočet ortofota. Tímto způsobem se vytvořilo několik různých ortofoto, a nakonec bylo ponecháno to, které po vizuální stránce vypadalo nejlépe.

## 6.6 Další možné funkce Agisoft PhotoScan

Cílem této diplomové práce bylo vytvoření několika ortogonálních plánů, avšak software Agisoft PhotoScan v sobě ukrývá i mnoho dalších funkcí. Kromě *mesh* modelu umí software vypočítat také například digitální model povrchu (DSM) nebo dlaždicový model.

Další funkcí, která byla okrajově vyzkoušena v rámci této práce, byla tvorba textury na digitální model. Tato funkce vytvoří mozaiku, kterou navleče na povrch vytvořeného digitálního modelu. Ukázka texturovaného modelu je níže na obr. 28.

V Agisoftu PhotoScan je také možnost spojení jednotlivých částí (*chunk*) dohromady a vytvoření celkového prostorového modelu. Texturovaný model celé mešity ze spojených částí je na obr. 29.



obr. 28 Ukázka texturovaného modelu



obr. 29 Ukázka spojených částí modelu v jeden celek

## 7 Dosažené výsledky

Celkem bylo zpracováno 6 fotoplánů, nejprve 4 vnitřní stěny nádvoří, následně severní vstupní brána a nakonec pokus o zpracování nádvoří. Celkový přehled dosažených výsledků je v tab. 3.

tab. 3 Celkový přehled výpočtů

	spojovací body	husté mračno bodů (kvalita)	počet trojúhelníků v modelu <i>mesh</i>	rozlišení ortofota [mm/pix]
jižní stěna - vnitřní	25 942	8 598 665 (medium)	1 693 786	2,57
severní stěna - vnitřní	25 279	3 086 110 (medium)	601 049	3,11
východní stěna - vnitřní	10 262	4 946 760 (high)	978 480	4,31
západní stěna - vnitřní	23 952	3 972 193 (high)	778 380	4,66
severní vstupní brána	18 009	1 845 712 (high)	369 139	3,91
nádvoří	24 718	2 808 773 (high)	561,752	9,05

### 7.1 Vnitřní stěny nádvoří

Ze všech zpracovávaných částí dosáhla nejlepších výsledků jižní stěna nádvoří. Hlavním důvodem je členitost dané plochy. Jižní stěna neobsahuje na rozdíl od ostatních třech stěn podloubí, které nebylo možné vzhledem k nízkému počtu a kvalitě snímků vymodelovat. Proto u jižní stěny software vypočetl nejvíce bodů mračna, a to přes 8,5 milionu.

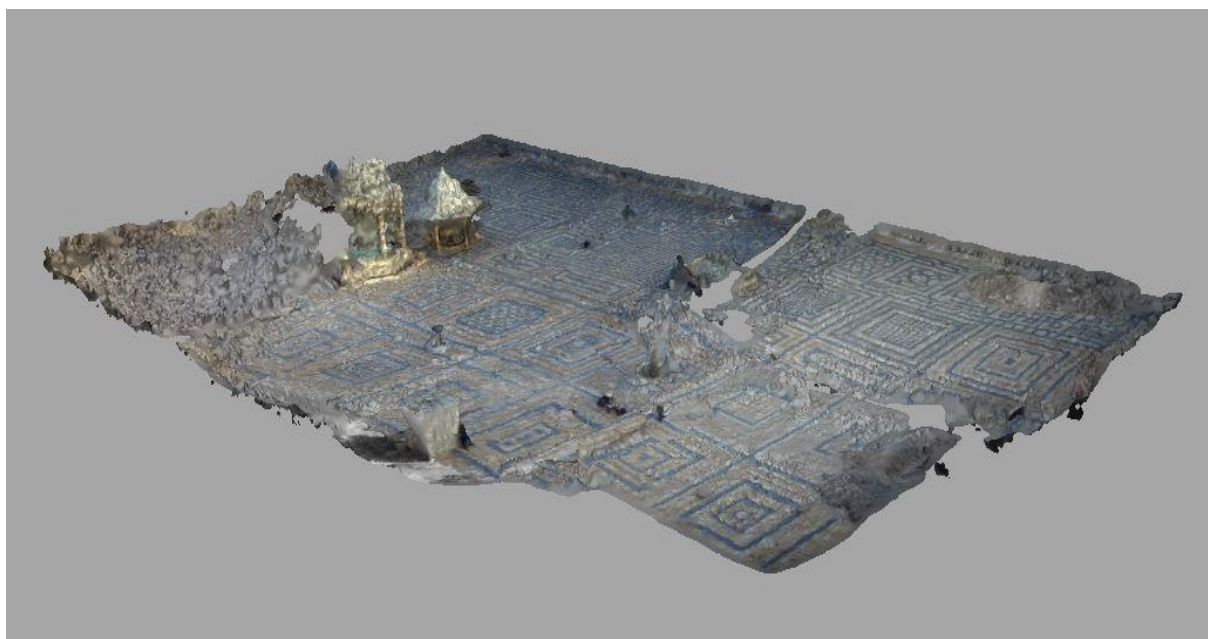
Na tvorbu ortofota byly ve většině případů vybrány snímky pořízené kamerou UMK 10, které byly nejkvalitnější a s nejlepším rozlišením, ale bohužel černobílé. Rozlišení vytvořených ortofot se pohybovalo v průměru okolo 3,5 mm/pix. Nejlepší rozlišení mělo ortofoto jižní stěny, a to 2,57 mm/pix. Všechny výsledky jsou přehledně uvedeny výše v tab. 3.

