

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

STUDIJNÍ OBOR GEOMATIKA



Diplomová práce

**Využití PBR textur při popisu
vlastností stavebních konstrukcí**

**Use of PBR textures to describe
the properties of building structures**

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Vyskočil, Ph.D.

Katedra geomatiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Kučerová</u>	Jméno: <u>Adéla</u>	Osobní číslo: <u>484529</u>
Zadávací katedra: <u>Katedra geomatiky (K155)</u>		
Studijní program: <u>(N36GK) Geodézie a kartografie</u>		
Stud. obor/ spec.: <u>(36T0GKGM) Geomatika</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Využití PBR textur při popisu vlastností stavebních konstrukcí

Název diplomové práce anglicky: Use of PBR textures to describe the properties of building structures

Pokyny pro vypracování:

sběr dat vybraných testovacích objektů snímkováním
zpracování 3D modelů
extrakce map (normal, occlusion, displacement)
analýza využitelnosti informací

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Zdeněk Vyskočil, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 23.02.2023 Termín odevzdání DP v IS KOS: 22.5.2023
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

23.02.2023 _____
Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Využití PBR textur při popisu vlastností stavebních konstrukcí“ vypracovala samostatně s využitím literatury a informací, které jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne

.....
podpis

Anotace

Název práce: Využití PBR textur při popisu vlastností stavebních konstrukcí

Autor: Bc. Adéla Kučerová

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Vyskočil, Ph.D.

Akademický rok: 2022/2023

Katedra: Geomatiky (K155)

Abstrakt:

Diplomová práce představuje alternativní postup zpracování pořízených fotogrammetrických snímků, které poskytují možnost práce s větší plochou a vyšší přesností, za účelem získání dodatečných informací o objektech – konstrukcích – pomocí analýzy vypočtených textur. Kombinací vybraných snímků byl vytvořen 3D model a jeho textury, které byly dále analyzovány.

Pro vybrané vzorky byly pořízeny snímky, ze kterých byl vypočten model a následně textury. Na získaných texturách byly prováděny rastrové analýzy pro zkoumání struktury vzorků; zejména pak lokalizace sváru, výztuže či atypické prvky na povrchu.

Z provedených analýz byly získány adekvátní výsledky vypovídající o stavu testovaných vzorků, tedy byly nalezeny hledané úkazy, a bylo prokázáno, že metody fotogrammetrie jsou vhodné pro analyzování povrchu objektu.

K zpracování bylo využito software Krita, Darktable, Agisoft Metashape, Blender, QGIS a eCognition.

Klíčová slova: textury, 3D, model, digitální model, fotogrammetrie, Agisoft Metashape, Blender, QGIS, eCognition, povrchová analýza

Annotation

Title: Use of PBR textures to describe the properties of building structures

Author: Adéla Kučerová

Supervisor: Ing. Zdeněk Vyskočil, Ph.D.

Academic year: 2022/2023

Department: Department of Geomatics (K155)

Abstract:

This master's thesis introduces an alternative method of processing photogrammetric images, which provide the possibility of working with a larger area and higher accuracy, in order to obtain additional information about objects – structures – by analysing the calculated textures. By combining the selected images, a 3D model and its textures were created and further analyzed.

Images were taken for the selected samples from which the model and the textures were calculated. Raster analyses were performed on the obtained textures in order to examine the structure of the samples; especially the localisation of weld, reinforcement or atypical features on the surface.

Adequate results, which were able to inform of the condition of the tested samples, were obtained from the analyses, meaning the wanted phenomena were found, and it was demonstrated that photogrammetry methods are suitable for analyzing the surface of an object.

The software used for processing were Krita, Darktable, Agisoft Metashape, Blender, QGIS and eCognition.

Keywords: textures, 3D, model, digital model, photogrammetry, Agisoft Metashape, Blender, QGIS, eCognition, surface analysis

Poděkování

Ráda bych poděkovala panu Ing. Zdeňkovi Vyskočilovi, Ph.D., a Ing. Davidu Zahradníkovi za jejich odborné rady a trpělivost při zpracování mé diplomové práce. Zároveň bych ráda vyjádřila vděk svým rodičům a přátelům, zejména Štěpánu Damborskému, kteří mi celou dobu byli velikou oporou.

Obsah

Obsah	7
1 Úvod	9
2 Rešerše literatury	10
3 Použité metody	12
3.1 Digitální fotogrammetrie	13
3.2 Image Based Modeling and Rendering (IMBR)	13
3.3 Convolutional Neural Network (CNN)	14
3.4 Object-Based Image Analysis (OBIA)	14
4 Textury	15
4.1 Difúzní textura	16
4.2 Normálová textura	17
4.3 Displacement textura	18
4.4 Occlusion textura	19
5 Stavební inženýrství	20
5.1 Specializace stavebního inženýrství	20
5.2 Destruktivní a nedestruktivní zkoušky materiálu	20
6 Kombinace fotogrammetrie a stavebního inženýrství	22
7 Využité přístroje a software programy	23
7.1 Přístroje	23
7.1.1 Fotoaparát NIKON D5100	23
7.1.2 Fotoaparát SONY Alpha a7S III	24
7.1.3 Fotoaparát FUJIFILM GFX 100S	25
7.1.4 Skener Konica Minolta Vivid VI-9i	26
7.2 Software programy	27
7.2.1 Krita	27
7.2.2 Darktable	28
7.2.3 Agisoft Metashape	28
7.2.4 Blender	28
7.2.5 QGIS	29
7.2.6 eCognition	29
8 Popis vybraných vzorků	30
8.1 Beton s ocelovými vlákny	30
8.2 Ocelový svár – Etalon společnosti ČEZ, a. s.	31
8.3 Věž – Unipetrol	32
9 Zpracování	33

9.1 Návrh řešení	33
9.2 Betonový vzorek	33
9.2.1 Vizualní porovnání pomocí filtrů v software Krita	34
9.2.2 Klasifikace ocelových vláken, dutin a betonu	35
9.3 Etalon sváru společnosti ČEZ, a. s.	36
9.3.1 Lokalizace sváru a jeho geometrie	37
9.3.2 Porovnání snímků získaných fotoaparáty SONY a FUJIFILM	46
9.3.3 Porovnání modelů získaných fotoaparátem SONY a skenerem VIVID	49
9.4 Věž – Unipetrol	50
10 Dosažené výsledky	55
11 Závěr	56
12 Seznam obrázků a tabulek	57
13 Použitá literatura	59

1 Úvod

Tato diplomová práce se zabývá využitím moderní fotogrammetrie k vytvoření digitálního 3D modelu a jeho textury, které mohou být dále využity k získání dodatečných informací o daných objektech, například u stavebních konstrukcí, a jejich povrchových vlastnostech, které nejsou viditelné pouhým lidským okem. Výsledků je dosaženo formou analýzy textur, které jsou získány fotogrammetrickým zpracováním. Jedná se o nedestruktivní metodu testování objektů.

Metody fotogrammetrie umožňují nejen větší plochu k analýze, kdy se nejedná o pouze jeden snímek, ale o sadu snímků, ale také možnost vytvoření 3D modelu pro prostorové zobrazení nerovného a nedokonalého povrchu, jako jsou například stavební konstrukce nebo geologické řezy a skalní stěny. V rámci práce byla snaha o získání co nejvíce informací pomocí kombinace vybraných snímků.

Na texturách, které jsou během zpracování vypočteny, lze pomocí analýz detekovat a klasifikovat rozdílné materiály (pomocí difúzní a normálové textury) nebo určit geometrii prvku (pomocí displacement textury).

Práce je rozdělena na část teoretickou, která přibližuje použité metody, a na část praktickou, kde je detailně popsán postup, a to od pořízení snímků vybraného vzorku až po zhodnocení dosažených výsledků.

V teoretické části práce jsou čtenáři představeny použité metody; tedy fotogrammetrie, image based modeling and rendering (IMBR), convolutional neural network (CNN) a object-based image analysis (OBIA). Čtenáři je zde představen záměr, za kterým je práce vypracovávána v souvislosti se stavebnictvím.

V praktické části je popsán podrobný postup prací. Je zde uveden sběr dat, zpracování snímků, vyhotovení 3D modelu a textur, úprava získaných textur a jejich analýza pomocí zvoleného software. Text práce je proložen snímky obrazovky, které slouží jako vizuální doprovod pro snadnější pochopení probírané problematiky.

Na závěr jsou uvedeny výstupy práce, zhodnocení dosažených výsledků a jejich možná aplikace v praktickém životě.

Cílem diplomové práce je pokusit se přijít na optimální postup pro dohledání dodatečných informací o stavebních konstrukcích s použitím kombinace snímků pro vytvoření 3D modelu s texturou, která je dále hlouběji analyzována.

2 Rešerše literatury

Níže uvedená rešerše byla zpracována za účelem shrnutí dosavadních znalostí o probírané tématice a její přiblížení nejen autorovi, ale zejména čtenáři. Slouží k orientaci v dané oblasti pomocí již publikované literatury. Umožňuje navázání na tyto publikace a dále rozvíjet jimi popisované technologie.

Citované zdroje, na které se tato práce odkazuje, byly vyhledány pomocí klíčových slov na platformách *ResearchGate* a *Google Scholar*, nebo byly přímo doporučeny vedoucím.

Rešerše v této diplomové práci zasahuje do těchto hlavních témat: fotogrammetrie, tvorba 3D modelu a jeho textury, a využití různých textur pro hlubší analýzu těchto dat.

Článek „*Procedure for quality inspection of welds based on macro-photogrammetric three-dimensional reconstruction*“ od M. Rodríguez-Martín et al. (2015) se zabývá výsledky vizuální kontroly svarů závislých na schopnostech kontrolora. S postupem navrženým v tomto článku je ke generaci přesných a zmenšených 3D modelů svarů ze snímků, které byly pořízeny neprofesionálním fotografem, potřeba pouze digitální zrcadlovka s makro objektivem a fotogrammetrický rekonstrukční software, který byl vyvinut autory. Výsledek pak nepotřebuje posouzení na místě ze strany inspektora nebo jiné autorizované osoby, která je oprávněná vést realizaci stavby v rozsahu oboru, pro který jí byla autorizace udělena, protože to je umožněno přímo pomocí vygenerovaných 3D modelů, které inspektor může konzultovat během provádění všech měření požadovaných mezinárodními normami.[1]

Dílo „*Macro-photogrammetry as a tool for the accurate measurement of three-dimensional misalignment in welding*“ od M. Rodríguez-Martín et al. (2016) pojednává o nesouososti vznikající při svařování, kdy dochází k problémům s integritou konstrukcí a strojů. Z toho důvodu je důležité nesouosost správně měřit. V článku je představen levný postup, který je založen na fotografických snímcích pořízených neměřičskou komorou. Práce pak spočívá v použití makro fotogrammetrie pro generování trojrozměrného mračna bodů ze snímků. V dalším kroku je použito matematické zpracování, které je založené na analýze hlavních komponent (PCA), na vygenerované mračno bodů, aby ke každé svařované desce mohla být přiřazena rovina. Vyhodnocení orientace mezi přiřazenými rovinami umožňuje přesné měření úhlu nesouososti svarového spoje. Metoda byla ověřena porovnáním dosažených výsledků s výsledky získanými metrologickými technikami.[2]

Dále byl vybrán článek „*3D reconstruction methods and quality assessment for visual inspection of welds*“ od P. Rodríguez-González et al. (2017), kde je představeno hodnocení geomatických technik doplňujících odborné znalosti a vědomosti inspektor, jako hodnotitele, a během vizuální kontroly, a to za využití podrobného a kompletního záznamu o svaru. Jedná se konkrétně o testování a porovnání kloubového přístroje měřícího souřadnice, který je rozšířeně využíván v průmyslovém prostředí, oproti nové makro fotogrammetrické technice. Přitom je použit externí referenční rámec, jenž je podpořen 2D/3D registračními artefakty a automatickou identifikační metodikou. Výsledné 3D modely jsou vyhodnoceny na základě přesnosti, preciznosti a rozlišení.[3]

Článek „*Applications of macro photogrammetry in archaeology*“, který byl napsán D. Gajski et al. (2016), se zaměřuje na drobné archeologické artefakty, kde vytváření dokumentace omezeno na subjektivní interpretaci a ruční kresebné techniky s použitím lupy. Laserové skenery, které jsou k této práci k dispozici nedosahují dostatečného prostorového rozlišení pro získání všech relevantních znaků objektu (tvar, reliéf, textura, poškození). Digitální fotogrammetrické techniky pak umožňují měření s vysokou přesností a lze je použít k vytvoření příslušné dokumentace s vysokou úrovní detailu. Jsou zde rozebrány přístupy k pořízení dobré makro fotografie a návrh kalibračního testovacího pole, společně s metodami auto-kalibrace vhodné pro makro fotogrammetrii. V závěru je popisovaná metoda testována na figurce, kde je dokázáno, že pomocí makrofotografie a fotogrammetrického zpracování je možné a vhodné získání 3D modelu dobré kvality.[4]

V článku „*Macro Photogrammetry & Surface Features Extraction for Paleolithic Portable Art Documentation*“ od M. Cabrelles et al. (2020) je předložena metodika pro archeologickou dokumentaci vápencových desek, které jsou dekorovány jemnými malbami a rytinami. Je zde využita makro fotogrammetrie k vytvoření 3D modelu a úpravou rastrových snímků. Výsledný 3D model má prostorové rozlišení desítek mikronů a s jeho pomocí je vygenerován digitální model reliéfu (DEM) a ortorektifikované makro fotografie pro dokumentaci rytin a maleb. Článek podrobně popisuje postup práce a nastavené parametry a konfigurace ve software HyperCube a DStretch. Výsledná dokumentace je přesná, opakovatelná a objektivní.[5]

3 Použité metody

Fotogrammetrií se rozumí část oboru geodézie a kartografie, který je zaměřen na zjišťování geometrických a polohových informací z obrazových záznamů. Nejčastějším zdrojem dat jsou fotografické snímky. Přesnost získaných informací se pohybuje v řádech centimetrů až decimetrů; při použití vhodné techniky lze mluvit i o milimetrové přesnosti.

Zároveň se jedná o vědu, díky které je možné získat informace o vlastnostech povrchů a objektů bez fyzického kontaktu s daným předmětem, což je zásadní rozdíl oproti běžné geodézii.

Informace, které jsou fotogrammetrickými metodami získávány, mají různý charakter. Nejdůležitějšími z nich jsou popis tvaru a pozice objektu (geometrie prvku), nebo změna stavu v čase. Dále je možné určit význam obrazu podle interpretace pořízených dat.

Metody fotogrammetrie tak mají využití v mnoha oborech. Nejčastěji pro státní mapová díla, vojenské topografické mapy, informační systémy, památková péče, životní prostředí, v herním průmyslu. Existují však i další možnosti využití.

Výhodou fotogrammetrie je minimalizace práce v terénu, ekonomičnost a rychlost. Dochází také k úspoře nákladů, přináší dokumentační hodnotu snímků ve formě časové řady a disponuje vyšší vypovídací schopností snímků ve srovnání s mapou. Ačkoliv je výrazně snížen čas práce v terénu, je nutné upozornit na čas strávený v kanceláři.

Fotogrammetrii lze rozdělit podle několika kritérií.

Tab. 1: Dělení fotogrammetrie [7]

Dělení fotogrammetrie	
poloha stanoviště	družicová, letecká, pozemní
počet a konfigurace snímků	jednosnímková, vícesnímková
technologický postup	analogová, analytická, digitální

V současné době je nejrozšířenější digitální fotogrammetrie. [6], [7]

3.1 Digitální fotogrammetrie

Digitální fotogrammetrie je založena na obrazové korelaci:

$$\rho(A, B) = \frac{\text{cov}(A, B)}{\rho(A) * \rho(B)} \quad (1)$$

Pro výpočet korelačního koeficientu pro dva stejně velké digitální obrazy jsou použity hodnoty pixelu $p(A)$, $p(B)$ pro obraz A, respektive obraz B. [7]

Jedná se v současné době o nejrozšířenější metodu fotogrammetrie, která zpočátku využívala standardní videokamery a postupně přešla na monokomparátory v kombinaci s velkoformátovými réseau kamerami. Dále byly vyvinuty skenovací kamery pro snímání statických objektů. Od počátku 90. let 20. století začaly být využívány digitální fotoaparáty s vysokým rozlišením, které jsou v dnešní době jako součást měřících systémů. [8]

3.2 Image Based Modeling and Rendering (IMBR)

V češtině je metoda známá pod názvem „metoda obrazové korelace“, což samo napovídá, že získání prostorových informací o objektu funguje na principu závislosti snímků. Disponuje potenciálem zachytit objekty ve velké úrovni realističnosti. Výhodou metody je schopnost zachycení drobných a četných detailů, které by byly jinak stěží zachytitelné, nebo by to bylo časově náročné, pokud by bylo použito běžné geodetické zaměření.

Principem metody je automatický zisk prostorového mračna bodů díky sérii snímků, přičemž se předpokládá jedinečnost okolí pixelu.

IBMR řeší problém finančních nákladů, které by jinak šly do pořízení drahého přístroje, jelikož v dnešní době postačuje jen kvalitnější fotoaparát, který již mají i mnohá telefonní zařízení. Metodu tak může vyzkoušet téměř kdokoliv.

Ačkoliv se s IBMR dá dosáhnout drobných detail společně s velkou úsporou času a lze metodu využít k dokumentaci členitých objektů, je u modelu nutno měřítko dodatečně definovat. Dalším problémem je možný vznik „prázdných míst“, kde nebylo možné provést vyhodnocení kvůli odrazivosti materiálu, stínu nebo zakrytí.

Metoda je tedy vhodná pro dokumentaci nepravidelných a členitých objektů a je-li požadován detailní model. Proto je využita především v herním nebo filmovém průmyslu a k dokumentaci památek. [6]

3.3 Convolutional Neural Network (CNN)

V českém jazyce lze metodu přeložit jako ‚konvoluční neuronová síť‘ řadící se k oboru hlubokého učení (deep learning). S touto technologií bylo možno zrealizovat rozeznávání obličejů, autonomní vozidla nebo plně samoobslužné obchody a lékařské procedury.

Metoda extrahuje vlastnosti z dat přes konvoluční struktury, které jsou rozdílné od tradičních technologií pro extrakci informací, jelikož CNN nezískává vlastnosti manuálně. Architektura metody je inspirována vizuálním vnímáním a CNN kernely odpovídají rozdílným receptorům, jenž reagují na různé vlastnosti. Aktivační funkce simulují funkci, jež se projevuje jen neuronovými elektrickými signály, které přesahují určitou hodnotu, může být přenesena do dalšího neuronu.

Výhody CNN spočívají v následujícím:

- Lokální spojení (local connections) – jednotlivé neurony nejsou spojeny se všemi neurony předcházející vrstvy, ale pouze s malým množstvím neuronů, což redukuje parametry a rychlost konvergence
- Sdílení vah (weight sharing) – skupina spojení může sdílet stejné váhy, což dále snižuje počet parametrů
- Redukce rozměru snížením vzorkování (downsampling dimension reduction) – sdružovací vrstva využívá principu lokální korelace obrazu ke zmenšení vzorku obrazu, což může snížit množství dat, ale uchovat užitečné informace

Kapitola byla čerpána z [9].

