

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STAVEBNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2024

**ONDŘEJ
ČÁP**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA GEOMATIKY



Detailní měřická dokumentace povrchů artefaktů s využitím makrofotografie

Detailed metric documentation of artefacts surfaces using macrophotography

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

STUDIJNÍ PROGRAM: GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

STUDIJNÍ OBOR: GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Jindřich HODAČ, Ph.D.

2024

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Čáp** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **502169**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra geomatiky**
Studijní program: **Geodézie a kartografie**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Detailní měřická dokumentace povrchů artefaktů s využitím makrofotografie

Název bakalářské práce anglicky:

Detailed metric documentation of artefacts surfaces using macrophotography

Pokyny pro vypracování:

- ve spolupráci se zadavatelem definujte typ a parametry výstupů projektu,
- proveďte řešerši technologických řešení, které se dnes v dané oblasti dokumentace využívají,
- na základě výsledků výše uvedených šetření vyberte vhodnou technologii k provedení praktického pokusu za účelem získání reálných dat a praktických zkušeností,
- realizujte s využitím běžně dostupných prostředků testovací projekt,
- kriticky vyhodnoťte dosažené výsledky podle vhodně zvolených kritérií,
- shrňte dosažené výsledky teoretické (řešerše) i praktické a definujte směry dalšího bádání v oblasti zájmu.

Seznam doporučené literatury:

- 1) ZEMÁNKOVÁ, Anna. Detailní měřická dokumentace povrchů kamenných kvádrů. diplomová práce; Praha: Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2019.
- 2) ŠLEIS, David. Detailní fotogrammetrická dokumentace ostří kamenického nástroje. bakalářská práce; Praha: Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2023.
- 3) ANGHELUȚĂ, L. M. a R. RĂDVAN, 2019. Macro photogrammetry for the damage assessment of artwork painted surfaces. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences [online]. XLII-2/W15, 101–107. ISSN 2194-9034. Dostupné z: doi:10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-101-2019

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jindřich Hodač, Ph.D. Katedra geomatiky FSv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **20.02.2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20.5.2024**

Platnost zadání bakalářské práce:

Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Dr. Ing. Karel Pavelka
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

27.02.2024

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Anotace

Cílem této práce je na základě prostudované odborné literatury dosavadně využívaných postupů pro detailní dokumentaci objektů pomocí blízké fotogrammetrie, zvolit vhodný postup pro získání praktických zkušeností a dat, jež budou v závěru práce zhodnoceny.

Klíčová slova

blízká fotogrammetrie, metoda IBMR, 3D model, makrofotografie

Annotation

The objective of this thesis is to select a convenient procedure for obtaining practical experience and data, which will be evaluated at the conclusion of the thesis, on the basis of the studied literature on the procedures used so far for detailed documentation of objects using close photogrammetry.

Keywords

close range photogrammetry, IBMR method, 3D model, macrophotography



Bibliografická citace

ČÁP, Ondřej. Detailní měřická dokumentace povrchů artefaktů s využitím makrofotografie. Praha, 2024. 67 s., 6 s. příl. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Jindřich Hodač, Ph. D



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou závěrečnou bakalářskou práci na téma „*Detailní měřická dokumentace povrchů artefaktů s využitím makrofotografie*“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jindřicha Hodače Ph.D. na základě zdrojů uvedených v závěru práce a citovaných v souladu s metodickým pokynem pro dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů.

V Praze dne

.....
Čáp Ondřej



Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé Bakalářské práce Ing. Jindřichu Hodačovi Ph.D. za návrh tématu, vedení, odborné konzultace a užitečné rady.

Dále bych chtěl poděkovat PhDr. Michalu Cihlovi za poskytnutí vzorku bronzového odlitku kamenického dláta jehož břit byl použit k testování metod blízké fotogrammetrie.



Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	8
SEZNAM TABULEK.....	9
ÚVOD	10
1. ZÁKLADY FOTOGRAMMETRIE.....	11
1.1 DĚLENÍ FOTOGRAMMETRIE.....	11
1.2 PRINCIP FOTOGRAMMETRIE	11
2. METODA OBRAZOVÉ KORELACE (IMBR).....	13
2.1 PRINCIP A VÝHODY	13
2.2 PŘEKRYTÍ.....	14
2.2.1 <i>Výpočet horizontálního posunu a míry překryvu</i>	<i>14</i>
3. MAKROFOTOGRAFIE	15
3.1 VYBAVENÍ PRO DOSAŽENÍ MAKRO ZVĚTŠENÍ.....	15
3.2 HLOUBKA OSTROSTI	16
3.2.1 <i>Clona.....</i>	<i>18</i>
3.2.2 <i>Kruh rozptylu</i>	<i>19</i>
3.3 SKLÁDANÁ MAKROFOTOGRAFIE.....	19
3.3.1 <i>Focus bracketing.....</i>	<i>19</i>
3.3.2 <i>Focus Stacking.....</i>	<i>20</i>
4. POUŽITÁ APARATURA	21
4.1 FOTOGRAFICKÉ VYBAVENÍ	21
4.2 OSTATNÍ VYBAVENÍ.....	24
5. VYUŽITÝ SOFTWARE.....	26
5.1 PRO SNÍMKOVÁNÍ	26
5.2 PRO ZPRACOVÁNÍ SNÍMKŮ	26
6. PRAKTICKÉ POKUSY	28
6.1 SESTAVA PRO SNÍMKOVÁNÍ	28
6.2 URČENÍ NEJOSTŘEJŠÍHO CLONOVÉHO ČÍSLA	29
6.3 ZPRACOVÁNÍ SNÍMKŮ V SOFTWARE AGISOFT METASHAPE	32
6.3.1 <i>Needitovaný model.....</i>	<i>33</i>
6.3.2 <i>Editovaný model.....</i>	<i>36</i>
6.4 VYTVOŘENÍ MODELU Z JEDNODUCHÝCH SNÍMKŮ.....	37
6.4.1 <i>Pokus č. 1 - Model s odhadovanou hloubkou ostrosti.....</i>	<i>38</i>
6.4.2 <i>Pokus č. 2 Model s vypočtenou hloubkou ostrosti.....</i>	<i>42</i>
6.5 VYTVOŘENÍ MODELU ZE SLOŽENÝCH SNÍMKŮ	47
6.5.1 <i>Pokus č. 3 Model se skládanou hloubkou ostrosti</i>	<i>47</i>
7. ZÁVĚR.....	54
ZDROJE.....	55
SEZNAM PŘÍLOH.....	57



SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Rekonstrukce skutečnosti pomocí středového promítání	12
Obrázek 2 - Vnitřní a vnější prvky orientace [2]	12
Obrázek 3 - Princip metody obrazové korelace [3]	13
Obrázek 4 - Znázornění geometrie hloubky ostrosti [8]	16
Obrázek 5 - Vliv clonového čísla na hloubku ostrosti [10].....	18
Obrázek 6 - Vliv rozostření na velikost rozptylového kruhu [11]	19
Obrázek 7 - Princip skládané fotografie (focus-stackingu) [12]	20
Obrázek 8 - Tělo zrcadlovky D7100 [14]	21
Obrázek 9 - Nikon Z50 – tělo [16].....	22
Obrázek 10 - Makro objektiv Ninon nikkor 40 mm [17].....	23
Obrázek 11 - Předsádka Nikon FTZ [19].....	23
Obrázek 12 - Makrosáňky BIG ESM [20]	24
Obrázek 13 - LED reflektor EMOS [21]	25
Obrázek 14 - Improvizovaný difúzní stan.....	25
Obrázek 15 - Sestava pro snímkování.....	28
Obrázek 16 - Závislost ostrosti snímků na clonových číslech - 70 mm.....	31
Obrázek 17 - Závislost ostrosti snímků na clonových číslech - 145 mm.....	32
Obrázek 18 - Nastavení vyhodnocení kvality snímků	33
Obrázek 19 - Nastavení výpočtu řídkého mračna	33
Obrázek 20 - Nastavení funkce Build Pint Cloud.....	34
Obrázek 21 - Nastavení funkce Build Model.....	35
Obrázek 22 - Nastavení aplikace masky	36
Obrázek 23 – Rozdíl v nastavení Build Model	37
Obrázek 24 - Příklad snímku – Pokus č. 1	40
Obrázek 25 - Pozice kamer – Pokus č. 1.....	41
Obrázek 26 - Výsledný 3D model - Pokus č. 1	41
Obrázek 27 - Detail samotného břitu – Pokus č. 1	42
Obrázek 28 - Příklad snímku – Pokus č. 2	45
Obrázek 29 - Pozice kamer – Pokus č.2.....	45
Obrázek 30 - Výsledný model – Pokus č.2	46
Obrázek 31 - Detail břitu dláta – Pokus č. 2	46
Obrázek 32 - Složený snímek pomocí Helicon Focusu (Metoda A).....	50
Obrázek 33 – Detail rozostřeného pruhu na břitu (Metoda A)	50
Obrázek 34 - Efekt svatozáře (Metoda A)	51
Obrázek 35 - Detail pravidelných pruhů na povrchu modelu (Metoda B).....	52
Obrázek 36 – Detail břitu dláta – Pokus č. 3 (nesložené snímky).....	52
Obrázek 37 - Pozice kamer – Pokus č. 3 (nesložené snímky).....	53



SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Nastavení fotoaparátu Nikon Z50 – Sweet spot	30
Tabulka 2 – Parametry snímkování – Sweet spot	30
Tabulka 3 - Nastavení fotoaparátu Nikon D7100 – Pokus č. 1	39
Tabulka 4 - Parametry snímkování – Pokus č. 1	40
Tabulka 5 - Nastavení fotoaparátu - Pokus č. 2	44
Tabulka 6 - Parametry snímkování - Pokus č.2	44
Tabulka 7 - Nastavení fotoaparátu – Pokus č. 3.....	48
Tabulka 8 - Parametry snímkování – Pokus č. 3.....	49



ÚVOD

Se vzrůstající úrovní digitalizace mnoha oborů roste význam vytváření digitálních modelů reálných objektů. Potenciální přínos v oborech jako je památková péče, archeologie nebo forenzní analýza limituje náročnost mnohých skenovacích metod.

To platí zejména pro drobné artefakty, kde těžiště přínosu mnohdy spočívá v pořízení detailních modelů velkého počtu menších předmětů a jejich databází (archeologické sbírky, forenzní důkazy apod.), což umožňuje využití metod založených na hromadném automatizovaném zpracování a analýze dat.

Na přístrojové vybavení nenáročnou, a tudíž potenciálně levnou metodu může představovat fotogrammetrie, jejíž moderní počítačové vyhodnocovací metody z ní učinily jednodušejí a všestranněji použitelný, široce dostupný nástroj pro tvorbu digitálních modelů.

Předmětem této práce je posouzení potenciálu využití makrofotografie ve fotogrammetrii za účelem vytváření detailních modelů drobných předmětů.



1. ZÁKLADY FOTOGRAMMETRIE

Fotogrammetrie je věda zabývající se pořizováním, využíváním a zpracováváním pořízených fotografií k určení rozměrů zachycených objektů. Na základě fotogrammetrických měření je možné vytvářet různé druhy výstupů od ortofoto map přes digitální modely terénu až po modely objektů. Fotogrammetrii lze dělit podle:

1.1 Dělení fotogrammetrie

Využití fotogrammetrie je široké a dá se prakticky využít v různých odvětvích lidské činnosti. Zde je pro přehled uvedeno základní dělení fotogrammetrie podle:

Polohy stanoviště – podle polohy stanoviště se fotogrammetrie dělí na pozemní, která slouží například pro účely památkové péče dále na leteckou, která slouží k rozsáhlému mapování, a tak i sběru velkého množství informací jenž je možné využít pro analýzu daného území a v poslední řadě na družicovou kdy jsou vysoce kvalitní fotografie pořizované pomocí družic a výsledné snímky lze využívat pro následnou analýzu.

Podle počtu snímků – na jedno a více snímkové kdy jednosnímkové metody slouží k vytváření rovinných 2D výstupů např. fotoplánů a více snímkové metody pomocí kterých je možno zrekonstruovat prostor pokud se dané snímky dostatečně překrývají.

Podle technologického postupu zpracování – zde dělení závisí na způsobu a typu zpracovávaných snímků. Pokud je skutečnost rekonstruována geometricky přímo ze snímku jedná se o analogové zpracování. Pokud jsou snímky vyhodnoceny a zpracovány početně jedná se o technologii analytického zpracování. Nakonec jestliže je pořízený snímek digitální a zpracovává se na počítači lze mluvit o digitální technologii zpracování.

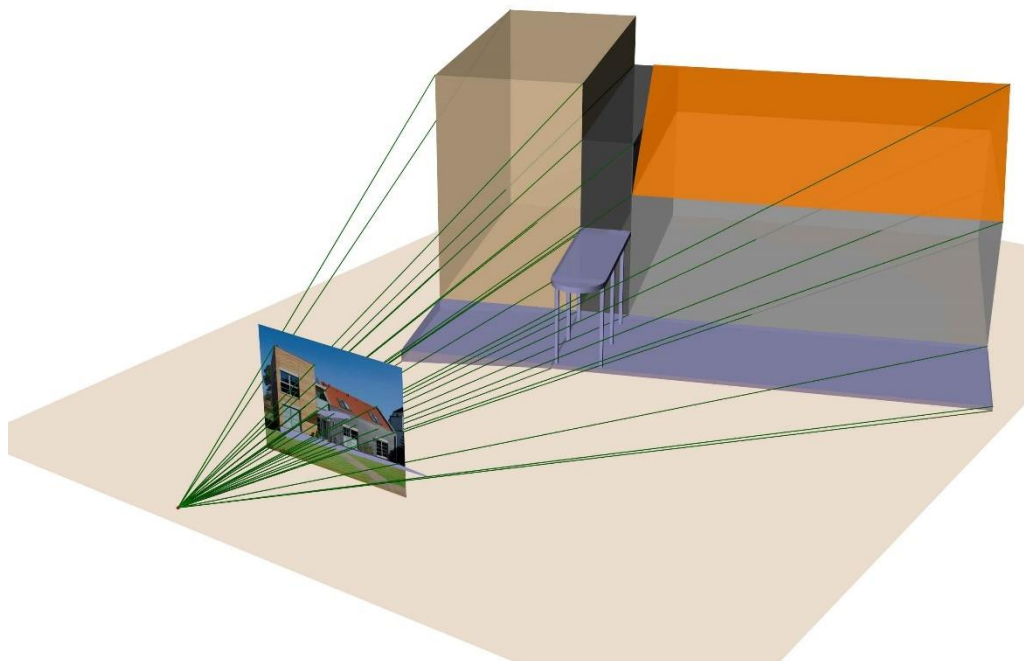
Podle typů výstupů – na grafický a číselný, kdy výstupem grafického vyhodnocení je analogová mapa zatím co v případě číselného, který vzniká při analytickém a digitálním zpracování kdy výstupem mohou být například prostorové modely. [1]

1.2 Princip fotogrammetrie

Určení rozměrů a geometrie zachycené skutečnosti na fotografii je možné, na základě znalostí prvků vnitřní a vnější orientace jenž popisují vztah mezi obrazem snímku a obrazem skutečnosti. Popisují vlastnosti geometrie na základě, které snímky vznikají. Konkrétně jde o středové (centrální) promítání.



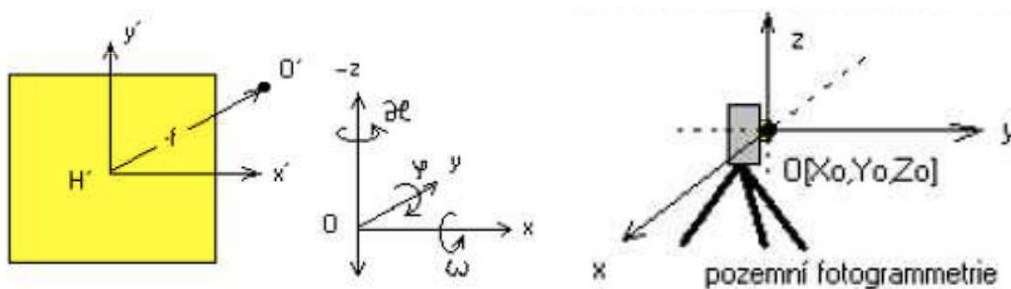
Středové promítání – středové promítání je typ projekce na základě které funguje pořizování snímků. Světelné paprsky procházejí středem promítání (vstupní pupilou) a po průchodu soustavou čoček vytváří obraz na světlo citném filmu.



Obrázek 1- Rekonstrukce skutečnosti pomocí středového promítání

Prvky vnitřní orientace – tvar promítacích paprsků definují právě prvky vnější orientace, které se skládají z ohniskové vzdálenosti (vzdálenosti středu promítání od obrazové roviny) a polohy jejího průmětu na obrazové rovině

Prvky vnější orientace – prvky vnější orientace určují polohu fotogrammetrických svazků v prostoru a skládají se z prostorových souřadnic středu promítání a z celkové orientace neboli pootočení prostorových os definovaných směrem záběru vůči souřadnicové soustavě. [1]



Obrázek 2 - Vnitřní a vnější prvky orientace [2]

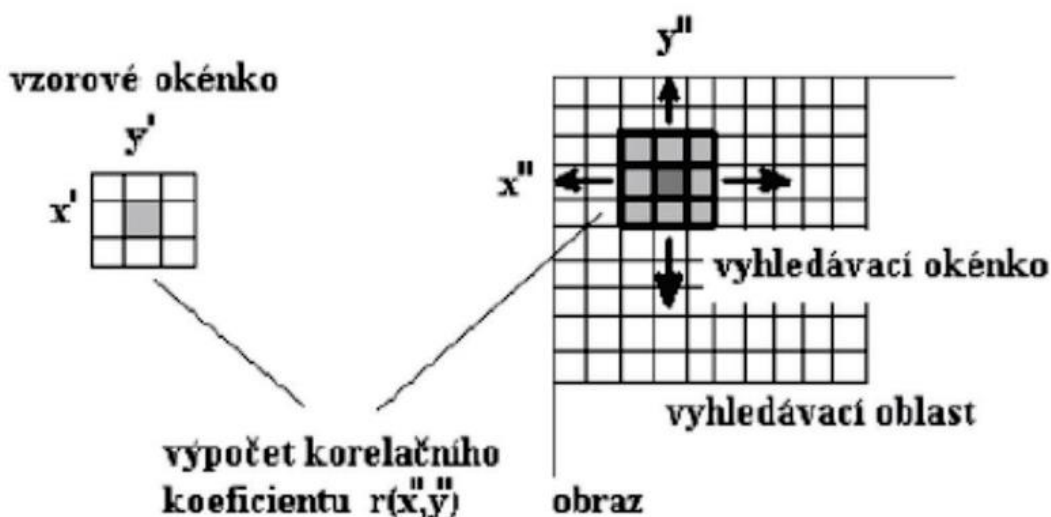


2. METODA OBRAZOVÉ KORELACE (IMBR)

2.1 Princip a výhody

Vzhledem k tomu, že pořízené snímky jsou fotogrammetricky zpracovávány pomocí softwaru *Agisoft Metashape*, který využívá metodu obrazové korelace pro vytvoření bodového mračna a následnou konstrukci polygonového modelu, je v této kapitole věnována pozornost principu, výhodám a nevýhodám této metody zpracování fotogrammetrických snímků.

Metoda funguje na principu posuzování jednotlivých pixelů a jejich okolí. Na základě předpokladu, že každé takové okolí je pro konkrétní pixel snímku jedinečné porovnává software jednotlivé snímky. Na základě identických pixelů snímků jsou potom zkonstruovány identické body takzvaného řídkého mračna.



