

# Zrychlení procesů v tvorbě fotogrammetrických assetů

Jan Bartoň

---

Bakalářská práce  
2024

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta multimediálních komunikací

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta multimediálních komunikací  
Ateliér Audiovize

Akademický rok: 2023/2024

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Jan Bartoň  
Osobní číslo: K21231  
Studijní program: B0211P310005 Teorie a praxe audiovizuální tvorby  
Specializace: Vizualní efekty  
Forma studia: Prezenční  
Téma práce: 1. Teoretická část: Zrychlení procesů v tvorbě fotogrammetrických assetů  
2. Praktická část: Významná triková spolupráce na bakalářském filmu (nezbytná délka závislá na náročnosti technologie po konzultaci a schválení Výrobní komisí AAV), nebo VFX na souboru audiovizuálních děl, oficiálně schváleného před odevzdáním Výrobní komisí AAV, ve výstupní kvalitě uvedené ve Výrobní knize AAV, v minimální délce 4 minuty, nebo samostatné audiovizuální dílo založené na využití VFX v délce odpovídající námětu a náročnosti technologie, v minimální délce 3 minuty. Varianta musí být schválena před odevzdáním Výrobní komisí ateliéru Audiovizuální tvorba. viz Zásady pro vypracování

## Zásady pro vypracování

### 1. Teoretická část:

Rozsah práce: minimálně 15 normostran textu bez započítání obsahu, rejstříku a obrazových příloh.

Formální podoba: Jednotná formální úprava teoretické části práce, její uložení a zpřístupnění se řídí aktuální verzí příslušné směrnice rektora. Student odevzdává 1 ks fyzické (tištěné) práce v pevné vazbě. Tištěná verze práce obsahuje originální "Zadání DP/BP" včetně příslušných podpisů a studentem podepsané Prohlášení o původnosti práce. Práce v elektronické podobě obsahuje nascanované "Zadání DP/BP" se všemi formálními náležitostmi a také nepodepsané Prohlášení studenta o původnosti práce. Plný text elektronické verze ve formátu PDF/A a případné přílohy (zkomprimované do jednoho zip souboru) student odevzdá nahráním do IS/STAG a do příslušné složky na NAS-AAV (viz níže).

Pokyny k vypracování: prostudujte a analyzujte dostupné materiály z profesního hlediska a formulujte závěry a získané vědomosti do podoby akademického/odborného textu.

### 2. Praktická část:

Přípustné varianty praktické části:

1) Významná triková spolupráce na bakalářském filmu (nezbytná délka závislá na náročnosti technologie po konzultaci a schválení Výrobní komisí AAV).

2) VFX na souboru audiovizuálních děl, oficiálně schváleného před odevzdáním Výrobní komisí AAV, ve výstupní kvalitě uvedené ve Výrobní knize AAV, v minimální délce 4 minuty.

3) Samostatné audiovizuální dílo založené na využití VFX v délce odpovídající námětu a náročnosti technologie, v minimální délce 3 minuty. Varianta musí být schválena před odevzdáním Výrobní komisí ateliéru Audiovizuální tvorba.

Další požadované materiály praktické části:

a) VFX breakdown ("making-of", "behind-the-scenes") k předloženému audiovizuálnímu dílu. (var. 1, 2, 3).

b) Písemná explikace z pohledu dané specializace. Minimální rozsah 2 normostrany (var. 1, 2, 3).

c) Anotace (var. 1, 2, 3).

d) Storyboard, případně animatik (var. 1, 2, 3).

e) Štábová listina (var. 1, 2).

V případě, že je dílo autorským počinem nebo není součástí praktické části SZS studenta Produkce, je nutné dodržet doložení požadovaných materiálu a-h dle zadání specializace Produkce. Tato data odevzdává za projekt vždy jeden člověk. Nezbytná je konzultace s vedením AAV.

Všechny odevzdávané materiály musí splňovat vnitřní technické normy dle Výrobní knihy AAV pro odevzdávání prací a musí být řádně popsány (jméno, název, logo fakulty, formát, rozlišení). Součástí závěrečné práce je vytištěný a podepsaný formulář "Údaje o bakalářské práci studenta".

### Uložení na NAS:

Ve složce na NAS-AAV, označené "Bakalářská / Magisterská práce" uložte:

1. Teoretickou práci ve formátu PDF/A a případné přílohy (zkomprimované do jednoho zip souboru) dle specifikací výše.

2. Vytvořte podsložku Praktická práce, která bude obsahovat materiály částí a- h. Řádně nazvaný film/absolventské dílo odevzdávejte ve formátech splňujících vnitřní technické normy AAV pro odevzdávání prací.

3. Vytvořte podsložku s názvem Katalog, která bude obsahovat "Podklady pro katalog FMK UTB ve Zlíně": 10 kusů obrazové dokumentace praktické části závěrečné práce pro využití v publikacích FMK. Formát pro bitmapové podklady: JPEG, barevný prostor RGB, rozlišení 300 dpi, 250 mm delší strana. Formáty pro vektory: AI, EPS, PDF. Loga a texty v křivkách. V samostatném textovém souboru uveďte jméno a příjmení, login do portálu UTB, obor (ateliér), typ práce, přesný název práce v češtině i v angličtině, rok obhajoby, osobní e-mail, osobní web, telefon. Přiložte svou osobní fotografii v tiskovém rozlišení.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- ZHANG, C a M MAGA, 2023. An Open-Source Photogrammetry Workflow for Reconstructing 3D Models. *Integrative Organismal Biology* [online]. 5(1) [cit. 2023-10-27]. ISSN 2517-4843. Dostupné z: doi:10.1093/iob/obad024
- GRIWODZ, Carsten et al., 2021. AliceVision Meshroom. *Proceedings of the 12th ACM Multimedia Systems Conference* [online]. New York, NY, USA: ACM, 5(1), 241-247 [cit. 2023-10-27]. ISBN 9781450384346. ISSN 2517-4843. Dostupné z: doi:10.1145/3458305.3478443
- SANCAK, N. et al., 2023. PHOTOGAMMETRIC MODEL OPTIMIZATION IN DIGITALIZATION OF ARCHITECTURAL HERITAGE: YEDIKULE FORTRESS. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* [online]. XLVIII-M-2-2023, 1403-1410 [cit. 2023-10-27]. ISSN 2194-9034. Dostupné z: doi:10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-1403-2023
- GAIANI, Marco et al., 2016. An Advanced Pre-Processing Pipeline to Improve Automated Photogrammetric Reconstructions of Architectural Scenes. *Remote Sensing* [online]. 8(3) [cit. 2023-10-27]. ISSN 2072-4292. Dostupné z: doi:10.3390/rs8030178
- LIU, Suxing et al., 2023. Comparison of open-source three-dimensional reconstruction pipelines for maize-root phenotyping. *The Plant Phenome Journal* [online]. 6(1) [cit. 2023-10-27]. ISSN 2578-2703. Dostupné z: doi:10.1002/ppj2.20068

Vedoucí teoretické části: **MgA. Marcel Legindi**  
Ateliér Audiovize

Vedoucí praktické části: **ak. mal. Boris Masník**  
Ateliér Audiovize

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2024**

---

**MgA. Josef Kocourek, Ph.D.**  
děkan

**MgA. Irena Kocí, Ph.D.**  
vedoucí ateliéru

Ve Zlíně dne 1. prosince 2023

## PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALAŘSKÉ / DIPLOMOVÉ PRÁCE

### Beru na vědomí, že

- bakalářská/diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí,
- na moji bakalářskou/diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3,
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou/diplomovou práci - nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- pokud bylo k vypracování bakalářské/diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské/diplomové práce využít ke komerčním účelům,
- pokud je výstupem bakalářské/diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### Prohlašuji, že:

- jsem na bakalářské/diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně dne: .....

Jméno a příjmení studenta: .....