3.4 Object-Based Image Analysis (OBIA)

Analýza obrazu založená na objektech nabízí možnost digitalizovat a následně klasifikovat vlastnosti obrazu. Na rozdíl od alternativních klasifikací založených na analýze pixelu, kde obrazová klasifikace přiřadí třídu po jednotlivém pixelu, OBIA segmentuje obraz seskupením malých pixelů dohromady do vektorových objektů, čímž je simulován styl, jakým jsou vnímány obrazy lidským okem. [10]

Jedná se o efektivní způsob analýzy obrazů s vysokým prostorovým rozlišením. Cílem OBIA je využití komplexnějších tříd, které jsou definovány prostorovými a hierarchickými vztahy během klasifikačního procesu. [11]

OBIA se tedy skládá ze dvou hlavních procesů:

- Segmentace obrazu
- Extrakce a klasifikace vlastností

4 Textury

Texturou se rozumí obrázek, který obaluje daný objekt. Díky texturám je možné 3D modelům dodat více detailu a realističnosti.

V 3D modelování jsou textury využity k přidání další dimenze modelům a mohou dále vyzdvihnout kvalitu finálního projektu. K tomu jsou využity mapy textur, které jsou aplikovány na povrch modelů k vytvoření opakujících se vzorů, textur nebo vizuálních efektů, které by byly těžko dosažitelné pouhým modelováním a úpravou 3D sítě (mesh). V umělecké tvorbě tak lze docílit například specifických detailů na vlasech, oblečení, pleti, nebo detaily materiálů, povrchů a dalších.

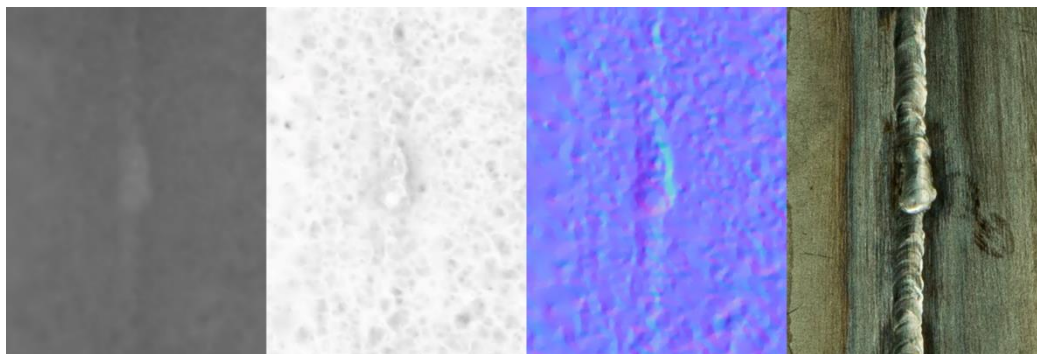
Podle použitého programu je využito buď PBR (*physical based rendering*) nebo non-PBR materiálů. Materiály pomáhají definovat vzhled tedy optické vlastnosti objektu; zejména jeho barvu, matnost či odrazivost. PBR materiály jsou využívány od 80. let 20. století (1980's) a jsou získány renderováním fotorealistických textur, k čemuž je využito důkladného osvětlení modelů. Tento způsob se stává standardem pro materiály v 3D průmyslu. Programy, které využívají PBR textur, jsou například *Unreal Engine 4*, *Unity*, *V-Ray* nebo *Blender*.

Ostatní programy používají non-PBR textury při pracovním postupu. Pro dosažení kvalitních a realistických výsledků je však zapotřebí pohrát si s více mapami a nastaveními. Jsou však vhodné pro více abstraktní textury kvůli flexibilitě, nebo k získání promočních snímků, kde jsou non-PBR textury dostačující. Tento typ textur je využit například v programu *Maya* nebo *Modo*.

Pro použití PBR nebo non-PBR textur je zapotřebí mít rozložené UV mapy. UV mapa je 3D objekt rozložený ve 2D. U a V zde slouží jako názvy os v ploše. Rozložením UV mapy se budou textury chovat tak, jak požadujeme.

V této části bylo čerpáno z [12].

V této diplomové práci je pracováno s PBR materiály, konkrétně s texturami displacement, occlusion, normálová a difúzní.



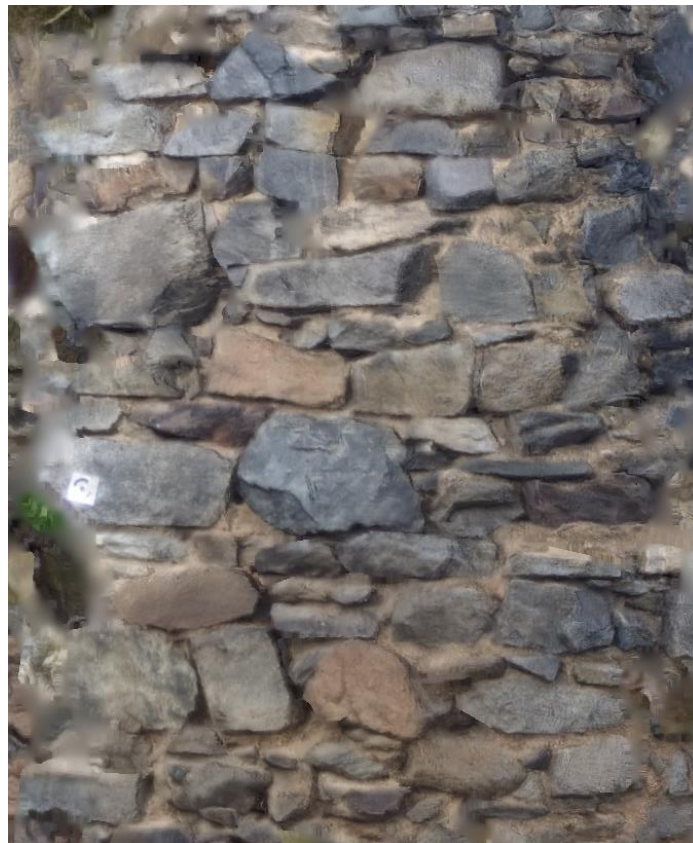
Obr. 1: Textury sváru: a) displacement; b) occlusion; c) normálová; d) difúzní

4.1 Difúzní textura

Jedná se o nejčastější druh textury. V některých aplikacích se jí také říká textury ‚*albedo*‘ nebo ‚*base colour*‘ (základní barvy). Pomocí difúzních textur dáváme objektům barvy a vzory. Nezasahuje zde odrazivost na kovové části modelu, je tam pouze difúzní reflexe – odtud název *difúzní*. Jelikož kovové materiály bývají silně odrazivé a obvykle nemají difúzní barvu, jejich difúzní textura bude černá. Je-li kov ovlivněn korozí, textura již barvu mít bude.

Jako difúzní texturu lze použít obyčejnou barvu, nebo fotografii, která neobsahuje stíny, jelikož námi vybrané osvětlení modelu se pak může lišit od osvětlení na snímku, což by způsobilo nekonzistentní stíny; respektive by došlo k ubrání úrovně realismu. [12]

Metodami fotogrammetrie získáváme kvalitní snímky, které lze použít pro výpočet difúzních textur, jež adekvátně reprezentuje objekt. Textura je tedy vypočtena z dostatečného množství snímků, které daný předmět zachycují z různých úhlů.



Obr. 2: Difúzní textura kamenné zdi

4.2 Normálová textura

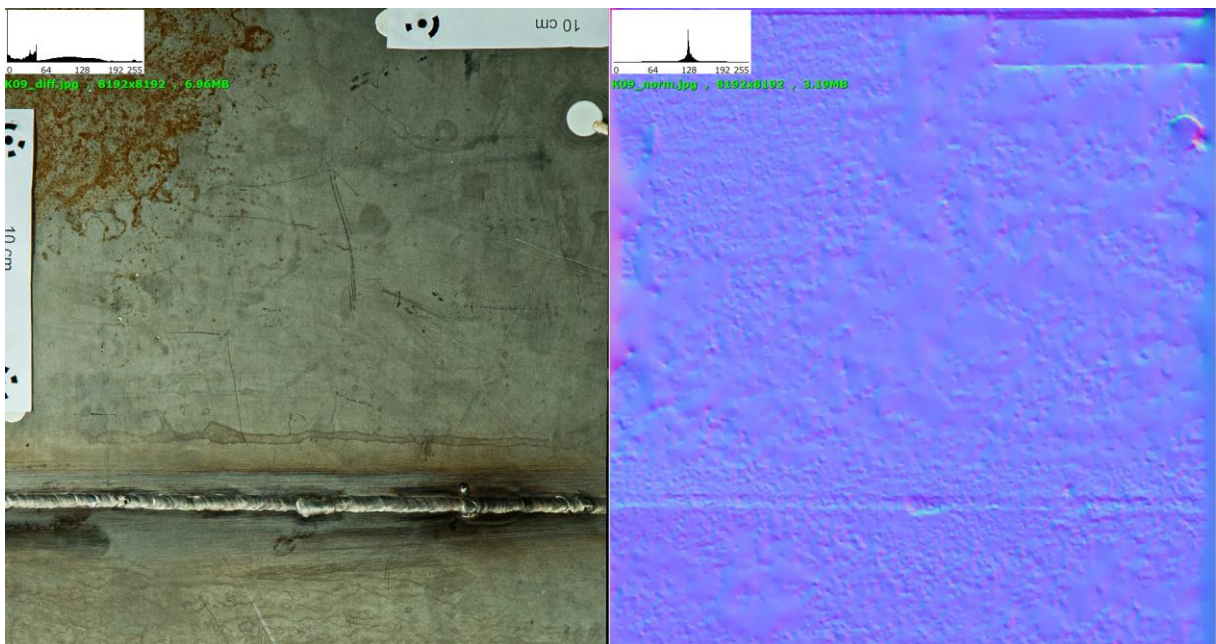
V článku „*Texture Maps: The Ultimate Guide For 3D Artists*“ od Thomase Denhama [12] jsou tyto textury popsány jako způsob k přidání hloubky modelu. Fungují na principu vytvoření falešného působení světla na povrch a navození dojmu otlaků a promáčklín na modelu, aniž by bylo zasaženo do samotné geometrie modelu.

Tím, že není ovlivněna polygonová síť, dochází k určité limitaci, protože jakmile je překročen určitý úhel pohledu, může docházet ke ztrátě prostorového vjemu. Toto se projevuje zejména u větších vyvýšenin či prohlubní.

Co se barevné vizualizace mapy týče, základní barvou pro normálovou mapu je světlá fialová, která značí spodek mapy a reprezentuje povrch polygonové sítě. Použitím hodnot RGB, kde červená R, zelená G a modrá B nesou souřadnice X, Y a Z na síti, jsou naznačeny praskliny, hrbolky či póry modelu. Popisují tedy směr sklonu a jak strmý tento sklon je.

Jelikož normálové mapy ovlivňují, jak světlo reaguje s modelem, je nutné brát ohled na švy. Snahou je, aby byly skryté. [12]

V případě diplomové práce nebylo hlavním cílem měnit a navozovat lepší 3D vjem, ale udělat model, který pokud možno co nejlépe odpovídá skutečnému stavu testovaného objektu, aby jej bylo možné analyzovat.



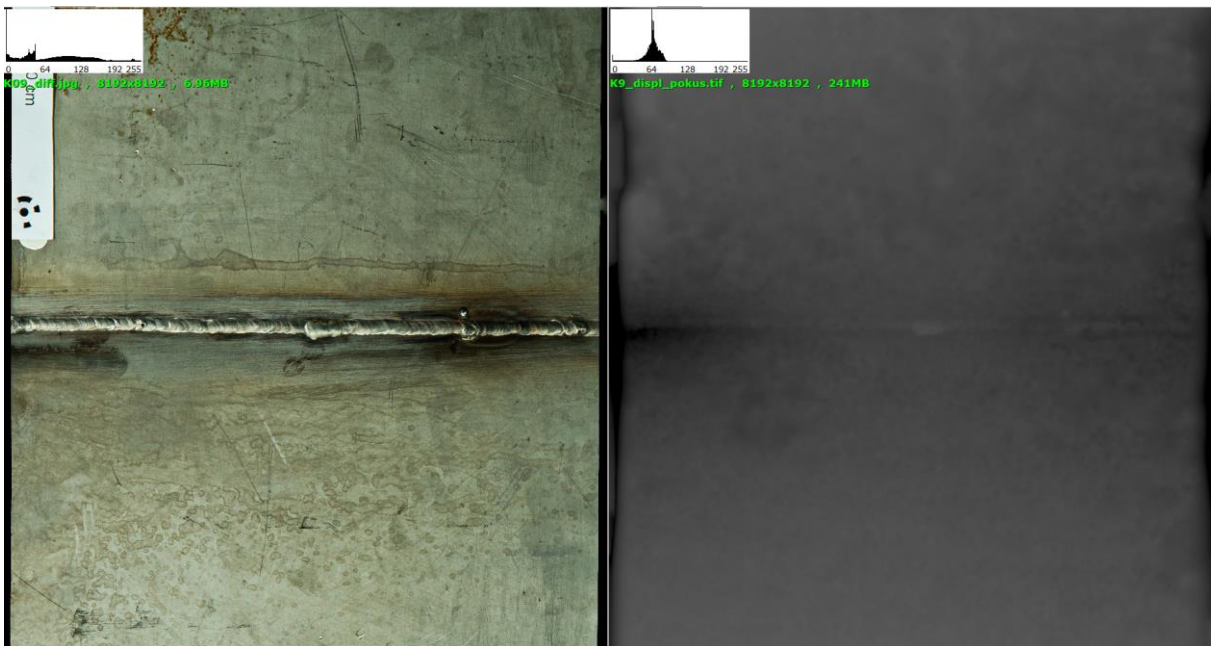
Obr. 3: Textura sváru: a) difúzní textura; b) normálová textura

4.3 Displacement textura

Jinak ji lze nazvat jako ‚výšková textura‘ (height texture) nebo ‚deformační textura‘. Jedná se o typ textury, která obdobně jako normálová mapa přidá modelu prohlubně a hrbolky. Avšak na rozdíl od normálové textury, jež detaily přidává pouze vizuálně, je zde zásah i do samotné geometrie objektu.

Jedná se o mapu s absencí barev a jediným indikátorem výšky nebo hloubky předmětu je odstín šedé. Černá barva odpovídá nejhlubším místům, bílá barva symbolizuje nejvyšší oblasti. Z toho vyplývá, že hodnoty pixelu se u souborů JPG pohybují mezi hodnotami 0 až 255. Pro soubory TIFF je v hodnotách pixelu uložena hodnota, která vypovídá o vzdálenosti mezi substituční rovinou a původním modelem.

Jelikož dochází k úpravě polygonové sítě, není zde limit směru osvětlení, také je to důvod, proč jsou tyto textury tak populárně užívané. Naopak ale může docházet k delšímu času renderování, kvůli přímému ovlivnění geometrie. [12]



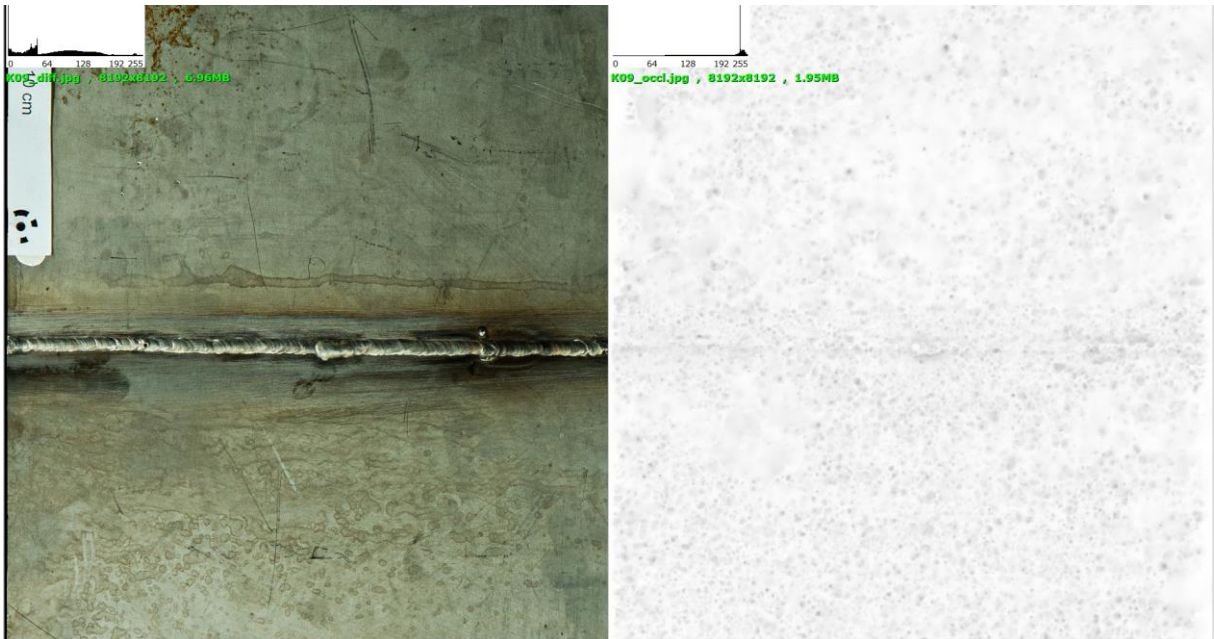
Obr. 4: Textura sváru: a) difúzní textura; b) displacement textura

V této diplomové práci byla displacement textura použita obdobně jako digitální model terénu (DMT), jelikož se jednalo o rozdíl výšek. Displacement textura byla dále zpracována prostředky pro analýzu terénu, kde byl pomocí ní vytvořen příčný řez na osu sváru.

4.4 Occlusion textura

Occlusion mapa je textura, která obsahuje předem vypočtené hodnoty o stínování z osvětlení pozadí. Obdobně jako displacement mapa, jedná se o texture, jež je barevně vyobrazena v rastru v jedné vrstvě; oproti RGB, které je zobrazeno na třech vrstvách. [12]

Mapa tedy nese informaci, jak velké množství nepřímého osvětlení má dopadat na určitou část modelu. Nepřímé světlo přitom pochází z odrazů a okolního osvětlení.



Obr. 5: Textura sváru: a) difúzní textura; b) occlusion textura

5 Stavební inženýrství

Stavební inženýrství je obor, který se věnuje návrhu, konstrukci a zachování infrastruktury pro moderní společnost. Pod tento obor spadají konstrukce pozemních, dopravních nebo i vodohospodářských staveb.

Obor se řídí českými technickými normami ČSN a legislativním rámcem České republiky, zejména pak správním právem. Konkrétněji lze zmínit například odvětví dopravy, stavebnictví a architektury, vodního hospodářství nebo životního prostředí.

Stavební inženýrství samo o sobě není studijním oborem. Existují tedy specializované školy – ‚stavárny‘, které zprostředkovávají studijní program, který tento název nese a jednotlivé specializace. Zájemci tak mají možnost studovat střední průmyslovou školu stavební, vyšší odbornou školu stavební, anebo jít na vysokou školu, která studijní program nabízí.