Obrázek 3 - Princip metody obrazové korelace [3]

Jednou z hlavních výhodou této metody je možnost tvorby prostorového 3D modelu na základě kvalitních snímků, které lze pořídit například i obyčejným mobilním fotoaparátem. Důležité je, aby snímky měly dostatečně kvalitní rozlišení, jasnou texturu a aby se dostatečně vzájemně překrývaly. Další z výhod je kupříkladu automatická kalibrace kamery, automatické určení prvků vnitřní a vnější orientace nebo tvorba barevného mračna a následně textury modelu.

Pro svou jednoduchost je tato metoda jednou z nejvyužívanějších a využívá jí většina fotogrammetrických softwarů není to ovšem jediná z metod vyhodnocování snímků pomocí digitální technologie a algoritmů. [4]



2.2 Překrytí

Aby jednotlivé snímky obsahovaly identické pixely musejí se jednotlivé snímky překrývat. Čím větší je tento překryv tím více identických pixelů software rozpozná a vytvoří tak hustší tím pádem i detailnější mračno bodů.

Míra překrytí jednotlivých snímků by měla být minimálně 60 % u obyčejné fotografie. při tvorbě detailních modelů a fotografování makrosnímků je nutné, aby přesah dosahoval přibližně 80–90 %.

Při prováděných pokusech měla míra překryvu dosahovat minimálně 90 %. Na základě toho byl vypočten horizontální posun po makrosáňkách.

2.2.1 Výpočet horizontálního posunu a míry překryvu

Při praktických pokusech byl využit pouze horizontální posun v jednom směru. Následující vzorec byl odvozen na základě úvahy, že ve chvíli, kdy bude známé, jakou délku reprezentuje šířka snímku ve skutečnosti bude stačit pro dosažení překryvu 90 % jen vypočítat desetinu této vzdálenosti. O tuto vzdálenost bude fotoaparát po makrosáňkách posouván.

Vzorec pro horizontální posun

Délka, jenž by ve skutečnosti odpovídala šířce snímku se určí na základě šířky senzoru a měřítka zobrazení mezi skutečností a snímkem.

$$P1 [mm] = 100 - \left(\frac{P2}{(m_0 w)/100} \right) \quad (1)$$

1 - Výpočet vodorovného posunu

Vstupní parametry:

P_2	příčný překryv snímků v [%]
m_0	měřítkové číslo
w	šířka senzoru v [mm]

Vzorec pro míru překryvu snímků

Tento vzorec už vznikl pouze jako vyjádření míry překryvu se vzorce (1).

$$P2 [\%] = (100 - P1) * \left(\frac{m w}{100} \right) \quad (2)$$

2- Výpočet horizontálního překryvu snímků

Vstupní parametry:

P_1	horizontální posun v [mm]
m_0	měřítkové číslo
w	šířka senzoru v [mm]



3. MAKROFOTOGRAFIE

Makrofotografie je specializované odvětví fotografie, jenž se soustředí na pořízení velmi detailních snímků například zachycení detailu zajímavé textury nebo například hmyzu.

V měřítkách makrofotografie se pohybujeme ve chvíli, kdy poměr mezi obrazem skutečnosti a skutečností je minimálně 1:1. V praxi to znamená že 1 cm ve skutečnosti bude pokrývat vzdálenost 1 cm také na snímači fotoaparátu. Od zvětšení nad 30:1 se již nepohybujeme v oblasti makrofotografie nýbrž mikrofotografie.

3.1 Vybavení pro dosažení makro zvětšení

Abychom byly schopni takto detailní snímky pořídít je nutné mít k dispozici speciální vybavení pro makrofotografii, jelikož běžné fotoaparáty (respektive objektivy) nezvládnou pořídít dostatečně ostrý snímek na krátké vzdálenosti.

Makro předsádky

Představují levné řešení pro pořízení detailních snímků. Jedná se o čočku nebo soustavu čoček jenž se nasadí na přední část běžného objektivu na závit určený v běžných případech pro polarizační filtry. Předsádka funguje jako lupa, která umožňuje dosáhnout větších poměrů zvětšení mezi průmětem na snímač fotoaparátu a skutečností. Čím větší zvětšení předsádka umožňuje tím více se projevují optické vady objektivu.

Mezikroužky

Dalším způsobem, jak dosáhnout většího zvětšení u fotoaparátů s běžným objektivem jsou cenově o něco náročnější mezi kroužky jenž se umísťují mezi tělo fotoaparátu a objektiv. Většího zvětšení se dosahuje jenom na základě oddálení objektivu od snímače fotoaparátu. Mezikroužek se neskládá z žádné optické soustavy a tím pádem neovlivňuje negativně kvalitu snímků jako předsádky. Nevýhodou je, že snižují světlost objektivu

Makro objektivy

Jsou speciálně konstruované objektivy se schopností zaostřit na velmi krátké vzdálenosti. Standartní zvětšení těchto objektivů je 1:1 ale existují i sériově vyráběné objektivy se zvětšením až 5:1. Jejich kresba bývá velmi ostrá a mývají vysokou světelnost. [6]



3.2 Hloubka ostrosti

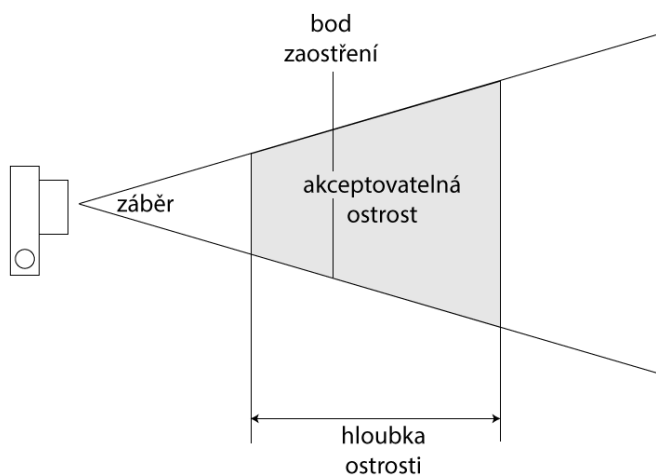
Jedním z hlavních parametrů fotografie, které je nutné se věnovat je hloubka ostrosti. Hloubka ostrosti je definována jako rozdíl nejbližší a nejvzdálenější roviny, jenž se lidskému oku na fotografii jeví ostře.

Hloubku ostrosti lze ovlivnit následujícími třemi parametry

Ohniskovou vzdáleností objektivu – objektivy s větší ohniskovou vzdáleností mohou na stejnou vzdálenost dosáhnou větší hloubky ostrosti než objektivy s ohniskovou vzdáleností menší. Je to z důvodu užšího promítání paprsků pomocí středového promítání na senzor neboli čip fotoaparátu.

Clonou – hloubka ostrosti je závislá na clonovém čísle. Platí, že čím je clonové číslo nižší (clona je rozevřená) tím nižší je hloubka ostrosti a naopak. To je opět způsobeno vlivem clony na středové promítání kdy při vysokých clonových číslech (uzavřených clonách) zmenšujeme úhel jenž svírají paprsky při vstupu do objektivu.

Vzdáleností od předmětu – tato vzdálenost má též vliv na geometrii paprsků odrážejících se od objektu a procházejících objektivem. Čím menší je vzdálenost od objektu hloubka ostrosti klesá.[7]



Obrázek 4 - Znázornění geometrie hloubky ostrosti [8]

Ve makrofotografii je hloubka ostrosti značně omezující faktor, jelikož ve chvíli, kdy je snaha pořídit co nejdetajnější snímek je potřeba být fotografovanému u fotografovaného objektu co nejbliže.



Následující vzorec popisuje vztah výpočtu hloubky ostrosti pro makrofotografické snímky.

$$H = 2 k c \left[\frac{(1 + m)}{m^2} \right] \quad (3)$$

3. Výpočet hloubky ostrosti [5]

kde

k	.....	rozptylový kroužek [mm]
c	.....	hodnota clonového čísla
m	.....	měřítka

Ze vzorce je opět patrný vliv již zmíněných parametrů, jenž hloubku ostrosti ovlivňují. Navíc se ve vzorci objevuje rozptylový kroužek, jenž definuje, jaká část hloubky ostrosti se ještě považuje za ostrou, jelikož ve skutečnosti dokonale ostrá hloubka ostrosti je pouze rovina, od které se ostrost snímku pozvolna snižuje.

Jelikož měřítka není přímo měřitelným parametrem, pro prováděné experimenty je vhodnější jej nahradit poměrem ohniskové vzdálenosti ku vzdálenosti vzorku od objektivu $m = f/d$. Po dosazení do původní vzorce

$$H = 2 k c \left[\frac{\left(1 + \left(\frac{f}{d}\right)\right)}{\left(\frac{f}{d}\right)^2} \right] \quad (4)$$

4. Upravený výpočet hloubky ostrosti

kde

k	.....	rozptylový kroužek [mm]
c	.....	hodnota clonového čísla
f	.....	ohnisková vzdálenost objektivu [mm]
d	.....	vzdálenost mezi objektivem a objektem [mm]

Pomocí takto upraveného vzorce je možné určit hloubku ostrosti pouze ze známého clonového čísla, kruhu rozptylu, ohniskové vzdálenosti a známé vzdálenosti mezi objektem a objektivem.

Tyto hodnoty jsou při praktických pokusech známé, a tak lze hloubku ostrosti snadno vypočítat.



3.2.1 Clona

Clona je lamelová uzávěrka uvnitř každého objektivu, která reguluje míru světla dopadajícího na snímač. Jejím rozevřením nebo naopak stažením je možné regulovat expoziční dobu a hloubku ostrosti.

Clonové číslo

Velikost clony se označuje pomocí clonových čísel. Nižší clonová čísla (například $f/1.8$ nebo $f/2.8$) znamenají větší otvor a více světla procházejícího objektivem, zatímco vyšší clonová čísla (například $f/16$ nebo $f/22$) představují menší otvor a méně světla. Výběr clonového čísla má vliv nejen na expozici, ale také na hloubku ostrosti. Nízká clonová čísla poskytují menší hloubku ostrosti, což znamená, že pouze předmět v popředí může být ostrý, zatímco pozadí je rozmazané. Naopak vyšší clonová čísla zvyšují hloubku ostrosti, což je vhodné pro krajinářskou fotografii, kde je často žádoucí mít všechny části obrazu ostré. [9]



Obrázek 5 - Vliv clonového čísla na hloubku ostrosti [10]

Nejostřejší clonové číslo (Sweetspot)

Při různých hodnotách clonových čísel se projevují různé optické vady, které mají vliv na ostrost pořízeného snímku. Nejostřejší clonové číslo by poté mělo odpovídat takovému zaclonění, při kterém je výsledný snímek nejostřejší.

Obecně je známo, že při nízkých clonových (otevřené cloně) se mají tendenci projevovat optické vady soustavy čoček objektivu zatím co při nízkých clonových číslech dochází k výraznému ohybu světla kolem clony neboli chromatické aberaci.

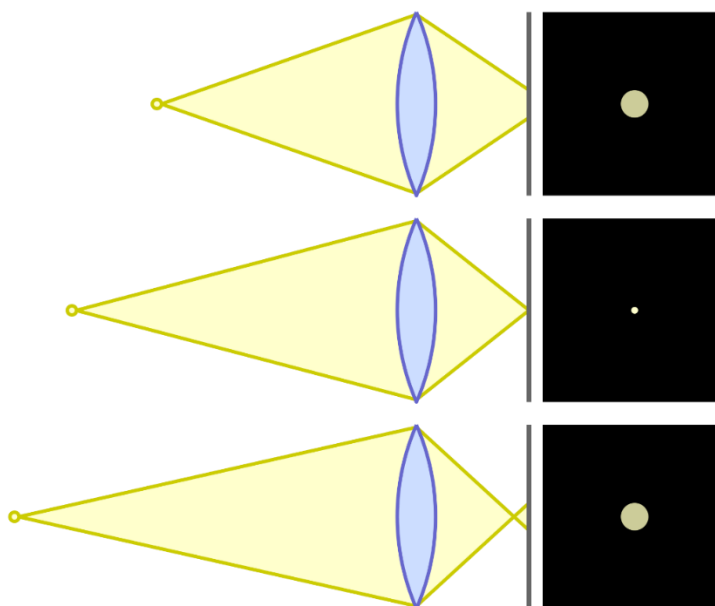


3.2.2 Kruh rozptylu

Kruh rozptylu je definovaný jako velikost kruhu, který vznikne průmětem jednoho bodu ve skutečnosti na snímáči. Hodnota velikosti kruhu rozptylu odpovídá jeho průměru. Je jedním ze vstupních parametrů při výpočtu hloubky ostrosti.

V běžné fotografii je při výpočtu hloubky ostrosti zvykem volit takovou hodnotu, aby se vypočtená hloubka ostrosti jevila ostrá lidskému oku v celé své hloubce.

Hodnota rozptylového kruhu je spjata s velikostí snímáče. Obecně platí poučka, že aby se hloubka pro konkrétní velikost snímáče jevila jako ostrá je potřeba vydělit délku jeho uhlopříčky číslem 1500.



Obrázek 6 - Vliv rozostření na velikost rozptylového kruhu [11]

3.3 Skládání makrofotografie

Hloubka ostrosti dosahuje ve makrofotografii velice nízkých hodnot. Častokrát ani nedokáže pokrýt celou hloubku snímaného objektu. Hloubku ostrosti lze samozřejmě ovlivnit změnou clonového čísla ale pouze omezeně. Zároveň při vysokých clonových číslech začíná působit negativní vliv chromatické aberace.

Pokud je cílem zachovat detailnost snímku, a přesto mít objekt celý proostřený existuje jediná možnost, jak tohoto výsledku dosáhnout, a to pomocí focus bracketingu a následného focus stackingu.

3.3.1 Focus bracketing

Řešení je jednoduché, je nutné pořídit sérii navazujících snímků které budou vždy zaostřené na o něco vzdálenější část objektu. Tomuto postupu běžně využívaném v makrofotografii se říká focus bracketing.



Existují dvě metody, jak takovou sérii snímků pořídit. První metoda spočívá ve stálé pozici kamery při snímání a postupném přeastřování po celé hloubce objektu. Druhá metoda nevyužívá přeastřování nýbrž právě postupný posun kamery směrem k objektu.

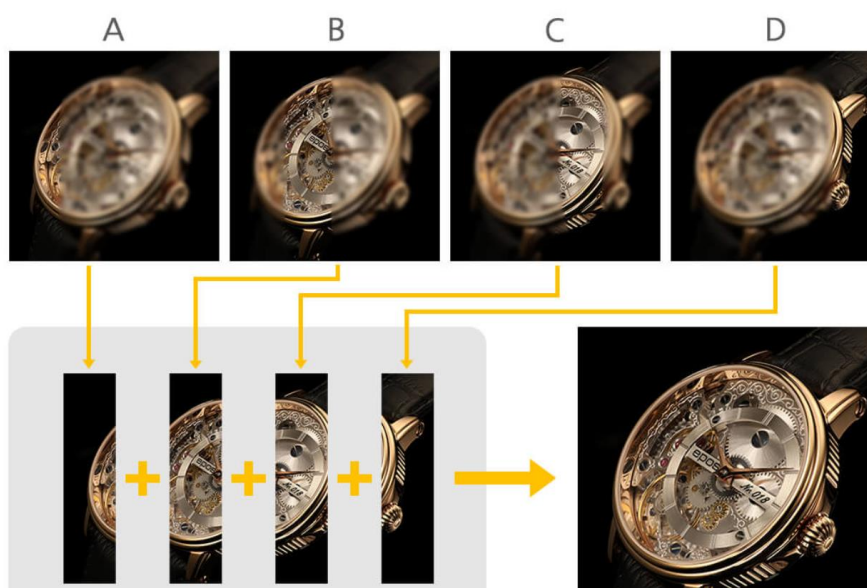
Zároveň s přeastřováním a posouváním je pořizována série snímků ideálně tak aby se jednotlivé hloubky ostroty následujících snímků překrývaly.

3.3.2 Focus Stacking

Proces, který vyhodnocuje sérii snímků pořízených jednou z metod focus bracketingu (postupné přeastřování nebo posun kamery), se nazývá focus stacking.

Focus stacking je již prováděn plně automatizovaně pomocí specializovaného softwaru a algoritmů k tomu určených.

Celý proces spočívá pouze v nahrání série snímků do zvoleného programu (například Helicon Focus, ZereneStacker, Photoshop) a zvolením jakou metodou snímky vyhodnotit.



Obrázek 7 - Princip skládané fotografie (focus-stackingu) [12]



4. POUŽITÁ APARATURA

4.1 Fotografické vybavení

Nikon D7100

Na prvotní pokusy snímání břitu kamenického dláta pro vytvoření 3D modelu pomocí jednoduchých (neskládaných) snímků byla využita zrcadlovka Nikon D7100 na které byl nasazen makro objektiv Nikon nikkor 40 mm f/2.8g af-s dx micro.

Hlavní parametrem těl fotoaparátů definující jejich možnosti pořízení kvalitních snímků je typ, formát a rozlišení senzoru. Tento fotoaparát disponuje snímačem typu CMOS s rozlišením 24 Mega pixelů. Velikost snímače odpovídá standartnímu APS-C formátu pro značku Nikon 23,5 × 15,6 mm. [13]



Obrázek 8 - Tělo zrcadlovky D7100 [14]

Vzhledem k nekompatibilitě se softwarem Helicon Remote, který měl být využit pro nafočení skládaného makra pomocí focus bracketingu se v průběhu prací přešlo na novější digitální bez zrcadlový fotoaparát Nikon Z50.

Nikon Z50

Pro pořízení snímků metodou focus bracketing, určení nejlepšího (nejostřejšího) clonového čísla spolu s byla využita bez zrcadlová digitální kamera Nikon Z50 u které musela být nejprve před nasazením samotného makro objektivu nasazena předsádka Nikon FTZ.



Tento fotoaparát disponuje snímačem typu CMOS s rozlišením 21,5 Mega pixelů. Velikost snímáče odpovídá standartnímu APS-C formátu pro značku Nikon 23,5 × 15,7 mm. [15]



Obrázek 9 - Nikon Z50 – tělo [16]

Velikost typ, ani rozlišení snímáče tohoto fotoaparátu se nijak zásadně neliší od předem využitě zrcadlovky Nikon D7100.

Makroobjektiv

Makroobjektiv Nikon Nikkor se 40 mm ohniskem je makroobjektiv určený pro zrcadlové fotoaparáty značky Nikon. Jeho maximální zvětšení dosahuje poměru 1:1. Světelnost objektivu je f/2,8

Jeho minimální zaostřovací vzdálenost činí 163 mm od roviny senzoru. To může být považováno za nevýhodu, jelikož je nutné být velice blízko snímaného objektu pro dosažení maximálního zvětšení.[18]



Obrázek 10 - Makro objektiv Ninon nikkor 40 mm [17]

Předsádka

Na výše popsaný bez zrcadlový digitální fotoaparát Nikon Z50, který byl využit při focus bracketingu není možné přímo nasadit makro objektiv využívaný u zrcadlovky Nikon D7100. A právě jako mezičlánek pro nasazení byla využita předsádka Nikon FTZ.

Předsádka Nikon FTZ je adaptér, který umožňuje použít objektivy na bezzrcadlových fotoaparátech Nikon Z. Tento adaptér zachovává funkčnost autofokusu a dalších elektronických funkcí mezi objektivem a fotoaparátem.