.....  
podpis studenta

## ABSTRAKT

Tato práce se zabývá zrychlením tvorby fotogrammetrických assetů a ústředním prostředkem tohoto záměru je automatizace. V rámci této práce vznikl prototyp programu, který automatizuje jednotlivé fáze postupu a na kterém byl tento koncept otestován. Snaží se zjistit, jakého zrychlení lze dosáhnout v porovnání s manuální výrobou člověkem, a to v kontextu výroby jak jednoho assetu, tak většího množství assetů. Použity byly softwary Darktable, Meshroom a Blender. Jejich propojení bylo dosaženo použitím skriptu, ovládaného UI programů v kombinaci s interními možnostmi Blenderu. V projektové části je změřen časový rozdíl mezi postupem vykonaným člověkem a stejným postupem vykonaným automatizačním nástrojem. Postup v obou případech směřuje k co nejpodobnějšímu výslednému produktu co do kvality. Měření potvrzuje užitečnost automatizace, pokud tvoříme větší množství assetů, protože zredukuje lidský vstup nebo jej soustředí na počátek spuštění automatizované výroby, která pak může bez přestávky fungovat. Hlavní snahou bylo zjistit, jaké přinese výsledky automatizace rutinních kroků v procesu tvorby assetu pomocí fotogrammetrie.

**Klíčová slova:** fotogrammetrie, automatizace, fotogrammetrický asset, automatizovaná výroba, automatizovaný fotogrammetrický postup, open-source

## **ABSTRACT**

This work focuses on speeding up the creation of photogrammetric assets, with the central means of achieving this being automation. As part of this work, a prototype program was developed to automate the individual stages of the process, and this concept was tested on it. The aim is to determine the acceleration compared to manual creation by a human, both for the production of a single asset and for a larger quantity of assets. The software tools Darktable, Meshroom, and Blender were used. Their integration was achieved using script-controlled UI programs in combination with Blender's internal capabilities. In the project section, the time difference between the process performed by a human and the same process performed by the automation tool is measured. The process in both cases aims to achieve a similar quality in the final product. The measurements confirm the usefulness of automation when creating a larger number of assets because it reduces human input or concentrates it at the beginning of the automated production, which can then run continuously without interruption. The main goal was to determine the results of automating routine steps in the process of creating assets using photogrammetry.

**Keywords:** photogrammetry, automation, photogrammetric asset, automated production, automated photogrammetric process, open-source

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.



## OBSAH

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>7</b>
<b>2. VÝROBA FOTOGRAMMETRICKÉHO ASSETU</b> .....	<b>8</b>
2.1 Vymezení problematiky fotogrammetrických 3D assetů .....	8
2.2 Snímání objektu.....	8
2.3 Úprava fotografií .....	8
2.4 Fotogrammetrická rekonstrukce.....	9
2.5 Úprava fotogrammetrického modelu.....	10
2.5.1 Ořez modelu .....	10
2.5.2 Zjednodušení geometrie a UV.....	10
2.5.3 Zapečení textur .....	10
2.6 Automatizace postupu .....	11
<b>3. METODIKA</b> .....	<b>13</b>
3.1 Účel programu.....	13
3.2 Funkce programu.....	13
3.3 Technické řešení programu.....	13
3.4 Důvod volby softwaru Meshroom.....	14
3.5 Důvod volby softwaru Blender .....	14
3.6 Důvod volby softwaru Darktable .....	14
3.7 Nástroj Image Preparer .....	14
3.8 Použitá technika .....	14
3.9 Pracovní postup s použitím Scaneditu.....	14
3.9.1 Instalace ScanEdit.exe a image_preparer.exe .....	14
3.9.2 Příprava fotografií v programu Darktable.....	16
3.9.3 Roztřídění fotek .....	16
<b>4. INTERNÍ FUNGOVÁNÍ SCANEDITU</b> .....	<b>19</b>
4.1 Hlavní fáze.....	19
4.2 Importový systém .....	19
4.3 Preset pro Meshroom.....	20
4.4 Optimalizace fotogrammetrického modelu v Blenderu.....	21
4.4.1 Import z Meshroomu .....	21
4.4.2 Ořezový systém .....	21
4.4.3 Zjednodušení geometrie.....	22
4.4.4 Unwrapping.....	23
4.4.5 Zapékání textur .....	24
4.4.6 Základní materiál.....	24
<b>5. MĚŘENÍ</b> .....	<b>25</b>
5.1 Hodnocení efektivity programu .....	25
5.1.1 Rychlost .....	25

Okomentoval(a): [1]: Vyřešit obsah, včetně čísel stránek, čísel kapitol a názvů.

5.1.2 Kvalita.....	27
5.1.3 Možnosti dalšího vývoje .....	29
<b>6. ZÁVĚR.....</b>	<b>30</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>31</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>32</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>33</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>34</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>35</b>

## 1. ÚVOD

Mým hlavním cílem bylo zjednodušit a zároveň zrychlit proces tvorby fotogrammetrických assetů. Výsledný produkt je zaměřen na freelancery, kteří vyhledávají specificky neplacenou ale schopnou workflow, a proto jsem se rozhodl použít postup, který využívá pouze zdarma dostupné programy, konkrétně Darktable, Meshroom a Blender. Jedním z klíčových faktorů výběru byla schopnost programu Meshroom dosáhnout podobné kvality rekonstrukce<sup>1</sup> jako průmyslový standard Reality Capture, avšak s tímto rozdílem, že Meshroom vytváří modely mnohem pomaleji (několikanásobně pomaleji než Reality Capture<sup>2</sup>). Proto jsem se rozhodl vytvořit prototyp aplikace, která by umožnila lépe využít čas tím, že proces zautomatizuje a bude schopna spouštět více skenů po sobě.

Výsledky z Meshroomu byly optimalizovány tak, aby vyhovovaly požadavkům produkce (mé osobní požadavky subjektivní) a vyžadovaly co nejméně manuálních úprav. I když kvalita modelů je důležitá, primárně jsem se zaměřil na rychlost a kvantitu. Pokud chceme vytvořit celé virtuální prostředí pomocí fotogrammetrických assetů, nabízí se automatizace jako funkční nástroj pro dosažení tohoto cíle.

V teoretické části je stručně popsán běžný postup v tvorbě fotogrammetrického assetu z něhož v projektové části vycházím. V praktické části popisují přesný postup výroby s použitím automatizačních nástrojů a následně srovnávám rychlost tohoto přístupu s manuální výrobou.

---

<sup>1</sup> Vycházím ze srovnání vlastních modelů s výsledky z Reality Capture. Platí v případě konkrétního nastavení Meshroomu popsaného dále.

<sup>2</sup> TABEAUD, Jérôme, 2023. *Which photogrammetry tool is the best ? (3DF Zephyr, Metashape, Reality Capture, Meshroom)*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=udXQHys50aA>. [cit. 2024-05-15].

## 2. VÝROBA FOTOGRAMMETRICKÉHO ASSETU

### 2.1 Vymezení problematiky fotogrammetrických 3D assetů

Fotogrammetrie je technologie, která umožňuje automatizovanou tvorbu otexturovaného virtuálního 3D modelu ze série fotografií objektu, pořízených z mnoha různých úhlů. Fotografie zaznamenávají 3D prostor ve 2D a fotogrammetrie tento proces obrací.<sup>3</sup> Je to velmi populární postup výroby fotorealistických textur a modelů pro jeho relativní jednoduchost a rychlost, zvláště v porovnání s tradičními metodami.<sup>4</sup> Využívá se ve VFX, herním průmyslu, geografii, architektuře a v mnoha dalších oblastech.

### 2.2 Snímání objektu

Sběr dat je klíčovým prvkem ve fotogrammetrii. Požadovaný objekt je nasnímán ať už videem, nebo sérií fotek tak, aby byly, pokud možno, všechny části objektu zaznamenány více než jednou fotografií. (Video je konvertováno na sekvenci fotografií.) Pokud víme, že v kontextu použití potřebujeme pouze část, můžeme nasnímat ji a zbytek opomenout. Je však dobré mít na paměti, že opětovné vrácení se na místo, kde se objekt zájmu nachází (pokud zjistíme, že nemáme dostatek dat pro jeho úspěšnou rekonstrukci) může být finančně i časově náročné, a proto je lepší mít spíše moc dat a nevyužít je než jich mít málo. Vyplácí se vybrat lokaci, kde bude možné vytvořit více různých datasetů, abychom ušetřili čas a prostředky.<sup>5</sup> Samotným snímáním se tato práce blíže nezabývá.