5.1 Specializace stavebního inženýrství

Podobně jako fotogrammetrie se i obor stavebního inženýrství dá rozdělit do několika kategorií podle specializace:

- Pozemní stavby
 - Občanské stavby, bytové stavby, průmyslové stavby...
- Dopravní stavby
 - Silnice, mosty, železnice, tunely...
- Vodohospodářské stavby
 - Přehrady, hráze, kanalizace, přístavy...
- Životní prostředí
 - Ochrana a bezpečnost, požární zabezpečení budov...

5.2 Destruktivní a nedestruktivní zkoušky materiálu

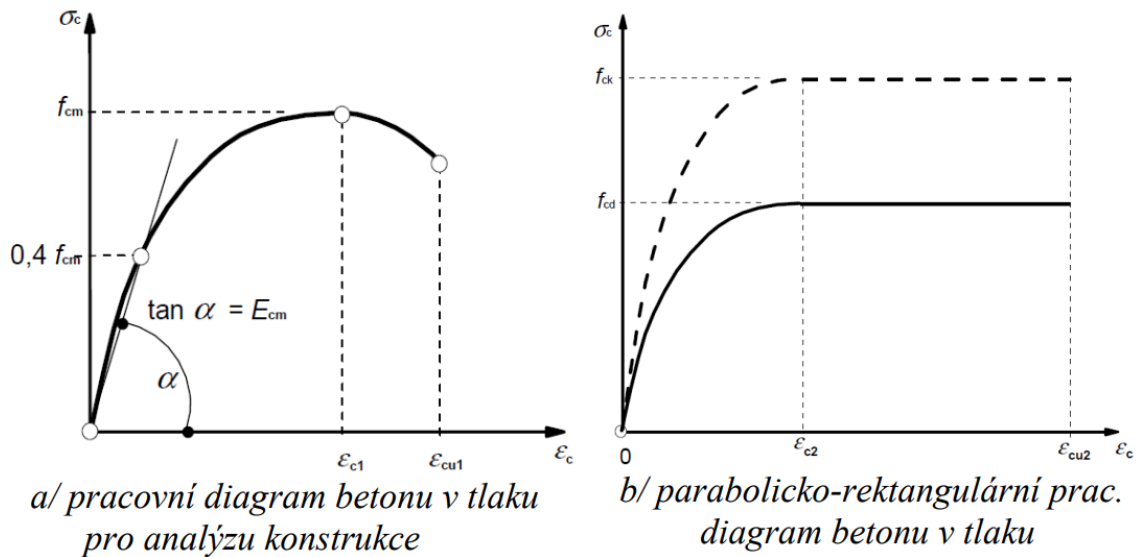
Zejména u betonových konstrukcí jsou čas od času prováděny zkoušky jakosti. Tyto zkoušky, jež jsou definovány normami, jsou buď destruktivní, nebo nedestruktivní. V obou případech, ač jsou zásadně rozdílné, je zjišťován stav konstrukce.

Zkoušky destruktivního charakteru, jinak známé jako zkoušky přímé, jsou naprosto přesné, neopakovatelné na stejném vzorku a lze je provádět pouze v laboratoři. Je jimi zjišťována pevnost lámáním, drcením nebo přetržením. Přitom je zaznamenána maximální hodnota síly, při které došlo k destrukci vzorku. Rozhodujícími pevnostmi betonu jsou: v tlaku (krychle, válec), v tahu (krychle 150 x 150 mm), ve smyku (válec 150 x 30 mm).

Zkoušky nedestruktivní jsou jednoduché, lze je provádět přímo na konstrukci v neomezeném počtu opakování. Jedná se ale o nepřímé určení (dle povrchové tvrdosti) a zkouška se musí sestavit, nebo musí být použity kalibrační vztahy. Modul pevnosti je potřeba určit několika

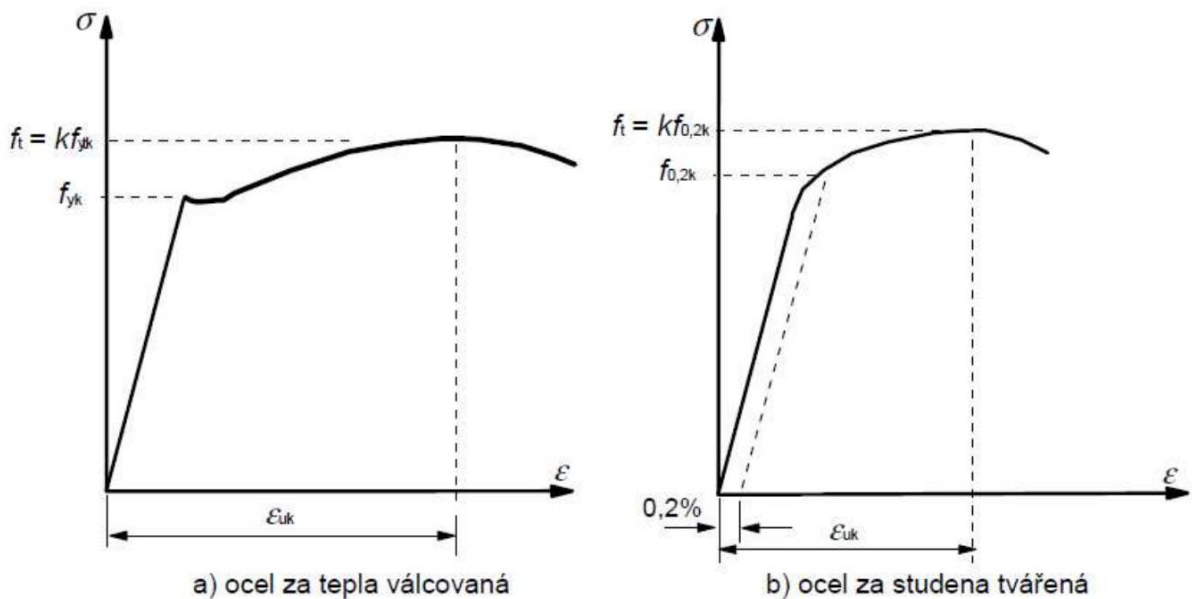
různými způsoby (i na vyjmutých vzorcích). Metody nedestruktivních zkoušek jsou děleny na mechanické (tvrdoměrné), dynamické, tenzometrické, radiometrické a radiografické.

Prováděné zkoušky jsou průkazné a kontrolní, jejich výsledkem je pracovní diagram. Tento diagram zobrazuje závislost napětí a poměrového přetvoření, jenž je ovlivněn vlastnostmi betonu. Z diagramu je obvykle vyčíst tečný modul pružnosti (ten roste s pevností betonu v tlaku).



Obr. 6: Pracovní diagram betonu [13]

V obdobném smyslu, pomocí zkoušek, lze zkonstruovat pracovní diagram pro ocel, nebo jiný materiál.



Obr. 7: Pracovní diagram oceli [13]; v případě b) se zvyšuje mez kluzu a pevnosti / zmenšuje tažnost

V části bylo čerpáno ze znalostí ze střední školy – VOŠ a SPŠ stavební, Praha 1, Dušní 17.

6 Kombinace fotogrammetrie a stavebního inženýrství

Fotogrammetrie se ve stavebním inženýrství uplatňuje zejména v následujících oblastech: interpretace leteckých snímků, topografické mapování, planimetrické mapování, prezentace zpráv, experimentální měření a inventarizace.

Zatímco stavební a sanitární inženýři využívají fotogrammetrie nejméně, ve vodohospodářství nebo při zavlažování se jí využívá hojně. Například stavební inženýr by pro analýzu a řešení základů konstrukcí mohl využít leteckých snímků.

Při použití planimetrického a topografického mapování, experimentálního měření a inventarizace je spoléháno na metrické charakteristiky a geometrii snímkových systémů. S tímto je spojena důležitost využitých metod pořizování fotografických snímků a kalibrační data. [14]

Materiál využívaný ve stavebním inženýrství je podrobován řadě zkoušek podle jejich aplikace a jednotlivých požadavků na trojrozměrné tvary a jejich změny. Při rozsáhlém monitorování stavebních konstrukcí jsou sledovány zejména deformace, které jsou určeny v mnoha bodech. Tento nárok splňují fotogrammetrické metody, které jsou vhodné pro řešení mnoha měřících úloh.

Pomocí řady příslušenství využívaného pro fotogrammetrii lze přicházet s testovacími metodami ad hoc a přizpůsobit tak výpočet individuálním potřebám testovacích laboratoří nebo práci v terénu. Vzhledem k širokému rozsahu a opakující se povaze úloh v pozemním stavitelství se možnost aplikace fotogrammetrických metod ukazuje jako adaptabilní a prosperující; tedy rozšiřuje pohledávku po fotogrammetrii na trhu. [14]

Kapitola byla převzata z [14] a [15].

V diplomové práci se vhodnost fotogrammetrie pro účely stavebního inženýrství ukázala v možnosti využít pořízené snímky pro analýzu povrchu objektů nejen z hlediska difúzní mapy, která obdobně jako běžně pořízené snímky disponuje barevnou škálou, ale také ostatních textur, jako byla normálová mapa pro odhalení nestandardních částí na povrchu betonového tělesa, jež by se mohly v budoucnu separovat, a tím obnažit armaturu.

7 Využití přístroje a software programy

7.1 Přístroje

7.1.1 Fotoaparát NIKON D5100

K pořízení snímků ve formátu RAW byl použit zrcadlový fotoaparát Nikon D5100 a objektiv VR AF-S nikkor, s velikostí CMOS sensoru $23,6 \times 15,6$ mm a rozměrem 4945×3275 pixelů, což odpovídá hodnotě 16,2 megapixelů. Fotoaparát byl na trh uveden v roce 2011.

Při manipulaci s fotoaparátem lze manuálně ostřit, nastavit čas expozice, citlivost na světlo ISO, je možné optimalizovat vyvážení bílé nebo použít již přednastavené scény. Fotoaparát podporuje běžné obrazové formáty, jako jsou PNG nebo JPEG, ale také formát RAW. Soubory lze přetáhnout pomocí USB nebo HDMI kabelu. [16]



Obr. 8: Nikon D5100 s objektivem [16]

7.1.2 Fotoaparát SONY Alpha a7S III

Dále byl ke snímkování využit bezzrcadlový fotoaparát Sony Alpha a7S III s Canon zoom 24-70 série L Canon e redukcí. Fotoaparát má velikost senzoru CMOS $35,6 \times 23,8$ mm a rozměrem 4260×2840 pixelů, což odpovídá hodnotě 12,1 megapixelů. Na trh byl uveden v roce 2020.

Fotoaparát disponuje nastavením času dispozice, citlivosti na světlo ISO (automaticky, nebo v rozsahu manuálně v daném rozsahu), manuálním ostřením a podporuje RAW formáty, kromě běžných obrazových formátů. Také je podporováno pořizování videí K přetažení dat mezi fotoaparátem a počítačem lze použít HDMI nebo USB kabel. Není zabudována GPS ani blesk.[17]



Obr. 9: Sony Alpha a7S III [17]

Tab. 2: Rozlišení snímků – Sony Alpha a7S III

Sony Alpha a7S III		
velikost senzoru [mm]	35,6	23,8
velikost snímku [pixel]	3776	2832
velikost pixelu [mm]	0,00847	
objektiv [mm]	70	
vzdálenost – GDS [mm]	500	0,061
vzdálenost – GDS [mm]	1000	0,121
vzdálenost – GDS [mm]	1500	0,182

7.1.3 Fotoaparát FUJIFILM GFX 100S

K pořízení snímků byl také použit bezzrcadlový středoformátový fotoaparát Fujifilm GFX 100S, jenž disponuje senzorem BSI-CMOS o velikosti 43,8 × 32,9 mm a rozlišení 102 megapixelů. Maximální rozlišení snímků je 11648 × 8736 pixelů.

Fotoaparát umožňuje ukládání nejen na SD karty, ale také SDXC karty s možností ukládat do běžných formátů jako JPEG či TIFF nebo do RAW. Obdobně jako u výše zmíněných zařízení, je zde možnost nastavení citlivosti ISO nebo expozice. [18]



Obr. 10: Fujifilm GFX 100S [18]

Tab. 3: Rozlišení snímků – Fujifilm GFX 100S

Fujifilm GFX 100S		
velikost sensoru [mm]	43,8	32,9
velikost snímku [pixel]	11648	8736
velikost pixelu [mm]	0,00376	
objektiv [mm]	50	
vzdálenost – GDS [mm]	500	0,038
vzdálenost – GDS [mm]	1000	0,075
vzdálenost – GDS [mm]	1500	0,113

7.1.4 Skener Konica Minolta Vivid VI-9i

Pro skenování byl zvolen bezkontaktní 3D skener Vivid VI-9i od společnosti Konica Minolta. Jedná se o skener s vysokým rozlišením, který je vhodný pro vizualizaci průmyslových výrobků různých tvarů a rozměrů. K příslušenství skeneru patří 3 objektivy (tele, middle, wide), kalibrační systém, nástavec pro postavení na stativ a program na USB klíči *Polygon Editing Tool* (dále jen ‚PET‘). Pro připojení skeneru k PC slouží SCSI kabel.

Skener využívá triangulace jako měřicí metody. Přesnost skeneru je vyšší s nižší vzdáleností od skenovaného objektu. Podle voleného objektivu může být přesnost od 0.05 mm po 0.40 mm ve vzdálenosti do 1.00 m od skenovaného objektu.

Výstupem ze skenování jsou 3D data ve formátu Konica Minolta format, která jsou převedena v PET, a barevná data ve formě RGB 24-bit rastru. [19]



Obr. 11: Vivid VI-9i – laboratoř fotogrammetrie, Fsv ČVUT

7.2 Software programy

Grafické programy Krita a Darktable byly použity pro úpravu pořízených snímků. Fotogrammetrický model byl vytvořen z upravených snímků v software Agisoft Metashape. Aby byly získány textury, na kterých byly prováděny analýzy, byla v Blenderu vytvořena pomocná rovina. Pro možnost využití konvoluční neuronové sítě (convolutional neural network) byla v QGISU vytvořena bodová vrstva pro zatřídění a následné vzorkování. Pro samotné provedení analýz byl použit software eCognition.

Tab. 4: Pracovní postup

Č.	Krok	Vstup	Úkon	Výstup
1	sběr dat a úprava dat	RAW snímky	zvýšení kontrastu, přepálení, textury v Darktable	upravené snímky
2	výpočet 3D modelu	upravené snímky	výpočet modelu v Agisoft Metashape	originální model
3	definice substituční roviny	originální model	vytvoření substituční roviny v Blender	substituční rovina
4	výpočet textur	originální model, substituční rovina	výpočet textur v Agisoft Metashape	textury (difúzní, normal, occlusion, displacement)
5	analýza textur	textura (displacement)	rastrová analýza v QGIS (příčný řez), vytvoření bodových datasetů	příčný profil, bodové datasety
		textury (difúzní, normal, occlusion, displacement), bodové datasety	rastrová a vektorová analýza v eCognition	pravděpodobnostní mapa, segmentace

7.2.1 Krita

Krita je profesionální volně dostupný open source program pro kreslení, který byl původním nápadem Matthiase Ettricha a následně i lidí ze skupiny KDE. Originálně se program jmenoval ‚KImageShop‘. Software lze nainstalovat na operační systémy Windows, Linux i MacOS. Program tak může bez limitací použít kdokoliv.

Program má jednoduchý a flexibilní rozložení se snadnou navigací mezi jednotlivými nástroji, mezi které patří velká paleta štětců nebo práce s vektorem a texty. Také je podporováno kódování pomocí jazyka Python.

Program je určený především pro vytváření konceptů, textur nebo ilustrací a komiksů, ale pro potřeby diplomové práce byl použit pro úpravu snímků za použití filtrů (speciálních efektů) k zvýraznění některých prvků. [20]

7.2.2 Darktable

Software Darktable je volně dostupný open source program pro zpracování snímků, vhodný jako alternativa k Adobe Lightroom. Dokáže pracovat s digitálními negativy v databázi, nahlížet na ně, vyvolávat je a dále je upravit. Program snímky zpracovává nedestruktivní metodou a zachovává originály. Konverze snímků probíhá pouze u exportu.

Program má lehce navigovatelné rozhraní s možností přidat moduly pro proces snímku, například jednoduché oříznutí, úpravu expozice a odstranění šumu, nebo složitější funkce jako simulace nočního vidění lidí.

Jelikož je práce v programu založena na hodnotách s plovoucí desetinnou čárkou (float point values), je možné zde zpracovávat i snímky pro vědecké účely. Z toho důvodu byl program použit i pro zpracování snímků pro diplomovou práci. [21]

7.2.3 Agisoft Metashape

Agisoft Metashape od firmy AgisoftLLC je placený software pro profesionální fotogrammetrické zpracování digitálních snímků a pro generování 3D prostorových dat, která mohou být dále použita pro GIS aplikace, dokumentace kulturních památek nebo vizuální efekty. Software také umožňuje nepřímé měření objektů v různých měřících.

Z programu je možné exportovat i importovat jednotlivé komponenty, jako jsou textury, modely, ortofoto a další, což je výhodné pro možnou kombinaci práce s jinými software (například Blender).

Výhoda programu spočívá v jeho rychlosti, vysoké přesnosti a snadné navigaci v rozhraní, kde je jsou jednotlivé kroky nabízeny v posloupnosti, jak je možné je použít, proto je vhodný i pro méně zkušené uživatele. [22]

7.2.4 Blender

Blender byl vytvořen organizací *The Blender Foundation* a jedná se o bezplatný open source software pro tvorbu 3D s licencí GNU GPL a možností instalace na platformách s OS Linux, MacOS a Windows.

Veškerá práce s 3D modely, od tvorby až po animaci a render, je zvládnutelná právě v tomto software a díky množství tutoriálů je vhodný pro jakoukoliv kategorii od začátečníků po pokročilé uživatele. Zkušenější tvůrci mají možnost psát vlastní nástroje ve skriptovacím jazyce Python. [23]

7.2.5 QGIS

QGIS je profesionální a volně dostupný open source software, pro zpracování GIS dat. Jde o uživatelsky přívětivý program s licencí GNU GPL (general public licence, který je oficiálním projektem Open Source Geospatial Foundation. Lze jej nainstalovat na operační systémy Linux, Unix, MacOS, Windows i Android.

Výhodou programu je možnost práce s rastrovými, vektorovými i databázovými formáty. Dále je možné, aby si uživatel sám napsal pluginy, nebo je stáhnul, jsou-li již vytvořené komunitou. V několika jazycích jsou dostupné i trénovací materiály, které nováčkovi program představí. [24]

7.2.6 eCognition

Placený software eCognition od společnosti Trimble slouží k automatizaci analýzy rastrových a vektorových dat. Program nabízí řadu funkcí pro segmentaci a klasifikaci dat na bázi objektové analýzy, kde jsou zkoumány pixely / body v kontextu s okolím.

Dochází ke klasifikaci a porovnání obrazu, vektorů a bodových mračen za použití sémantických informací. Místo studie jednotlivého prvku se pracuje v korelaci se zbytkem dat a jednotlivé metody lze libovolně kombinovat, aby byl uživatel získal ideální výsledek. [25]

8 Popis vybraných vzorků

8.1 Beton s ocelovými vlákny

Vzorek byl pro účely diplomové práce zapůjčen z katedry betonových a zděných konstrukcí, ČVUT, Praha. Jedná se o podélně říznutý betonový válec s výztuží průměru 15 cm a výšce 29 cm. V řezu jsou viditelné drobné dutiny a jemná ocelová vlákna, jejichž viditelnost je ovlivněna především směrem dopadu světla.