Obrázek 11 - Předsádka Nikon FTZ [19]



4.2 Ostatní vybavení

Makrosáňky

Vzhledem ke krátké vzdálenosti od snímaných objektů nebylo možné pokrýt celý objekt jedním snímkem a tím pádem byl nutný pohyb fotoaparátu podél snímaného břitu. Spolu s tím bylo nutné

Makrosáňky B.I.G. ESM – 3 s funkční délkou 24 cm umožňují jemné a přesné posouvání fotoaparátu v horizontálním směru. Délka sáněk je 24 cm, což poskytuje dostatečný rozsah pro pokrytí celého vzorku. Sáňky jsou vybaveny stupnicí a ovládacími prvky pro snadné a přesné posouvání.



Obrázek 12 - Makrosáňky BIG ESM [20]

Stativ

Stabilitu fotoaparátů vždy zajišťoval robustní stativ Manfrotto 075. Celková stabilita při pořizování snímků byla velice důležitá. Při vysokých expozičních časech dochází při nedokonalé stabilizaci k rozostření obrazu což je nežádoucí a každý otřes obzvláště u makrografie je na výsledném snímku znatelný.

Samotný stativ se skládá z hliníkových teleskopických noh, výškově nastavitelného středového sloupku, hlavy stativu, na kterou se připevňuje fotoaparát s našroubovanou destičkou a krabicové vodováhy, která umožňuje stativ urovnat do vodoroviny.

LED reflektory

Pro boční osvětlení snímaných vzorků byly využity dva LED reflektory umístěné na stojanech proti sobě. Reflektory vyzařují neutrální bílé světlo o teplotě 4000K s příkonem 51 W. Napájeny byly ze sítě.



Obrázek 13 - LED reflektor EMOS [21]

Difúzní stan

Pro změkčení a rozptýlení světla z LED reflektorů byly využity dva difúzní stany. Jeden originální difúzní stan s rozměry 110x110x110 cm, který byl využit při určování nejostřejšího clonového čísla a druhý stan improvizovaně vyrobený z drátu a přebytečného difúzního bílého pozadí ze stanu originálního. Rozměry druhého stanu byly 20x20x20 cm. Vyroben byl z důvodu lepší kontroly osvětlení nad vzorkem, pro který byl originální stan příliš prostorný a vzorek dostatečně neobjímal.



Obrázek 14 - Improvizovaný difúzní stan



5. VYUŽITÝ SOFTWARE

5.1 Pro snímkování

DigiCamControl

Je to bezplatný software navržený pro dálkové ovládání digitálních fotoaparátů z počítače. Podporuje širokou škálu fotoaparátů od různých výrobců. Program umožňuje uživatelům plně ovládat nastavení fotoaparátu.

Byl využit pouze na počátku snímkování kdy pomocí něj byla ovládána zrcadlovka Nikon D7100.

qDslrDashboard

Tento software byl využit pro dálkové ovládání fotoaparátu Nikon Z50. K softwaru DigiCamControl se nepodařilo připojit pomocí wi-fi signálu.

Software je bezplatný a je možné pomocí něj dálkově ovládat fotoaparát pomocí kabelového, wi-fi, nebo Bluetooth připojení. Ovládání fotoaparátu je možné v plném rozsahu, náhled kompozice aktuálního obrazu je zprostředkován pomocí live view, které program též poskytuje.

Helicon Remote

Jelikož se ve využitých fotoaparátech nenachází funkce focus bracketing jenž by po nastavení vzdálenosti a kroku pořídila sérii snímků od bodu A po bod B s postupným přestřelením bylo nutné využít software pro dálkové ovládání jenž touto funkcí dodatečně disponuje.

Jedním z takových softwarů je právě Helicon Remote, který je vyvíjen stejnou společností jako software Helicon Focus, jenž snímky pořízené pomocí focus bracketingu vyhodnocuje.

Tento program je možné bezplatně využívat po dobu 30 dní jako zkušební verzi.

5.2 Pro zpracování snímků

Ke zpracování snímků bylo využito dvou softwarů. Helicon Focus pro zpracování sérií postupně přestřovaných snímků a Agisoft Metashape, pomocí kterého byly vytvářeny prostorové modely.

Helicon Focus

Je software využíváný pro skládání série snímků s různým zaostřením. Software je běžně využíváný mezi fotografy, kteří se věnují makrografii. Software dokáže jednotlivé snímky složit do jednoho výsledného snímku s plnou hloubkou ostrosti.



Agisoft Metashape

Pro vyhotovení modelů byl použit fotogrammetrický software Agisoft Metashape jenž na základě metody obrazové korelace je schopný ze snímků vytvořit mračna bodů, které lze následně editovat a vytvářet modely i s texturou.



6. PRAKTICKÉ POKUSY

6.1 Sestava pro snímkování

Následující kapitoly se věnují provedeným praktickým testům a pokusům. Společným cílem všech těchto testů a pokusů bylo vždy pořízení série kvalitních (ostrých) a homogenních technických snímků.

Díky těmto shodným požadavkům se celková soustava v průběhu prací prakticky neměnila. Z toho důvodu je zde ještě před popsáním jednotlivých pokusů definována.

Sestava se skládala z:

- **Stolku** – jenž byl tuhý a vypodložený do roviny, zajišťoval stabilitu vzorku
- **Stativu** – urovnaným do roviny podle libely a zajišťujícím stabilitu fotoaparátu
- **Polystyrénu** – sloužícího pro umístění a stabilizaci vzorků
- **Závaží** – umístěných na polystyrénovém podkladu proti případným posunům
- **Osvětlení** – skládající se ze dvou LED reflektorů umístěných po stranách naproti sobě
- **Difúzních stanů** – pro rozptyl přímého světla
- **Fotoaparátů** – jenž byly umístěny přímo na stativu nebo na makro sáňkách
- **Notebooku** – který pomocí příslušného softwaru dálkově ovládal fotoaparát



Obrázek 15 - Sestava pro snímkování



6.2 Určení nejostřejšího clonového čísla

Vzhledem k důležitosti kvality a ostrosti snímků při zpětné rekonstrukci skutečnosti a vytváření modelů se přistoupilo k určení clonového čísla makroobjektivu při kterém jsou pořizované snímky nejostřejší (tzv. Sweet spotu).

Ostrost snímků se snižuje díky optickým vadám soustavy čoček objektivu při malých clonových číslech, kdy je clona plně roztažena a díky barevné chybě, způsobené lomem paprsků světla kolem uzavřené clony neboli vysokých clonových číslech.

Postup následujícího testu ostrosti clonových čísel je vytvořen na základě několika zkušebních pokusů.

Volba textury

Vyhodnocení ostrosti pořízených snímků je možné určit pouhým pohledem a porovnáním snímků vůči sobě nebo na základě výpočtu pomocí Laplaciánu.

Pro určení ostrosti snímků pouhým okem je důležité, aby textura snímaného objektu byla dostatečně detailní, a i případné lehké rozostření se na ní viditelně projeví.

Proto byla jako textura zvolena barevná textilie, jež se skládá z množství hustě a úzce protkaných vláken.

Výpočet hloubky ostrosti a určení vzdálenosti

Na základě prvotních pokusů o testování ostrosti clonových čísel a jejich výsledků vznikl předpoklad, že by ostrost jednotlivých clonových čísel mohla souviset se vzdáleností textilie od objektivu.

Jelikož se práce zabývá pořizováním detailních snímků, u nichž je základem být co nejbližší danému objektu bylo důležité, aby test probíhal na co nejkratší možnou vzdálenost. Ta je ovšem limitována hloubkou ostrosti nejnižšího testovaného clonového čísla v tomto případě clonou $f/3$.

Nejkratší možná vzdálenost byla tedy vypočtena pomocí vzorce pro výpočet hloubky ostrosti, do kterého mimo jiné vstupuje právě také vzdálenost snímaného objektu od objektivu.

$$H = 2 * 0,02 * 11 \left[\frac{(1 + 0,36)}{0,36^2} \right] = 4,54 \text{ mm}$$

Nastavení fotoaparátu

Následovalo umístění a nastavení fotoaparátu. Fotoaparát byl umístěn na stabilizovaný robustní stativ. Poté se pomocí libely urovnal do svislé a vodorovné roviny. Poté došlo k nastavení jednotlivých parametrů snímání viz. následující tabulka



Nastavení fotoaparátu Nikon Z50	
Expoziční mód	A (priority clony)
Clonová čísla	f/3–f/22
ISO	100
Expoziční doba	AUTO
Vyvážení bílé	zářivkové světlo – 4200K
Expozice	AE – L, uzamknuta
Zaostřovací režim	manuální
Formát snímků	JPEG fine

Tabulka 1 - Nastavení fotoaparátu Nikon Z50 – Sweet spot

Umístění textury

Textilie byla pomocí kolíků a sponek napnuta na dřevěnou desku, aby tvořila rovinu. Deska se poté umístila do difúzního stanu do vzdálenosti 70 mm od makroobjektivu fotoaparátu a zarovnalá do svislé roviny rovnoběžné s rovinou snímače fotoaparátu.

Snímkování

Snímkování bylo provedeno pomocí digitálního bez zrcadlového fotoaparátu Nikon Z50, jenž byl pomocí wi-fi připojení spárován s počítačem a ovládán dálkově pomocí programu qDslrDashboard.

Zaostřeno bylo na vzorek manuálně z důvodu přesnějšího zaostření oproti případu kdy by se zaostřilo automaticky.

Pořízena byla série 19 snímků, při clonových číslech f/3 f/3,2 f/ 3,5 f/4 f/4,5 f/5 f/5,6 f/6,3 f/7,1 f/8 f/ 9 f/10 f/11 f/13 f/14 f/16 f/18 f/20 f/22 za jinak konstantního nastavení fotoaparátu.

Parametry snímkování	
Měřítko zvětšení	1:1,75
Vzdálenost od objektivu	70 mm
Vzdálenost od senzoru	210 mm
Počet snímků	19
Rozlišení snímků	5568x3712 pix

Tabulka 2 – Parametry snímkování – Sweet spot

Zpracování

Snímky byly programem používaným při snímkování qDslrDashboard ukládány přímo do složky v počítači. Do této složky byl též nakopírován skript pro vyhodnocení ostrosti *Sharpness.py* napsaný v programovacím jazyce Python. Jeho zdrojový kód je součástí příloh.



Skript byl spuštěn pomocí příkazového řádku Windows PowerShell vložení přímé cesty ke složce se snímky a spuštěním skriptu pomocí příkazu `python3 Sharpness.py`.

Po vyhodnocení jednotlivých snímků byl vygenerován textový soubor, jenž byl uložen do složky společně se snímky a obsahoval názvy jednotlivých snímků spolu s vypočtenou hodnotou jenž reprezentovala ostrost snímků.

Tyto hodnoty byly následně v programu Excel využity pro vytvoření názorného grafu znázorňujícího závislost ostrosti jednotlivých snímků na jejich clonových číslech.

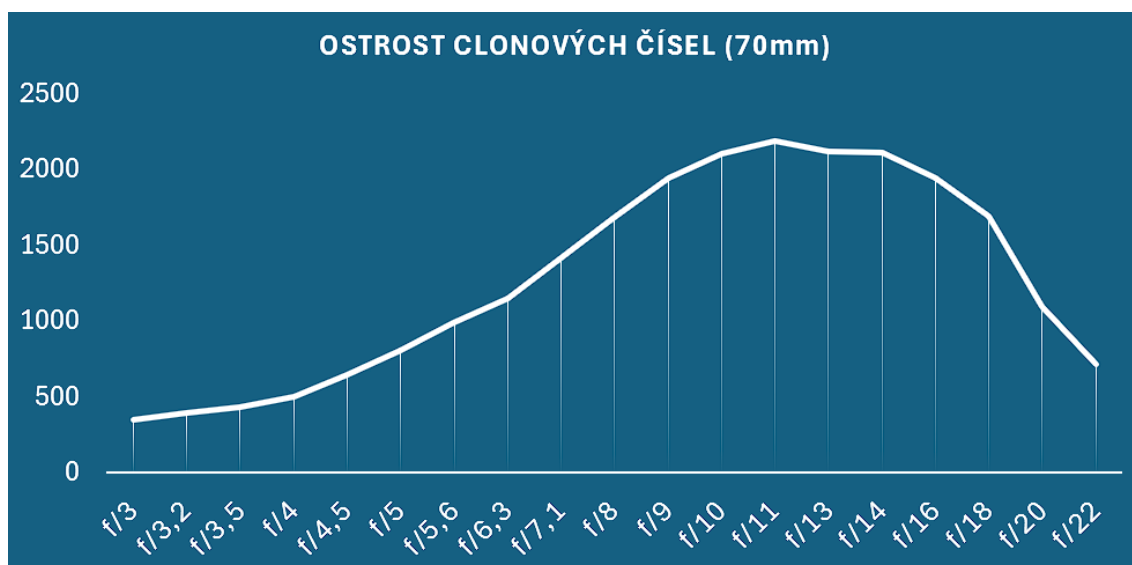
Zhodnocení

Při porovnávání ostrosti jednotlivých snímků pouhým pohledem bylo jasně zřetelné, že nízká a vysoká clonová čísla jsou ovlivněná optickými aberacemi, a tudíž méně ostrá.

Určit ale přesně který snímek a tím pádem i clonové číslo je nejostřejší nebylo možné. Právě z toho důvodu bylo přistoupeno i k exaktnímu vyhodnocení ostrosti.

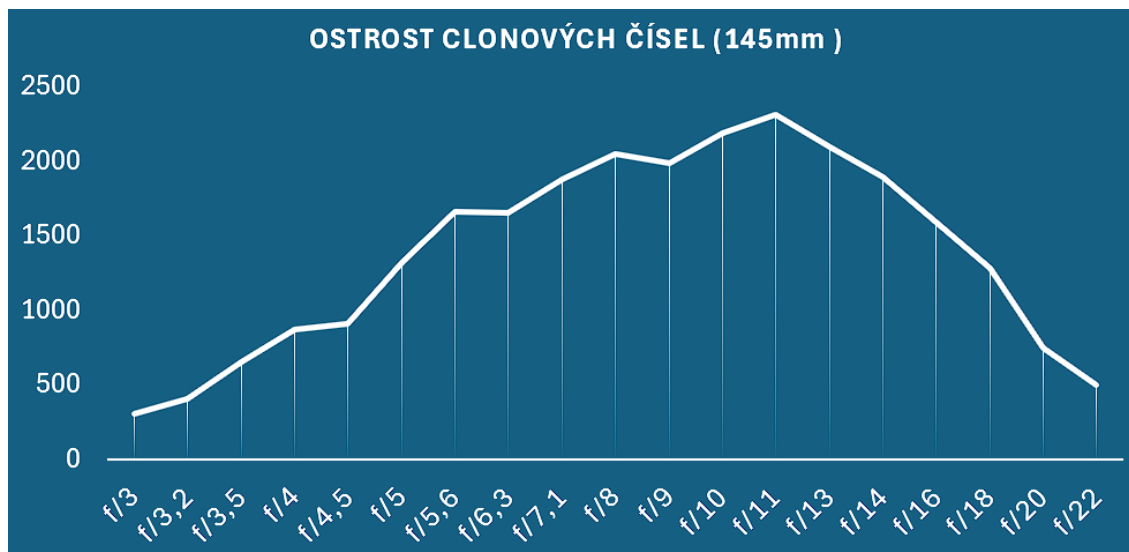
Na základě grafu zobrazujícího závislost ostrosti snímků na clonových číslech je patrné, že nejostřejší obraz poskytnou clonová čísla nacházející se mezi hodnotami $f/9$ až $f/16$ a celkový trend ostrosti clonových čísel inklinuje spíše k clonovým číslům vyšším.

Jako celkové nejostřejší clonové číslo vyšlo na základě výpočtů číslo $f/11$.



Obrázek 16 - Závislost ostrosti snímků na clonových číslech - 70 mm

Vzhledem k počáteční domněnce že ostrost clonových čísel se může měnit se vzdáleností snímané textury od objektivu bylo přistoupeno k provedení identického testování clonových čísel na téměř dvojnásobnou vzdálenost 145 mm viz. následující graf



Obrázek 17 - Závislost ostrosti snímků na clonových číslech - 145 mm

Celková ostrost clonových čísel se posunula více ke středním hodnotám. Jako nejostřejší clonová čísla by se daly brát hodnoty $f/7,1$ až $f/14$ se shodou v nejostřejším clonovém čísle jenž je opět rovno jako v předchozím testování číslu $f/11$.

Závěr

Ostrost jednotlivých clonových čísel se může značně odlišovat. Je očividné, že na nízká a vysoká čísla působí z pohledu ostrosti snímků negativní vlivy.

Ostrost se se změnou vzdálenosti změnila, konkrétně se s větší vzdáleností od objektu posunula k nižším hodnotám.

Následující pokusy týkající se tvorby detailního modelu bříty kamenického dláta se bude využívat clonového čísla jenž bylo určeno jako nejostřejší tedy čísla $f/11$.

Určení nejostřejšího clonového čísla není absolutní, objektivy se skládají z různých složitých optických soustav, které v průběhu let podléhají opotřebovávání. Z toho důvodu je nutné testy provádět pro konkrétní objektiv i stejného typu.

6.3 Zpracování snímků v softwaru AgiSoft MetaShape

Pro jednoduchost a podobnost zpracování následujících pokusů o vytvoření modelu bříty kamenického dláta, je zde ještě před samotným popisem postupu jednotlivých pokusů popsán postup zpracování pořízených snímků ve fotogrammetrickém softwaru *Agisoft Metashape*.

Popis postupu se dělí na dvě části. Na část, pomocí níž se vytvoří surový model bříty, u kterého nedošlo v průběhu zpracování k použití masky, jenž vymezuje část fotografie, která se má využít při zpracování snímků a také v průběhu nedocházelo k jakémukoliv mazání podezřelých bodů a na část jenž masku a mazání podezřelých bodů využívá.

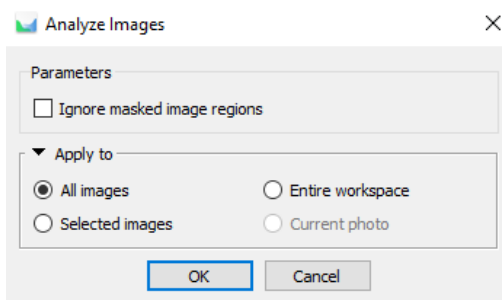


6.3.1 Neditovaný model

Příprava projektu

Příprava projektu spočívá v načtení pořízených snímků do tzv. *Chunku* neboli adresáře, ve kterém bude model následně generován.

Poté se pro všechny snímky určí Image quality, což je hodnota od 0 do 1, která určuje celkovou kvalitu snímku a jeho vhodnost pro následné vyhodnocení. Čím je hodnota vyšší, tím je snímek kvalitnější. Snímky s hodnotou menší než 0.5 jsou považovány za nekvalitní, a ještě před jakýmkoliv vyhodnocováním se ze souboru snímků odeberou.

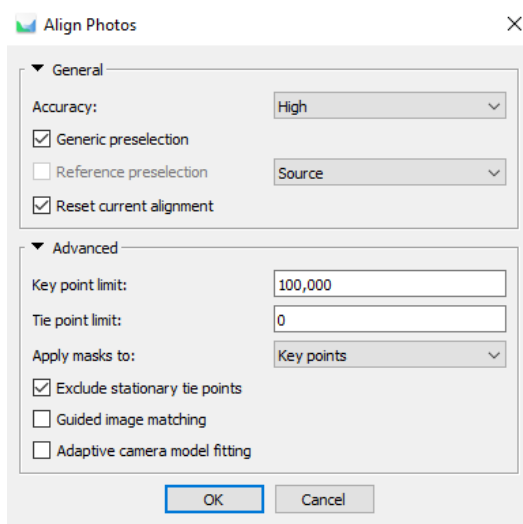


Obrázek 18 - Nastavení vyhodnocení kvality snímků

Důležité je zaškrtnout výpočet pro veškeré snímky

Řídké mračno bodů

Ze zbylých snímků s kvalitou vyšší než 0.5 se pomocí funkce *Align photos* vytvoří na základě metody obrazové korelace řídké mračno bodů, pro jehož vypočítání bylo zvoleno následující nastavení.