### 2.3 Úprava fotografií

Před rekonstrukcí je u fotografií třeba vyvážit bílou a konvertovat do vhodného lineárního formátu, abychom získali správná data pro textury. Unity manuál uvádí postup, ve kterém je vyvážení

<sup>3</sup>AliceVision | *Photogrammetric Computer Vision Framework*, [cca 2013]. Online. Alice Vision. Dostupné z: <https://alicevision.org/#photogrammetry/>. [cit. 2024-01-25].

<sup>4</sup>STATHAM, Nataska; FRIDENFALK, Mikael a JACOB, João. Photogrammetry for Game Environments 2014-2019: What Happened Since The Vanishing of Ethan Carter. Online. Roč. 2020, s. 1-20. Dostupné z: <https://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1498677/FULLTEXT01.pdf>. [cit. 2024-01-27].

<sup>5</sup>LACHAMBRE, Sébastien; LEGARDE, Sébastien a JOVER, Cyril, 2017. Unity Photogrammetry Workflow. Online. Roč. 2017, s. 1-96. Dostupné z: [https://unity3d.com/files/solutions/photogrammetry/Unity-Photogrammetry-Workflow\\_2017-07\\_v2.pdf](https://unity3d.com/files/solutions/photogrammetry/Unity-Photogrammetry-Workflow_2017-07_v2.pdf). [cit. 2024-01-27].

bílé dosaženo pomocí referenční tabulky a aplikováno na TIFF soubory v 32bitové hloubce. Následně jsou fotografie konvertovány na 8-bit TIFF.<sup>6</sup>

## 2.4 Fotogrammetrická rekonstrukce

Sekvence fotografií jsou importovány do fotogrammetrického softwaru (např. Meshroom, Reality Capture, Agisoft Metashape atp.). Ty mají principiálně podobný postup, avšak výsledky i rychlost jsou rozdílné. Zde ve zkratce popíšu postup, který vychází z Meshroomu.

Nejdříve jsou v jednotlivých obrázcích detekovány distinktivní body, podle kterých je Meshroom schopen určit páry fotografií vyfocených z podobného úhlu. Pomocí triangulace lze vypočítat jak pozici bodů v prostoru, tak pozici a úhel kamery. Výsledkem je takzvaný point cloud – shluk bodů v prostoru, který odpovídá tvarem skenovanému objektu a správně umístěné kameře v prostoru (jedna fotografie = jedna kamera). V dalším kroku Meshroom kalkuluje depth mapu, tedy vzdálenost jednotlivých pixelů ve fotografiích od kamery (to zabere dost času v porovnání s ostatními kroky). Následně je ze známých dat vytvořen 3D model s UV mapou. Textura je pak vypočítána na základě průměru promítnutých fotografií na model<sup>7</sup>

Meshroom umožňuje k jednotlivým segmentům přistupovat jak modulárně, tak jako k celku a pracovat až s finálním modelem.

---

<sup>6</sup>LACHAMBRE, Sébastien; LEGARDE, Sébastien a JOVER, Cyril, 2017. Unity Photogrammetry Workflow. Online. Roč. 2017, s. 1-96. Dostupné z: [https://unity3d.com/files/solutions/photogrammetry/Unity-Photogrammetry-Workflow\\_2017-07\\_v2.pdf](https://unity3d.com/files/solutions/photogrammetry/Unity-Photogrammetry-Workflow_2017-07_v2.pdf). [cit. 2024-01-27].

<sup>7</sup>AliceVision | Photogrammetric Computer Vision Framework, [cca 2013]. Online. Alice Vision. Dostupné z: <https://alicevision.org/#photogrammetry/>. [cit. 2024-01-25].

## 2.5 Úprava fotogrammetrického modelu

Neupravený model sice je možné zobrazit a renderovat, ale je příliš náročný na grafiku, aby bylo možné z takových modelů postavit celé prostředí. Proto jsou na něm prováděny optimalizační úpravy.

### 2.5.1 Ořez modelu

Krom skenovaného objektu fotogrammetrie rekonstruuje i prostředí kolem něj, které nepotřebujeme. V Meshroomu existuje funkce v rámci nodu Meshing, která umožňuje uživateli ohraničit point cloud pomocí boxu a smazat vše co je vně.<sup>8</sup> Potřebujeme-li vybrat objekt přesněji (v případě Meshroomu), musíme použít externí software.

### 2.5.2 Zjednodušení geometrie a UV

Počet polygonů nezpracovaných modelů se pohybuje v řádu milionů<sup>9</sup>, a proto je potřeba geometrii redukovat. Toho můžeme dosáhnout buď automatickým decimováním (v Meshroomu

---

<sup>8</sup> Photoscanning 100% Free: Complete Meshroom Tutorial | Photogrammetry Course, 2022. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=j3lhPKF8qjU&t=11s>. [cit. 2024-05-15].

<sup>9</sup> TABEAUD, Jérôme, 2023. *Which photogrammetry tool is the best ? (3DF Zephyr, Metashape, Reality Capture, Meshroom)*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=udXQHys50aA>. [cit. 2024-05-15].

můžeme použít nod Mesh Decimate<sup>10</sup>), nebo ruční retopologii. Jelikož dochází ke změně geometrie modelu, musíme vytvořit i novou odpovídající UV mapu.

### 2.5.3 Zapečení textur

Z fotogrammetrického modelu zapékáme textury ambient occlusion, normal mapu a případně height mapu na zjednodušený model.<sup>11</sup> Ostatní textury, jako je roughness, specular nebo metalness, můžeme obstarat pomocí ručních úprav albeda.

## 2.6 Automatizace postupu

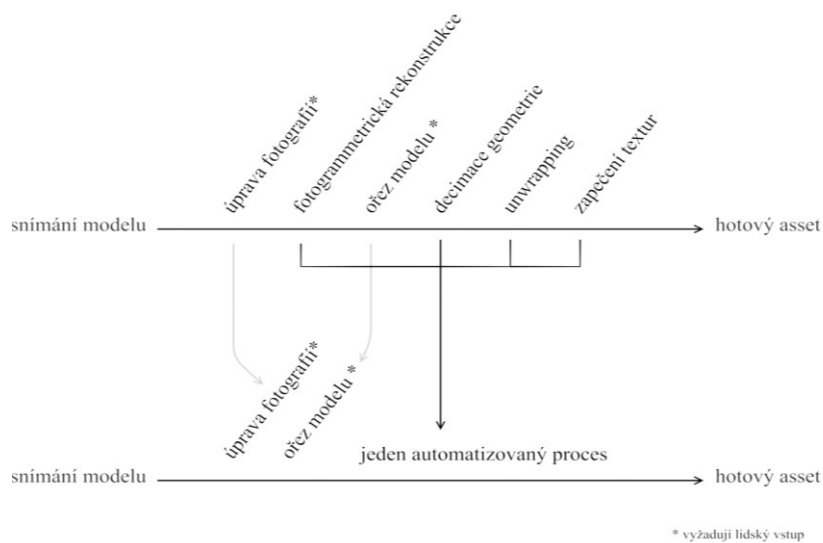
Mnohé z výše zmíněných fází totiž vyžadují nejprve manuální úkon a potom čas na výpočet, kdy uživatel čeká, než počítač splní zadaný úkol. To platí především pro vlastní rekonstrukci skenu, zjednodušení geometrie pomocí decimace a zapečení textur. Proto jsem se zamýšlel nad tím, jaký vliv na rychlost by mělo zautomatizování všech úkonů v jeden celek, který nevyžaduje lidskou interakci? Jak by zrychlil výrobu program nebo nástroj, který by přijal jako vstup sekvenci fotografií a výstupem by byl hotový model, připravený k použití?

V rámci této hypotézy jsem se zamýšlel nad automatizovatelností jednotlivých kroků, viz obr. 1. Schéma ukazuje plán, jakým způsobem jsem k automatizaci přistupoval. Úprava fotek spolu s ořezem modelu předchází automatizované části, protože vyžadují lidskou supervizi více než ostatní fáze a jejich automatizace je mnohem náročnější než u zbytku. Ořez modelu před fotogrammetrickou rekonstrukcí probíhá tak, že uživatel vytvoří černobílou masku, která slouží jako

<sup>10</sup> Tamtéž jako pozn. 8.