Na vytvořených texturách byla hledána ocelová vlákna a dutiny.



Obr. 12: Beton s ocelovými vlákny

8.2 Ocelový svár – Etalon společnosti ČEZ, a. s.

Vzorek byl zapůjčen společností ČEZ, a. s. Svařené desky netvoří rovínu, nýbrž mezi sebou svírají tupý úhel. Na vzorku jsou patrné nedokonalosti, jako jsou malé prohlubně a poškrábání. Méně viditelné jsou pak drobné praskliny ve sváru samotném.

Na desky byly přilepeny štítky pro následné vytvoření modelu ve odpovídající velikosti.

Na vzorku byla snaha o detekci sváru a určit jeho geometrii.



Obr. 13: Ocelový svár

8.3 Věž – Unipetrol

Dne 02. 04. 2023 byly firmou NDN Tech s.r.o. poskytnuty difúzní, normálová a displacement textury věže, kde bylo možno zkoumanou metodu testovat na větší ploše. Na daných texturách jsou patrné praskliny, odpadlé či téměř odpadlé kusy betonu, nebo přímo obnažená armatura.

Pomocí poskytnutých textur byly hledány místa s odpadlým betonem a obnažená armatura, popřípadě byla snaha nalézt oblasti, kde hrozí separace betonu.



Obr. 14: Věž – difúzní textura

9 Zpracování

9.1 Návrh řešení

Na základě rešerší, jež byly zmíněny na začátku této diplomové práce, a které se zabývaly využitím fotogrammetrických metod k získání geometrických informací o objektech nebo pro studii nalezených archeologických artefaktů, byla i tato diplomová práce psána se záměrem vyzkoušet možnosti fotogrammetrie pro zjištění informací o testovaných prvcích. Zejména se jednalo o možné poškození způsobené aktivním používáním či stářím (případ věže) nebo informace o kvalitě provedení (případ betonového vzorku a etalon sváru).

Řešení pak bylo opřeno o metody Convolutional Neural Network a Object-Based Image Analysis, které jsou často využívány v dálkovém průzkumu země pro analýzu území. Bylo tedy postupováno klasickým způsobem zpracování snímků a vytvoření 3D modelu, s jehož texturami přepočtenými na rovinu bylo dále pracováno obdobně jako se satelitními snímky.

Pro pořízené snímky byly tedy pomocí Agisoft Metashape vytvořeny jejich 3D modely. Jelikož tyto modely obsahovaly nerovnosti, byly nahrazeny optimální rovinou vytvořenou v Blenderu pro přepočtení textur, se kterými bylo dále pracováno. Získané a exportované textury byly dále zpracovány v programech Krita, QGIS a eCognition.

9.2 Betonový vzorek

Betonový prvek byl vybrán za účelem detekování vláken výztuže a dutin, které jsou viditelné v řezu tohoto vzorku. Analýza byla provedena dvěma způsoby; jeden z nich byl pouze vizuální za využití filtrů v grafickém programu Krita, zatímco druhý se zaměřil na využití objektové založené analýzy v profesionálním GIS programu eCognition.

Snímky byly pořízeny ve dvou různých dnech a za různých podmínek, v obou případech však byly pořízeny pomocí digitálního zrcadlového fotoaparátu Nikon D5100. Snímky byly vždy upraveny pro zvýšení kontrastu a ostrosti před samotným zpracováním.

Během zpracování snímků bylo postupováno obdobným způsobem při výpočtu 3D modelu a získání textur, avšak dále bylo zpracování rozděleno na grafické a analytické. Textury vložené do software Krita byly pouze modifikovány pomocí dostupných filtrů. Pro práci v eCognition byla předtím potřeba příprava bodového setu v programu QGIS a až následně byla provedena analýza v programu eCognition.

V obou případech bylo docíleno zvýraznění výztuže a dutin. Bylo dosaženo uspokojivého výsledku, který vypovídá o možnostech použitých metod a jejich vhodnost využití.

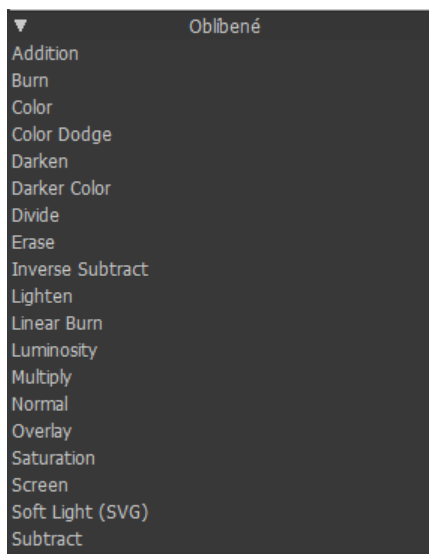
9.2.1 Vizualní porovnání pomocí filtrů v software Krita

Snímky betonového vzorku, pořízených dne 24. 01. 2023 pomocí fotoaparátu Nikon D5100, byly upraveny pomocí programu DarkTable pro jejich další zpracování. To bylo provedeno v software Agisoft Metashape, kde byl založen projekt a do něj byly upravené snímky nahrány.

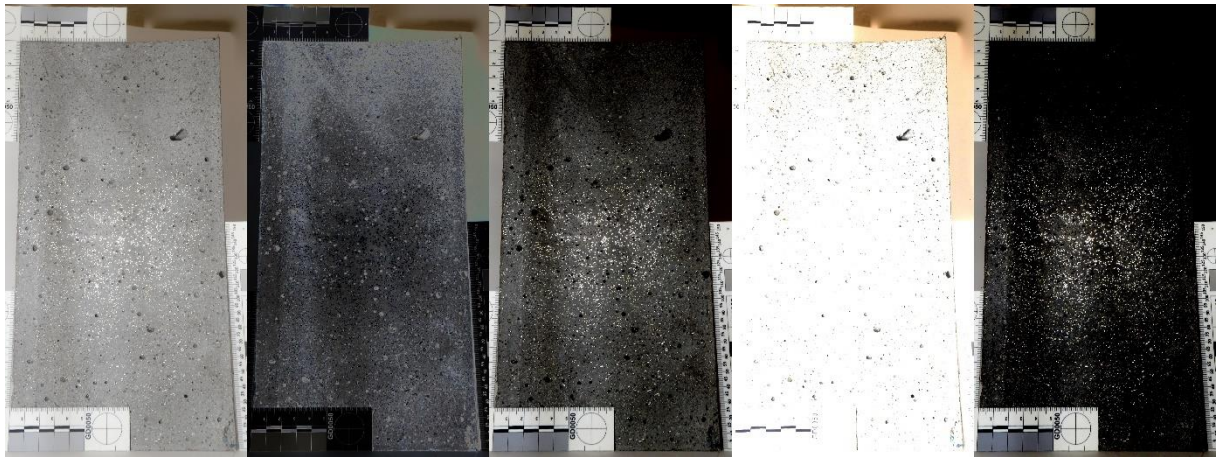
Snímky byly orientovány přes funkci *Align Photos*, čímž bylo vypočteno řídké mračno bodů. Na jednotlivých snímcích byly vyznačeny identické body tak, aby na každém snímku byly minimálně 3 tyto stejné body. Po jejich označení byla znovu provedena orientace snímků. Přes funkci *Build Mesh* byla vytvořena polygonová síť – model. Modelu byly vypočteny textury (funkce *Build Texture*) a ortomozaika (funkce *Build Orthomosaic*), které bylo exportováno do TIF souboru. Podrobněji byl postup zpracování v Agisoft Metashape uveden v následující kapitole (viz kapitola 9.3), kde bylo popsáno i zpracování v eCognition.

Ortomozaika byla nahrána do grafického software Krita (viz kapitola 7.2.1). Pomocí dostupných filtrů bylo testováno, které detaily lze pomocí nich zvýraznit, popřípadě jaká kombinace těchto modifikátorů je zlepšší. Jednalo se tedy pouze o vizuální zpracování.

Snahou bylo zvýraznit detaily vzorku jako jsou drobné dutiny a samotná ocelová výztuž. Zatímco dutiny byly patrné za jakéhokoli osvětlení, viditelnost výztuže se lišila podle dopadajícího světla.



Obr. 15: Krita – příklad dostupných filtrů



Obr. 16: Upravené snímky: a) difúzní textura; b) difference + linear burn; c) linear burn; d) color dodge; e) multiply + linear burn

Na jednotlivých snímcích bylo pak patrné, že pro kombinaci filtrů lze dosáhnout zvýraznění různých detailů. Při použití filtrů *‘difference‘* a *‘linear burn‘* (písm. b) na obrázku č. 16) bylo dosaženo zvýraznění dutin, zatímco u výztuže došlo spíše ke zhoršení její viditelnosti. Při použití pouze *‘linear burn‘* byla mírně zvýrazněna výztuž oproti zbytku textury (písm. c)), obdobně tomu tak bylo u kombinace *‘multiply‘* a *‘linear burn‘* (písm. e)). Po použití filtru *‘color dodge‘* byly také zvýrazněny dutiny (písm. d)).

Z výše uvedených obrázků tedy vyplývá, že filtry dostupné v grafických software (tedy nejen program Krita) by bylo možné využít pro vizuální zvýraznění detailů snímků. Tento postup pak lze aplikovat pro vyznačení detailů u fasádních prvků, nebo jednotlivých stavebních objektů či segmentů, nebo pro archeologické nálezy, které by nevyžadovaly detailní měření.

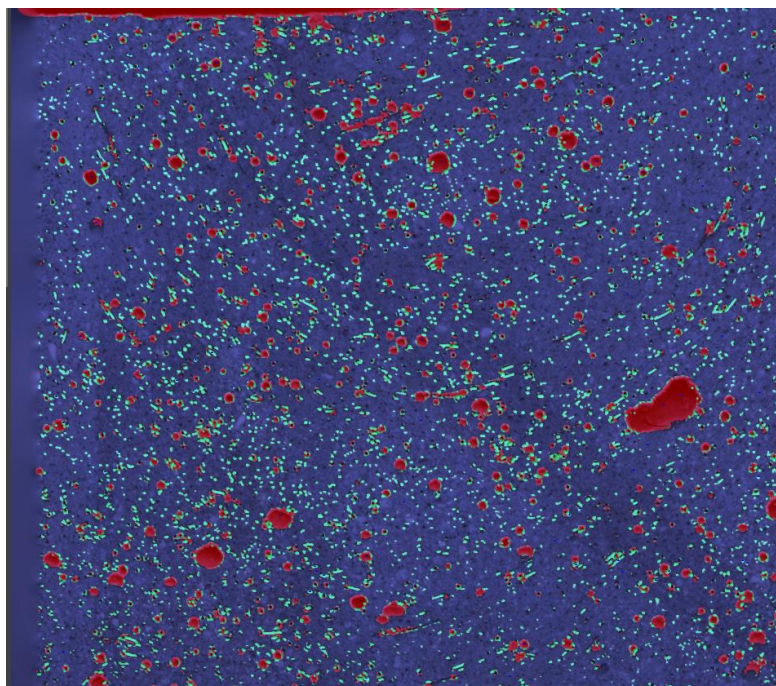
9.2.2 Klasifikace ocelových vláken, dutin a betonu

Pro stejný betonový prvek, který byl analyzován v kapitole 10.2, byly pořízeny snímky dne 31. 03. 2023 fotoaparátem Nikon D5100. Pro dosažení adekvátně vypovídajících výsledků, byly snímky opět upraveny v software Darktable. Upravené snímky byly, podle již výše uvedeného postupu, zpracovány programy Agisoft Metashape a Blender, aby byly získány textury objektu přepočtené na substituční rovinu. Stejně bylo postupováno pro zpracování v programu QGIS, kde byly označeny prvky výztuže, dutin a ostatních oblastí pro následovné vzorkování.

Tab. 5: Vzorky

Vrstva	Označení	Počet vzorků	Celkem bodů	Popis
1	výztuz	80	240	výztuž
	dutina	80		dutiny
	beton	80		ostatní plochy (beton)

Podle již výše popsaného způsobu probíhal i postup v software eCognition, kde bylo snahou dosáhnout maximální viditelnosti drobné výztuže a dutin. Výztuž byla dobře viditelná v místech, kde byly drobné drátky přímo osvětleny, a tedy logicky hůř pozorovatelná v neosvětlených částech betonového vzorku.



Obr. 17: eCognition – výztuž (zeleně), dutiny (červeně), beton (modře)

Kvůli kolmosti řezu – a tedy velice hladkému povrchu vzorku – nebyla využita normálová textura, která by v jiných případech dobře ukázala nerovnosti, ani displacement textura, která by jinak pomohla při určení dutin. K analýze v programu eCognition tak stačila pouze difúzní textura.

9.3 Etalon sváru společnosti ČEZ, a. s.

Pro vybraný etalon bylo provedeno dvojí testování. Poprvé byl použit Sony Alpha a7S III a podruhé středofórmátový fotoaparát Fujifilm GFX 100S. Snímky pořízené fotoaparátem Fujifilm disponují větším rozlišením, což sloužilo jako zhodnocení výsledků získaných fotoaparátem Sony. Jako dodatečná kontrola byl proveden sken prvku pomocí skeneru Konica Minolta VI-9i.

Pořízené snímky byly vždy upraveny pro zvýšení kontrastu, ostrosti a přepálení ve volně dostupném programu Darktable, načež následně byly zpracovány v profesionálním fotogrammetrickém software Agisoft Metashape. Pro další práci byla v Blenderu vytvořena substituční rovina, na kterou byly přepočteny textury z původního detailního modelu.

Před analýzou byly vytvořeny bodové sady v programu QGIS. V QGIS bylo také možno zrealizovat příčný profil na osu sváru, který zachycuje geometrii sváru. Samotná analýza byla provedena v programu eCognition, kde byla vypočtena klasifikace a pravděpodobnostní mapa.

V případě porovnání dvou typů fotoaparátu, obyčejného a středoformátového, bylo dospěno k závěru, že pro velice detailní detekční práce – jako jsou například praskliny – bude vhodnější středoformátový fotoaparát.

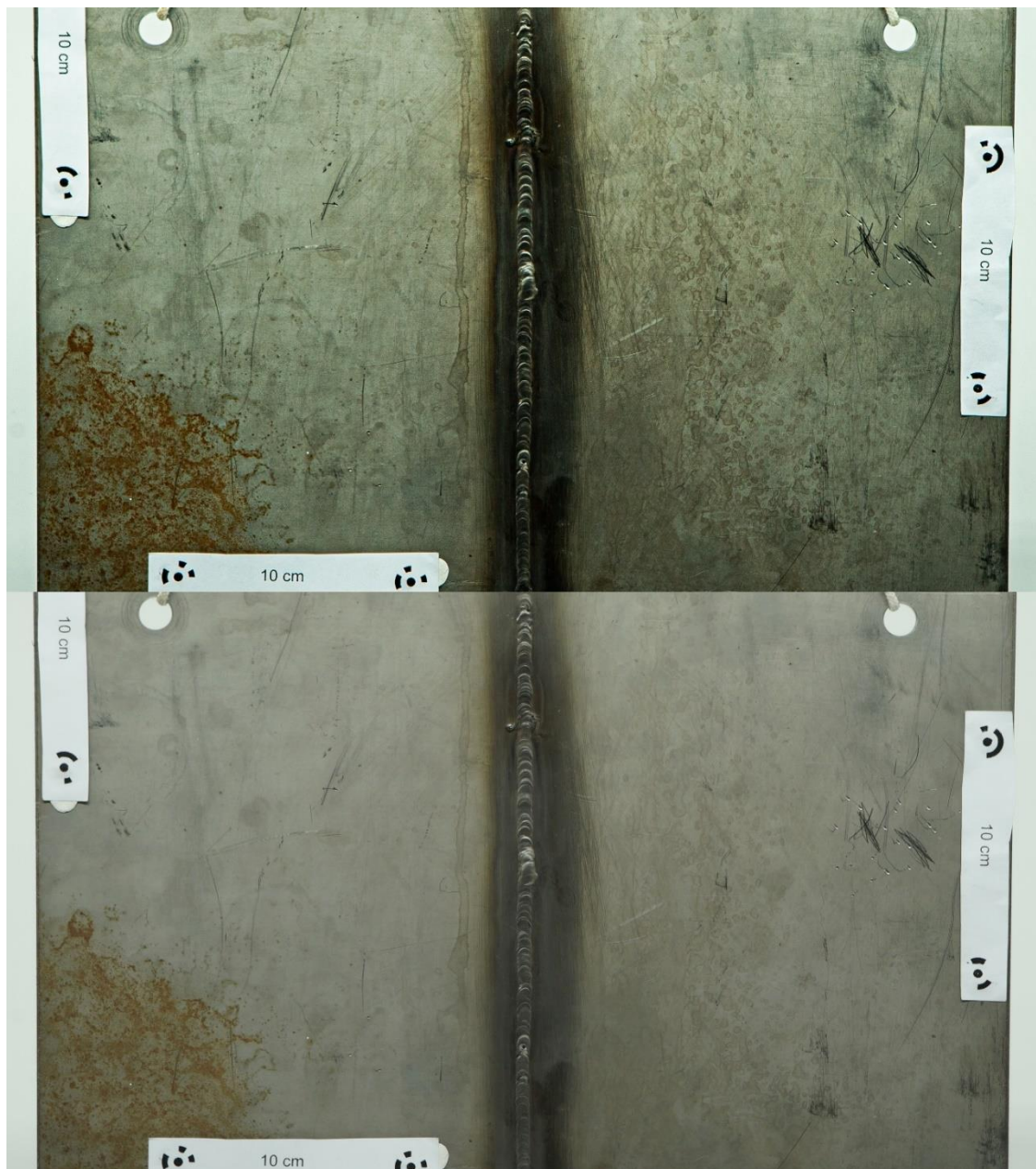
Skener, ačkoliv pořízený model nedopadl zcela ideálně, poskytl dobrý podklad pro porovnání mezi modelem získaným pomocí snímků a tomu naskenovanému.

9.3.1 Lokalizace sváru a jeho geometrie

Snímky byly pořízeny dne 15. 02. 2023 v kontrolovaném prostředí pomocí fotoaparátu Sony Alpha a7S III. Etalon byl zavěšen v softboxu, kolem kterého byla dána světla. Kamera byla umístěna ve vzdálenosti 1,454 m od vzorku. Během snímkování byly měněny zdroje světla, které na objekt etalonu dopadalo. Při pořizování snímků byly pořízeny sady snímků s kolmou osou záběru a šikmou osou záběru pro různé kombinace směru dopadajícího světla.

Pro dosažení kvalitních výsledků byly pořízené snímky ve formátu ARW upraveny pomocí programu Darktable (viz kapitola 7.2.2). Úprava spočívala zejména ve zvýšení kontrastu a textury, snížení přepalů, úpravě expozice, jasu a barevnosti.

Na obrázku č. 18 je znázorněn snímek před (dolní) a po (horní) úpravě v programu, kde je vidět markantní rozdíl mezi totožným snímkem.