### 7.2 Vstupní brána

Za velmi povedený fotoplán lze považovat i zpracování vstupní brány. Všechny snímky byly v relativně dobré kvalitě a fotografovány z dobrých pozic. Celkem bylo použito 12 snímků. Nejkvalitnější byly opět z kamery UMK 10/1318, a proto je výstupné ortofoto černobílé a má rozlišení necelých 4 mm/pix.

### 7.3 Podlaha nádvoří

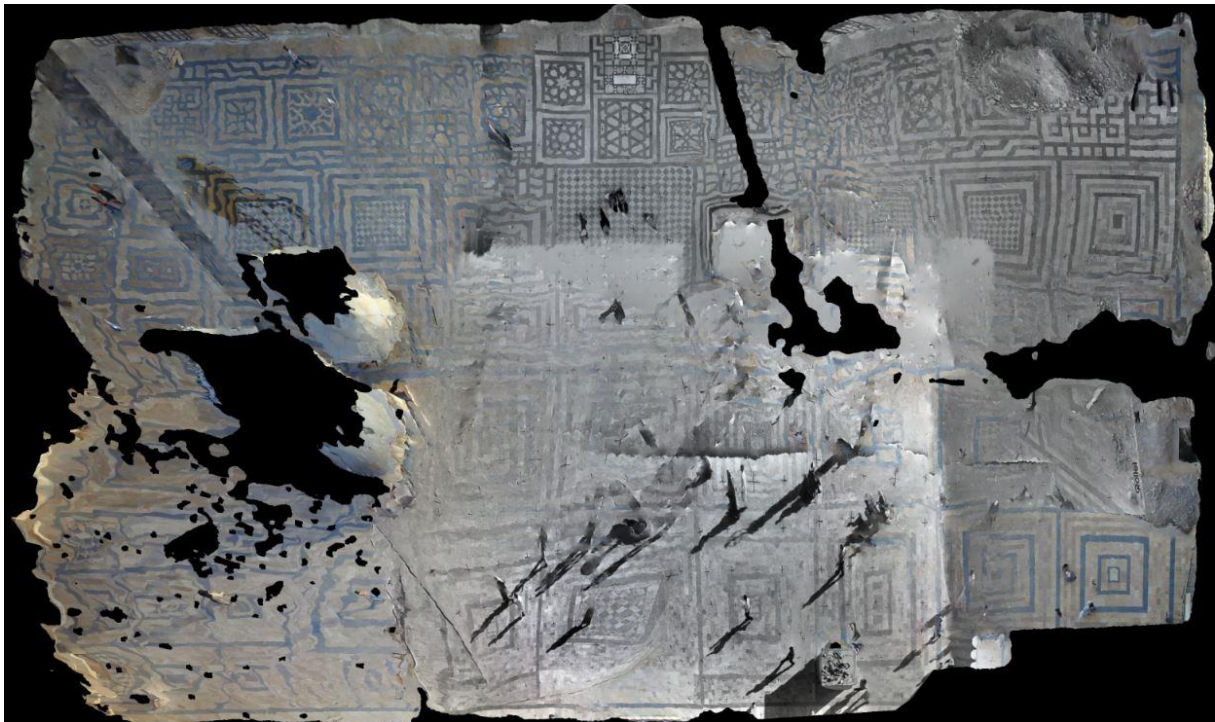
Nejméně zdařilé jsou výsledky u tvorby fotoplánu nádvoří. Snímky pocházejí pouze ze dvou kamer, a to z kamer Olympus C-2000Z a RolleiFlex 6006. Snímky z kamery Olympus byly fotografovány z minaretu, snímky z kamery RolleiMetric byly pořízeny ze střechy po celém jejím obvodu. Kvůli špatné kvalitě snímků a malému překryvu se ze 43 snímků podařilo zpracovat pouze 27.