<sup>11</sup> SANCÁK, N.; UZUN, F.; TURHAN, K.; SARAOĞLU YUMNI, H. K. a ÖZER, D. G., 2023. PHOTGRAMMETRIC MODEL OPTIMIZATION IN DIGITALIZATION OF ARCHITECTURAL HERITAGE: YEDIKULE FORTRESS. Online. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Roč. XLVIII-M-2-2023, s. 1403-1410. ISSN 2194-9034. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-1403-2023>. [cit. 2024-01-27].

výběr v automatizovaném procesu. Mojí snahou je soustředit manuální práci před automatizovaný proces, aby se uživatel vyhnul čekání na dříve výpočty.



Obr. 1. Schéma automatizace kroků

Fotogrammetrická rekonstrukce je v rámci Meshroomu již sama o sobě automatická, takže vyžaduje pouze import dat, spuštění a export dat. Pro ostatní akce (decimace, zapékání textur a unwrapping) jsou již vyvinuty algoritmy v rámci Blenderu. Automatizace tedy spočívá v seřazení již existujících funkcí a jejich nastavení v jeden koherentní celek. Další otázkou je, jaký bude mít vliv na rychlost výroby vytvoření fronty skenů, které budou spouštěny ihned po sobě.



### 3. METODIKA

#### 3.1 Účel programu

Program s pracovním názvem Scanedit, který vznikl v rámci této práce, má na prvním místě urychlit proces tvorby fotogrammetrického 3D assetu. Hlavní metodou je automatizace již funkční workflow, která vychází z mého osobního pracovního postupu. Jde o prototyp, na kterém budou otestovány výše zmíněné koncepty celistvého automatizovaného procesu a fronty skenů.

#### 3.2 Funkce programu

Importováním sekvence fotografií (případně ořezových masek) do určené složky se spustí řetězec akcí na jehož konci stojí polotovár assetu s optimalizovanou geometrií a zabezpečenými texturami v odpovídající UV mapě. Vytváří dvě různě detailní verze modelu (LOD), pro použití v popředí, nebo v pozadí, které se liší jak geometrií, tak rozlišením textur. Poté vytváří přednastavený materiál, který odvozuje Roughness a Specular mapu z Albedo textury na základě její světlosti.

#### 3.3 Technické řešení programu

Je nutné zmínit, že program využívá knihovnu PyAutoGUI, která slouží k vyhledávání screenshotů na obrazovce, simulaci pohybu myši, klávesových zkratk atp. Tímto způsobem dosahuje automatizace např. programy a simuluje lidský vstup. Snažil jsem se tuto knihovnu využívat co nejméně, jelikož spoléhá na uživatelské rozhraní, které kvůli své proměnlivosti není příliš spolehlivé. Z tohoto důvodu je pro replikovatelnost nezbytné mít rozlišení monitoru  $1920 \times 1080$  px., operační systém Windows 10 a výchozí režim aplikací světlý (toto lze nastavit když stiskneme win+R a zadáme „ms-settings:color“). Dále Blender musí mít základní přednastavení UI – „Blender Dark“.

Program se skládá ze dvou částí. Jedna část je spustitelný soubor Scanedit.exe, který je uložen ve stejné složce add-on Scanedit pro Blender. Navzájem spolu komunikují a vycházejí z jednoho souboru, který obsahuje všechny důležité informace o aktuálním skenu. Důvodem tohoto rozdělení je možnost vytvoření vlastní UI a snadný import externích knihoven pro Python (celý program je napsán v programovacím jazyce Python). Procesy v Blenderu (krom ořezu modelu) zase spoléhají na Blender API.

### 3.4 Důvod volby softwaru Meshroom

Meshroom je známý mezi umělci na volné noze pro kvalitu výsledků a dostupnost (zdarma). Různí weboví lektoři zmiňují Meshroom ve svých tutoriálech a je těžké se s tímto softwarem neseťkat v kontextu neplacených fotogrammetrických programů. Jediným silným nedostatkem je jeho rychlost v porovnání s ostatními softwary. Nicméně jeho dostupnost a popularita při mém rozhodování hrála významnější roli.

### 3.5 Důvod volby softwaru Blender

Blender je open-source program, který nabízí všechny nástroje k optimalizaci fotogrammetrického modelu. Mezi neplacenými 3D softwary je jednoznačně nejznámější.

### 3.6 Důvod volby softwaru Darktable

Opět zde byla hlavním kritériem dostupnost. Nabízí všechny potřebné nástroje k úpravě fotografií. V momentální verzi však není plně do prototypu implementován.

### 3.7 Nástroj Image Preparer

Pro rychlejší přípravu fotografií jsem vytvořil tento nástroj. Primárně slouží ke třídění fotografií, jejich přejmenování a tak podobně. Dalším důvodem pro vznik tohoto nástroje je fakt, že ScanEdit předpokládá konkrétní formu importovaných dat a ruční nastavení by mohlo vést k chybám.

### 3.8 Použitá technika

Ke snímání byl použit fotoaparát Canon 250D, objektiv Canon efs 18-55mm macro 0.25m/0.8ft. Ukládal jsem do formátu cRaw 6024 × 4020p. Počítač je vybaven procesorem Intel(R) Core(TM) i5-6400 CPU @ 2.70GHz, 2.71 GHz, 32,0 GB nainstalované paměti RAM a grafickou kartou GeForce RTX 2060 SUPER.

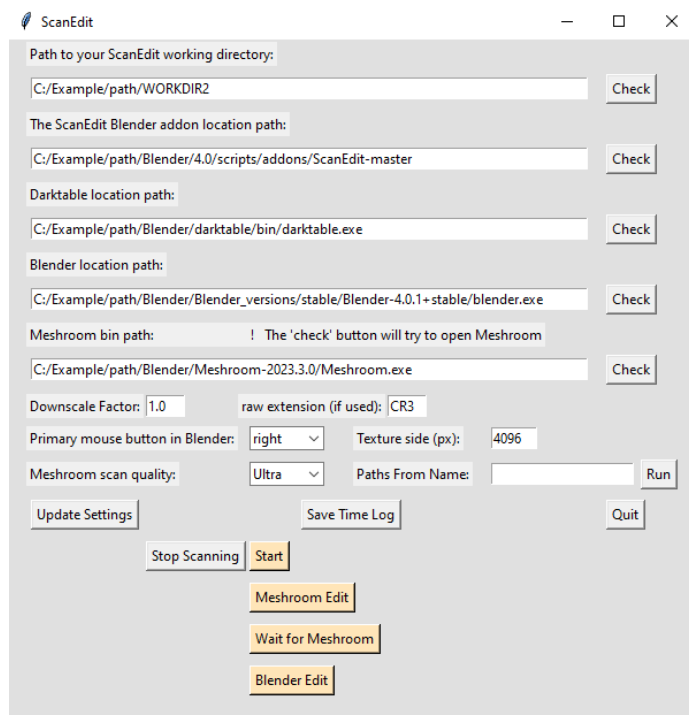
### 3.9 Pracovní postup s použitím Scaneditu

#### 3.9.1 Instalace ScanEdit.exe a image\_preparer.exe

Nejdříve zkopírujeme složku Scanedit-master do složky s add-ony v Blenderu (př.: „C:/Example/path/Blender/4.0/scripts/addons/“). Blender by jej měl v tuto chvíli sám zaregistrovat jako add-on. Nyní spustíme Scanedit.exe, který se nachází ve stejné složce jako add-on. Do polí musíme vyplnit cesty se kterými Scanedit pracuje. V prvním poli nastavujeme složku, ve které budou uložena veškerá data Meshroomu i výsledný export do Blenderu. Dále nastavíme místo, kde je v

počítači uložený Meshroom.exe a blender.exe. Verze Meshroomu musí být 2023.3.0, jinak nastane problém s načtením presetu. Verze Blenderu je v ideálním případě 4.0.1. (Není vyloučeno, že program bude fungovat správně i v jiných verzích 4+, ale nedoporučuji to). Darktable nemusíme vyplňovat,

pole zde zbylo po různých testech. Poté, co máme vyplněná všechna potřebná pole, stiskneme Update Settings.