Obrázek 19 - Nastavení výpočtu řídkého mračna



Vysvětlení nastavení:

Accuracy: High – znamená, že bude využito plné rozlišení fotografie

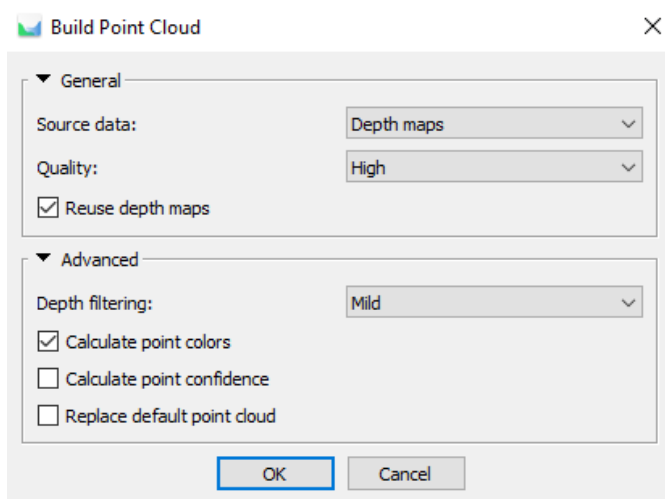
Key point limit: 100,00 – maximální možný počet identifikovatelných bodů na snímku

Tie Point limit: 0 – nastaveno neomezené množství spojovacích bodů mezi snímky

Spolu s řídkým mračnem bodů se též určují prvky vnější orientace pomocí svazkového vyrovnání a tím pádem předpokládané polohy fotoaparátu odkud byl snímek pořízen.

Husté mračno bodů

Po vypočtení řídkého mračna je možné přistoupit k vypočtení mračna hustého přes funkci *Build point cloud*



Obrázek 20 - Nastavení funkce *Build Pint Cloud*

Vysvětlení nastavení:

Source data: Depth maps – při výpočtu software využívá hloubkové mapy

Quality: High – pro výpočet bude využita čtvrtinová velikost snímku, při nastavení kvality na Ultra High by se využila plná originální velikost snímku

Depth filtering: Mild – po vyzkoušení i všech ostatních možností se pro rovnoměrný, hladký povrch s jemnými detaily zdá být nejvhodnějším nastavením.

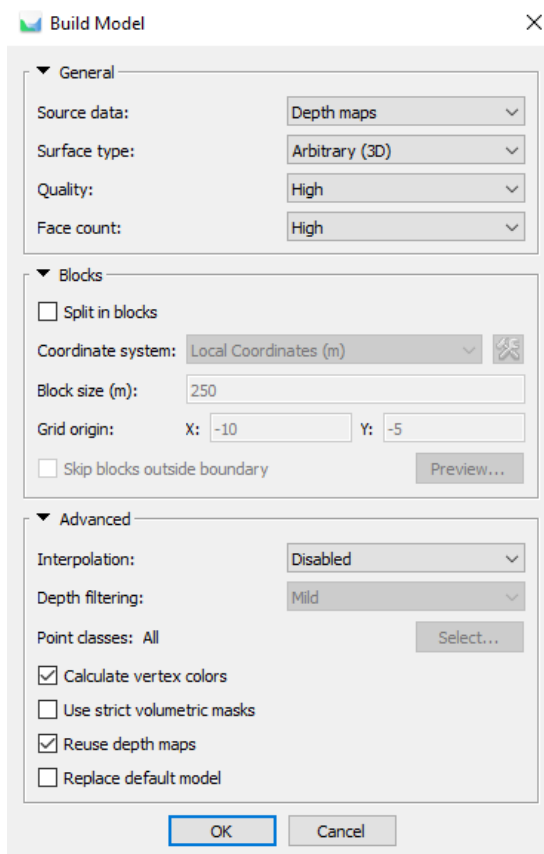
Reuse depth maps – při výpočtu software využívá již vypočtené hloubkové mapy, které byly vytvořeny při základní orientaci snímku neboli při tvorbě řídkého mračna

Polygonový model

Pro vytvoření modelu je možné využít jako zdrojová data buď již zmiňované hloubkové mapy (depth maps) anebo v minulém kroku vypočítané husté mračno bodů (point cloud).



Oficiálně se již doporučuje využívat pro výpočet pouze hloubkové mapy, jelikož nevyužívají tolik počítačové paměti, celkové vyhodnocování trvá kratší dobu a obecně bývá kvalitnější v porovnání s modelem vytvořeným pomocí hustého bodového mračna.



Obrázek 21 - Nastavení funkce Build Model

Vysvětlení nastavení:

Source data: Depth maps – znamená, že bude využito plné rozlišení fotografie

Surface type: Arbitrary (3D) – s tímto nastavením bude výsledný model trojrozměrný, jako jedna z dalších možností je například výpočet takzvaného (2.5D) modelu neboli modelu jenž se skládá z 2D dat doplněných třetím rozměrem v nominální hodnotě

Quality: High – pro výpočet bude využita čtvrtinová velikost snímku, při nastavení kvality na Ultra High by se využila plná originální velikost snímku

Face count: High – udává celkové množství vytvořených polygonů, pro tvorbu detailního modelu se doporučuje nastavení na High jenž je maximální možné

Interpolation: Disabled – při tomto nastavení vznikají nejostřejší hrany a jasně definované hranice obvodu modelu

Reuse depth maps – při výpočtu software využívá již vypočtené hloubkové mapy, které byly vytvořeny při základní orientaci snímku neboli při tvorbě řídkého mračna a zkrátí tak tím dobu vyhodnocování i na polovinu

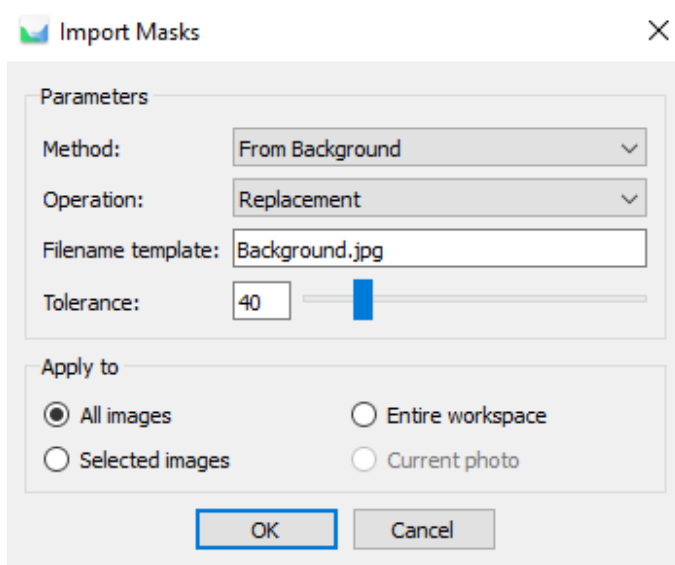


6.3.2 Editovaný model

V této části jsou pouze popsány změny, odlišnosti postupu zpracování vůči modelu needitovanému (surovému). Celkový postup jinak zůstává identický s postupem předchozím.

Příprava projektu

Při přípravě projektu se navíc po určení kvality a vyřazení snímků vytvoří pro jednotlivé snímky takzvané masky, jež zamaskují část snímku, která nemá být použita při výpočtu. Protože by mohla narušovat celkové zorientování snímků a poté i geometrickou kvalitu modelu.



Obrázek 22 - Nastavení aplikace masky

Možností, jak masku aplikovat je celá řada, jedna z nich, jež se osvědčila jako nejefektivnější je využít jednobarevného pozadí které musí mít stejné rozlišení jako všechny pořízené snímky.

Řídké mračno bodů

Při výpočtu řídkého mračna se již maska automaticky aplikuje a zajišťuje, aby předmětem rekonstrukce obrazu snímky byl pouze předmět zájmu

Jednou z dalších zásadních odlišností, jež umožňují vytvoření čistšího a přesnějšího modelu je selekce a mazání bodů neboli jejich filtrace pomocí funkce Gradual Selection, která na základě předem definovaných kritérií, kterými jsou:

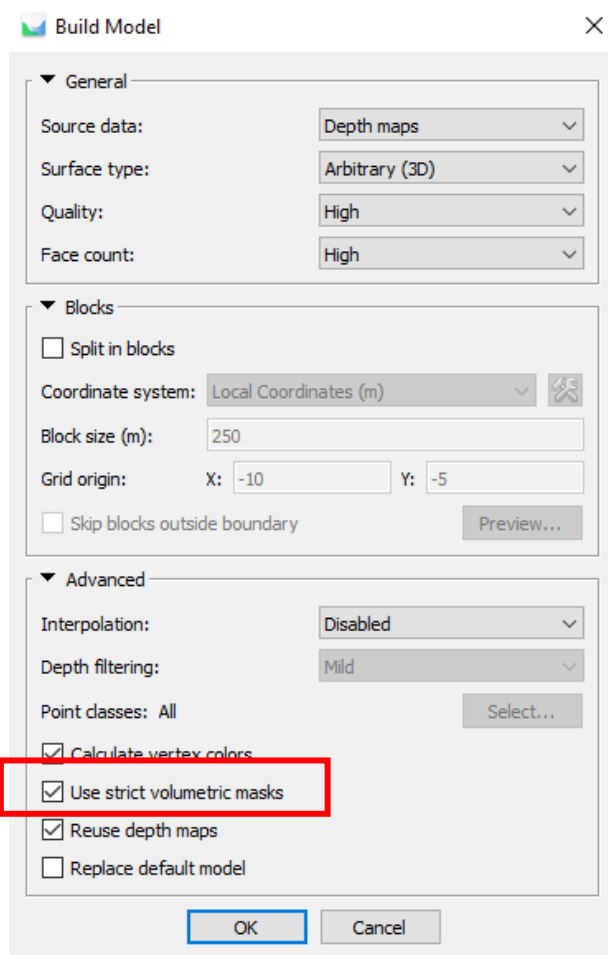
- **Reprojection error**
- **Reconstruction uncertainty**
- **Image count**
- **Projection Accuracy**

odstraní podezřelé body z výpočtu a zvýší tak pravděpodobnost vytvoření přesnějšího výsledku



Polygonový model

U tvorby výsledného polygonového modelu je pouze jeden zásadní rozdíl, a to zaškrtnutí možnosti, že i při tvorbě modelu má být maska využita.



Obrázek 23 – Rozdíl v nastavení Build Model

6.4 Vytvoření modelu z jednoduchých snímků

Tato část se věnuje vytvoření modelu detailu břitu kamenického dláta bez využití focus stackingu, tedy při vytváření těchto modelů vzniká limitace kvůli omezená hloubce ostrosti, jenž lze využít k pokrytí zkoumané části vzorku.

Opět jako v případě testování clonových čísel objektivu bylo v průběhu prací zrealizováno množství pokusů na základě, kterých se postupně vylepšovala metodika pořizování snímků, vyhodnocování snímků spolu s vytvářením modelů.

Jako první je popsán jeden z prvotních pokusů, který bude v závěru kapitoly porovnán a zhodnocen v kontrastu s pokusem druhým, který byl prováděn jako jeden z posledních.



6.4.1 Pokus č. 1 - Model s odhadovanou hloubkou ostrosti

Pokus se soustředil na vytvoření detailního modelu jedné strany břitu bronzového kamenického dláta s využitím makrofotografických snímků. Šlo o zcela první pokus, kde šlo o získání praktických zkušeností při pořizování a následném zpracování makrofotografických snímků.

Umístění fotoaparátu

Fotoaparát byl přišroubován k makro sáňkám, které byly přidělány k robustnímu stativu, stabilně postavenému a vyrovnanému do roviny.

Makro sánky se urovnaly přibližně rovnoběžně s hranou břitu a spolu s fotoaparátem byly urovnány pomocí nastavitelných noh stativu do roviny pomocí virtuálního horizontu fotoaparátu.

Umístění vzorku

Břit bylo potřeba ideálně umístit do takové vzdálenosti od objektivu, aby hloubka ostrosti stále pokrývala celou jeho hloubku po celé délce.

Kontrola toho, zdali je celý břit zaostřen probíhala pomocí *Live view* fotoaparátu, ve kterém byla maximálně zvětšená část snímku, v níž se břit nacházel. Jelikož ostří břitu není dokonale rovnoběžné s obrazovou rovinou bylo hloubku ostrosti nutné zkontrolovat po celé délce břitu postupným posouváním po makrosáňkách.

Výpočet horizontálního posunu

Po takovémto zarovnání břitu vůči fotoaparátu byla z objektivu odečtena hodnota měřítkového čísla ($1,4$), která byla následně využita pro výpočet horizontálního posunu po makro sáňkách, aby překryv jednotlivých snímků, který je důležitý pro správné vyhodnocení snímku a tvorbu modelu dosahoval 90% .

Šířka snímače fotoaparátu je $23,5\text{ mm}$. Pro výpočet horizontálního posunu byl použit vzorec (1).

$$P1 = (100 - 90) * \left(\frac{1,4 * 23,5}{100} \right) = 3,29\text{ mm}$$

Po dosazení do vzorce byla určena hodnota posunu na $3,29\text{ mm}$. Ta byla z důvodu milimetrového vodícího měřítka makro sáňek zaokrouhlena na celé milimetry (3 mm). Tím se překryv jednotlivých snímků zvýšil.

Na základě zaokrouhleného posunu byla zpětně vypočte míra překryvu jednotlivých snímků za užití vzorce (2).

$$P2 = 100 - \left(\frac{3}{(1,4 * 23,5)/100} \right) = 90,88\%$$

Po dosazení hodnoty horizontálního posunu (3 mm) vyšel překryv jednotlivých snímků na $90,88\%$. Což stále odpovídalo původnímu požadavku na překryv.



Nastavení fotoaparátu

Nastavení fotoaparátu Nikon D7100	
Expoziční mód	A (priority clony)
Clonové číslo	f/11
ISO	100
Expoziční doba	AUTO
Vyvážení bílé	denní zářivka – 6500 K
Expozice	AE – L, uzamknuta
Zaostřovací režim	manuální
Formát snímků	RAW + JPEG fine

Tabulka 3 - Nastavení fotoaparátu Nikon D7100 – Pokus č. 1

Vysvětlení nastavení jednotlivých parametrů kamery

Nastavení jednotlivých parametrů kamery odráželo snahu o vytvoření co nejkvalitnějších, homogenních snímků. Takovéto snímky jsou potom efektivněji zpracovány metodou *IBMR* ve specializovaném softwaru.

Expoziční mód – při nastavení priority clony lze manuálně volit hodnotu clonového čísla a čas je automaticky dopočítáván. Vzhledem k předchozímu určení nejostřejšího clonového čísla (*Sweet spotu*) bylo potřeba mít možnost hodnotu clonového čísla nastavit manuálně neboli fixně.

Clonové číslo – hodnota *f/11* byla určena v předchozím testování clonových čísel používaného makroobjektivu vyhodnocena jako nejostřejší.

ISO – hodnota *ISO* představuje citlivost snímače. S vyšším nastavením citlivosti lze zkrátit nutnou expoziční dobu pro pořízení dostatečně exponovaného snímku ale zároveň s tím narůstá šum ve snímku. Vzhledem k laboratorním podmínkám a dostatečné stabilizaci fotoaparátu nebyla expoziční doba brána jako omezující faktor, a citlivost snímače byla nastavena na nejnižší možnou hodnotu pro co možná nejméně šumu ve snímku.

Expoziční doba – na základě nastavení expozičního módu (priorita clony) byla expoziční doba automaticky dopočítávána. Vzhledem k dostatečné stabilizaci na ní nebyl brán ohled

Vyvážení bílé – při tomto pokusu nebylo nastavení vyvážení bílé barvy nijak řešeno. Nastavená hodnota zůstala nastavena po předchozím snímkování

Expozice – fotoaparát byl před snímkováním posunut přímo před kamenické dláto a automaticky dopočtena expozice byla uzamčena. Tímto nastavením se zajistí že světelnost snímků bude v průběhu fotografování zachována.

Zaostřovací režim – na počátku snímkování bylo manuálně zaostřeno přímo na břit kamenického dláta pomocí přiblížení v *Live view* kamery byla ostrost zkontrolována a v průběhu snímkování se již nepřeostrřovalo. Při manuálním ostření lze dosáhnout ostřejšího obrazu oprati ostření automatizovanému.



Formát snímků – snímky byly ukládány jak v *.RAW* formátu, u *Nikonu* konkrétně *.NEF*, tak ve formátu *JPG fine* jenž je nejkvalitnějším výstupem formátu typu *.JGP*. Důvodem bylo možné zpracování snímků o různém množství obsažených dat.

Snímkování

Ke snímkování byla využita zrcadlovka *Nikon D7100*, která byla *USB* kabelem připojena k počítači a pomocí softwaru *DigiCamControl* dálkově ovládána.

Břit byl snímkován po celé své délce. Z jedné strany břitu na druhou, dokud se břit nacházel ve snímaném výřezu. Tak bylo zajištěno dostatečné překrytí snímků i na okrajích břitu.

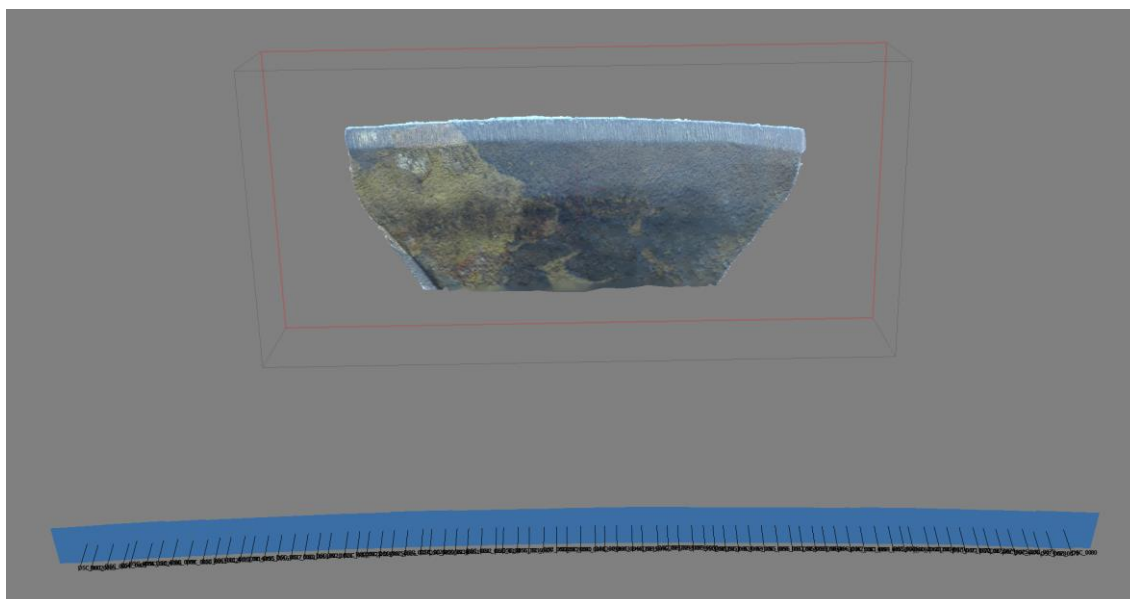
Celý postup se skládal z pořízení snímku jediného snímku na stanovisku, posunutí fotoaparátu po makro sáňkách o 3 mm a opětovného pořízení snímku, dokud nebyla celá délka břitu nasnímána.