obr. 30 *Mesh* model nádvoří

V severovýchodním rohu nebyly vypočteny téměř žádné spojovací body, kvůli tomu je na tomto místě model velmi nepřesný, jak je patrné z obr. 30. Další nespojené a nevymodelované části jsou způsobeny různými prvky na nádvoří, jako jsou například sloup, kašny, výkopy apod.

Výsledné ortofoto, které je na obr. 31, se bohužel ani trochu nepřiblížilo fotoplánu, který dělal ručně K. Pavelka v roce 1999-2000. Je velmi nepřesné, ve většině případu rozmazané, pro jakoukoliv další práci nevhodné a nepoužitelné.



obr. 31 Ortofoto nádvoří

## 7.4 Dosažená přesnost

Níže v tabulce jsou vypsány hodnoty dosažených přesností výpočtů svazkových vyrovnání pro jednotlivé digitální modely. Hodnoty pro model nádvoří zde uvedeny nejsou, neboť maximální polohová chyba je 18 metrů a jak již bylo popsáno výše, výsledek nádvoří je nesmyslný.

tab. 4 Dosažené přesnosti svazkového vyrovnání

	max [cm]	min [cm]	průměr [cm]	max [pix]	min [pix]	průměr [pix]
jižní stěna - vnitřní	5,9	1,1	3,6	0,35	0,12	0,26
severní stěna - vnitřní	3,8	0,4	2,3	1,64	0,30	0,82
východní stěna - vnitřní	3,0	0,5	1,7	0,50	0,01	0,26
západní stěna - vnitřní	1,9	0,4	1,2	0,74	0,24	0,39
severní vstupní brána	14,1	1,4	8,9	0,72	0,59	0,67

## 8 Závěr

V rámci této diplomové práce byla provedena katalogizace obrazových dat, které byly pořízeny v roce 1999 v syrském Aleppu, a jejich vyhodnocení z let 1999-2000. Předmětem dokumentace byla Umajjovská mešita, které je součástí seznamu Světového kulturního dědictví UNESCO. Dokumentace mešity z roku 1999-2000 obsahovala vytvořené fotoplány čtyř stěn a podlahy nádvoří. Fotoplány byly vytvořeny ručně za pomoci programu TopoL.

Kromě katalogizace dat bylo dalším cílem této práce rekonstruovat výše zmíněné fotoplány pomocí moderní technologie a pokusit se o další výstupy (digitální 3D model). Jako nejvhodnější byl vybrán software Agisoft PhotoScan, který je určený pro zpracování fotogrammetrických úloh. Software dokáže převést digitální obrazová data na digitální model objektu a generovat z něj další možné produkty (*mesh*, ortofoto, husté texturované mračno bodů aj.).

Snímky byly v roce 1999 pořízeny za účelem jednosnímkové fotogrammetrie, a tudíž měly minimální překryv. Jelikož byly dané objekty fotografovány více kamerami s rozdílným úhlem záběru, bylo možné zpracováním všech snímků dohromady získat potřebný překryv.