Obr. 2. Uživatelské prostředí programu Scanedit

**image\_preparer.exe** se při spuštění zeptá na lokaci `settings_uni.json`, který se nachází ve stejné složce jako `ScanEdit.exe`. Musíme jej lokalizovat, aby oba programy byly synchronizovány a správně spolu komunikovaly.

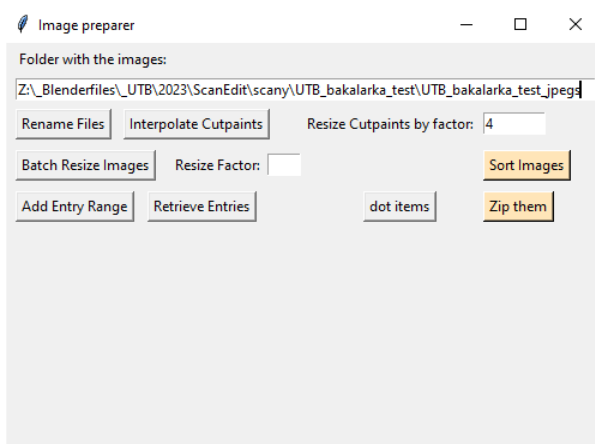
### 3.9.2 Příprava fotografií v programu Darktable

Fotografie jsem fotil do cRaw formátu. Sekvenci jsem importoval do Darktable, kde jsem aplikoval denoise (profilovaný) a odstranění chromatické aberace. Snížil jsem kontrast pomocí „shadows and

highlights“, abych snížil rozdíl mezi světlem a stínem. Upravené fotografie jsem následně exportoval ve formátu jpeg 8-bit.

### 3.9.3 Roztřídění fotek

Pomocí Image preparer programu jsem přejmenoval soubory stisknutím „Rename Files“ (obr 3. a 4.).

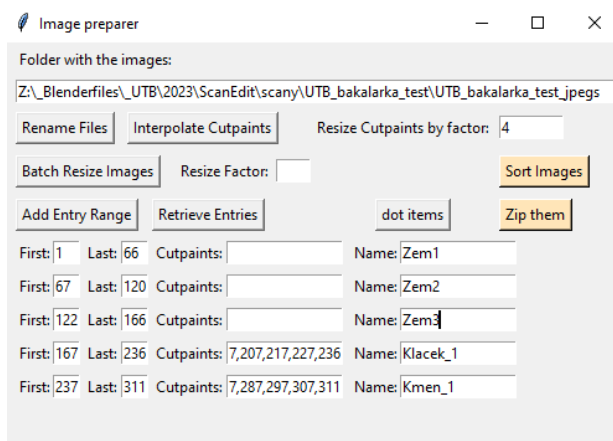


Obr. 3. Uživatelské prostředí programu Image Preparer

IMG_4182.jpg	07.10.2020 16:25	Soubor JPG	24 955 kB	1.jpg	07.10.2020 16:25	Soubor JPG	24 955 kB
IMG_4183.jpg	07.10.2020 16:25	Soubor JPG	25 128 kB	2.jpg	07.10.2020 16:25	Soubor JPG	25 128 kB
IMG_4184.jpg	07.10.2020 16:25	Soubor JPG	24 920 kB	3.jpg	07.10.2020 16:25	Soubor JPG	24 920 kB
IMG_4185.jpg	07.10.2020 16:25	Soubor JPG	25 308 kB	4.jpg	07.10.2020 16:25	Soubor JPG	25 308 kB
IMG_4186.jpg	07.10.2020 16:25	Soubor JPG	25 002 kB	5.jpg	07.10.2020 16:25	Soubor JPG	25 002 kB
IMG_4187.jpg	07.10.2020 16:25	Soubor JPG	24 920 kB	6.jpg	07.10.2020 16:25	Soubor JPG	24 920 kB
IMG_4188.jpg	07.10.2020 16:25	Soubor JPG	24 919 kB	7.jpg	07.10.2020 16:25	Soubor JPG	24 919 kB
IMG_4189.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	24 932 kB	8.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	24 932 kB
IMG_4190.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	25 262 kB	9.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	25 262 kB
IMG_4191.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	24 896 kB	10.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	24 896 kB
IMG_4192.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	24 620 kB	11.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	24 620 kB
IMG_4193.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	24 631 kB	12.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	24 631 kB
IMG_4194.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	24 216 kB	13.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	24 216 kB
IMG_4195.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	24 183 kB	14.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	24 183 kB
IMG_4196.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	24 183 kB	15.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	24 183 kB
IMG_4197.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	24 240 kB	16.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	24 240 kB
IMG_4198.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	24 174 kB	17.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	24 174 kB
IMG_4199.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	24 139 kB	18.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	24 139 kB
IMG_4200.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	24 072 kB	19.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	24 072 kB
IMG_4201.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	23 666 kB	20.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	23 666 kB
IMG_4202.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	23 453 kB	21.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	23 453 kB
IMG_4203.png	07.10.2020 16:26	Soubor PNG	21 677 kB	22.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	23 672 kB
				23.jpg	07.10.2020 16:26	Soubor JPG	23 721 kB
				24.jpg	07.10.2020 16:27	Soubor JPG	23 729 kB
				25.jpg	07.10.2020 16:27	Soubor JPG	23 891 kB

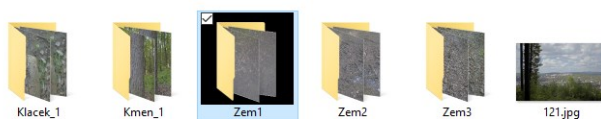
Obr. 4. Přejmenování souborů

Image preparer třídí fotky podle jejich čísla. Pomocí „Add Entry Range“ vytvářím nové sekvence, ve kterých definuji, kterou fotografií začínají, kterou končí a které fotografie chci použít pro maskování.



Obr. 5. Roztřídění souborů v programu Image Preparer

Když mám výběr připravený, stisknu „Sort Images“ a soubory jsou roztříděny do složek (obr. 6).



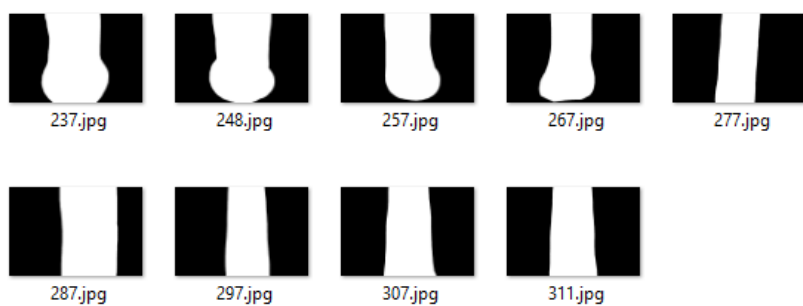
Obr. 6. Roztříděné soubory

Po roztřídění přichází na řadu vytvoření ořezových masek. K tomuto lze použít víceméně jakýkoliv software. Důležité je začernit to, co chceme smazat, a bíle vybarvit objekt, který chceme ponechat.

Masky jsem vytvořil v softwaru Krita. Na obr. 7 můžeme vidět v 53 % krytí a na obr. 8 vidíme, jak vypadají hotové masky pro jeden sken.



Obr. 7. Malba masky v Kritě



Obr. 8. hotové masky

## 4. INTERNÍ FUNGOVÁNÍ SCANEDITU

Nyní je potřeba ve working directory vytvořit složku „Import“ a potom stisknout tlačítko „Zip them“. Image preparer pak automaticky zkopíruje a zabalí vytvořené rozříděné fotografie do této složky. V tento moment máme již vše připraveno pro spuštění vlastního výpočtu skenů pomocí tlačítka „start“ v programu ScanEdit.

### 4.1 Hlavní fáze

Pro snadnější práci a lepší podmínky pro testování jsem proces rozdělil do čtyř částí. Výhodou je, že se dají spouštět jednotlivě a pokud v některé z nich automatizace zklame, je možné tak do procesu vstoupit.

**Start.** Pokud se ve složce Import objeví fotogrammetrický dataset, je spuštěno rozřazení fotografií do interní hierarchie složek.