Parametry snímkování	
Měřítko zvětšení	1:1,4
Vzdálenost břitu od objektivu	55 mm
Vzdálenost břitu od senzoru	200 mm
Horizontální posun	3,00 mm
Překryv snímků	90,88 %
Počet snímků	80
Rozlišení snímků	6000x4000 px

Tabulka 4 - Parametry snímkování – Pokus č. 1



Obrázek 24 - Příklad snímku – Pokus č. 1

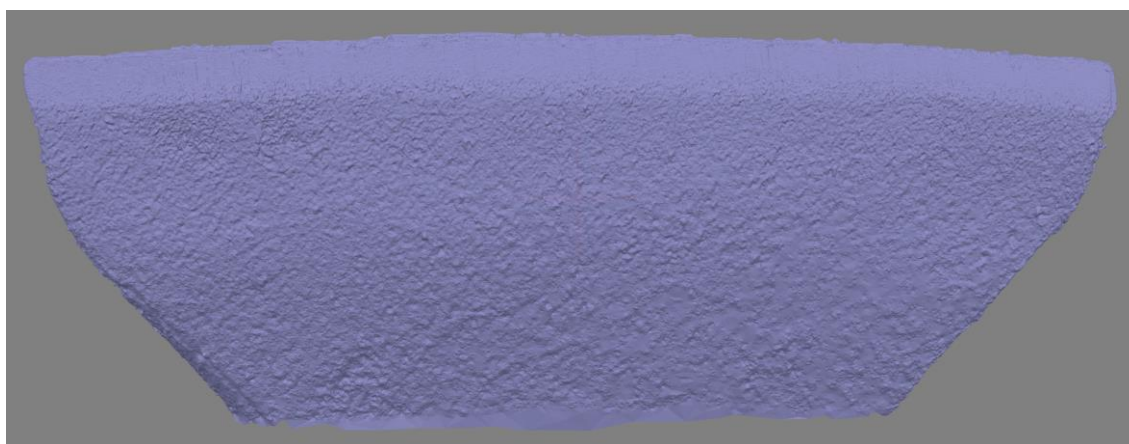


Obrázek 25 - Pozice kamer – Pokus č. 1

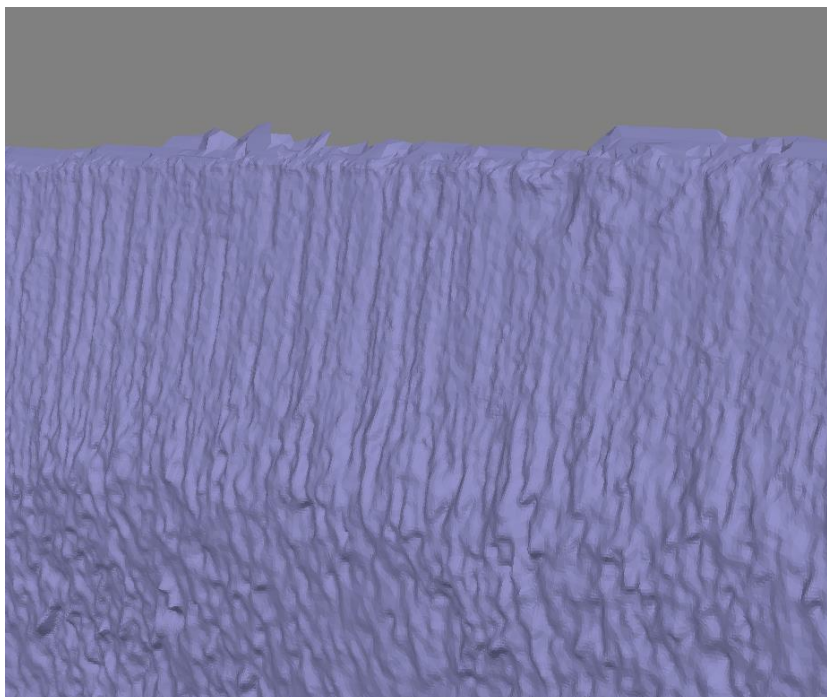
Zpracování

Po snímkování nebyl proveden žádný post processing, neboli jakákoliv úprava originálních snímků.

Následovalo nahrání do softwaru Agisoft Metashape ve kterém byly testovány různé možnosti postupů. Cílem bylo vytvořit co nejkvalitnější model. Po testování různých způsobů vyhodnocení byl jako nejvhodnější způsob pro celkový postup zvolen postup pro „Editovaný model“.



Obrázek 26 - Výsledný 3D model - Pokus č. 1



Obrázek 27 - Detail samotného břitu – Pokus č. 1

Detaily podélného okraje břitu do sebe splývají. Tyto krajní části břitu nebyly již na snímkách zaostřeny. Celková detailnost modelu se s klesající ostrostí vytrácí.

Závěr

Již po tomto prvotním, úvodním pokusu je jasné, že makrofotografie lze využít pro pořízení kvalitních snímků pomocí nichž lze zrekonstruovat vysoce detailní model povrchu. To je patrné hlavně při pohledu na detail břitu kdy lze rozeznat jednotlivé příčné stopy (trasy) způsobené opotřebením.

Protokol o vyhodnocení snímků v softwaru *AgiSoft Metashape* je součástí příloh na konci práce.

6.4.2 Pokus č. 2 Model s vypočtenou hloubkou ostrosti

Tento pokus byl proveden jako jeden z posledních a jeho postup je v porovnání s pokusem předchozím značně optimalizován. Jedním z hlavních rozdílů je vypočtení přesné hodnoty hloubky ostrosti na základě, které by měl být celý břit na snímku dostatečně ostrý. Díky tomu může být poté vytvořen geometricky věrnější model.

Umístění fotoaparátu

Umístění fotoaparátu se oproti předchozímu pokusu prakticky neměnilo. Fotoaparát byl opět našroubován na makro sáňky, které se umístily na stativ.

Jako vždy bylo sledováno správné urovňání do roviny.



Výpočet hloubky ostrosti a určení vzdálenosti

Hloubka strany břítu, na kterou byla při snímání soustředěna pozornost se rovnala 2 mm. Nutná hloubka ostrosti, která pokryje celý břit byla stanovena na 3 mm. Milimetr byl přidán z důvodu nedokonalé přímého tvaru břítu a také jako tolerance nedokonalosti prováděných prací.

Pro výpočet postačující vzdálenosti od břítu dláta byl využit vzorec pro výpočet hloubky ostrosti, do něhož právě tato vzdálenost vstupuje (4). Při dosazení ohniskové vzdálenosti 40 mm, vzdálenosti od objektu 90 mm, clonového čísla f/11 a rozptylového kruhu 0,02 získáme následující hloubku ostrosti která je dostačující pro pokrytí břítu.

$$H = 2 * 11 * 0,02 \left[\frac{\left(1 + \frac{40}{90}\right)}{\left(\frac{40}{90}\right)^2} \right] = 3,22 \text{ mm}$$

Po umístění vzorku do této vzdálenosti a následné kontrole ostrosti v *Live view* kamery pomocí přiblížení bylo patrné, že skutečná hloubka ostrosti, která odpovídá vzdálenosti 90 mm břit dostatečně nepokrývá. Vzdálenost mezi břitem a fotoaparátem bylo nutné zvětšit.

I přes pokus o přesné určení hloubky ostrosti na základě výpočtu bylo nutné přistoupit k postupnému oddalování břítu od objektivu a průběžnému pořizování kontrolních snímků, zdali je hloubka již dostatečná.

Hloubka ostrosti nakonec pokrývala celý břit při vzdálenosti 110 mm. Při zpětném dosazení do vzorce (4) pro výpočet hloubky ostrosti se hloubka ostrosti rovnala 4,54 mm.

Výpočet horizontálního posunu

Vzhledem k určené vzdálenosti břítu od objektivu bylo možné určit měřítkové číslo snímků, a tak vypočítat jejich horizontální posun na základě požadovaného horizontálního překryvu snímků minimálně který měl být alespoň 90 %.

Měřítkové číslo bylo určeno jako poměr vzdálenosti vzorku k objektivu a ohniskové vzdálenosti použitého objektivu $m = 110/40$. Šířka senzoru je 23,5 mm.

Po dosazení do vzorce pro výpočet horizontálního posunu (1)

$$P1 = (100 - 90) * \left(\frac{2,75 * 23,5}{100} \right) = 6,46 \text{ mm}$$

vyšel horizontální posun na 6,46 mm.

Tato hodnota byla z důvodu milimetrového měřítka na makro sáňkách zaokrouhlena na nejbližší nižší celé číslo tedy 6 mm. Minimální překryv 90 % je stále zachován.

Při zpětném výpočtu překryvu snímků na základě zaokrouhlené hodnoty horizontálního posunu vzorcem (2) vycházela míra překryvu na 90,72 %



$$P2 = 100 - \left(\frac{6}{(2,75 * 23,5)/100} \right) = 90,72 \%$$

vycházela míra překryvu na 90,72 %

Nastavení fotoaparátu

Nastavení fotoaparátu Nikon Z50	
Expoziční mód	A (priority clony)
Clonové číslo	f/11
ISO	100
Čas	AUTO
Vyvážení bílé	studená zářivka – 4200K
Expozice	AEL – lock
Zaostřovací režim	manuální
Formát snímků	JPEG fine

Tabulka 5 - Nastavení fotoaparátu – Pokus č. 2

Snímkování

Snímky byly pořízeny digitálním bezzrcadlovým fotoaparátem Nikon Z50 s makro objektivem Nikon nikkor 40 mm f/2.8g af-s dx micro nasazeného pomocí předsádky Nikon FTZ.

Pro eliminaci otřesů byl fotoaparát ovládán dálkově z notebooku. Připojený byl pomocí wi-fi a pro ovládání byl zvolen software qDslrDashboard.

Pro nasnímkování celého břitu postačilo 20 snímků mezi jejichž pořízením se vždy fotoaparát vodorovně posunul po horizontálních makro sáňkách o 6 mm.

Celá délka břitu byla opět nasnímaná tak, aby i krajní části vzorku byly nasnímány s 90 % překryvem.

Parametry snímkování	
Měřítko	1:2,75
Vzdálenost od objektivu	110 mm
Vzdálenost od senzoru	228 mm
Horizontální posun	6,00 mm
Překryv snímků	90,72 %
Počet snímků	20
Rozlišení snímků	5568x3712 pix

Tabulka 6 - Parametry snímkování – Pokus č.2



Obrázek 28 - Příklad snímku – Pokus č. 2

Nevýhodou oproti předchozímu pokusu je vzhledem k větší vzdálenosti od dláta menší pokrytí snímku detailní texturou na základě, které by se při vyhodnocování vytvářely spojovací body.

Díky větší hloubce ostrosti lze matně rozeznat texturu pozadí. Nedochází k jejímu přexponování. Je však natolik rozmazaná, že při vyhodnocování i bez využití masky neposkytla více než jen pár spojovacích bodů, které se jeví spíše jako náhodný šum.



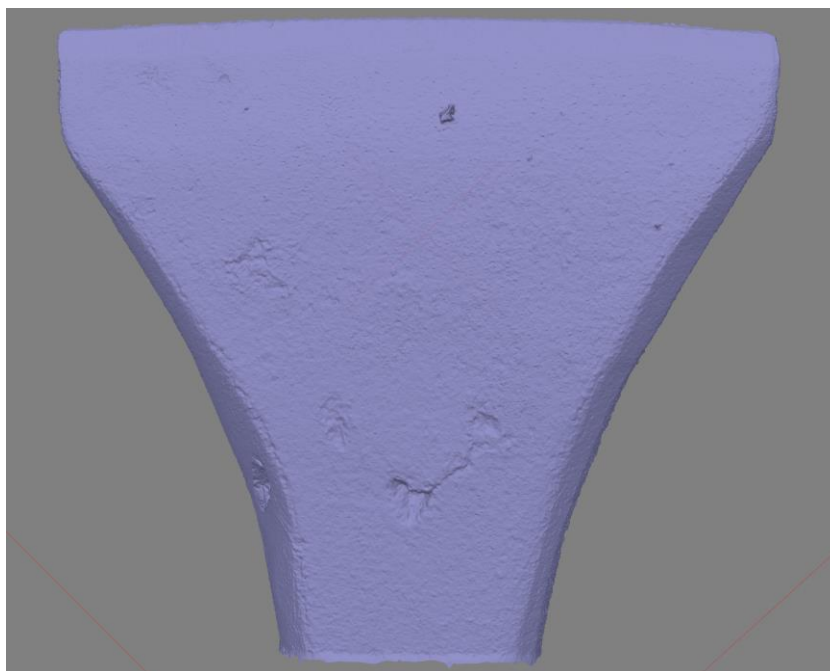
Obrázek 29 - Pozice kamer – Pokus č.2

Zpracování

Snímky byly zpracovány v programu Agisoft Metashape podle postupu pro „Editovaný model“.

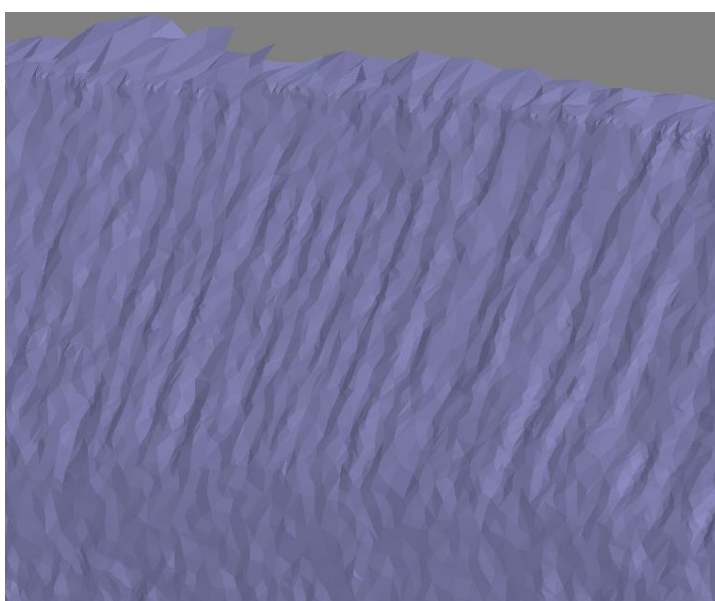


Při tvorbě modelu byla navíc využita maska z pozadí, jenž ohraničuje využitelnou část snímku, v tomto případě část, jenž obsahuje texturu kamenického dláta společně s břitem. Po tvorbě řídkého mračka a orientace snímků byly nevhodně zorientovány neboli nepřesně určeny polohy kamer krajních snímků která obsahovaly již pouze velmi málo textury. Tyto snímky byly z výpočtu odstraněny. Následně byla též využita filtrace bodů.



Obrázek 30 - Výsledný model – Pokus č.2

Celkový model dláta je díky ne tak silnému rozostření o mnoho detailnější, avšak na samotnou detailnost břitu má větší vzdálenost od objektu negativní dopad.



Obrázek 31 - Detail břitu dláta – Pokus č. 2



Závěr

I přes vhodnější nastavení fotoaparátu a dostatečné ostrosti celého břitu v porovnání s předchozím pokusem nebyl výsledný model břitu v porovnání s předchozím pokusem detailnější. Naopak se zdá, že se míra detailnosti vytratila.

Dalším zásadním rozdílem při porovnání modelů pokusu č. 1 a č. 2 je rozdílná vzdálenost fotoaparátu od vzorku. Aby hloubka ostrosti dosahovala dostatečné velikosti bylo nutné se od snímaného dláta vzdálit. Právě tato odlišnost bude pravděpodobně důvodem proč i přes vyšší ostrosti a celkové kvalitu výsledných snímků není dosaženo při konstrukci modelu takové detailnosti.

Protokol o vyhodnocení snímků v softwaru *AgiSoft Metashape* je součástí příloh na konci práce.

6.5 Vytvoření modelu ze složených snímků

Pro vytvoření detailního modelu je zásadní mít pořízené co nejdetailnější snímky. Detailnost snímků je závislá na rozlišení snímače fotoaparátu a vzdálenosti modelovaného objektu od fotoaparátu. Čím je objekt blíže fotoaparátu, tím detailnější snímek je pořízen.

Cílem je tedy dostat snímaný objekt co nejbliže objektivu. Ideálně na jeho nejkratší zaostřovací vzdálenost, kdy je i měřítko zvětšení pro daný objektiv největší.

Bohužel se zkracující se vzdáleností mezi objektem a objektivem prudce klesá i hloubka ostrosti obrazu jenž poté nestačí k pokrytí zájmové části objektu.

V předchozích pokusech byla právě hloubka ostrosti omezujícím faktorem, který neumožňoval pořízení detailních snímků, respektive nebylo možné využít potenciál daného objektivu jenž umožňuje na nejkratší zaostřovací vzdálenost 163 mm od roviny snímače zvětšení 1:1.

Jako vhodné řešení se naskytuje využít metodu takzvaného focus-stackingu, běžně využívanou v makrofotografii pro získání ostrých snímků v celé hloubce zájmového objektu.

V následujícím pokusu je právě tato metoda využita a zkoumána.

6.5.1 Pokus č. 3 Model se skládanou hloubkou ostrosti

Umístění vzorku

Kamenické dláto bylo umístěno co nejbliže objektivu na jeho nejkratší zaostřovací vzdálenost, jenž se rovná 163 mm od roviny snímače.

Zároveň se sledovalo, aby dláto zabíralo co největší plochu snímku.



Výpočet horizontálního posunu

Vzhledem k informaci, že objektiv dosahuje míry zvětšení 1:1 na nejkratší zaostřovací vzdálenost byla tato hodnota využita pro výpočet podélného posunu fotoaparátu po makro sáňkách.

Po dosažení do vzorce pro výpočet posunu (2) opět za podmínky 90 % překryvu jednotlivých snímků vyšel 2,35 mm

Hodnota se jako v předchozích případech zaokrouhlila na celé 2,00 mm a zpětně byla určena míra překryvu pro zaokrouhlený posun který vyšel na 91,49 %.

Nastavení fotoaparátu

Zásadní odlišnost nastavení oproti předchozím pokusům spočívá přepnutí na automatický zaostřovací režim, aby Helicon Remote neboli software, který provádí focus bracketing metodou postupného přeostrévání objektivu měl plnou kontrolu nad objektivem.

Nastavení fotoaparátu Nikon Z50	
Expoziční mód	A (priority clony)
Clonové číslo	f/11
ISO	100
Čas	AUTO
Vyvážení bílé	studená zářivka - 4200K
Expozice	AEL - lock
Zaostřovací režim	AF-S
Formát snímků	JPEG fine

Tabulka 7 - Nastavení fotoaparátu – Pokus č. 3

Snímkování

Samotné snímkování se skládalo z nasnímání vzorku v celé jeho délce, kdy na každém jednom stanovisku byla pořízena série postupně přeostrévaných snímků od nejbližšího bodu kamenického dláta po nejvzdálenější.

Pro dálkové ovládání a focus bracketing byl využit software Helicon Remote ke kterému byla pomocí wi-fi signálu připojena bezzrcadlová kamera Nikon Z50 umístěná na makrosáňkách.

Ovládání softwaru Helicon Remote a nastavení parametrů samotného focus bracketingu je specifické, a proto je zde uveden postup spolu se zvolenými hodnotami jednotlivých parametrů.