Ze šesti zpracovávaných fotoplánů objektů (4 stěny, nádvoří a vstupní brána) se povedlo až na jeden případ získat fotoplány, které dosahují minimálně stejné, spíše lepší kvality jako fotoplány tvořené v roce 1999-2000. Výjimkou bylo zpracování mozaikové podlahy nádvoří mešity.

Pro zpracování nádvoří bylo k dispozici sice nejvíce geodetiky zaměřených vlícovacích bodů, avšak vzhledem ke špatné kvalitě a nízkému počtu snímků bylo velkým problémem jejich zpracování a následný výpočet modelu i ortofota. Proto výsledek zpracování nádvoří lze považovat za neuspokojivý a dále nevyužitelný. Další snímky detailů vnitřních i vnějších prostor nebo částí vnějších zdí (běžné neomítnuté či částečně omítnuté zdivo) zpracovávány nebyly.



## 9 Seznam obrázků

obr. 1 Případy jednosnímkové fotogrammetrie [1] .....	10
obr. 2 Princip průsekové metody.....	11
obr. 3 Ukázka mapování panoramatické fotografie [2].....	13
obr. 4 Digitální model minaretu vytvořený G. Fangim [2] .....	14
obr. 5 Mapa Starého města v Aleppu (OpenStreetMap) .....	15
obr. 6 Stav mešity v Aleppu na satelitních snímcích v letech 2016 a 2010 (Google Earth) ....	17
obr. 7 Pohled na nádvoří mešity a minaret před zničením [8] .....	18
obr. 8 Pohled na poničenou mešitu bez minaretu [8] .....	18
obr. 9 Réseau mřížka .....	19
obr. 10 Komora Rolleiflex 6006 .....	20
obr. 11 Měřičská komora UMK 10/1318 .....	21
obr. 12 Digitální fotoaparát Olympus C-2000 Z .....	22
obr. 13 Fotoplán nádvoří z roku 2000 .....	23
obr. 14 Vektorový model velké fontány.....	24
obr. 15 Vektorový model celé mešity .....	24
obr. 16 Formulář pro definici použitých kamer .....	27
obr. 17 Nastavení výpočtu pro spojení snímků .....	28
obr. 18 Spojovací body u nádvoří (severozápadní pohled).....	29
obr. 19 Definování vlíčovacích bodů na snímku.....	30
obr. 20 Nastavení parametrů svazkového vyrovnání .....	31
obr. 21 Nastavení výpočtu hustého mračna bodů.....	31
obr. 22 Vypočtené mračno bodů bez úprav (západní zeď) .....	32
obr. 23 Pročištěné mračno bodů (západní zeď).....	32
obr. 24 Nastavení výpočtu polygonové sítě .....	33
obr. 25 Model mesh (západní zeď) .....	33
obr. 26 Nastavení tvorby ortomozaiky .....	34
obr. 27 Tvorba masky snímku.....	35
obr. 28 Ukázka texturovaného modelu.....	36
obr. 29 Ukázka spojených částí modelu v jeden celek.....	36
obr. 30 Mesh model nádvoří .....	38
obr. 31 Ortofoto nádvoří.....	39
	41

obr. 32 Ortofoto severní vstupní brány .....	45
obr. 33 Ortofoto východní stěny .....	46
obr. 34 Ortofoto západní stěny .....	46
obr. 35 Ortofoto severní stěny.....	47
obr. 36 Ortofoto jižní stěny .....	47