**Spuštění akcí v programu Meshroom.** Fotografie jsou importovány do programu Meshroom, je načten preset podle volby, projekt je uložen na určené místo v hierarchii složek a je spuštěn proces skenování.

**Kontrola, zda je Meshroom hotov.** Program začne ve smyčce kontrolovat, jestli je Meshroom hotov se svou prací. Pakliže zjistí, že ano, řetězec pokračuje. Můžeme tedy spustit sken manuálně a změnit nastavení Meshroomu.

**Spuštění optimalizace modelu v Blenderu.** Zavře program Meshroom, otevře Blender a spustí procesy optimalizace modelu.

Scanedit důrazně spoléhá na hierarchii složek, kterou vytváří v první fázi. Potřebujeme-li zasáhnout do určitého skenu, musíme zadat jeho jméno do pole „Paths From Name“ a potom stisknout tlačítko „Run“ (viz obr. 2), jinak bude Scanedit pracovat s posledním vytvořeným skenem.

### 4.2 Importový systém

Při nastavení programu vyplňujeme pole „working directory“ (obr. 2). V základu obsahuje pouze dvě složky, a to Import a Export. Datasetsy jsou importovány (v komprimované formě – .zip) vložením do složky Import.



Program očekává, že .zip adresář bude obsahovat fotografie pojmenované jako po sobě jdoucí celá čísla (1, 2, 3, 4..., nemusí začínat jedničkou) Zip adresář je pak pojmenovaný tak, jak bychom sken pojmenovali (např. kámen, zed', kmen atp.). Zároveň může obsahovat složku s maskami, pojmenovanou „cutpaint“. Masky jsou v tomto případě .jpeg nebo .png soubory. Jsou pojmenovány tak, aby jejich číslo odpovídalo číslu fotografie, ke které náleží. Tyto jsou později použity pro ořez modelu. Pokud použijeme Image\_preparer, nemusíme se starat o tyto konvence pojmenování souborů nebo způsob užití ořezových masek. Program vybere dataset a rozbalí a rozřadí jej správně tak, aby s ním Scenedit správně pracoval.

### 4.3 Preset pro Meshroom

Na rozdíl od Gleba Alexandrova<sup>12</sup>, který mě seznámil se softwary Meshroom a Darktable, přistupuji ke spuštění kalkulace nodů v Meshroomu jako k celku. Mým cílem bylo vytvořit co nejuniverzálnější nastavení a postupným testováním jsem zjistil, že klíčovými nody pro moji workflow jsou tyto tři:

**Depth Map** nod zjišťuje hloubku všech pixelů v dané fotografii ve vztahu ke kameře.

Položka „downscale“ určuje, jakým faktorem bude vyděleno rozlišení fotografií. Možné hodnoty jsou 1, 2, 4, 8, 16. Při použití nastavení 1, bude použito originální rozlišení, při použití 2 – poloviční, 4 – čtvrtinové atd. Přesto, že nastavení downscale faktoru na 1 je výpočetně a časově nejnáročnější, ukázalo se být klíčovým pro výsledný detail modelu. Jestliže je potom detail zapečen do textury, vyplácí se na něj počkat.

**Texturing** nod má také parametr downscale a podobně jako u Depth Map nodu jsem podle zkušenosti usoudil, že pro nejkvalitnější výsledek je nejlepší nastavit tento parametr na 1.

**Export Animated Camera.** Tento nod slouží k exportování kamery ve formátu .abc.

Blender čte později data tohoto nodu a díky němu může projektovat ořezové masky na model.

---

<sup>12</sup>Photoscanning 100% Free: Complete Meshroom Tutorial | Photogrammetry Course, 2022. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=j3lhPKF8qjU&t=11s>. [cit. 2024-05-15].

## 4.4 Optimalizace fotogrammetrického modelu v Blenderu

### 4.4.1 Import z Meshroomu

Jakmile je sken dokončen, jsou data importována do Blenderu. Formát dat z Meshroomu může být zvolen podle potřeby a závisí na presetu, který je použit. V mém případě používám vlastní preset, který generuje .obj soubor pro geometrii a .mtl pro materiál. Kromě objektu je však také importována kamera (ve formátu .abc), která slouží k ořezu modelu. Presety jsou uloženy ve složce s add-onem pro Blender a lze je libovolně modifikovat. Je potřeba dbát na to, aby exportovaly kameru a vytvářely model pomocí Texturing nodu.

### 4.4.2 Ořezový systém

Poloha kamery vůči modelu vyplývá z rekonstrukce modelu v Meshroomu. Názvy fotografií (a tedy i polohy kamer) a názvy ořezových masek jsou synchronizovány, což umožňuje projekci masek směrem od kamery na importovaný model. Bílá místa jsou zachována a černá smazána. V posledním kroku je smazáno vše, co není připojeno k našemu vybranému modelu.



Obr. 9. Masky v prostoru. Tmavé části vizualizují označené části modelu

#### 4.4.3 Zjednodušení geometrie

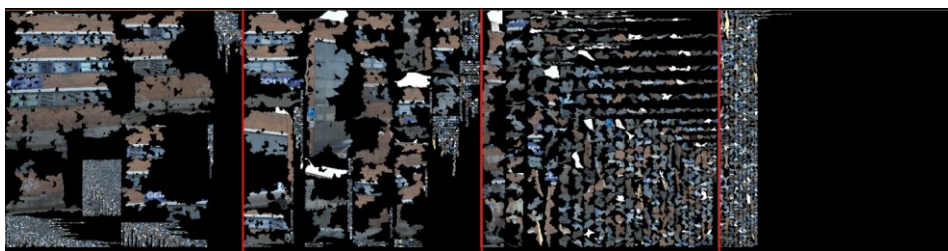
Geometrie modelu je zjednodušena pomocí skriptu pro Blender, který využívá modifikátor Decimate. Jsou vytvořeny dva modely – jeden složitější, aby měl dostatečný detail při použití blíže u kamery, a druhý méně detailní pro použití v pozadí. Složitější má zhruba 1/50 původních polygonů a jednodušší má přibližně 1/166 původních polygonů.



Obr. 10. Upravená topologie. Model vpravo je určen pro popředí a model vlevo pro pozadí

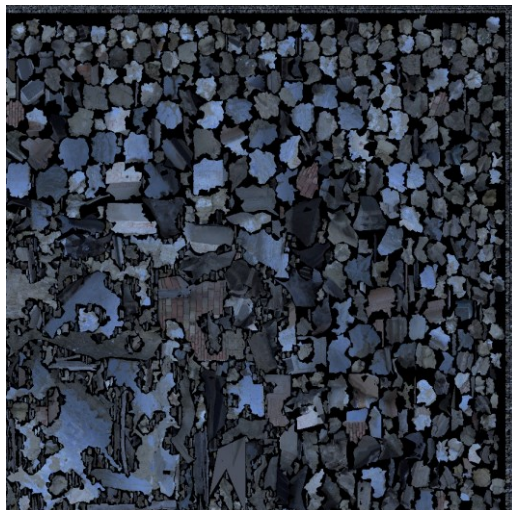
#### 4.4.4 Unwrapping

Unwrapping systém z Meshroomu generuje několik textur do UDIM, jejichž prostor je neefektivně využit, viz obr. 11 (ze čtvrté textury zleva je využita přibližně jedna šestina).



Obr. 11. Příklad nevyužitého UV prostoru z Meshroomu. Černá reprezentuje nevyužitý prostor

Můj unwrap systém nepracuje s UDIM systémem a funguje na základě vytváření náhodných, stejně velkých ostrovů a využívá pouze jednu čtvercovou texturu (zato však efektivněji využívá její prostor, viz. obr. 12) Tento přístup by pravděpodobně u jiného typu objektu, ale fotogrammetrické modely z Meshroomu mají ve většině případů rovnoměrně hustou topologickou síť, a proto se v mém postupu osvědčil.