Obr. 18: Úprava snímku – ÚPRAVA (horní) a ORIGINÁL (dolní)

V software Agisoft Metashape byl založen nový projekt, do kterého byly nahrány vybrané snímky. U těchto snímků byla provedena kontrola kvality pomocí funkce *Estimate image quality* a hlídán koeficient kvality, aby byl vyšší jak 0,6.

Poté byla provedena orientace snímků a vytvořeno řídké mračno bodů (funkce *Align Photos*). Po vytvoření řídkého mračna byly do programu nahrány souřadnice vřícovacích bodů, které byly určeny externě. Tyto vřícovací body byly označeny na zorientovaných snímcích. Jemile byly body označeny, byla opět provedena orientace snímků.

Od verze 2.0 je v programu Agisoft Metashape doporučeno vytvářet polygonovou síť (funkce *Build Mesh*) z takzvaných *depth maps*, což bylo provedeno s nastavením povrchu *Arbitrary (3D)* a kvality *Ultra high*.

Tab. 6: Agisoft Metashape – výpočet polygonové sítě – nastavení

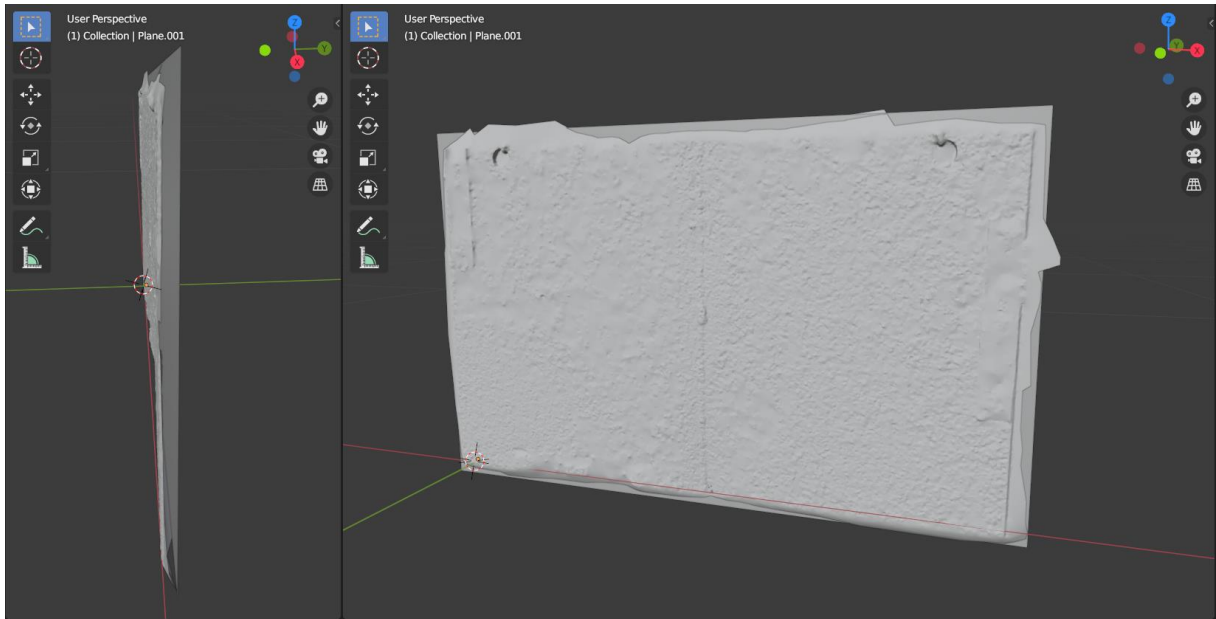
Build Mesh	
General	
Source data	Depth maps
Surface type	Arbitrary (3D)
Quality	Ultra high
Face count	High
Advanced	
Interpolation	Enabled (default)
Depth filtering	Mild
Point classes	All
Calculate vertex colors	yes
Use strict volumetric masks	no
Reuse depth maps	yes

U vytvořeného modelu bylo možno vypočítat texturu 3D modelu. Pro účely diplomové práce byl model exportován do souboru OBJ, aby mohl být nahrán do software Blender, kde byla vytvořena rovina.

Do software Blender byl nahrán podrobný model exportovaný z Agisoft Metashape a následně byl vytvořen nový objekt roviny k nahrazení tohoto detailního modelu vzorku. Této substituční rovině byla rozbalena UV mapa, aby jí následně mohly být vypočteny textury (difúzní, normálová, occlusion a displacement). Rovina svou velikostí a orientací odpovídala detailnímu modelu, který zastupovala.

Tato rovina byla umístěna tak, aby se co nejvíce prolínala s původním modelem, popřípadě tak, aby ležela ve sváru, jelikož ten byl hlavním cílem následné analýzy.

Po jejím nastavení byl proveden ‚*UV Unwrap Faces – Unwrap*‘, pro vytvoření UV mapy, na kterou bylo v následujících krocích možné vypočítat textury, kam byl jako vstup zadáván původní detailní model. Tento krok byl prováděn pro možnost vypočtení zejména displacement textury.



Obr. 19: Blender – vložená rovina – pohled z boční strany a zepředu

Objekt roviny byl exportován zpět do souboru OBJ pro přidání do již existujícího projektu v programu Agisoft Metashape. Rovina byla nahrána do stejné skupiny ‚chunk‘ jako model. Následně na ni byly vypočteny textury z původního modelu.

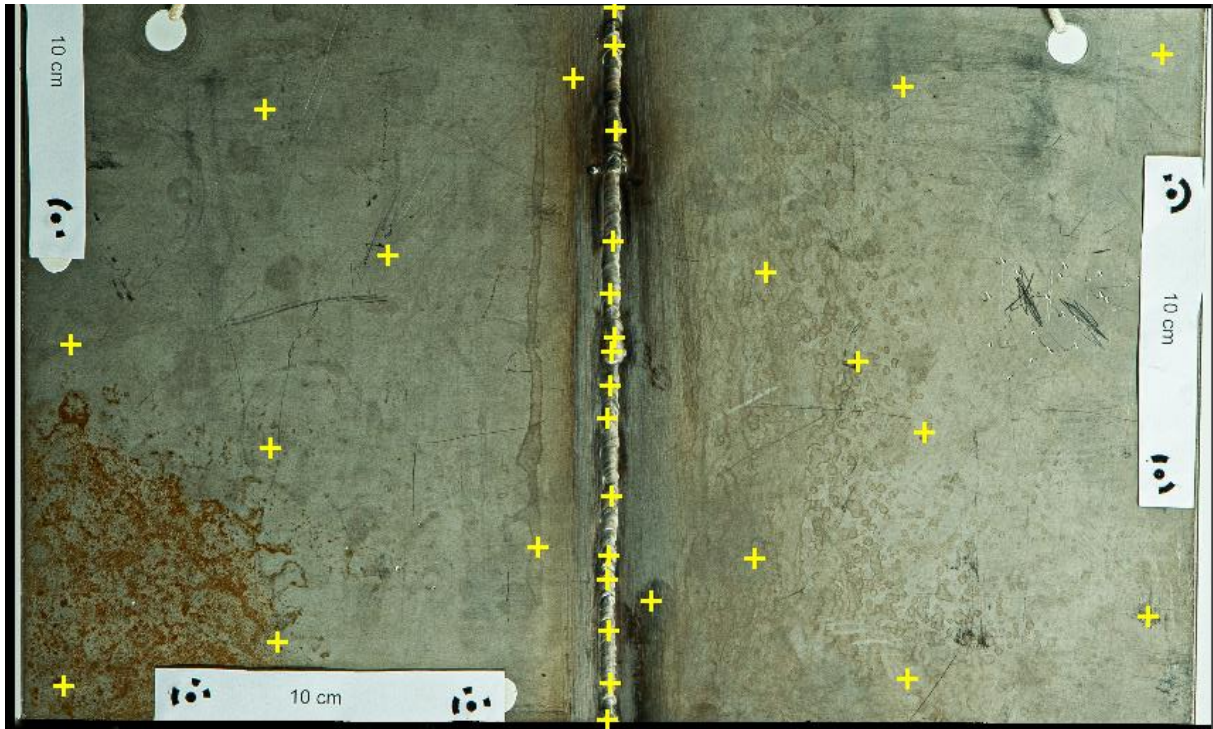
Tab. 7: Agisoft Metashape – výpočet textury na rovině – nastavení

Build Texture	
Texture type	Normal map
Source data	3D model (...)
Mapping mode	Keep uv
Blending mode	Mosaic (default)
Texture size/count	8192 × 1

Nově vytvořené textury (difúzní, normálová, occlusion a displacement) byly exportovány do formátu TIF. Takto získané textury sloužily jako vstupní data pro další zpracování.

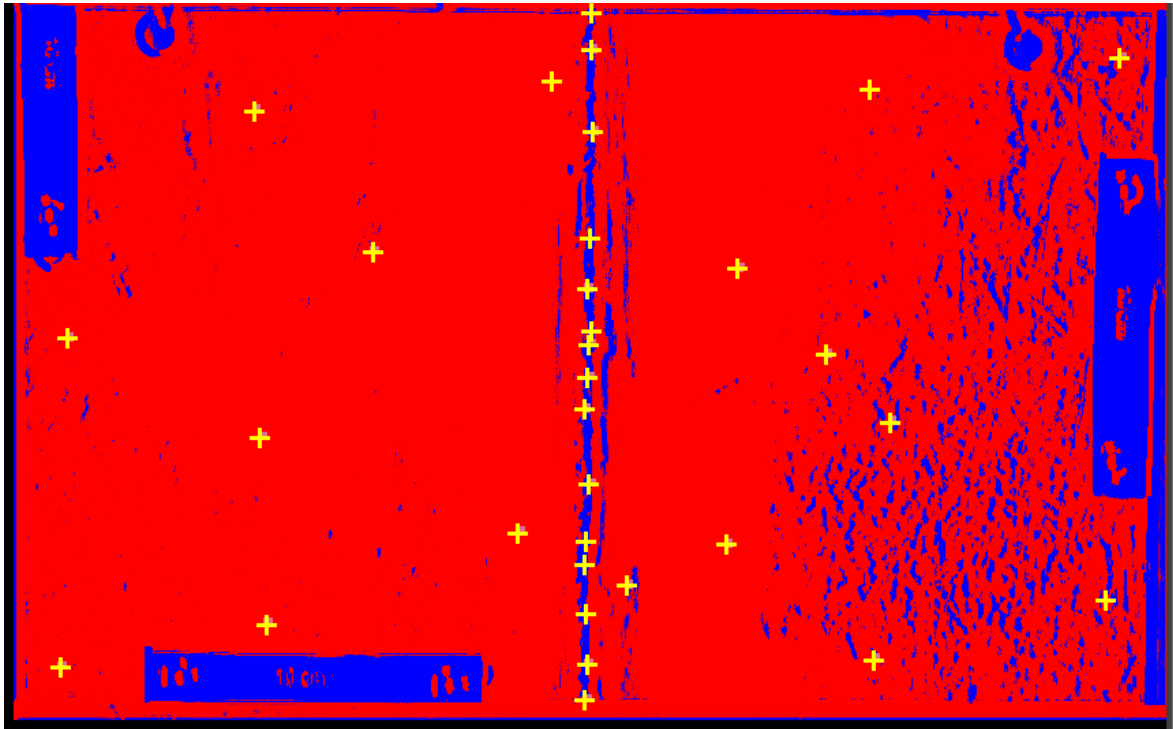
Pro zvolený způsob analýzy CNN (convolutional neural network) byla difúzní mapa nahrána do programu QGIS, kde byl zvolen místní souřadnicový systém. Za účelem vzorkování byla vytvořena nová bodová databáze ve stejném souřadnicovém systému, jež sloužila k označení míst na difúzní textuře podle toho, kde se bod nachází (svár = 1, mimo svár = 0). Takto byly vytvořeny vzorky, pro následné zpracování v programu eCognition. Vytvořené body byly uloženy do souboru SHP a vstupní difúzní textura byla uložena jako GeoTIF. Oba soubory tak musely mít stejný referenční souřadnicový systém, jelikož bez toho nebylo možné pokračovat ve zpracování v programu eCognition.

Do Developer trial verze pro jinak placený software eCognition byly nahrány soubory difúzní mapy a databáze bodů. Následně začalo samotné zpracování, které bylo popsáno níže.



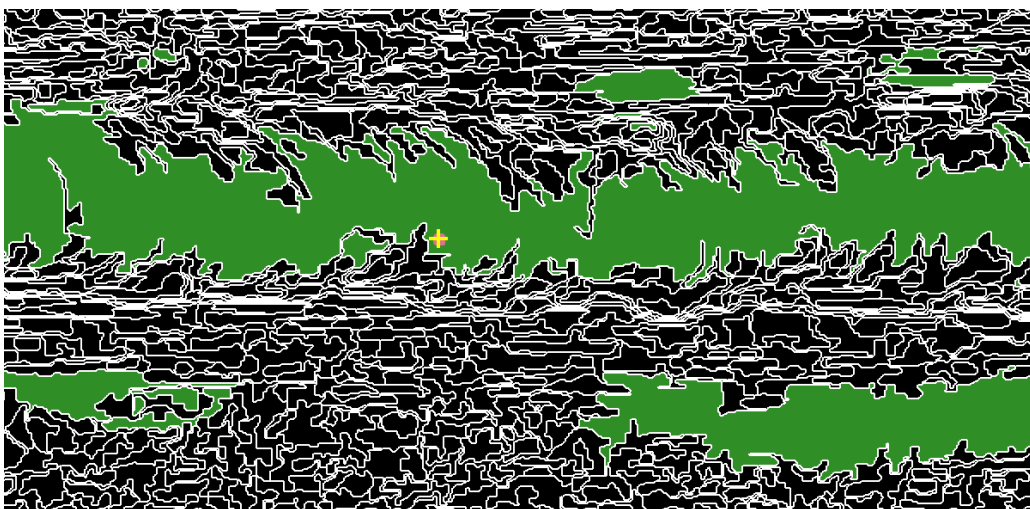
Obr. 20: eCognition – difúzní textura a body

V prvním kroku byly vytvořeny vzorky. U bodů byl vypočten ‚buffer‘ pro vytvoření plochy okolo bodů a došlo k rozdělení podle třídy (svár = 1, mimo svár = 0). Pro obě třídy byly vygenerovány vzorky v počtu kolem ~500. Pro tyto vzorky byla vytvořena CNN struktura s náhodnými počátečními váhami. Vypočtený model má na výstupu vygenerované třídy. Na tomto modelu byly promíchané vzorky trénovány. Jakmile bylo trénování dokončeno, byla CNN aplikována na snímek s vytvořením výstupní pravděpodobnostní mapy, tzv. ‚heatmap‘, kde byly třídy znázorněny samostatnými barvami.



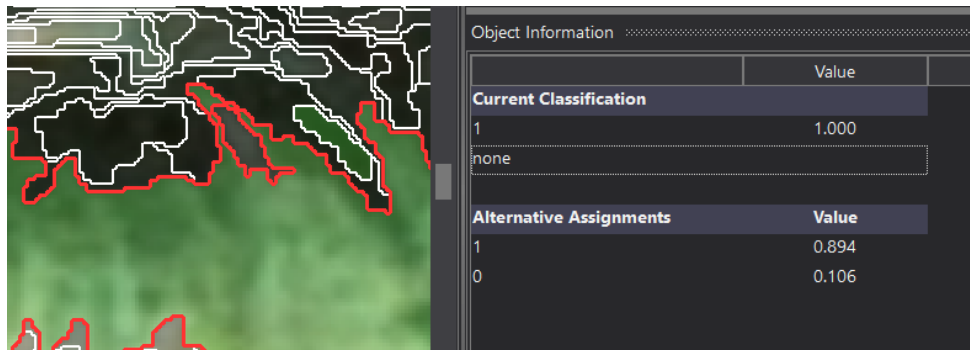
Obr. 21: eCognition – pravděpodobnostní mapa pro svár (modrá) a mimo svár (červená)

Po aplikaci CNN následovala OBIA (object-based image analysis). Za tímto účelem byla provedena segmentace difúzní mapy podle složek R / G / B. Následně byla segmentace klasifikována podle výše zmíněných tříd. Na tyto segmentované prvky byla aplikována funkce sloučení regionu, aby došlo k sjednocení sousedících segmentů, které se obsahovaly svár. Pro dodatečnou analýzu byla pomocí získaných pravděpodobnostních map vypočtena pravděpodobnost, s jakou byl prvek označen jako svár, nebo oblast mimo.