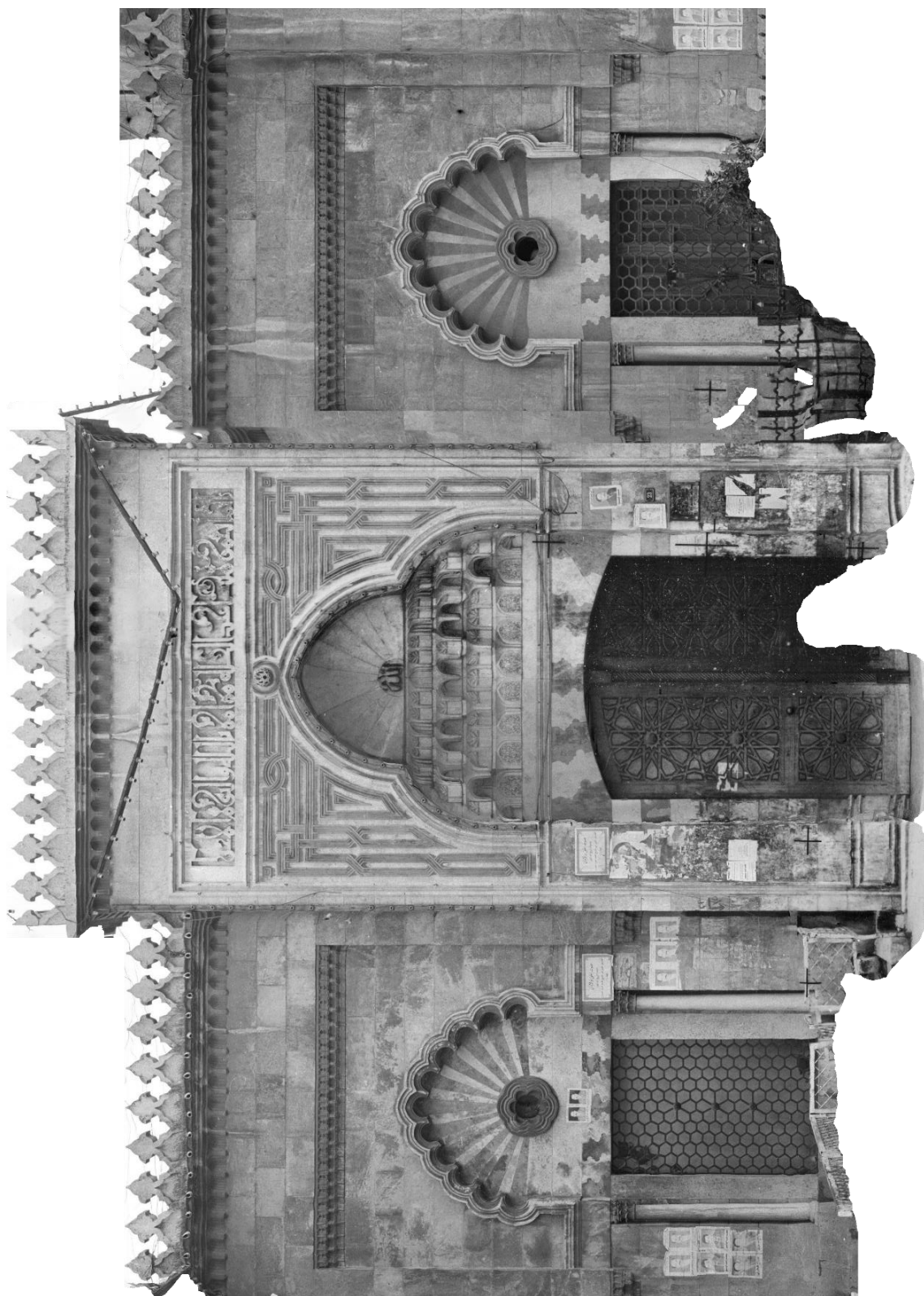
## 10 Seznam tabulek

tab. 1 Počet použitých snímků.....	25
tab. 2 Počet použitých vlíčovacích bodů .....	30
tab. 3 Celkový přehled výpočtů.....	37
tab. 4 Dosažené přesnosti svazkového vyrovnání .....	39