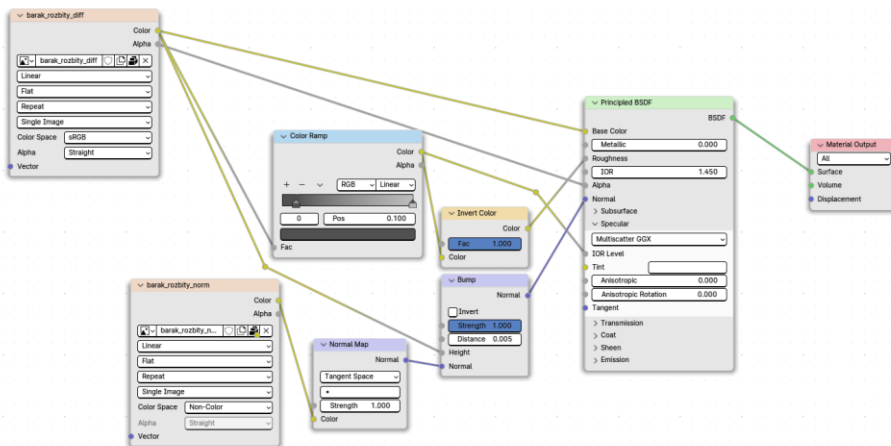
Obr. 12. Dobře využitý UV prostor

#### 4.4.5 Zapékání textur

Scanedit zapéká pouze dvě textury, a to Normal a Albedo mapu. Rozlišení lze nastavit podle potřeby (viz obr. 2). Méně detailní verze modelu má vždy poloviční rozlišení toho detailnějšího.

#### 4.4.6 Základní materiál

Vytvořen je základní materiál, který používá vygenerované textury v shaderu a je nastaven (na základě testování) tak, aby působil PBR. Roughness mapa a Specular mapa je odvozena z Albeda podle určité křivky. Přesto, že toto zapojení není optimální, pro většinu případů funguje.



Obr. 13. Zapojení základního materiálu v Blenderu

## 5. MĚŘENÍ

Měření proběhlo na pěti datasetech. Postup práce byl popsán v kapitole 3.9. – “Pracovní postup s použitím Scaneditu”. Co nejpodobnější workflow jsem zopakoval u všech skenů manuálně. Výsledný čas “Manuálně celkem” je součtem ruční optimalizace modelu v Blenderu, spuštění rekonstrukce a vlastní rekonstrukce modelu v Meshroomu (použil jsem čas, který změřil Scanedit, protože na něj nemá vliv). Skeny “Klacek\_1” a “Kmen\_1” využívají ořezového systému, ostatní ne. Rozlišení textur bylo nastaveno na 4096 × 4096 pro LOD0 a 2048 × 2048 pro LOD1.

### 5.1 Hodnocení efektivity programu

Jméno skenu	Počet fotografií	M <sup>13</sup>	Import do Meshroomu	Meshroom rekonstrukce	Optimalizace modelu v Blenderu	Celkem	Manuálně celkem	Rozdíl	%
Klacek_1	70	00:7:12	0:00:53	4:05:36	0:12:59	4:26:40	4:45:05	0:18:25	6,5
Kmen_1	75	00:8:37	0:01:04	4:17:59	0:14:06	4:41:46	4:41:12	-0:00:34	-0,2
Zem_1	66		0:00:59	4:45:02	0:16:24	5:02:25	5:20:04	0:17:39	5,5
Zem_2	54		0:00:51	3:13:50	0:14:18	3:28:59	3:46:15	0:17:16	7,6
Zem_3	45		0:00:47	3:15:57	0:11:24	3:28:08	3:46:22	0:18:14	8,1

Tabulka 1. Výsledky Měření

#### 5.1.1 Rychlost

Z tabulky č. 1 vyplývá, že nedochází k výraznému zrychlení (do 10 %). V kontextu vytváření většího množství skenů však vzniká zpoždění mezi dokončením jednoho skenu a spuštěním dalšího, z důvodu mé nepřítomnosti u počítače v tento moment. Přestože se jedná o subjektivní faktor, hraje významnou roli, například při spouštění skenů přes noc. Právě kvůli této proměnlivé povaze a kvůli malému počtu vzorků, jsem jej zde nezahrnul, ale považuji za vhodné jej zde zmínit.

<sup>13</sup> Příprava ořezových masek

Pokud porovnááme časy pouze v rámci optimalizace modelu v Blenderu, dosahujeme více než 50% zrychlení (tabulka 2). Zajímavé je sledovat závislost rychlosti automatické optimalizace na počtu polygonů (viz tab. 2 a 3).

Při manuálním postupu Blender často padal, zejména u skenů “Zem\_1” a “Zem\_2” kvůli vysokému počtu polygonů. Další příčinou zdržení byly lidské chyby, jako například nesprávné nastavení zapékání textur, což vedlo k opakování úkonů. Nejrychlejší optimalizace modelu se mi podařilo dosáhnout u skenu “Kmen\_1”, který jsem prováděl jako druhý v pořadí, což bylo způsobeno minimem těchto problémů během procesu. Větší vzorek by ukázal, jak rychle lze skeny optimalizovat ručně, a pravděpodobně by se průměrný čas blížil času optimalizace skenu “Kmen\_1”. Domnívám se však, že plně automatizovaný postup by nemusel být výrazně rychlejší, aby byl výhodný.

Jméno skenu	Automatická optimalizace modelu	Manuální optimalizace	Rozdíl	%
Klacek_1	0:12:59	0:28:02	0:15:03	53,7
Kmen_1	0:14:06	0:21:38	0:07:32	34,8
Zem_1	0:16:24	0:33:57	0:17:33	51,7
Zem_2	0:14:18	0:31:12	0:16:54	54,2
Zem_3	0:11:24	0:29:15	0:17:51	61

Tabulka 2. Srovnání manuální optimalizace modelu a optimalizace strojem

Jméno skenu	Polycount z Meshroomu	LOD0	LOD1
-------------	-----------------------	------	------

Klacek_1	5 150 266	8 651	1 584
Kmen_1	5 815 099	19 428	3 221
Zem_1	8 278 426	165 568	49 669
Zem_2	8 132 779	162 655	49 796
Zem_3	5 735 453	114 708	34 411

Tabulka 3. Počet polygonů na model



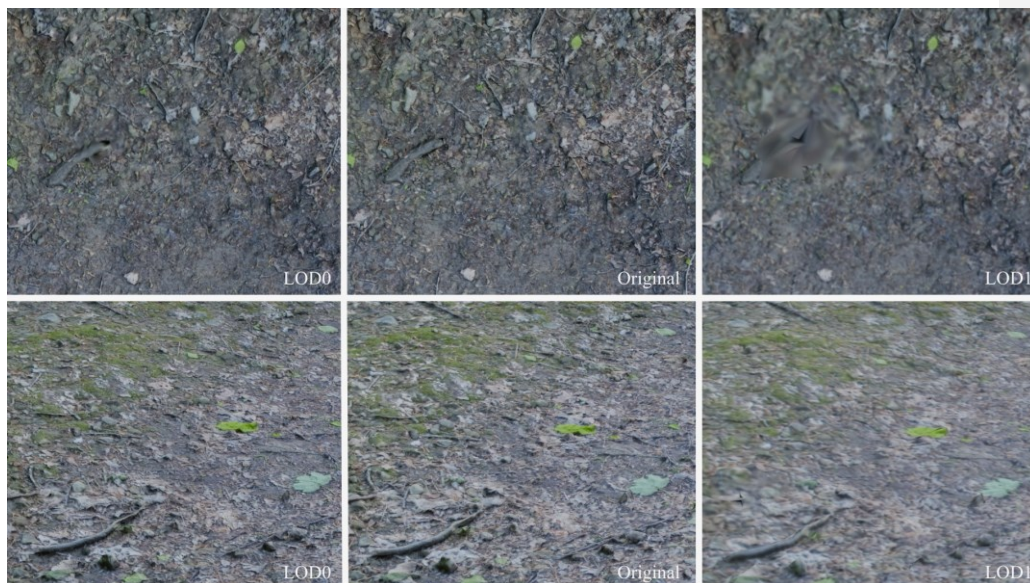
Obr. 14. Hotové assety.

### 5.1.2 Kvalita

S aktuálním nastavením Meshroomu, je kvalita modelů vcelku obstojná viz Obr. 15. Rozdíl mezi optimalizovaným LOD0 a originálem z Meshroomu je takřka nerozeznatelný což byl záměr. Je potřeba upravit systém unwrappu, protože na LOD1 vzniká artefakt.