Parametry snímkování	
Měřítko	1:1
Vzdálenost od objektivu	35 mm
Vzdálenost od senzoru	163 mm
Horizontální posun	2,00 mm
Překryv snímků	91,49 %
Počet snímků na stanovisku	16
Počet stanovisek	37
Celkový počet snímků	592
Rozlišení snímků	5568x3712 px

Tabulka 8 - Parametry snímkování – Pokus č. 3

Zpracování

Série přeastřených snímků z jednotlivých stanovisek byly nejprve hromadně zpracovány v programu Helicon Focus. Následně byly nahrány do fotogrammetrického softwaru AgiSoft Metashape.

Helicon focus

Z Helicon Remotu byly série snímků z jednotlivých stanovisek nahrávány do samostatných složek. Po spuštění programu Helicon Focus se tyto složky hromadně nahrály a zpracovaly pomocí funkce Batch process. Při zpracování série snímků je možné zvolit metodu vyhodnocení A, B nebo C a v závislosti na zvolené metodě poté i další parametry

Po vyhodnocení konkrétní metodou s konkrétním nastavením a její aplikaci na všechny série snímků je možné snímky uložit ve formátu .JPEG.

Pro vyhodnocení byly postupně využity všechny tři metody (A, B, C) a jejich výsledky byly mezi sebou porovnány.

Takto zpracované snímky jsou poté určeny k fotogrammetrickému vyhodnocení.

Zhodnocení složených snímků



Obrázek 32 - Složený snímek pomocí Helicon Focusu (Metoda A)

Skládané snímky jsou ostré a zároveň velice detailní. Vhodné pro zpracování a tvorbu detailního modelu.

Bohužel vzhledem k nedostatečné zkušenosti se softwarem Helicon Remote nebyla hloubka ostrosti jednotlivých snímků v sérii dostatečná a při skládání nedošlo k jejímu překryvu.

Z toho důvodu se na výsledných snímcích vyhodnocených metodou A, B i C objevily po celé délce dláta střídající se zaostřené a rozostřené příčné pruhy.

Na následujícím snímku je přibližně uprostřed břitu zachycen jasně zřetelný rozostřený příčný pás, který bez přiblížení není na první pohled patrný.



Obrázek 33 – Detail rozostřeného pruhu na břitu (Metoda A)



U snímků vyhodnocených metodou A, lze pozorovat efekt svatozáře, která lemují obrys dláta. U ostatních metod vyhodnocení (B a C) podobný efekt nevznikal



Obrázek 34 - Efekt svatozáře (Metoda A)

Agisoft Metashape

Jelikož nebylo jisté, která metoda vyhodnocení focus stackingu v softwaru Helicon Focus je nejvhodnější pro fotogrammetrickou rekonstrukci modelu, bylo přistoupeno k vytvoření modelů postupně na základě snímků složených pomocí metody A, B a C.

Aby byly zřetelné vlivy jednotlivých metod, modely byly vytvořené postupem bez jakékoliv editace čili byl použit postup pro „Needitovaný model“.

Zhodnocení modelů

Na povrchu všech modelů se vytvořily podélné pruhy, jež kopírovaly rozostřené části složených snímků. Nejvýraznější pruhy se utvořily na modelu vyhodnoceném pomocí snímků metody B.



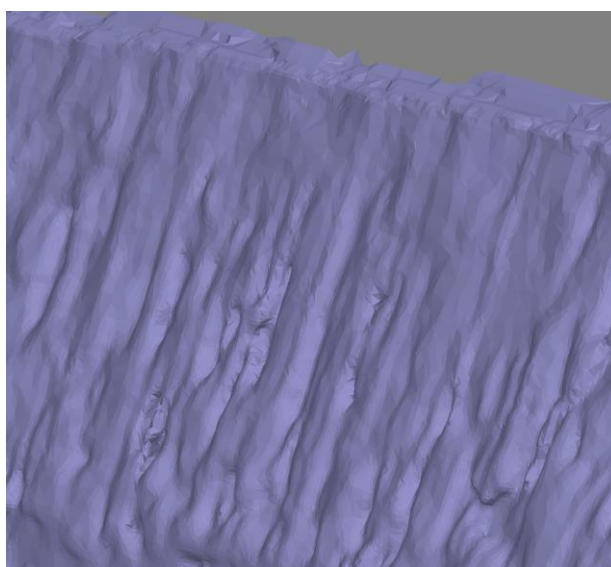
Obrázek 35 - Detail pravidelných pruhů na povrchu modelu (Metoda B)

Nicméně celková detailnost modelů je v porovnání s modely z neskládaných snímků vyšší

Model z nesložených snímků

Pro zajímavost byly také vyhodnocené původní série snímků, které neprošli procesem focus stackingu. Postup zvolen pro vyhodnocení byl též needitovaný.

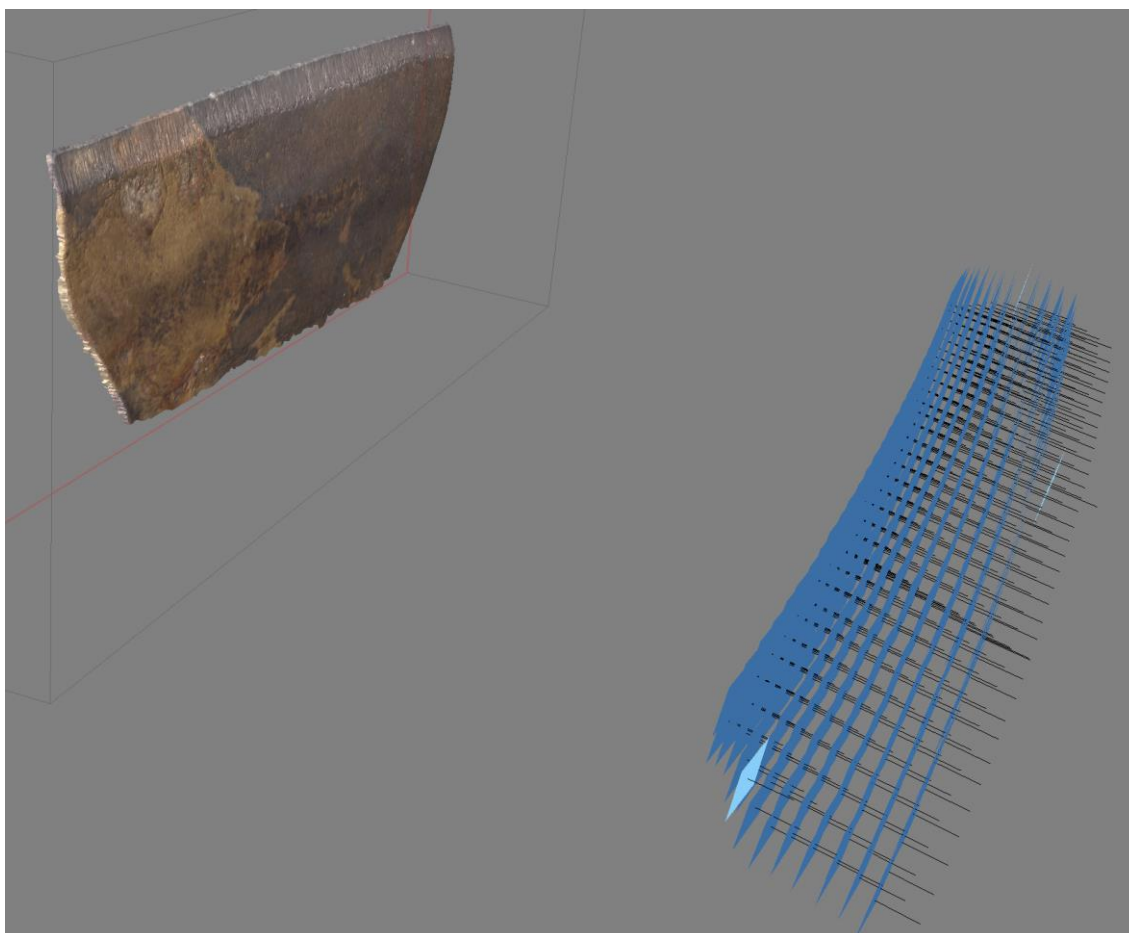
Detailnost tohoto modelu je v porovnání s modely ze skládaných snímků velice nízká. Velké množství snímků rozostřených snímků způsobilo, že se do sebe detaily „vpíjí“.



Obrázek 36 – Detail břitu dláta – Pokus č. 3 (nesložené snímky)



Zajímavé ovšem je, jak software vyhodnotil jednotlivé pozice kamer. Přestože s fotoaparátem nebylo v příčném směru hýbáno, pozice byly rozděleny do jednotlivých řad, přibližujících se směrem ke dlátu.



Obrázek 37 - Pozice kamer – Pokus č. 3 (nesložené snímky)

Zhodnocení focus-stackingu

Skládané snímky lze využít pro vytvoření modelu pomocí metody obrazové korelace. Na první pohled se geometrie modelu zdá v pořádku.

Na výsledných modelech jsou vidět vlivy nedokonale složených snímků jejichž hloubka ostrosti se překrývala nedostatečně.



7. ZÁVĚR

Cílem práce bylo zjistit, jestli lze metodu fotogrammetrie využívající makrofotografické snímky k detailní dokumentaci povrchů drobných předmětů, například archeologických artefaktů, jako levné, a tím široce použitelné, metody jejich digitální dokumentace.

Nejdříve testovaná základní metoda použití jednoduchých makrofotografií se ukázala obtížně použitelnou, kvůli velmi omezené hloubce ostrosti. Ta se se zvyšujícími požadavky na detaily a tím danou nutností být co nejbližší fotografovaného předmětu prudce snižuje.

Snímky, které bylo možné do určité míry využít, se pohybovaly na horní hranici makrofotografie, respektive většinou nad ní a díky tomu nebylo možné dosáhnout požadované detailnosti výsledných modelů.

Proto byl zvolen přístup snažit se toto omezení obejít prostřednictvím metody focus-stacking, která byla původně vyvinuta čistě pro fotografické účely a spočívá v dosažení vysoké hloubky ostrosti pomocí skládání škály postupně přestřovaných fotografií.

V souladu s výchozím předpokladem se tento přístup ukázal jako možný, navzdory tomu, že focus-stacking byl původně vyvinut pro zcela jiné účely.

Hlavním závěrem práce je, že využití makrofotografie pro vysoce detailní dokumentaci povrchů je adekvátní, protože z hlediska detailnosti výsledného modelu dosahuje lepších výsledků než na přístrojové vybavení náročnější skenovací metody. Je to však vykoupeno vyšší pracností při pořizování škály makrofotografií, takže je třeba v konkrétní aplikaci posoudit celkovou výhodnost.

Tyto závěry se týkají dokumentace detailů povrchu předmětů, pokud by se jednalo o vytváření modelů celých artefaktů touto metodou, bylo by třeba dalšího posouzení, které je již na rámec této bakalářské práce.



ZDROJE

- [1] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Fotogrammetrie* [online]. c2024 [citováno 26. 05. 2024]. Dostupný z WWW: <<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Fotogrammetrie&oldid=23822418>>
- [2] PAVELKA, Karel. *Fotogrammetrie 1*. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04249-6.
- [3] PAVELKA, Karel a Jindřich HODAČ. *Fotogrammetrie 3: digitální metody a laserové skenování*. Praha: České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-03978-6.
- [4] VESELÝ, Jan. *Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči*. Praha: Národní památkový ústav, 2014. ISBN 978-80-8651679-0.
- [5] *Hloubka ostré kresby při makrofotografii*. Online. Paladix. 1999. Dostupné z: <https://www.paladix.cz/clanky/hloubka-ostre-kresby-pri-makrofotografii.html>. [cit. 2024-05-26].
- [6] *Jak fotit makro*. Online. Megapixel. C2001-2024. Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/makrofotografie>. [cit. 2024-05-26].
- [7] *Hloubka ostrosti*. Online. Makrofotografie. C2008. Dostupné z: <http://makro.matonoha.cz/zakladni-pojmy-hloubka-ostrosti>. [cit. 2024-05-27].
- [8] *Co ovlivňuje hloubka ostrosti při fotografování lidí*. Online. In: Milujeme fotografii. 2015. Dostupné z: <https://www.milujemefotografii.cz/co-ovlivnuje-hloubka-ostrosti-pri-fotografovani-lidi>. [cit. 2024-05-27].
- [9] *Fotorada #7: Co je clonové číslo?* Online. Marián Kábele. 2017. Dostupné z: <https://mariankabele.cz/365-fotorad/fotorada-7-co-je-clonove-cislo>. [cit. 2024-05-27].
- [10] *Hloubka ostrosti*. Online. In: Alza. C1994-2024. Dostupné z: <https://www.alza.cz/slovník/hloubka-ostrosti-art4715.htm>. [cit. 2024-05-27].
- [11] *Circle of confusion*. Online. In: Wikipedie. 2024. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Circle_of_confusion#/media/File:Circles_of_confusion_lens_diagram.svg. [cit. 2024-05-27].
- [12] *Focus Stacking: A Pro Technique Made Simpler with Focus Bracketing*. Online. In: SNAPSHOT. 2019. Dostupné z: <https://snapshot.canon-asia.com/article/eng/focus-stacking-a-pro-technique-made-simpler-with-focus-bracketing>. [cit. 2024-05-27].
- [13] *Popis produktu NIKON D7100 + 18-140 mm VR*. Online. FotoŠkoda. C2024. Dostupné z: <https://www.fotoskoda.cz/nikon-d7100-18-140-af-s-dx-vr/>. [cit. 2024-05-27].
- [14] *Nikon D7100 tělo*. Online. In: Megapixel. C2001–2024. Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/nikon-d7100>. [cit. 2024-05-26].
- [15] *Z50*. Online. Nikon. C2024. Dostupné z: https://www.nikon.cz/cs_CZ/product/cameras/z-50. [cit. 2024-05-27].



- [16] *Nikon Z50 tělo*. Online. In: Megapixel. C2001-2024. Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/nikon-z50-telo#section-parameters>. [cit. 2024-05-27].
- [17] *Nikon 40 mm f/2,8 AF-S G DX Micro*. Online. In: MegaPixel. C2001-2024. Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/nikon-40mm-f28-af-s-g-d-xmicro>. [cit. 2024-05-27].
- [18] *Nikon 40 mm f/2,8 AF-S G DX Micro*. Online. MegaPixel. C2001-2024. Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/nikon-40mm-f28-af-s-g-d-xmicro>. [cit. 2024-05-27].
- [19] *Nikon adaptér FTZ*. Online. In: MegaPixel. C2001-2024. Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/nikon-adapter-ftz>. [cit. 2024-05-27].
- [20] *BIG ESM-3 mikroposuv 24cm*. Online. In: Béfoto. C2024. Dostupné z: <https://www.befoto.cz/stativy/big-esm-3-mikroposuv-24cm/>. [cit. 2024-05-27].
- [21] *LED reflektor ILIO 21 W, černý, neutrální bílá*. Online. In: EMOS. C2024. Dostupné z: <https://www.emos.cz/led-reflektor-ilio-21-w-cerny-neutralni-bila>. [cit. 2024-05-27].



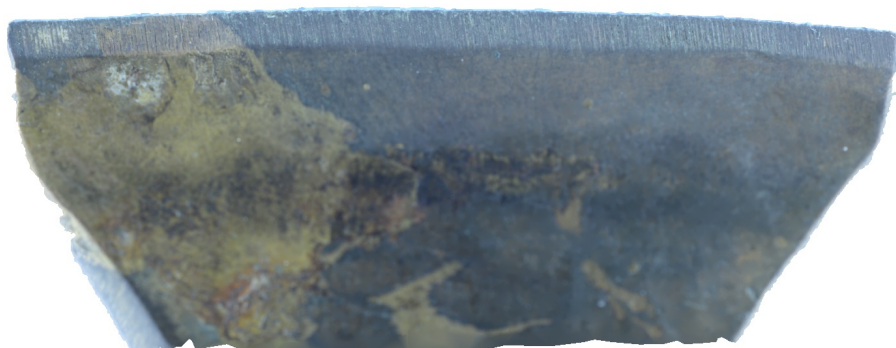
SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - POKUS Č. 1 - JEDNODUCHÉ SNÍMKOVÁNÍ – HLOUBKA ODHADEM.....	59
PŘÍLOHA B - POKUS Č. 2 - JEDNODUCHÉ SNÍMKOVÁNÍ – HLOUBKA VYPOČTENÁ	60
PŘÍLOHA C - POKUS Č. 3 - FOCUS STACKING METODA A	61
PŘÍLOHA D - POKUS Č. 3 - FOCUS STACKING METODA B.....	62
PŘÍLOHA E - POKUS Č. 3 - FOCUS STACKING METODA C.....	63
PŘÍLOHA F - POKUS Č. 3 - FOCUS BRACKETING BEZ FOCUS STACKINGU	64
PŘÍLOHA G - ZDROJOVÝ KÓD (SHARPNESS.PY).....	65



Jednoduché snímkování - hloubka ostrosti odhadem

Protokol
27 May 2024



Survey Data



Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images: 79

Camera stations: 79

Tie points: 134,874

Projections: 640,404

Reprojection error: 0.627 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
NIKON D7100 (40mm)	6000 x 4000	40 mm	4 x 4 μ m	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

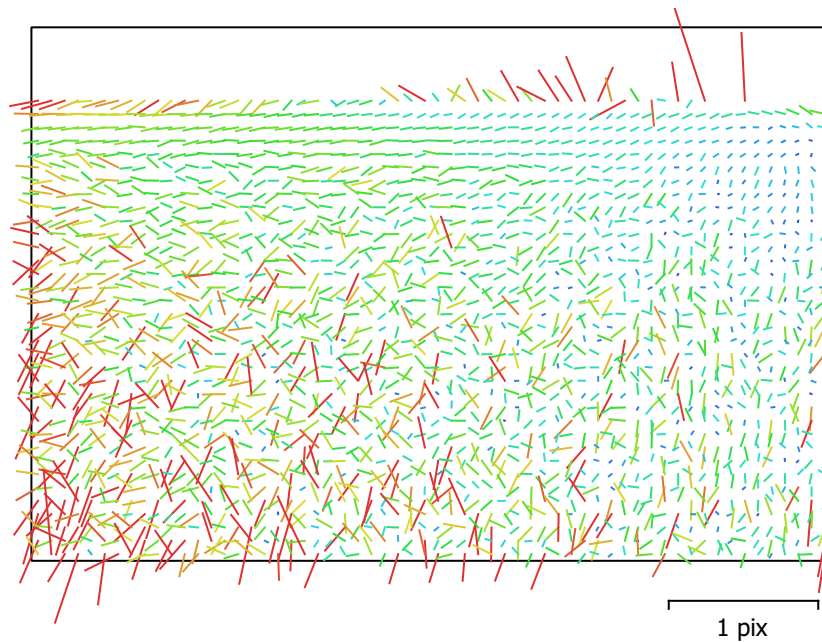


Fig. 2. Image residuals for NIKON D7100 (40mm).