## 11 Použitá literatura

- [1] Hodač, J. Prezentace k předmětu Fotogrammetrie 1. [Online] [Citace: 15.4.2017]  
[http://lfgm.fsv.cvut.cz/~hodac/pedagogika/ftg1-U1\\_prezentace.pdf](http://lfgm.fsv.cvut.cz/~hodac/pedagogika/ftg1-U1_prezentace.pdf)
- [2] Fangi G. - Wahbeh Wissam: The destroyed minaret of the Umayyad mosque of Aleppo, the survey of the original state. European Scientific Journal. 12/2013
- [3] 3DMekanlar.com. [Online] [Citace: 16.4.2017]  
<http://www.3dmekanlar.com/en/aleppo-umayyad-mosque.html>.
- [4] Wikipedia: the free encyclopedia. Aleppo [online]. Poslední editace 29.12.2016 [Citace: 15.5.2017]. <https://cs.wikipedia.org/wiki/Aleppo>
- [5] Maysa H. Diab. Guide To Aleppo. Avicenne Bookshop, Damascus, Syria. 1996
- [6] Alafandi, Rami, - Rahim, Asiah Abdul. Umayyad mosque in Aleppo yesterday, today and tomorrow. International Journal of Arts & Sciences, 2014.
- [7] Wikipedia: the free encyclopedia. Občanská válka v Sýrii [online]. Poslední editace 14.5.2017 [Citace: 15.5.2017] [https://cs.wikipedia.org/wiki/Občanská\\_válka\\_v\\_Sýrii](https://cs.wikipedia.org/wiki/Občanská_válka_v_Sýrii)
- [8] DailyMail.co.uk. [Online] [Citace: 20.4.2017] <http://www.dailymail.co.uk/news/article-2314459/Umayyad-Mosque-Archaeologists-left-horrified-historic-11th-century-minaret-reduced-rubble.html>.
- [9] Pavelka, K. Fotogrammetrie 10. Vyd. 2. přeprac. Praha, ČVUT. 2003.

## 12 Přílohy - výsledné fotoplány



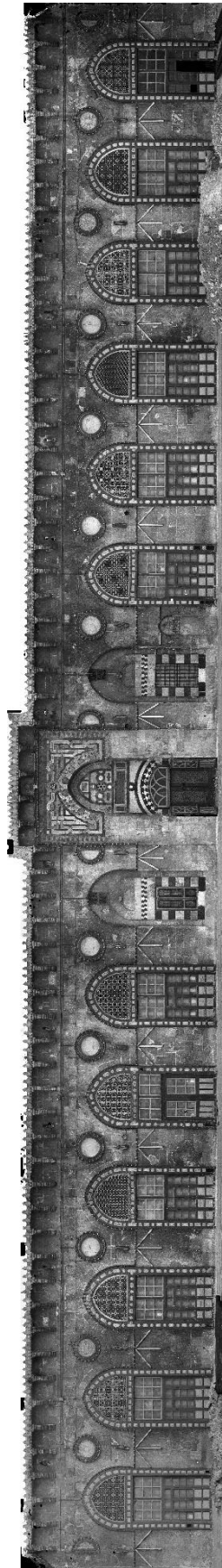
obr. 32 Ortofoto severní vstupní brány



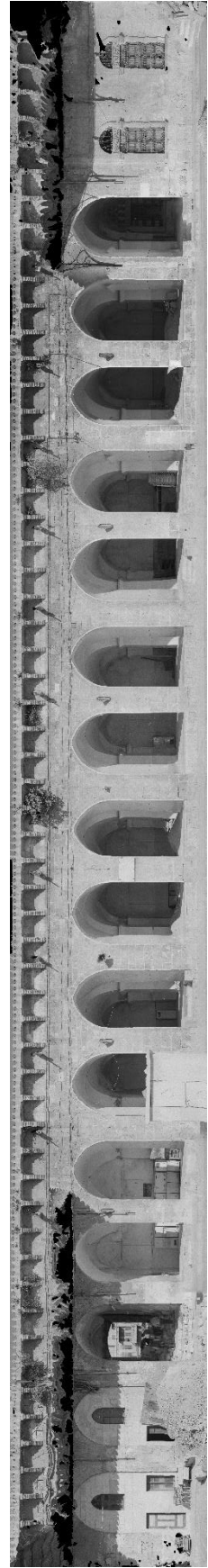
obr. 34 Ortofoto západní stěny



obr. 33 Ortofoto východní stěny



obr. 36 Ortofoto jižní stěny



obr. 35 Ortofoto severní stěny