V tuto chvíli chybí v procesu krok odstranění stínů z modelu, je částečně nahrazen úpravou fotek, ale není zdaleka nahrazen úplně. Na obrázku 16. můžeme vidět, že v rovnoměrně nasvíceném prostředí vzniká výrazný stín. Samozřejmě také hrají roli podmínky za jakých byl sken snímán.





Obr. 15. Srovnání kvality hotových assetů

Obr. 16. Zapečené stíny

### 5.1.3 Možnosti dalšího vývoje

Program nyní využívá v určitých momentech simulaci pohybu myši a klávesových zkratk. Tímto faktorem trpí univerzálnost jeho využití, jelikož spoléhá na konstantní uživatelské prostředí a jediná změna může způsobit řadu problémů. Řešením by bylo využití konkrétní API použitých programů.

Nejslabším článkem procesu je rekonstrukce modelu v Meshroomu, která zabírá přes 90 % celé výroby. Ideálním řešením by bylo nahrazení tohoto programu výkonnějším programem. Těsně před dokončením této práce byl uvolněn program Reality Capture zdarma pro všechny osoby, které negenerují ročně více než 1 milion dolarů hrubého zisku.<sup>14</sup> Reality Capture, tedy v moment odevzdání této práce splňuje podmínku neplaceného softwaru (ve většině případů) a nabízí se jako možná alternativa pro budoucí vývoj.

Dalším možným vylepšením by mohla být aplikace ořezových masek v některé z raných fází fotogrammetrické rekonstrukce. Ideálním momentem by podle mého názoru byla fáze, kdy je hotový point cloud a nemusel by tak být vytvářen mesh a textura pro okolí.

---

<sup>14</sup>RealityCapture 1.4 is now available in the Epic Games Launcher, 2023. Online. Reality Capture. Dostupné z: <https://www.capturingreality.com/realitycapture-14>. [cit. 2024-05-12].

## 6. ZÁVĚR

Pokud jde o tvorbu jednotlivého assetu, je výhodou redukce chybovosti a prodlevy mezi jednotlivými úkony, které jsou přítomny v případě manuální lidské práce. Z projektové části vyplývá, že celkový ušetřený čas při výrobě jednoho assetu se v průměru pohybuje okolo necelých 6 %. Samotná optimalizace modelu však automatizovaným přístupem dosahuje až dvojnásobné rychlosti. Důvodem proč je zrychlení i přesto tak nízké je rychlost operací v programu Meshroom (zabírají přes 90 % celkového času)

Z projektové části vyplývá, že princip skládání skenů za sebe a přesunutí nutných lidských zákroků nemá ani tolik vliv na čas, který trvá asset vyrobit, jako spíše na zjednodušení procesu a omezení času, který musí tvůrce strávit soustředěnou rutinní prací. To má v důsledku vliv i na rychlost tvorby assetu, jelikož stroj není omezen lidskou zdravou pracovní dobou a může tak, pokud by tyto dva způsoby dosažení stejného výsledku byly postaveny vedle sebe, člověka „předechnat“ v době jeho odpočinku. Assety z projektové části jsou vytvořeny v průměru z 60 fotek a výroba jednoho trvá 4 h. 10 min. To znamená, že za jeden den můžeme automaticky vyrobit 5 takových assetů bez lidské supervize (závisí také na konkrétním hardwaru). Musíme však odečíst čas, který musí člověk v případě automatizované tvorby skenů navíc strávit tvorbou ořezových masek. Tento přístup svoji užitečnost tím více zúročí, čím více assetů potřebujeme vytvořit. Studie tedy ukazuje, že automatizace vytváření fotogrammetrických assetů má význam spíše v usnadnění procesu než v rychlosti. Nicméně přesto, že automatizací samotnou nedosáhneme vyloženě rychlejší výroby assetů, usnadnění procesu a možnost vytvářet fronty skenů k tomu vede.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

TABEAUD, Jérôme, 2023. *Which photogrammetry tool is the best ? (3DF Zephyr, Metashape, Reality Capture, Meshroom)*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=udXQHys50aA>. [cit. 2024-05-15].

STATHAM, Nataska; FRIDENFALK, Mikael a JACOB, João. Photogrammetry for Game Environments 2014-2019: What Happened Since The Vanishing of Ethan Carter. Online. Roč. 2020, s. 1-20. Dostupné z: <https://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1498677/FULLTEXT01.pdf>. [cit. 2024-01-27].

SANCAK, N.; UZUN, F.; TURHAN, K.; SARAOĞLU YUMNI, H. K. a ÖZER, D. G., 2023. PHOTOGRAMMETRIC MODEL OPTIMIZATION IN DIGITALIZATION OF ARCHITECTURAL HERITAGE: YEDIKULE FORTRESS. Online. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Roč. XLVIII-M-2-2023, s. 1403-1410. ISSN 2194-9034. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-1403-2023>. [cit. 2024-01-27].

LACHAMBRE, Sébastien; LEGARDE, Sébastien a JOVER, Cyril, 2017. Unity Photogrammetry Workflow. Online. Roč. 2017, s. 1-96. Dostupné z: [https://unity3d.com/files/solutions/photogrammetry/Unity-Photogrammetry-Workflow\\_2017-07\\_v2.pdf](https://unity3d.com/files/solutions/photogrammetry/Unity-Photogrammetry-Workflow_2017-07_v2.pdf). [cit. 2024-01-27].

*AliceVision | Photogrammetric Computer Vision Framework*, [cca 2013]. Online. Alice Vision. Dostupné z: <https://alicevision.org/#photogrammetry/>. [cit. 2024-01-25].

*Photoscanning 100% Free: Complete Meshroom Tutorial | Photogrammetry Course*, 2022. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=j3lhPKF8qjU&t=11s>. [cit. 2024-05-15].

*RealityCapture 1.4 is now available in the Epic Games Launcher*, 2023. Online. Reality Capture. Dostupné z: <https://www.capturingreality.com/realitycapture-14>. [cit. 2024-05-12].

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

Okomentoval(a): [2]: Doplnit zkratky

LOD - Level of Detail - rozlišení detailnosti modelu. LOD0 = nejdetailnější LOD1, LOD2, LOD3 jsou postupně méně a méně detailní.

UI - User Interface - anglická zkratka pro uživatelské prostředí.

API - Application Programming Interface - anglická zkratka pro programovatelné prostředí charakteristické pro konkrétní program.

3D - zkratka výrazu "trojrozměrný"

UV - odkazuje na dvourozměrný prostor ve kterém jsou osy pojmenovány U a V. UV mapping je proces projektování 2D obrazů na 3D model.

UDIM - U DIMension - systém texturování a UV map pracující s

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Schéma automatizace kroků	11
Obrázek 2 Uživatelské prostředí programu Scanedit	15
Obrázek 3 Uživatelské prostředí programu Image Preparer	16
Obrázek 4 Přejmenování souborů	16
Obrázek 5 Roztřídění souborů v programu Image Preparer	17
Obrázek 6 Roztříděné soubory	17
Obrázek 7 Malba masky v Kritě	18
Obrázek 8 hotové masky	18
Obrázek 9 Masky v prostoru. Tmavé části vizualizují označené části modelu.	21
Obrázek 10 Upravená topologie.	
Model vpravo je určen pro popředí a model vlevo pro pozadí	22
Obrázek 11 Příklad nevyužitého UV prostoru z Meshroomu.	
Černá reprezentuje nevyužitý prostor	23
Obrázek 12 Dobře využitý UV prostor	23
Obrázek 13 Zapojení základního materiálu v Blenderu.	24
Obrázek 14 Hotové assety	27
Obrázek 15 Srovnání kvality hotových assetů	28
Obrázek 16 Zapečené stíny	28

Okomentoval(a): [3]: Doplnit

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Výsledky Měření	25
Tabulka 2 Srovnání manuální optimalizace modelu a optimalizace strojem	26
Tabulka 3 Počet polygonů na model	27

Okomentoval(a): [4]: Doplnit

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Flashdisk s programy Scanedit a Image Preparer. Odevzdán ve fyzické podobě spolu s prací.+

**Okomentoval(a):** [5]: Doplnit, respektive přílohy asi nemáš, tak možná spíš smazat, záleží...