NIKON D7100 (40mm)

79 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	6000 x 4000	40 mm	4 x 4 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	10183.7	1.2e+02	1.00	0.05	0.34	0.56	0.73	0.17	0.13	0.43
Cx	5.84148	3.1		1.00	0.21	0.34	0.01	0.04	-0.62	0.28
Cy	4.07047	11			1.00	0.67	0.01	0.33	-0.12	0.66
K1	-0.00855256	0.003				1.00	0.25	0.29	-0.17	0.89
K2	0.104718	0.0067					1.00	-0.55	0.12	0.23
K3	0.0403144	0.026						1.00	-0.01	0.17
P1	-0.00242263	0.00048							1.00	-0.15
P2	-0.00289337	0.00057								1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Digital Elevation Model

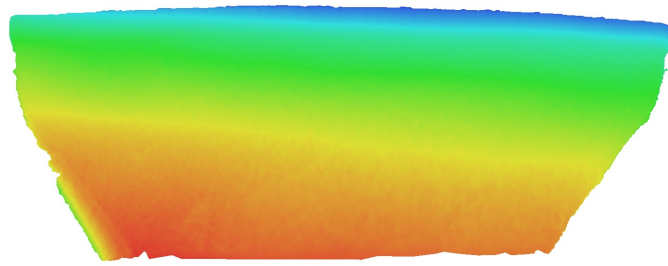


Fig. 3. Reconstructed digital elevation model.

Processing Parameters

General

Cameras	79
Aligned cameras	79
Coordinate system	Local Coordinates (m)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Tie Points

Points	134,874 of 219,100
RMS reprojection error	0.145832 (0.627268 pix)
Max reprojection error	0.39999 (4.65724 pix)
Mean key point size	4.07774 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	5.40191

Alignment parameters

Accuracy	High
Generic preselection	Yes
Reference preselection	No
Key point limit	100,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	0
Filter points by mask	Yes
Mask tie points	No
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	1 minutes 32 seconds
Matching memory usage	837.91 MB
Alignment time	4 minutes 31 seconds
Alignment memory usage	779.34 MB
Date created	2024:04:24 17:09:10
Software version	2.1.0.17532
File size	21.78 MB

Depth Maps

Count	78
Depth maps generation parameters	
Quality	High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	11 minutes 27 seconds
Memory usage	3.65 GB
Date created	2024:04:24 18:20:25
Software version	2.1.0.17532
File size	198.99 MB

Point Cloud

Points	7,292,842
--------	-----------

Point attributes

Color	3 bands, uint8
Normal	

Point classes

Created (never classified)	7,292,842
----------------------------	-----------

Depth maps generation parameters

Quality	High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	11 minutes 27 seconds
Memory usage	3.65 GB

Point cloud generation parameters

Processing time	6 minutes 54 seconds
Memory usage	5.69 GB
Date created	2024:04:24 18:27:19
Software version	2.1.0.17532
File size	97.05 MB

Model

Faces	1,048,999
Vertices	524,910
Vertex colors	3 bands, uint8

Depth maps generation parameters

Quality	High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	11 minutes 27 seconds
Memory usage	3.65 GB

Reconstruction parameters

Surface type	Arbitrary
Source data	Depth maps
Interpolation	Disabled
Strict volumetric masks	Yes
Processing time	1 minutes 29 seconds
Memory usage	2.02 GB
Date created	2024:04:24 21:21:49
Software version	2.1.0.17532
File size	22.52 MB

System

Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	2.1.0 build 17532
OS	Windows 64 bit
RAM	31.94 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-9700K CPU @ 3.60GHz
GPU(s)	Quadro P2000

Jednoduché snímkování - hloubka ostrosti vypočtená

Protokol
27 May 2024



Survey Data

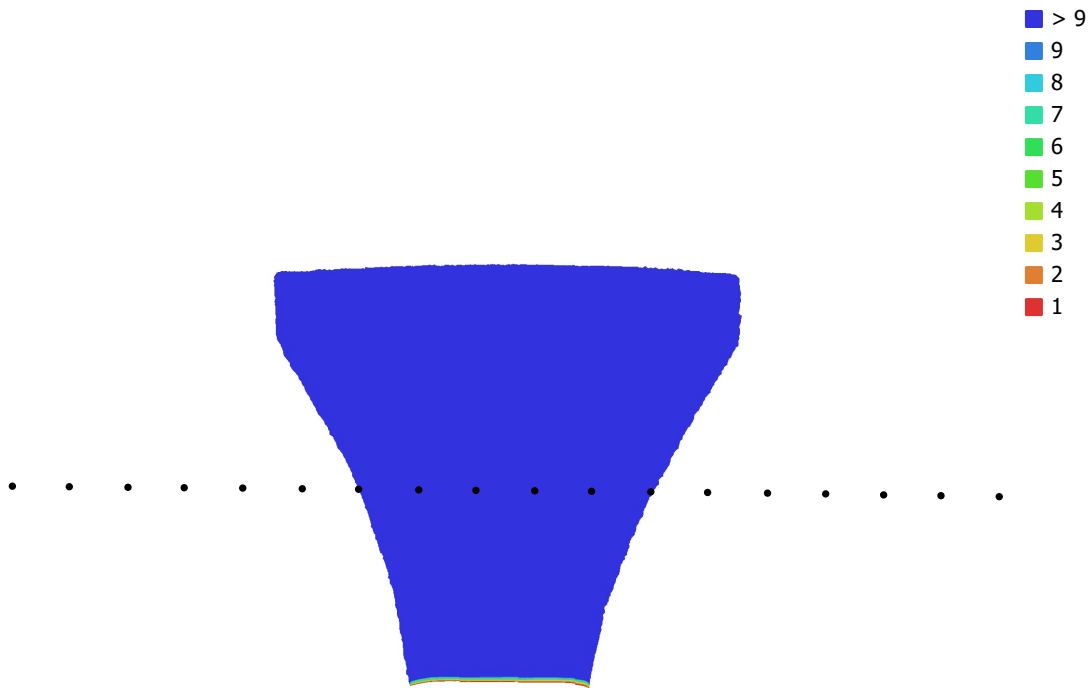


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images: 18

Camera stations: 18

Tie points: 40,023

Projections: 226,882

Reprojection error: 0.48 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
NIKON Z 50 (40mm)	5568 x 3712	40 mm	4.31 x 4.31 μm	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

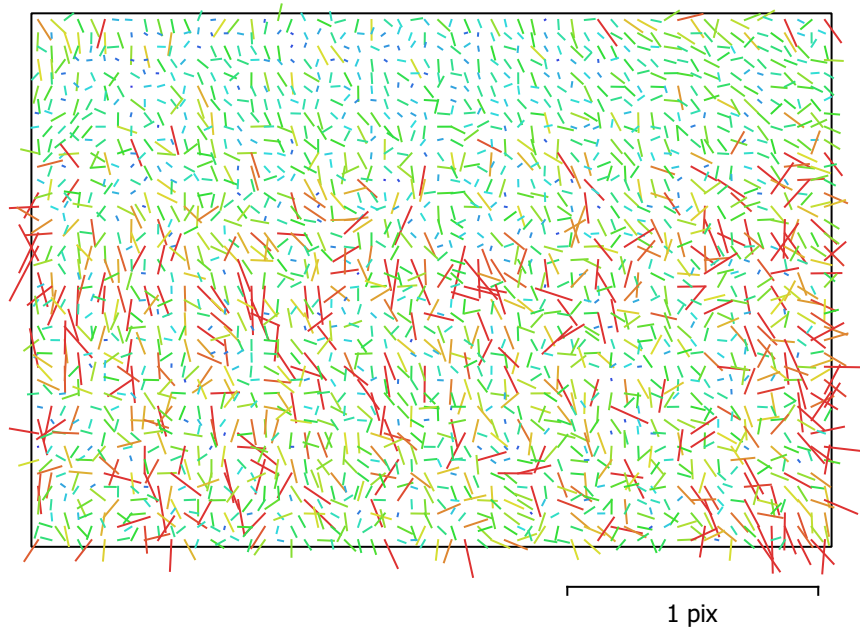


Fig. 2. Image residuals for NIKON Z 50 (40mm).

NIKON Z 50 (40mm)

18 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5568 x 3712	40 mm	4.31 x 4.31 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	9464.17	6.1e+02	1.00	0.04	-0.15	-0.14	-0.21	0.28	-0.42	-0.04
Cx	-22.5925	1.8e+02		1.00	-0.03	0.10	-0.04	0.04	-0.04	0.36
Cy	152.094	1.5e+02			1.00	0.09	0.11	-0.14	-0.17	0.00
K1	-0.00499304	0.0027				1.00	-0.07	0.12	-0.05	0.33
K2	-0.00279376	0.0037					1.00	-0.98	0.05	-0.08
K3	0.0122413	0.019						1.00	-0.09	0.07
P1	-0.000373233	0.00079							1.00	0.05
P2	0.000204818	0.00053								1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Digital Elevation Model

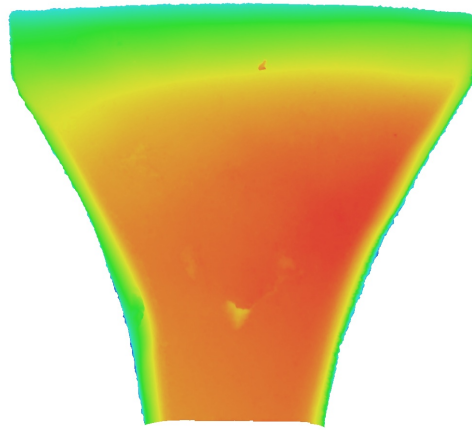


Fig. 3. Reconstructed digital elevation model.

Processing Parameters

General

Cameras	18
Aligned cameras	18
Coordinate system	Local Coordinates (m)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Tie Points

Points	40,023 of 76,896
RMS reprojection error	0.112924 (0.479567 pix)
Max reprojection error	0.299961 (3.3011 pix)
Mean key point size	4.41254 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	4.98231

Alignment parameters

Accuracy	High
Generic preselection	Yes
Reference preselection	No
Key point limit	100,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	0
Filter points by mask	Yes
Mask tie points	No
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	12 seconds
Matching memory usage	223.80 MB
Alignment time	43 seconds
Alignment memory usage	356.42 MB
Date created	2024:05:19 18:20:21
Software version	2.1.0.17532
File size	6.98 MB

Depth Maps

Count	18
Depth maps generation parameters	
Quality	High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	1 minutes 53 seconds
Memory usage	1.54 GB
Date created	2024:05:19 18:26:28
Software version	2.1.0.17532
File size	40.53 MB

Point Cloud

Points	3,359,438
--------	-----------

Point attributes

Color	3 bands, uint8
Normal	

Point classes

Created (never classified)	3,359,438
----------------------------	-----------

Depth maps generation parameters

Quality	High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	1 minutes 53 seconds
Memory usage	1.54 GB

Point cloud generation parameters

Processing time	21 seconds
Memory usage	1.66 GB
Date created	2024:05:19 18:26:50
Software version	2.1.0.17532
File size	44.16 MB

Model

Faces	417,162
Vertices	209,007
Vertex colors	3 bands, uint8

Depth maps generation parameters

Quality	High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	1 minutes 53 seconds
Memory usage	1.54 GB

Reconstruction parameters

Surface type	Arbitrary
Source data	Depth maps
Interpolation	Disabled
Strict volumetric masks	Yes
Processing time	36 seconds
Memory usage	1.50 GB
Date created	2024:05:19 18:37:45
Software version	2.1.0.17532
File size	8.96 MB

System

Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	2.1.0 build 17532
OS	Windows 64 bit
RAM	31.94 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-9700K CPU @ 3.60GHz
GPU(s)	Quadro P2000

Focus Stacking - Metoda A

Protokol
26 May 2024



Survey Data

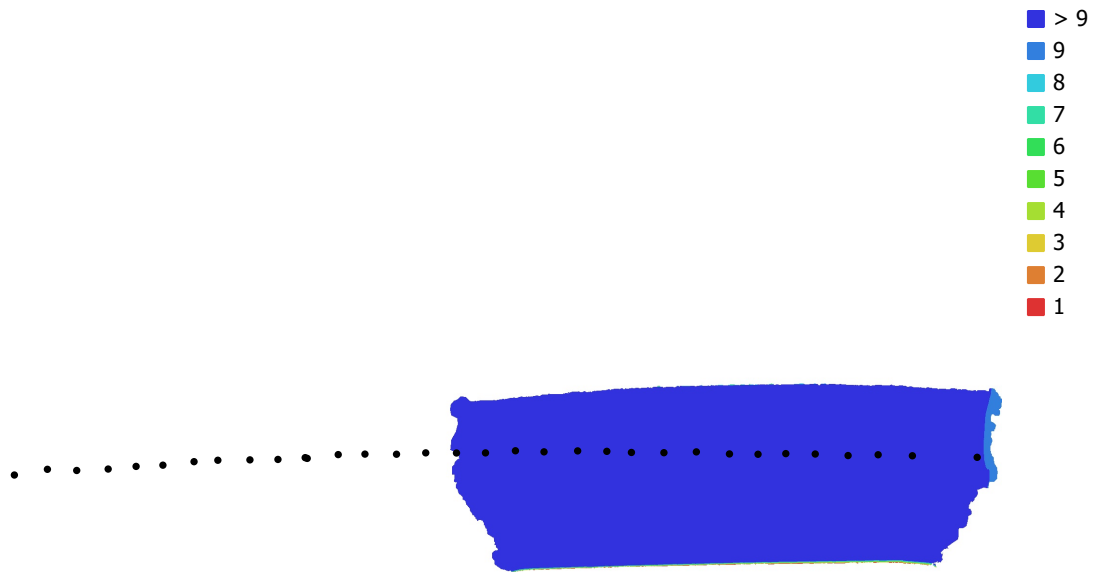


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images: 33

Camera stations: 33

Tie points: 319,993

Projections: 1,553,119

Reprojection error: 0.448 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
NIKON Z 50 (40mm)	5566 x 3710	40 mm	unknown	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

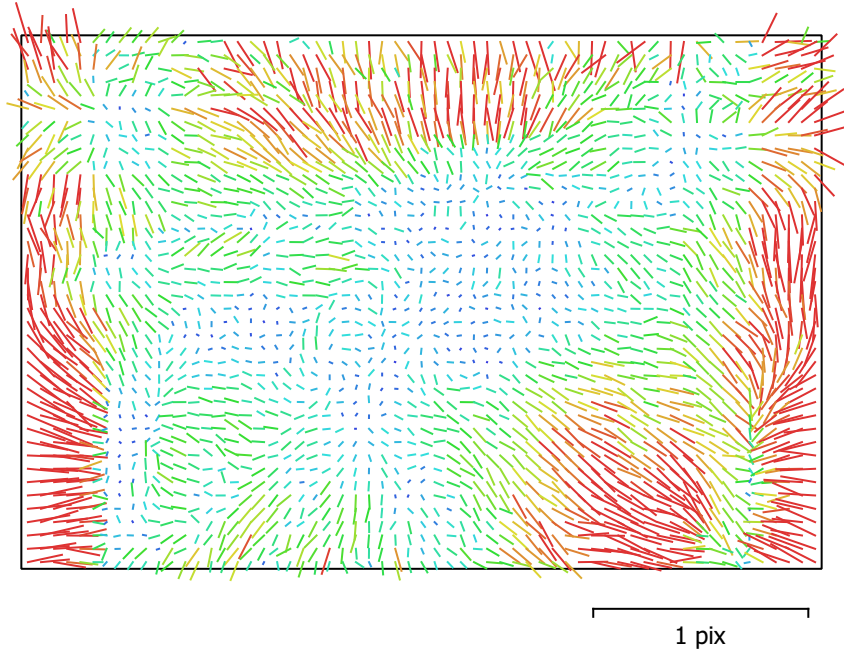


Fig. 2. Image residuals for NIKON Z 50 (40mm).

NIKON Z 50 (40mm)

33 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5566 x 3710	40 mm	unknown

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	18655.7	57	1.00	-0.07	-0.70	0.77	0.03	-0.02	-0.11	-0.64
Cx	-110.609	16		1.00	0.10	-0.05	-0.05	0.10	0.92	0.09
Cy	-141.961	27			1.00	-0.43	-0.01	0.04	0.11	0.92
K1	0.213487	0.00091				1.00	-0.23	0.20	-0.09	-0.55
K2	0.0749234	0.021					1.00	-0.98	-0.06	-0.03
K3	-0.294939	0.44						1.00	0.12	0.07
P1	-0.000877771	0.0003							1.00	0.12
P2	-0.0163599	0.00041								1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Digital Elevation Model



Fig. 3. Reconstructed digital elevation model.

Processing Parameters

General

Cameras	33
Aligned cameras	33
Coordinate system	Local Coordinates (m)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Tie Points

Points	319,993 of 350,627
RMS reprojection error	0.14853 (0.44793 pix)
Max reprojection error	0.446679 (19.9638 pix)
Mean key point size	3.3376 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	5.032

Alignment parameters

Accuracy	High
Generic preselection	Yes
Reference preselection	No
Key point limit	100,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	0
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	1 minutes 36 seconds
Matching memory usage	418.91 MB
Alignment time	6 minutes 36 seconds
Alignment memory usage	1.19 GB
Date created	2024:05:10 16:16:19
Software version	2.1.0.17532
File size	35.25 MB

Depth Maps

Count	33
Depth maps generation parameters	
Quality	High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	5 minutes 58 seconds
Memory usage	2.55 GB
Date created	2024:05:11 16:11:30
Software version	2.1.0.17532
File size	153.56 MB

Point Cloud

Points	11,396,754
Point attributes	
Color	3 bands, uint8
Normal	
Point classes	
Created (never classified)	11,396,754
Depth maps generation parameters	
Quality	High

Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	5 minutes 34 seconds
Memory usage	2.40 GB
Point cloud generation parameters	
Processing time	1 minutes 34 seconds
Memory usage	2.46 GB
Date created	2024:05:10 17:45:38
Software version	2.1.0.17532
File size	152.97 MB
Model	
Faces	1,677,722
Vertices	839,568
Vertex colors	3 bands, uint8
Depth maps generation parameters	
Quality	High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	5 minutes 58 seconds
Memory usage	2.55 GB
Reconstruction parameters	
Surface type	Arbitrary
Source data	Depth maps
Interpolation	Disabled
Strict volumetric masks	No
Processing time	2 minutes 26 seconds
Memory usage	2.23 GB
Date created	2024:05:11 16:13:54
Software version	2.1.0.17532
File size	36.01 MB
System	
Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	2.1.0 build 17532
OS	Windows 64 bit
RAM	31.94 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-9700K CPU @ 3.60GHz
GPU(s)	Quadro P2000

Focus Stacking - Metoda B

Protokol
27 May 2024



Survey Data

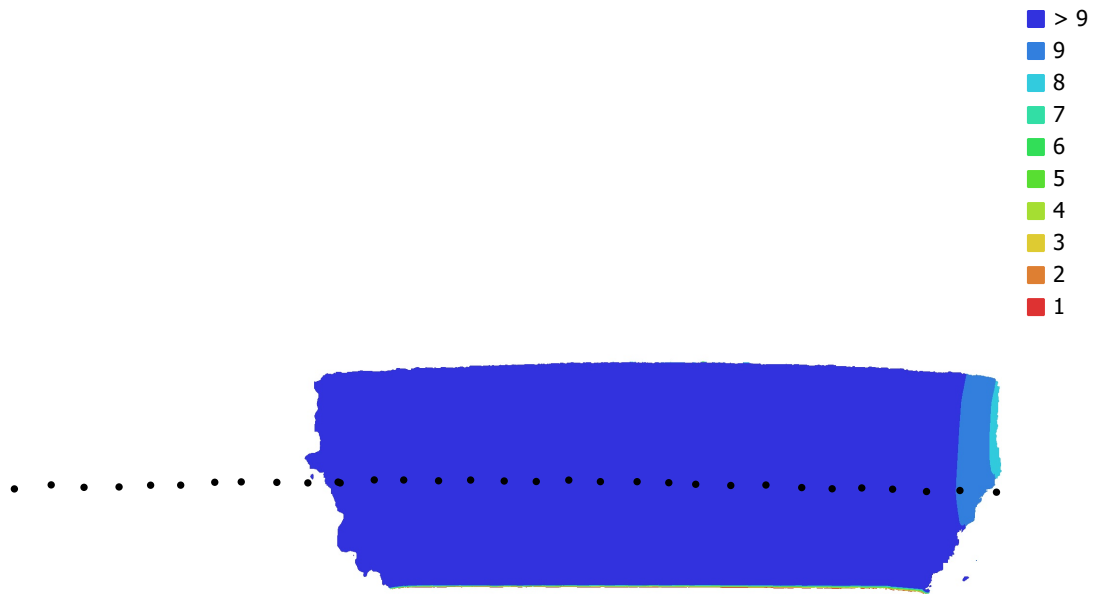


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images: 32

Camera stations: 32

Tie points: 318,848

Projections: 1,507,935

Reprojection error: 0.494 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
NIKON Z 50 (40mm)	5566 x 3710	40 mm	unknown	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

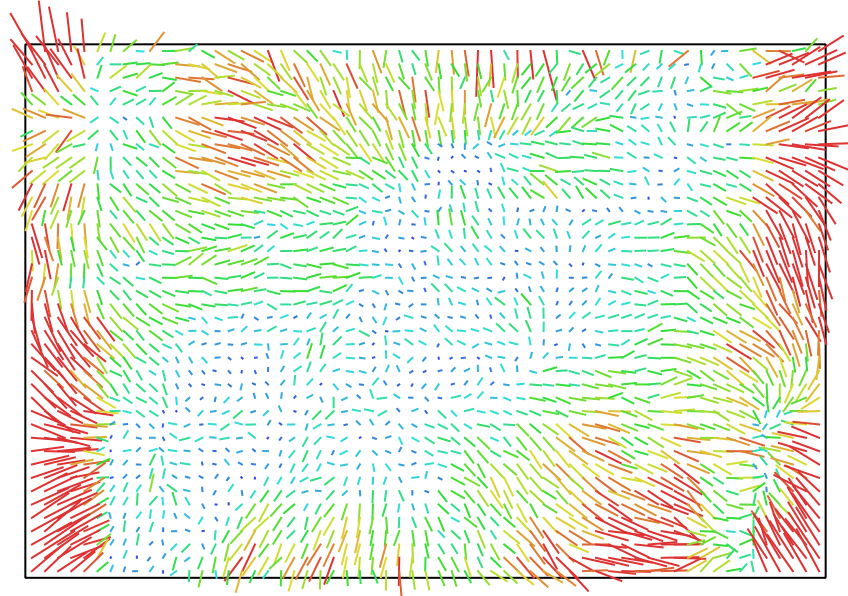


Fig. 2. Image residuals for NIKON Z 50 (40mm).