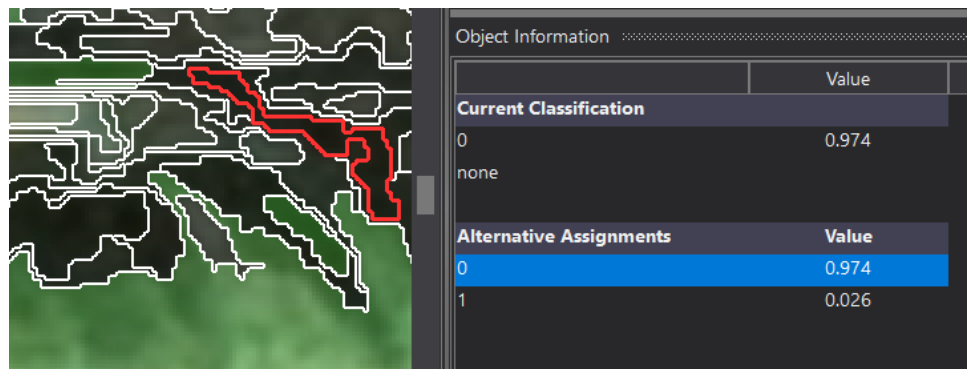


Obr. 22: eCognition – segmentace a její sloučení

Pravděpodobnost umístění do některé z tříd byla zachycena v níže přiložených výstřizích obrazovky, ze kterých je patrné, že prvek označený v obrázku a) náležel z 89.4% do třídy svár, zatímco prvek označený na obrázku b) patřil z 97.4 % do třídy označující místa mimo svár:

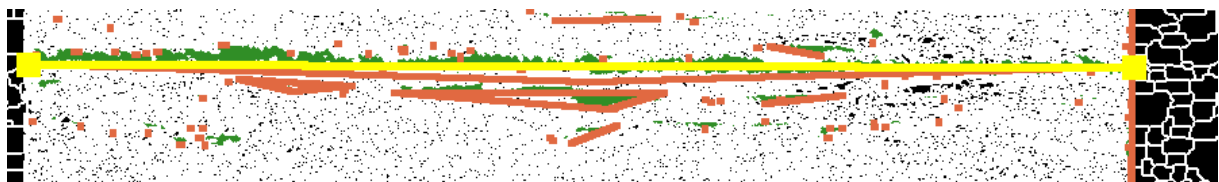


Obr. 23: eCognition – pravděpodobnost sváru klasifikovaného jako ‚svár‘ (89.4 %)

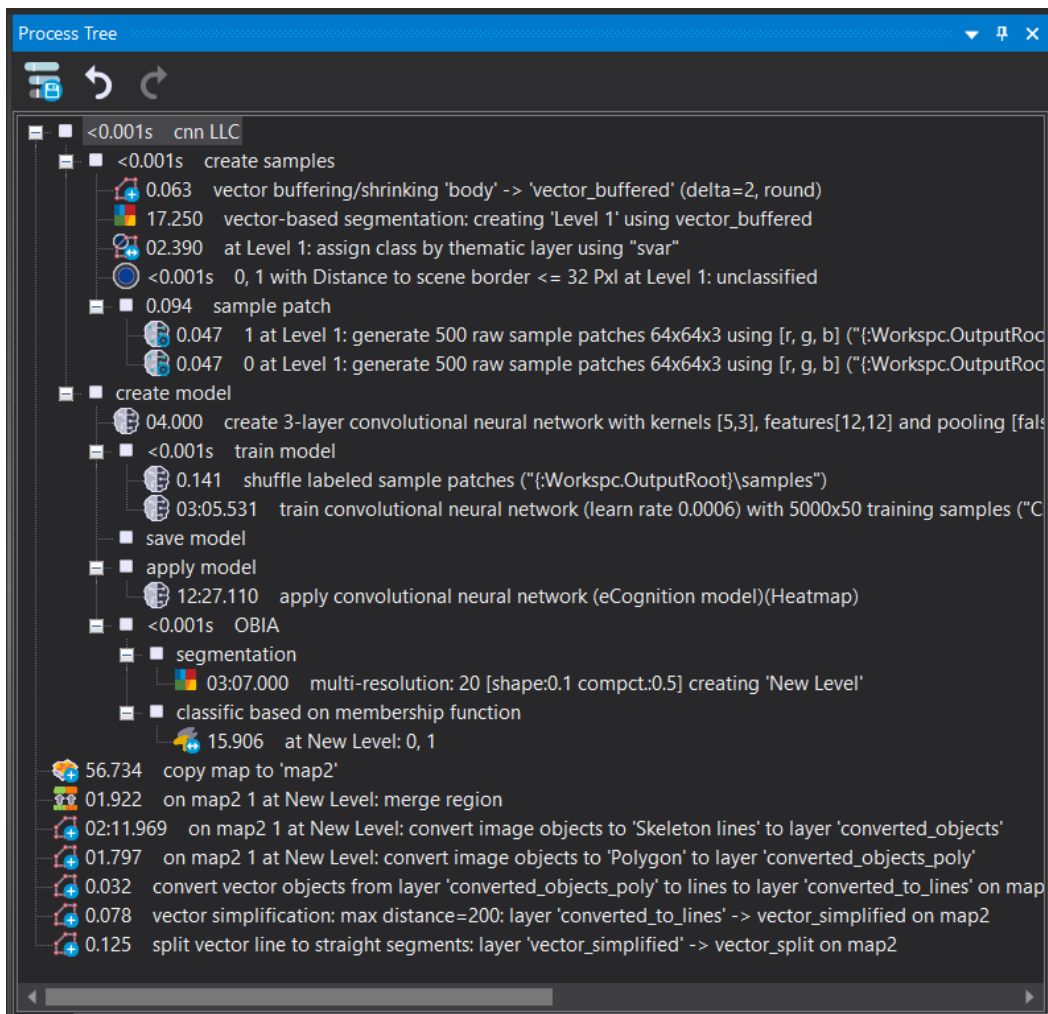


Obr. 24: eCognition – pravděpodobnost oblasti mimo svár zatříděné jako ‚mimo svár‘ (97.4 %)

Takto upravené regiony byly převedeny na polygonové objekty. Tímto způsobem byla získána geometrie sváru. Pro nahrazení sváru linií byl polygon prvku zjednodušen a rozdělen na jednotlivé linie. Nejdelší z linií pak reprezentovala samotný svár.



Obr. 25: eCognition – osa sváru



Obr. 26: eCognition – postup zpracování

Postup zpracování v software eCognition byl, kromě výše uvedeného snímku obrazovky, shrnut do následující tabulky, kde byly uvedeny názvy funkcí, vstupní vrstvy a relevantní výstupní vrstvy. Tabulka byla vytvořena za účelem přehledného ukázání postupu.

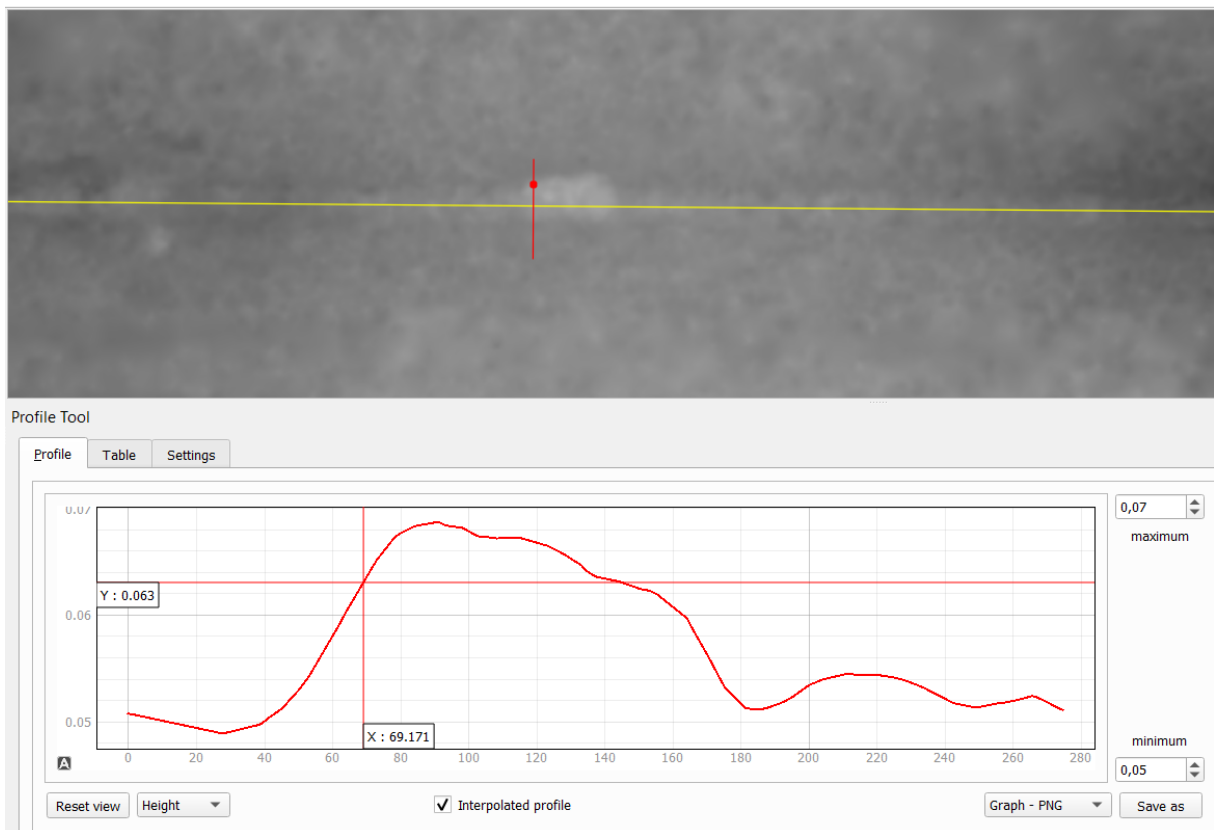
Tab. 8: Postup – eCognition

Krok	Funkce	Vstup	Výstup	Pozn.
Vytvoření vzorků	<i>vector buffering/shrinking</i>	bodová vrstva	vector_buffered	
	<i>vector-based segmentation</i>	vector_buffered	Level 1 - segmentace	
	<i>assing class by thematic layer</i>	Level 1 - segmentace, vector_buffered		
	<i>assing class</i>	Level 1 - segmentace, třídy		
	<i>generate labeled sample patches</i>	Level 1 - segmentace, vrstvy R/G/B, třída	tiff / raw do vybrané složky vzorků	pro každou třídu
Vytvoření modelu	<i>create convolutional neural network</i>	třídy		
Trénování modelu	<i>shuffle labeled sample patches</i>	cesta ke složce vzorků		
	<i>train convolutional neural network</i>	cesta ke složce vzorků		
Aplikace modelu	<i>apply convolutional neural network</i>	vrstvy R/G/B	heatmap pro každou třídu	
OBIA	<i>multiresolution segmentation</i>	vrstvy R/G/B	Level 1 - segmentace OBIA	
	<i>classification</i>	Level 1 - segmentace OBIA, třídy		

Z výše uvedeného postupu, doplněného o vizuální podklady, vyplývá možné využití pro analýzu větších ploch, které by, obdobně jako testovaný prvek etalonu, obsahoval sváry. Tímto postupem by bylo možné nalézt polohu, směr a velikost svárů. Pro dosažení lepších výsledků by bylo potřeba více vzorků, na kterých by byla zkoumaná metoda vyzkoušena.

Zároveň by metoda byla lépe zhodnotitelná, pokud by trénování CNN modelu a jeho následná aplikace probíhala na dvou rozdílných datových sadách. Toto oddělení v diplomové práci nebylo provedeno kvůli omezení Developer Trial verzí eCognition.

Pro získání relativně přesné geometrie sváru, který byl určen nejdelší linií z programu eCognition, by tato linie musela být exportována do dalšího programu – v případě této diplomové práce do programu QGIS, kde by pomocí volně dostupného pluginu *Profile Tool* byly vypočteny příčné řezy, tedy řezy kolmé na linii neboli osu sváru na displacement textuře. Jelikož Developer Trial verze programu eCognition nedovoluje ukládání, byl níže uvedený příklad nasimulován pomocí vytvořené linie (žlutá), která získanou linii z eCognition nahrazuje. Kolmo na ni je pak znázorněn řez (červená), jenž se poté vypočte v okně výše zmíněného doplňku.



Obr. 27: QGIS – řez na osu sváru

9.3.2 Porovnání snímků získaných fotoaparátu SONY a FUJIFILM

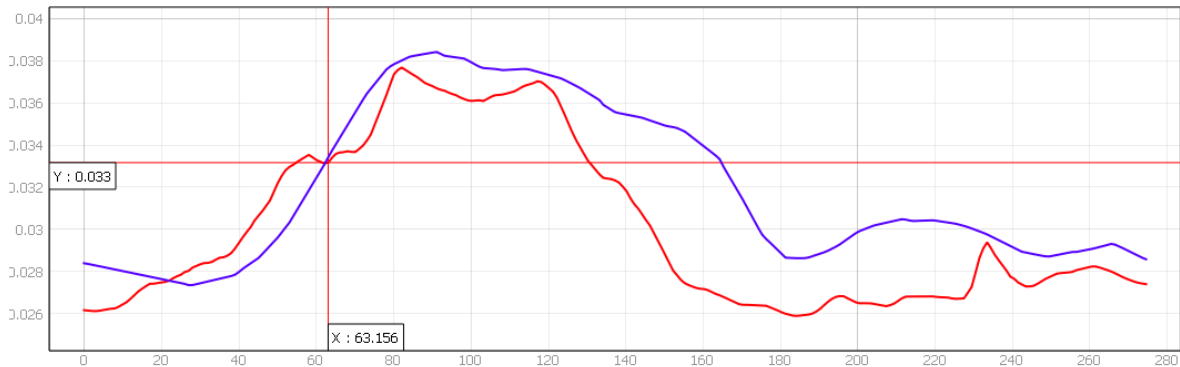
Snímky byly pořízeny středoformátovým fotoaparát Fujifilm GFX 100S dne 24. 04. 2023 v několika sadách podle zdroje světla či polohy fotoaparátu vůči snímkanému objektu etalonu. Výstupem byly snímky o vyšším rozlišení oproti dříve pořízeným snímkům fotoaparát Sony Alpha a7S III. Získané snímky byly upraveny v programu Darktable, kde jim byl zvýšen kontrast a ostrost.

Upravené snímky byly opět nahrány do programu Agisoft Metashape, kde byl vypočten model s nastavením nejvyšší kvality a detailu. Po výpočtu modelu, který trval bezmála 5 hodin, bylo dosaženo 3D modelu. Tento model, přestože byly použity snímky s větším rozlišením, měl více šumu než dříve vypočtený model ze snímků z fotoaparátu Sony.

Pro možnost porovnání s předchozím modelem téhož objektu, byly použity totožné vlíčovací body pro dosažení stejného měřítka a tatáž substituční rovina, na kterou byly textury přepočteny. Tím bylo docíleno, že na sebe tyto dvě sady textur seděly (sada ze dne 15. 02. 2023 a sada ze dne 24. 04. 2023).

Ačkoliv na sebe byly textury nasazeny výše popsáním postupem, mohlo dojít k mírnému posunu měřítek, která jsou u etalonového vzorku přiložena. Důvodem toho je materiál měřítek a manipulace s testovaným objektem. v době mezi pořízením snímků různými fotoaparátu.

Pro porovnání byly textury displacement nahrány do programu QGIS, kde byl pro obě mapy vytvořen příčný řez osou sváru. Modře byl znázorněn příčný řez displacement texturou z fotoaparátu Sony a červeně displacement texturou z fotoaparátu Fujifilm.

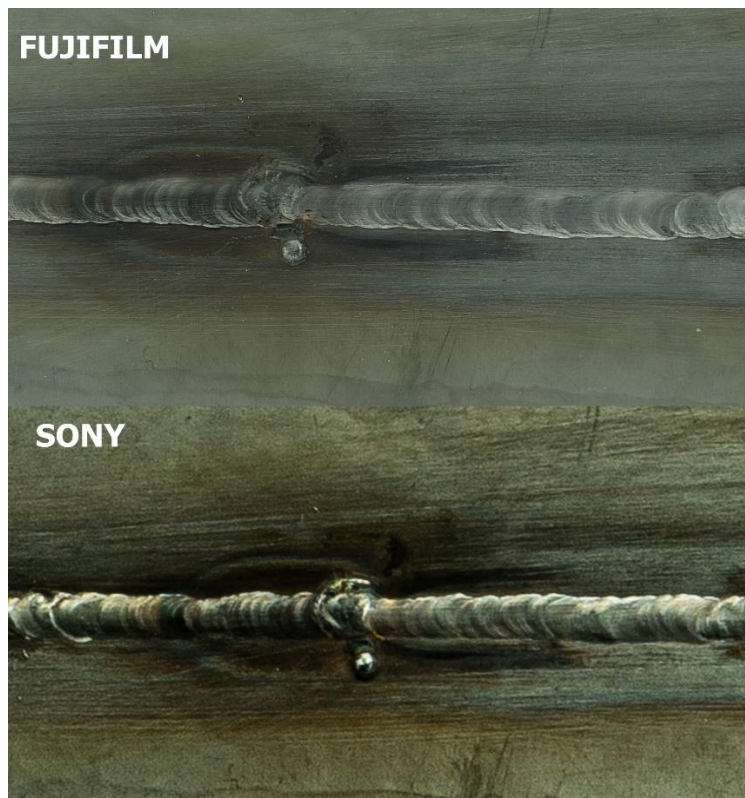


Obr. 28: QGIS – příčný profil: fotoaparát Sony (modře), fotoaparát Fujifilm (červeně)

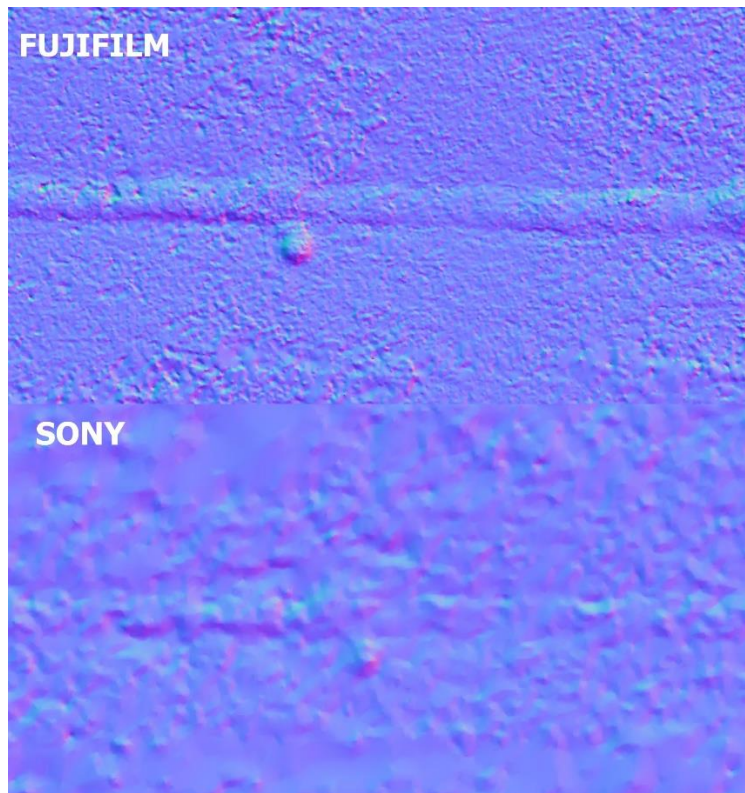
Z výše uvedeného snímku bylo patrné, že došlo k drobnému posunu a změně měřítka. Na druhou stranu bylo pomocí středofotmárového fotoaparátu Fujifilm dosaženo podrobnějšího řezu kolmo na svár.

Dále byly porovnány difúzní textury na identických místech po přepočtu na identickou substituční rovinu. Jelikož se jednalo o projekci na jednu rovinu, měly všechny textury shodné rozměry a daly se tedy nahrát do jednoho projektu jako samostatné vrstvy v programu Krita. Dále byl vybrán úsek sváru, který byl oříznut. Na tomto výřezu bylo provedeno porovnání dvojic textur.

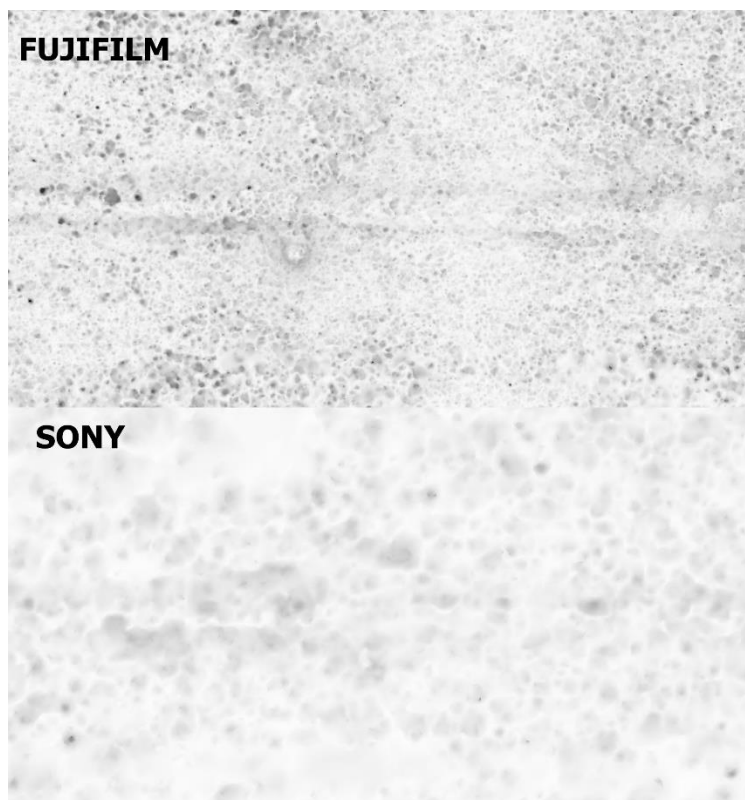
Z níže vložených výstřižků bylo patrné, že skutečně došlo k posunu. Také byly jednoznačně více vypovídající textury ze snímků pořízených středofotmárovým fotoaparátem. Z tohoto důvodu by se pro budoucí projekty vyplatilo využít těchto přístrojů pro získání maximálních informací.



Obr. 29: Krita – porovnání textur: difúzní textura



Obr. 30: Krita – porovnání textur: normal textura



Obr. 31: Krita – porovnání textur: occlusion textura

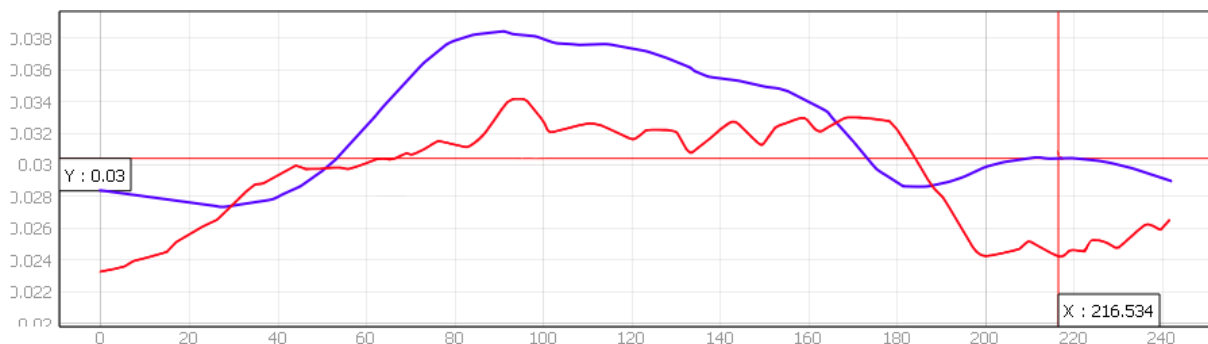
9.3.3 Porovnání modelů získaných fotoaparátem SONY a skenerem VIVID

Dne 04. 05. 2023 byl pořízen sken etalonu sváru pomocí skeneru VIVID VI-9i od společnosti Konica Minolta. Tímto skenem měla být provedena kontrola již dosažených výsledků, které jsou popsány v předchozích kapitolách.

Získaný model ze skeneru, který byl vytvořen v odlišném měřítku oproti modelům získaných pomocí fotoaparátu Sony (viz kapitola 9.3.1), bylo nutno transformovat v programu Blender. Model byl pouze opticky nasazen na již existující model, jelikož nebylo možné využít identických bodů. Toto nasazení bylo provedeno, aby mohla být využita totožná substituční rovina jako u předchozích případů z této kapitoly 9.3.

Do programu Agisoft Metashape byl nahrán model ze skeneru a substituční rovina, na kterou byla následně vypočtena displacement textura. Tato displacement textura byla následně exportována, aby ji bylo možné nahrát do programu QGIS.

V programu QGIS byl pomocí pluginu *„Profile tool“* vytvořen příčný řez na osu sváru.



Obr. 32: QGIS – příčný profil: fotoaparát Sony (modře), skener Vivid VI-9i (červeně)

Z výše vloženého obrázku lze vyčíst, že opět došlo k drobnému posunu vůči sobě. Zároveň, ačkoliv se jedná o stejné místo na textuře, bylo vlivem drobně odlišné vzdálenosti od substituční roviny dosaženo rozdílných výšek. Avšak z hladkosti průběhu řezu byl učiněn závěr, že model a textury, které pocházely z fotoaparátu Sony Alpha a7S III lépe zachycovaly skutečný stav etalonu sváru.

Lze tedy konstatovat, že fotogrammetrickými metodami bylo možné získat přiměřeně přesný model a vypočíst mu textury, se kterými bylo dále pracováno v programech QGIS a eCognition.

9.4 Věž – Unipetrol

Obdobně jako získané textury předchozího vzorku, byly zpracovány i textury poskytnuté firmou NDN Tech s.r.o. Vybrané textury byly nahrány do programu QGIS, kde byly pro účely vzorkování oříznuty na dvě menší oblasti. Pro první dva testy bylo využito větší z oblastí než pro třetí analýzu. Oba vytvořené výřezy byly ve spodní části textury věže, kde se nejčastěji vyskytovaly zkoumané vady.

Byly vytvořeny tři bodové vrstvy. První bodová vrstva rozlišovala místa, kde byl odpadnutý beton, a místa ostatní. Druhá bodová vrstva byla soustředěna na vzorkování obnažené armatury a ostatních míst. Třetí, poslední, vrstva byla rozdělena na tři části; první byla pro odpadlý beton, druhá pro viditelnou výztuž a třetí byla pro ostatní části analyzované textury. Přičemž bylo pracováno s faktem, že obnažená výztuž je viditelná v místech, kde je odpadlý beton.

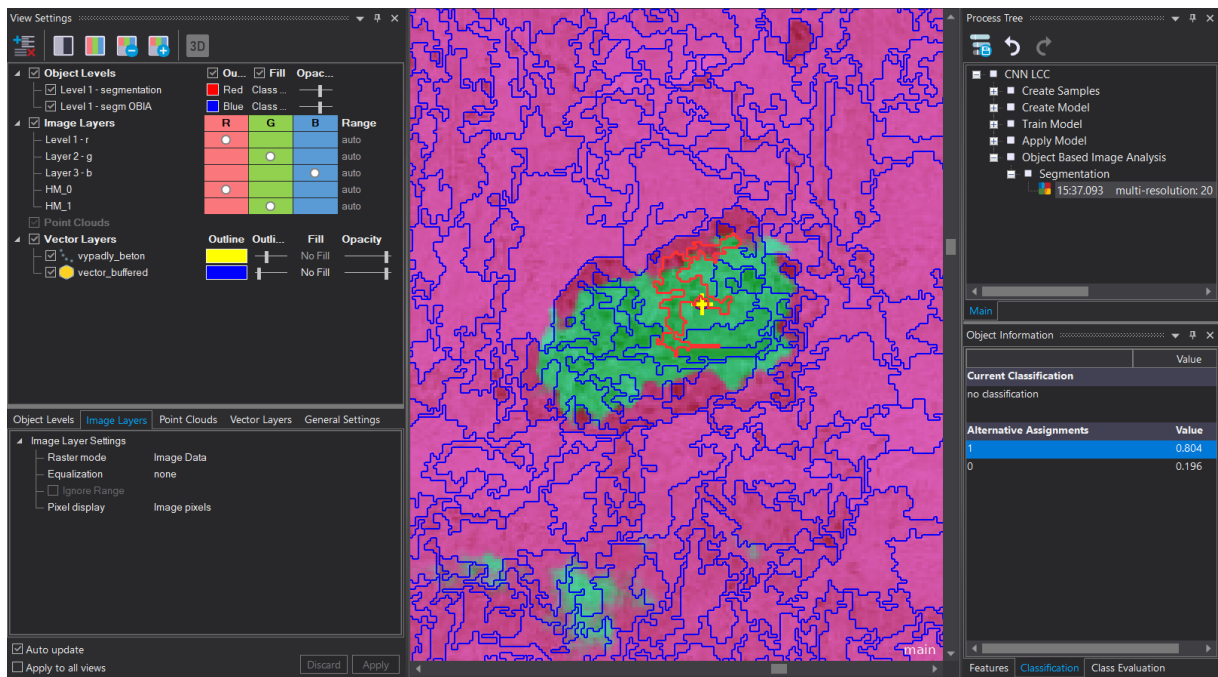
Tab. 9: Vzorky – 3 analýzy

Vrstva	Označení	Počet vzorků	Celkem bodů	Popis
1	0	70	140	mimo odpadlý beton
	1	70		odpadlý beton
2	0	90	180	mimo armaturu
	1	90		armatura
3	a	30	70	armatura
	b	20		odpadlý beton
	n	20		mimo <i>a</i> nebo <i>b</i>

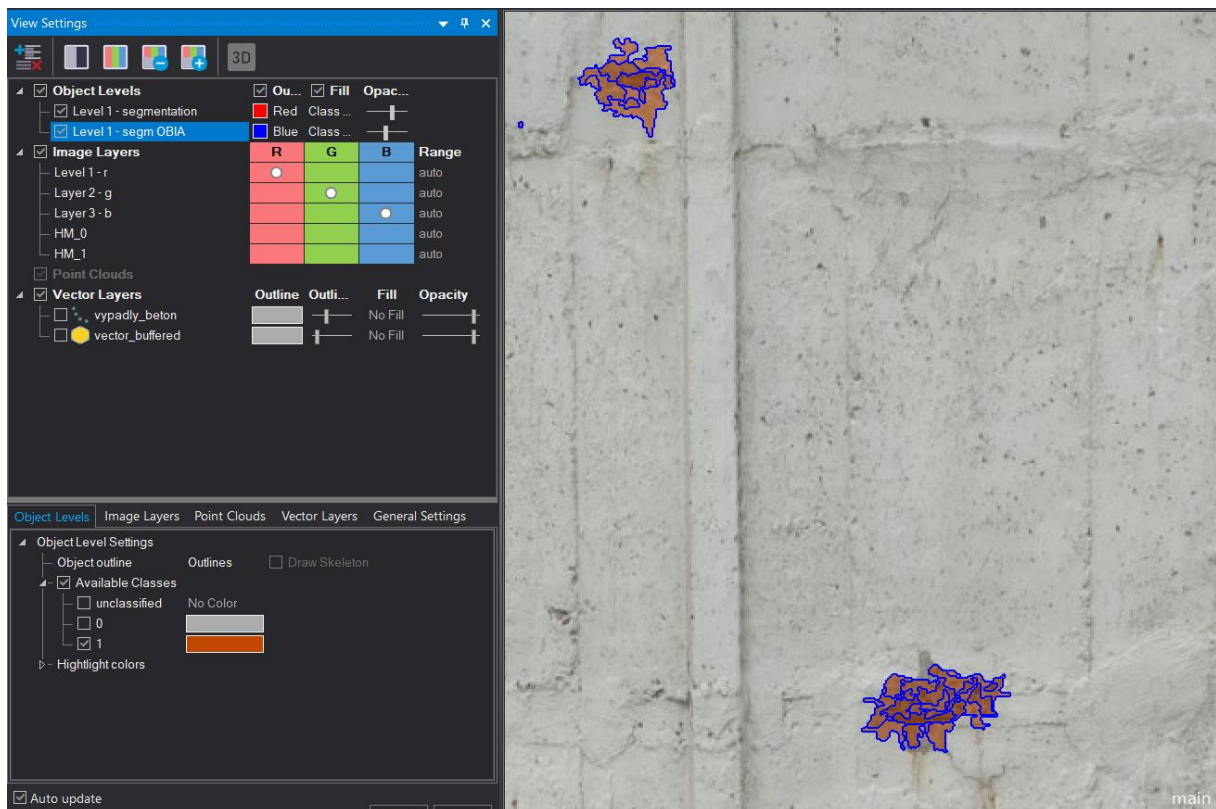
Do programu eCognition byly postupně nahrány všechny textury a příslušné bodové databáze. Vždy bylo pracováno s jednou bodovou databází podle postupu, který je uveden v předcházející části této diplomové práce (kapitola 9.3).

Nejdříve byl tedy vypočten buffer kolem vzorků (bodů), který byl následně segmentován a klasifikován. Na takto vytvořených oblastech byly vypočteny vzorky, které sloužily pro trénink modelu CNN. Vytvořený model byl aplikován na dané vrstvy textury. Po použití modelu byla provedena analýza obrazu založená na objektech, tedy OBIA.

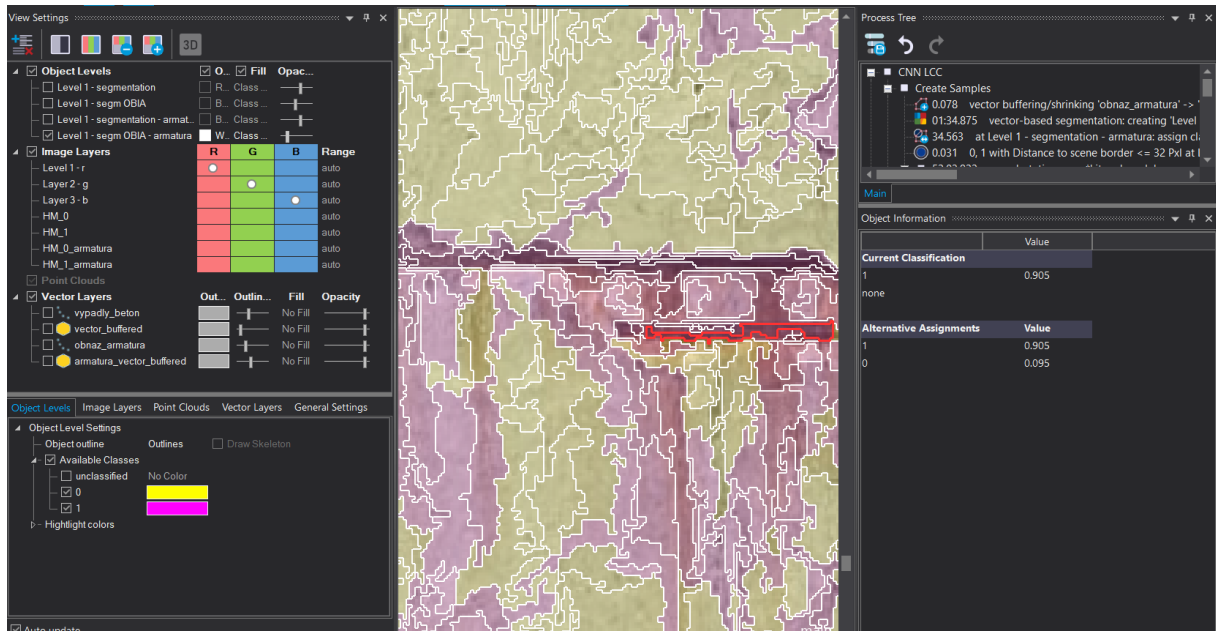
Níže jsou vloženy výstřižky obrazovky pro výsledné segmentace z jednotlivých analýz:



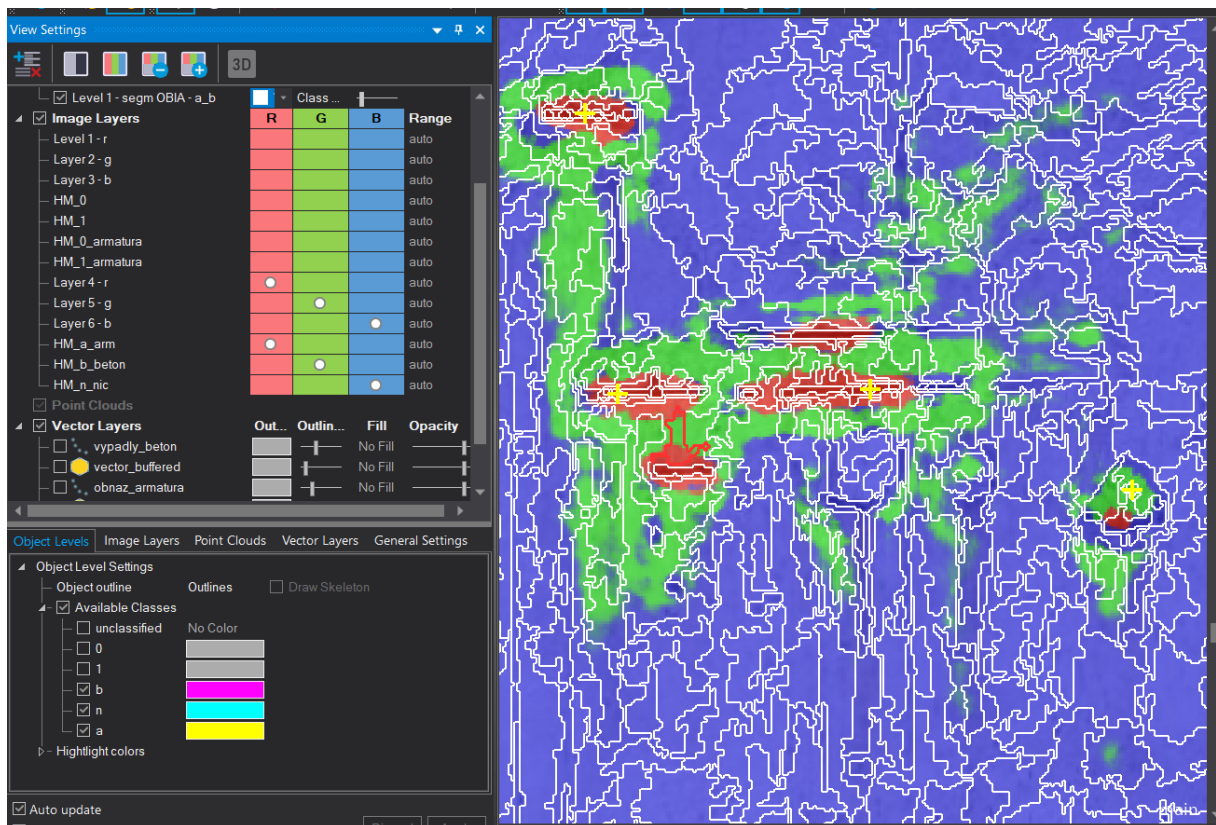
Obr. 33: Analýza 1 – segmentace a pravděpodobnostní mapa odpadlého betonu (zelená = odpadlý beton, fialová = ostatní plochy)



Obr. 34: Analýza 1 – segmentace odpadlého betonu



Obr. 35: Analýza 2 – segmentace obnažené armatury (růžová = armatura, žlutá = ostatní plochy)



Obr. 36: Analýza 3 – segmentace a pravděpodobnostní mapa odpadlého betonu a armatury (červená = armatura, zelená = odpadlý beton, modrá = ostatní plochy)

Z jednotlivých výsledků bylo patrné, že přesnost klasifikace se odvíjela – a i při budoucí aplikaci bude odvíjet – od množství vzorků a detailnosti textury. Kromě množství vzorků mělo na výpočet vliv umístění vzorků.

Zároveň bylo patrné, že klasifikace pro armaturu proběhla lépe, pokud bylo současně provedeno zařazení pro odpadlý beton. Jelikož byly vytvořeny vzorky, jak vypadají oblasti odpadlého betonu, byly pak oblasti správně zařazeny do příslušných tříd (armatura, odpadlý beton, ostatní plochy).

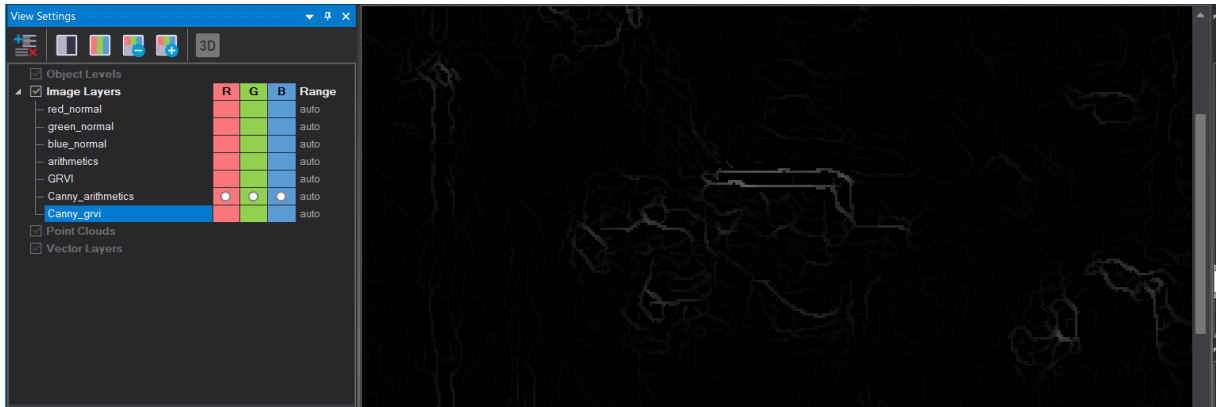
Jak již bylo uvedeno v předešlé kapitole, pro správné zhodnocení metody by měly být kroky trénování modelu a jeho aplikace provedeny na rozdílných setech, aby bylo možné určit jeho korektnost a úspěšnost zařazení. Omezená licence software to však nedovolila.

Pro dodatečnou analýzu, aniž by došlo k předchozí klasifikaci oblasti, byl proveden experiment s funkcí *edge extraction canny*, což je algoritmus pro detekci nebo zlepšení/zvýraznění hran pomocí Canny algoritmu. Do programu eCognition nahrána pouze normálová textura. Při defaultním nahrání je textura rozdělena na tři vrstvy pro R – G – B.

Za tímto účelem byly použity i funkce *index layer calculator*, pomocí kterého byl vypočítán GRVI (green-red vegetation index) s užitím zelené a červené složky normálové textury, a *layer arithmetics*, kde byla vypočtena vrstva z prvků normálové textury dle vzorce:

$$(R_{\text{Normal}} + G_{\text{Normal}} + B_{\text{Normal}})/3 \quad (2)$$

Po porovnání níže uvedeného výstřižku obrazovky je patrné, že lepšího výsledku bylo docíleno při využití vrstvy z funkce *layer arithmetics*, do kterého vstoupily všechny tři složky normálové textury:



Obr. 37: Canny algoritmus na vrstvě vypočtené jako $(R + G + B)/3$



Obr. 38: Canny algoritmus na vrstvě indexu green-red vegetation (GRVI)

Hlavními vstupními hodnotami pro analýzu byly *hloubky*, které jsou barevně vyznačeny v normálové textuře. Při hledání betonu, jenž by se mohl plně oddělit (separovat), byl zejména brán ohled na posun v osách X (červená/horizontální složka) a Y (zelená/vertikální složka), jelikož v těchto dvou, respektive čtyřech, směrech bylo nejvíce patrné vystoupení prasklého, ale nikoliv odpadlého, betonu.

Tato analýza tedy dokázala, do jisté míry, nalézt místa, kde by v budoucnu mohlo hrozit odpadnutí betonu. Relativně jednoduchým způsobem tak byly odhaleny nedokonalosti na konstrukci.

10 Dosažené výsledky

Celkem bylo provedeno 6 testů, kde byla zjišťována možnost detekovat určité atributy pomocí již existující metody, která je využívána při zpracování dat dálkového průzkumu země. Postup byl zaměřen na detekci jednotlivých prvků, které byly na konci zpracování zvýrazněny formou výstřížku obrazovky a uvedeny v textu diplomové práce.

Na jednotlivých testovaných vzorcích byly nalezeny očekávané prvky, které byly v detailu popsány v příslušných podkapitolách v kapitole 9.

Na vzorku řezu betonu byla pomocí dvou metod zvýrazněna ocelová vlákna výztuže a dutiny. Ačkoliv jedna z metod byla pouze vizuální, byla úspěšná v ukázání daných aspektů, které na obyčejně pořízeném snímku nejsou zcela jednoznačné. Druhá metoda, tedy analýza v eCognition, byla soustředěna na klasifikaci plochy do skupin výztuž, dutiny a beton. Zde bylo dosaženo krásných výsledků, kde byla patrná poloha vláken výztuže. Ovšem zde hrálo roli osvětlení, jelikož výztuž byla lépe viditelná, pokud byla přímo osvětlená.

Na vzorku etalonu sváru, který poskytla společnost ČEZ, a. s., byl pozorován svár. Pro objekt byly vypočteny tři modely a jejich textury, k čemuž byly použity dva fotoaparáty a jeden skener. Pro texturu vypočtenou ze snímků z fotoaparátu Sony byla provedena analýza v eCognition, zjištěna osa sváru a byl vypočten příčný řez osou sváru v programu QGIS. Tyto textury byly porovnány s texturami získanými ze snímků ze středoformátového fotoaparátu Fujifilm, kde byl učiněn závěr, že pro další práci je výhodnější využívat většího rozlišení, které středoformátový fotoaparát poskytuje. Na závěr byl proveden pokus spočívající v porovnání modelů, kam vstupoval model ze snímků z fotoaparátu Sony a model ze skeneru Vivid. Ačkoliv model ze skeneru nebyl zcela zdařilý, bylo prokázáno, že model, který vznikl z pořízených snímků, byl dostatečně přesný a vhodný pro následnou analýzu.

Na texturách věže, které pochází ze zdroje firmy NDN Tech s.r.o., byla prováděna analýza v programu eCognition za účelem rozpoznání odpadlého betonu a obnažené armatury. Obou těchto cílů bylo dosaženo, přičemž test byl rozdělen na čtyři části. V první byl hledán pouze odpadlý beton, v druhé pouze obnažená armatura, ve třetí byly hledány obě vlastnosti, přičemž byl platný předpoklad, že armatura je obnažená pouze v částech, kde již odpadl beton. Ve čtvrtém testu byla snaha odhalit beton, který hrozí oddělením. Pro tento test byly brány v potaz složky normálové textury; zejména pak posun v osách X (horizontální posun) a Y (vertikální posun). Lepšího výsledku bylo dosaženo při výpočtu vrstvy, která odpovídala průměru všech tří složek, což bylo patrné z obrázků č. 37 a č. 38.

Zkoušený postup, aplikovaný do oboru fotogrammetrie, se projevil jako vhodná alternativa pro získávání výsledků z analýz na texturách vypočtených pro 3D modely vybraných objektů. Zároveň se jednalo o jednoduchou a rychlou práci, která za předpokladu, že zpracování probíhá na standardně vybaveném počítači, není příliš časově náročná.

Při vyzkoušení tří fotoaparátů a jednoho skeneru byla možnost vyzkoušet a také okomentovat, jestli se vyplatí použít kvalitnější středoformátový fotoaparát pro zpracování; ano, vyplatí.

11 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo prokázat vhodnost využití fotogrammetrie ve stavebním inženýrství, což se zdařilo. Dalším cílem bylo předvedení všestrannosti fotogrammetrie čtenáři, kde byla ukázána nejen kreativní stránka tohoto oboru, kdy na částečném výstupu práce byl 3D model a jeho textury, ale současně i praktičnost, kdy bylo využito textur k vlastní analýze povrchu objektu pro získání dodatečných informací o stavu prvku, aniž by bylo nutno objekt trvale poškodit, k čemuž dochází u zkoušek destruktivního typu.

Ačkoliv se nejedná o statické posouzení stavu objektu (či stavebně technický průzkum), tedy výsledkem není přímo odborný (znalecký) stavebně-technický závěr, byla prokázána využitelnost ve smyslu nalezení výztuže či poškozených částí konstrukce. Práce tím přibližuje fotogrammetrii jako nástroj vhodný nejen pro získávání geodetických souřadnic bodů nebo jako umělecký obor pro tvorbu 3D modelů, ale také jako pomůcku pro analýzu stavebních a jiných objektů a možnost včasného řešení oprav poškozených konstrukcí.

Souhlasně jako při zpracování 3D modelu historické stavby – viz bakalářská práce „Model hradu Zlenice“ (2021) [6], zde bylo dokázáno, že využitím fotogrammetrických postupů zabrala práce v terénu výrazně méně času v porovnání s délkou zpracování v kanceláři. Opět zde platí, že díky množství tutoriálů, které jsou volně přístupné na internetu, byla práce s jednotlivými programy výrazně zjednodušena.

Snímky byly vždy pořízeny v krátkém časovém úseku za použití přístrojů zmíněných v kapitole 7 a v průběhu práce bylo využito několika programů pro dosažení kvalitních a vypovídajících výsledků. Snímky byly upraveny v software Darktable, pro vytvoření 3D modelu byl využit Agisoft Metashape, za pomoci programu Blender pro substituční rovinu. Vlastní analýza byla provedena v software eCognition, s předchozí přípravou bodových datových setů a pře-uložením textur se souřadnicovým systémem v programu QGIS.

Práce v programech Darktable, Agisoft Metashape a Blender byla jednoduchá a intuitivní. Prostředí těchto programů bylo přehledné a navigovatelné, a programy nabízely široký rozsah funkcí či zkratk, které práci urychlily. Jedná se o programy, se kterými si snadno poradí uživatel na jakékoli úrovni. Práce s programem QGIS byla více komplikovaná a s prací v něm může mít problém i člověk s více odbornými znalostmi z důvodu mírně nepřehledného prostředí. Program eCognition byl, kvůli ceně za plnou verzi, dostupný pouze ve své Developer Trial verzi, což práci s programem ztížilo kvůli absenci funkce ukládání, byl však snadno navigovatelný a výsledky byly uloženy formou výstřížků z obrazovky.

Diplomová práce byla brána jako experiment, ve kterém byl vyzkoušen již existující postup CNN zpracování satelitních snímků pro klasifikaci území, s uspokojujícím závěrem, že zvolená metoda je vhodná pro analýzu snímků zpracovaných pomocí fotogrammetrie.

12 Seznam obrázků a tabulek

OBRÁZKY

- Obr. 1: Textury sváru: a) displacement; b) occlusion; c) normálová; d) difúzní
- Obr. 2: Difúzní textura kamenné zdi
- Obr. 3: Textura sváru: a) difúzní textura; b) normálová textura
- Obr. 4: Textura sváru: a) difúzní textura; b) displacement textura
- Obr. 5: Textura sváru: a) difúzní textura; b) occlusion textura
- Obr. 6: Pracovní diagram betonu [13]
- Obr. 7: Pracovní diagram oceli [13]; v případě b) se zvyšuje mez kluzu a pevnosti / zmenšuje tažnost
- Obr. 8: Nikon D5100 s objektivem [16]
- Obr. 9: Sony Alpha a7S III [17]
- Obr. 10: Fujifilm GFX 100S [18]
- Obr. 11: Vivid VI-9i – laboratoř fotogrammetrie, Fsv ČVUT
- Obr. 12: Beton s ocelovými vlákny
- Obr. 13: Ocelový svár
- Obr. 14: Věž – difúzní textura
- Obr. 15: Krita – příklad dostupných filtrů
- Obr. 16: Upravené snímky: a) difúzní textura; b) difference + linear burn; c) linear burn; d) color dodge; e) multiply + linear burn
- Obr. 17: eCognition – výztuž (zeleně), dutiny (červeně), beton (modře)
- Obr. 18: Úprava snímku – ÚPRAVA (horní) a ORIGINÁL (dolní)
- Obr. 19: Blender – vložená rovina – pohled z boční strany a zepředu
- Obr. 20: eCognition – difúzní textura a body
- Obr. 21: eCognition – pravděpodobnostní mapa pro svár (modrá) a mimo svár (červená)
- Obr. 22: eCognition – segmentace a její sloučení
- Obr. 23: eCognition – pravděpodobnost sváru klasifikovaného jako ‚svár‘ (89.4 %)
- Obr. 24: eCognition – pravděpodobnost oblasti mimo svár zatříděné jako ‚mimo svár‘ (97.4 %)

- Obr. 25: eCognition – osa sváru
- Obr. 26: eCognition – postup zpracování
- Obr. 27: QGIS – řez na osu sváru
- Obr. 28: QGIS – příčný profil: fotoaparát Sony (modře), fotoaparát Fujifilm (červeně)
- Obr. 29: Krita – porovnání textur: difúzní textura
- Obr. 30: Krita – porovnání textur: normal textura
- Obr. 31: Krita – porovnání textur: occlusion textura
- Obr. 32: QGIS – příčný profil: fotoaparát Sony (modře), skener Vivid VI-9i (červeně)
- Obr. 33: Analýza 1 – segmentace a pravděpodobnostní mapa odpadlého betonu (zelená = odpadlý beton, fialová = ostatní plochy)
- Obr. 34: Analýza 1 – segmentace odpadlého betonu
- Obr. 35: Analýza 2 – segmentace obnažené armatury (růžová = armatura, žlutá = ostatní plochy)
- Obr. 36: Analýza 3 – segmentace a pravděpodobnostní mapa odpadlého betonu a armatury (červená = armatura, zelená = odpadlý beton, modrá = ostatní plochy)
- Obr. 37: Canny algoritmus na vrstvě vypočtené jako $(R + G + B)/3$
- Obr. 38: Canny algoritmus na vrstvě indexu green-red vegetation (GRVI)

TABULKY

- Tab. 1: Dělení fotogrammetrie [7]
- Tab. 2: Rozlišení snímků – Sony Alpha a7S III
- Tab. 3: Rozlišení snímků – Fujifilm GFX 100S
- Tab. 4: Pracovní postup
- Tab. 5: Vzorky
- Tab. 6: Agisoft Metashape – výpočet polygonové sítě – nastavení
- Tab. 7: Agisoft Metashape – výpočet textury na rovině – nastavení
- Tab. 8: Postup – eCognition
- Tab. 9: Vzorky – 3 analýzy

13 Použitá literatura

- [1] Rodríguez-Martín M., Lagüela S., Gonzáles-Aguilera D., Rodríguez-Gonzálvez P.: Procedure for quality inspection of welds based on macro-photogrammetric three-dimensional reconstruction [Online] [cit.: 16. 02. 2023] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/276414435_Procedure_for_quality_inspection_of_welds_based_on_macro-photogrammetric_three-dimensional_reconstruction
- [2] Rodríguez-Martín M., Rodríguez-Gonzálvez P., Lagüela S., González-Aguilera D.: Macro-photogrammetry as a tool for the accurate measurement of three-dimensional misalignment in welding [Online] [cit.: 17. 02. 2023] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/307638618_Macro-photogrammetry_as_a_tool_for_the_accurate_measurement_of_three-dimensional_misalignment_in_welding
- [3] Rodríguez-Gonzálvez P., Rodríguez-Martín M., Ramos L. F., González-Aguilera D.: 3D reconstruction methods and quality assessment for visual inspection of welds [Online] [cit.: 17. 02. 2023] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/314483284_3D_reconstruction_methods_and_quality_assessment_for_visual_inspection_of_welds
- [4] Gajski D., Solter A., Gašparovič M.: Applications of macro photogrammetry in archaeology [Online] [cit.: 17. 02. 2023] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/307529584_Applications_of_macro_photogrammetry_in_archaeology
- [5] Cabrelles M., Lerma J. L., Villaverde V.: Macro Photogrammetry & Surface Features Extraction for Paleolithic Portable Art Documentation [Online] [cit.: 18. 02. 2023] Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/19/6908>
- [6] Kučerová A.: Bakalářská práce: Model hradu Zlenice [online] [cit.: 28. 02. 2023] Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/96204>
- [7] Pavelka K.: Prezentace k předmětu Fotogrammetrie 1 [cit.: 28. 02. 2023]
- [8] Steigl, V.: Bakalářská práce: Kamery pro fotogrammetrii a trojrozměrnou digitalizaci [Online] [cit.: 01. 03. 2023] Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/39502/final-thesis.pdf?sequence=-1>
- [9] Li Z., Liu F., Yang W., Peng S., Zhou J.: A Survey of Convolutional Neural Networks: Analysis, Applications, and Prospects [Online] [cit.: 29. 03. 2023] Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9451544>
- [10] GISGeography: OBIA – Object-Based Image Analysis (GEOBIA) [Online] [cit.: 29. 03. 2023] Dostupné z: <https://gisgeography.com/obia-object-based-image-analysis-geobia/>

- [11] M. D. Hossain, D. Chen: Segmentation for Object-Based Image Analysis (OBIA): A review of algorithms and challenges from remote sensing perspective [Online] [cit.: 29. 03. 2023] Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271619300425>
- [12] Denham T.: Texture Maps: The Ultimate Guide For 3D Artists [Online] [cit.: 13. 03. 2023] Dostupné z: <https://conceptartempire.com/texture-maps/>
- [13] Šimůnek, P.; Ústav betonových a zděných konstrukcí: Pracovní diagram betonu [Online] [cit.: 03. 03. 2023] Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/bzk/simunek.p/prvky/02_cv1_materi%C3%A1ly_diagramy.pdf
- [14] Moffitt F. H.: Photogrammetry in the Civil Engineering Curriculum [Online] [cit.: 12. 03. 2023] Dostupné z: https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1955journal/dec/1955_dec_741-746.pdf
- [15] Maas H.-G., Hampel U.: Photogrammetric Techniques in Civil Engineering Material Testing and Structure Monitoring [Online] [cit.: 13. 03. 2023] Dostupné z: https://tu-dresden.de/bu/umwelt/geo/ipf/photogrammetrie/ressourcen/dateien/forschung/publikationen/pubdocs/2006/2006_Maas-Hampel_PERS2006.pdf?lang=en
- [16] Digital Camera Database: Nikon D5100 [Online] [cit.: 17. 03. 2023] Dostupné z: https://www.digicamdb.com/specs/nikon_d5100/
- [17] Digital Camera Database: Sony a7S III [Online] [cit.: 17. 03. 2023] Dostupné z: https://www.digicamdb.com/specs/sony_a7s-iii/
- [18] Megapixel.cz: Fujifilm GFX 100S tělo [Online] [cit.: 27. 04. 2023] Dostupné z: https://www.megapixel.cz/fujifilm-gfx-100s-telo?gclid=CjwKCAjwuqiiBhBtEiwATgvixKvbbfojWgxsshHHmcSBPeW-Qcbnq7EW28J1CpbiB2PownfREdXWMxoCzboQAvD_BwE#section-parameters
- [19] Konicaminolta.com: Vivid-9i_vi-9i_instruction_eng.pdf [Online] [cit.: 12. 05. 2023] Dostupné z: https://www.konicaminolta.com/instruments/download/instruction_manual/3d/pdf/vivid-9i_vi-9i_instruction_eng.pdf
- [20] Krita.org [Online] [cit.: 17. 03. 2023] Dostupné z: <https://krita.org/en/>
- [21] Darktable.org [Online] [cit.: 17. 03. 2023] Dostupné z: <https://www.darktable.org/about/>
- [22] Agisoft.com [Online] [cit.: 17. 03. 2023] Dostupné z: <https://www.agisoft.com/>
- [23] Blender.org [Online] [cit.: 17. 03. 2023] Dostupné z: <https://www.blender.org/>

- [24] Qgis.org [Online] [cit.: 17. 03. 2023] Dostupné z:
<https://qgis.org/en/site/about/index.html>
- [25] Geospatial.trimble.com [Online] [cit.: 17. 03. 2023] Dostupné z:
<https://geospatial.trimble.com/what-is-ecognition>