NIKON Z 50 (40mm)

32 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5566 x 3710	40 mm	unknown

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	14726.1	41	1.00	-0.10	-0.65	0.60	0.04	-0.03	-0.12	-0.42
Cx	-60.2707	18		1.00	0.08	0.01	-0.03	0.05	0.94	0.05
Cy	-65.3074	20			1.00	-0.41	-0.02	0.02	0.07	0.85
K1	0.0973329	0.00076				1.00	-0.17	0.16	0.01	-0.51
K2	0.00646977	0.01					1.00	-0.98	-0.04	-0.03
K3	0.0239527	0.14						1.00	0.06	0.05
P1	-0.000625943	0.00032							1.00	0.05
P2	-0.00326413	0.00029								1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Digital Elevation Model

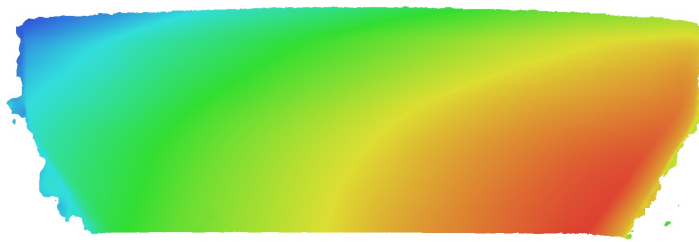


Fig. 3. Reconstructed digital elevation model.

Processing Parameters

General

Cameras	32
Aligned cameras	32
Coordinate system	Local Coordinates (m)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Tie Points

Points	318,848 of 345,631
RMS reprojection error	0.166146 (0.49395 pix)
Max reprojection error	0.498815 (18.9987 pix)
Mean key point size	3.33905 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	4.88978

Alignment parameters

Accuracy	High
Generic preselection	Yes
Reference preselection	No
Key point limit	100,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	0
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	1 minutes 35 seconds
Matching memory usage	296.96 MB
Alignment time	6 minutes 22 seconds
Alignment memory usage	1.10 GB
Date created	2024:05:10 19:33:15
Software version	2.1.0.17532
File size	34.08 MB

Depth Maps

Count	32
Depth maps generation parameters	
Quality	High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	5 minutes 33 seconds
Memory usage	2.29 GB
Date created	2024:05:10 20:29:25
Software version	2.1.0.17532
File size	157.52 MB

Point Cloud

Points	11,194,827
Point attributes	
Color	3 bands, uint8
Normal	
Point classes	
Created (never classified)	11,194,827
Depth maps generation parameters	
Quality	High

Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	5 minutes 33 seconds
Memory usage	2.29 GB
Point cloud generation parameters	
Processing time	1 minutes 34 seconds
Memory usage	2.31 GB
Date created	2024:05:10 20:31:00
Software version	2.1.0.17532
File size	148.99 MB
Model	
Faces	1,531,733
Vertices	766,600
Vertex colors	3 bands, uint8
Depth maps generation parameters	
Quality	High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	5 minutes 33 seconds
Memory usage	2.29 GB
Reconstruction parameters	
Surface type	Arbitrary
Source data	Depth maps
Interpolation	Disabled
Strict volumetric masks	No
Processing time	2 minutes 0 seconds
Memory usage	2.23 GB
Date created	2024:05:11 17:23:41
Software version	2.1.0.17532
File size	32.88 MB
System	
Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	2.1.0 build 17532
OS	Windows 64 bit
RAM	31.94 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-9700K CPU @ 3.60GHz
GPU(s)	Quadro P2000

Focus Stacking - Metoda C

Protokol
27 May 2024



Survey Data

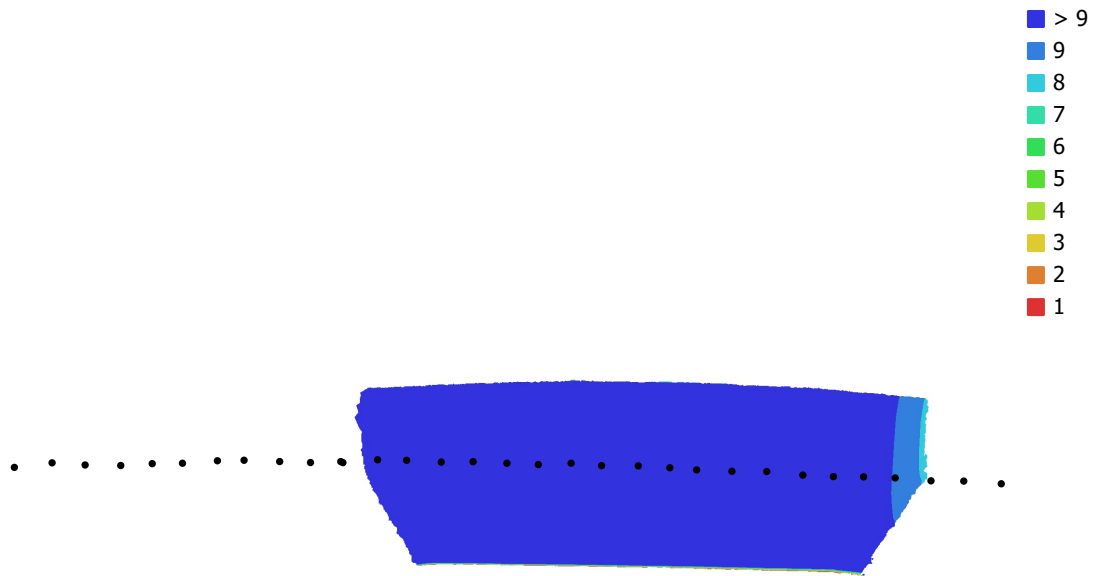


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images: 32

Camera stations: 32

Tie points: 318,453

Projections: 1,538,422

Reprojection error: 0.44 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
NIKON Z 50 (40mm)	5566 x 3710	40 mm	unknown	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

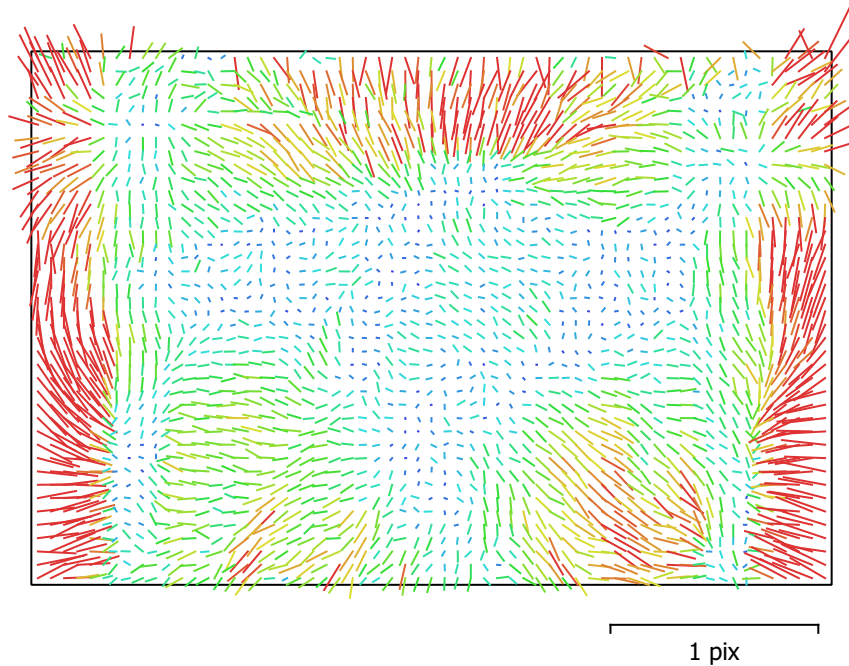


Fig. 2. Image residuals for NIKON Z 50 (40mm).

NIKON Z 50 (40mm)

32 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5566 x 3710	40 mm	unknown

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	22776	73	1.00	-0.03	-0.59	0.77	0.03	-0.02	-0.09	-0.46
Cx	-70.2196	20		1.00	0.09	-0.03	-0.04	0.08	0.91	0.09
Cy	-259.426	33			1.00	-0.38	-0.01	0.06	0.09	0.90
K1	0.250276	0.0012				1.00	-0.26	0.22	-0.07	-0.45
K2	0.128031	0.044					1.00	-0.98	-0.04	-0.03
K3	-0.367704	1.4						1.00	0.08	0.10
P1	-0.00057625	0.00038							1.00	0.10
P2	-0.0116167	0.0005								1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Digital Elevation Model

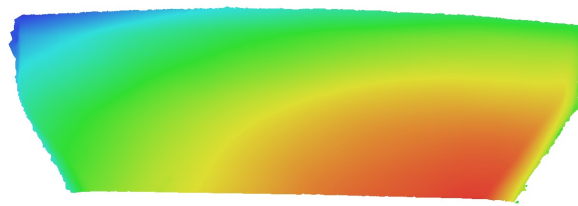


Fig. 3. Reconstructed digital elevation model.

Processing Parameters

General

Cameras	32
Aligned cameras	32
Coordinate system	Local Coordinates (m)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Tie Points

Points	318,453 of 348,326
RMS reprojection error	0.149104 (0.440068 pix)
Max reprojection error	0.448692 (16.8078 pix)
Mean key point size	3.27216 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	5.00367

Alignment parameters

Accuracy	High
Generic preselection	Yes
Reference preselection	No
Key point limit	100,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	0
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	1 minutes 33 seconds
Matching memory usage	450.47 MB
Alignment time	6 minutes 34 seconds
Alignment memory usage	1.22 GB
Date created	2024:05:10 20:03:18
Software version	2.1.0.17532
File size	34.88 MB

Depth Maps

Count	32
Depth maps generation parameters	
Quality	High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	5 minutes 31 seconds
Memory usage	2.42 GB
Date created	2024:05:10 20:40:02
Software version	2.1.0.17532
File size	148.85 MB

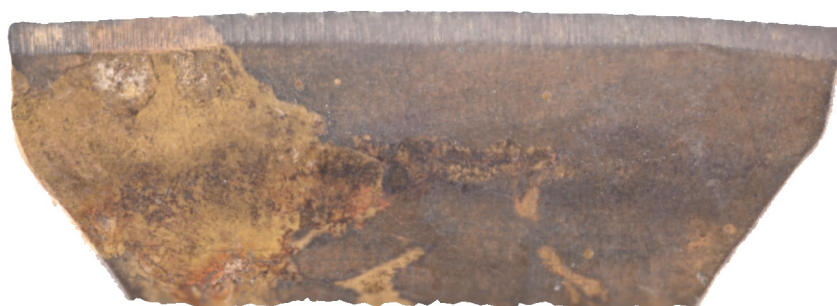
Point Cloud

Points	11,671,610
Point attributes	
Color	3 bands, uint8
Normal	
Point classes	
Created (never classified)	11,671,610
Depth maps generation parameters	
Quality	High

Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	5 minutes 31 seconds
Memory usage	2.42 GB
Point cloud generation parameters	
Processing time	1 minutes 34 seconds
Memory usage	2.53 GB
Date created	2024:05:10 20:41:37
Software version	2.1.0.17532
File size	155.42 MB
Model	
Faces	1,696,696
Vertices	849,093
Vertex colors	3 bands, uint8
Depth maps generation parameters	
Quality	High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	5 minutes 31 seconds
Memory usage	2.42 GB
Reconstruction parameters	
Surface type	Arbitrary
Source data	Depth maps
Interpolation	Disabled
Strict volumetric masks	No
Processing time	2 minutes 2 seconds
Memory usage	2.35 GB
Date created	2024:05:11 17:26:31
Software version	2.1.0.17532
File size	36.42 MB
System	
Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	2.1.0 build 17532
OS	Windows 64 bit
RAM	31.94 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-9700K CPU @ 3.60GHz
GPU(s)	Quadro P2000

Focus bracketing bez focus tackingu

Protokol
27 May 2024



Survey Data



Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images: 449

Camera stations: 449

Tie points: 1,307,342

Projections: 6,389,915

Reprojection error: 0.602 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
NIKON Z 50 (40mm)	5568 x 3712	40 mm	4.31 x 4.31 μm	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

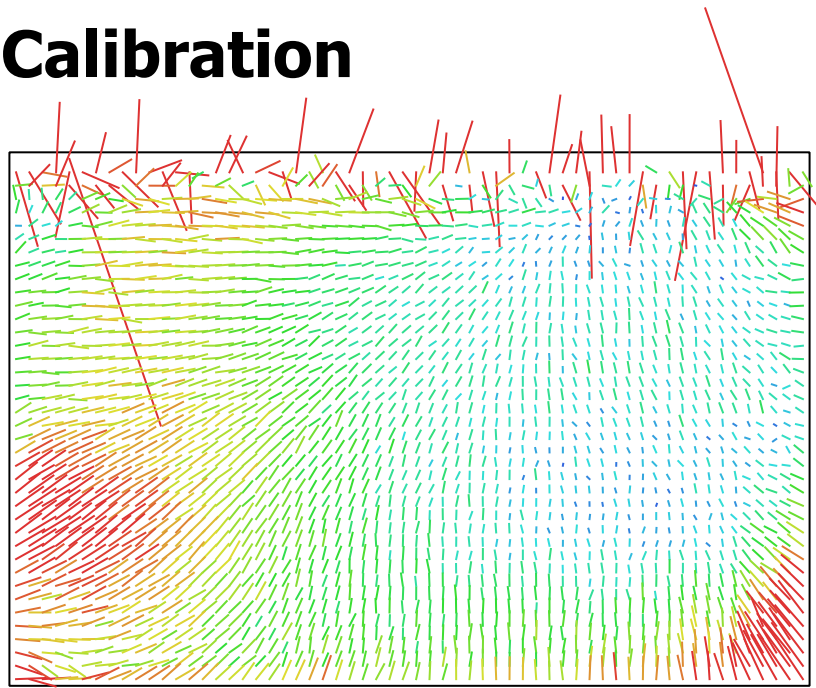


Fig. 2. Image residuals for NIKON Z 50 (40mm).

NIKON Z 50 (40mm)

449 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5568 x 3712	40 mm	4.31 x 4.31 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	9569.6	27	1.00	0.24	-0.51	0.75	0.21	0.03	0.58	0.04
Cx	-354.164	4.7		1.00	-0.18	0.02	0.01	0.14	0.37	-0.04
Cy	106.626	5.9			1.00	-0.22	-0.07	-0.01	-0.22	0.43
K1	0.0467217	0.00026				1.00	0.03	0.19	0.31	0.29
K2	0.0176121	0.00088					1.00	-0.94	0.11	0.07
K3	0.00955666	0.0045						1.00	0.10	-0.03
P1	0.0150361	7.9e-05							1.00	-0.21
P2	0.00217629	4.1e-05								1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Digital Elevation Model

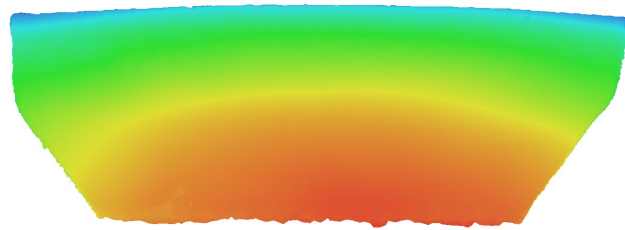


Fig. 3. Reconstructed digital elevation model.

Processing Parameters

General

Cameras	449
Aligned cameras	449
Coordinate system	Local Coordinates (m)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Tie Points

Points	1,307,342 of 1,806,019
RMS reprojection error	0.158604 (0.601665 pix)
Max reprojection error	0.486504 (43.0627 pix)
Mean key point size	3.53366 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	5.33423

Alignment parameters

Accuracy	High
Generic preselection	Yes
Reference preselection	No
Key point limit	100,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	0
Filter points by mask	Yes
Mask tie points	No
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	16 minutes 38 seconds
Matching memory usage	1.37 GB
Alignment time	42 minutes 18 seconds
Alignment memory usage	1.33 GB
Date created	2024:05:11 12:14:20
Software version	2.1.0.17532
File size	182.15 MB

Depth Maps

Count	446
Depth maps generation parameters	
Quality	High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	1 hours 11 minutes
Memory usage	7.22 GB
Date created	2024:05:11 19:24:29
Software version	2.1.0.17532
File size	1.64 GB

Model

Faces	832,011
Vertices	416,621
Vertex colors	3 bands, uint8
Depth maps generation parameters	
Quality	High
Filtering mode	Mild

Max neighbors	16
Processing time	1 hours 11 minutes
Memory usage	7.22 GB

Reconstruction parameters

Surface type	Arbitrary
Source data	Depth maps
Interpolation	Disabled
Strict volumetric masks	Yes
Processing time	7 minutes 54 seconds
Memory usage	2.50 GB
Date created	2024:05:11 19:32:23
Software version	2.1.0.17532
File size	17.86 MB

System

Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	2.1.0 build 17532
OS	Windows 64 bit
RAM	31.94 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-9700K CPU @ 3.60GHz
GPU(s)	Quadro P2000

Zdrojový kód (Sharpness.py)

```
#!/usr/bin/env python3

import os
import shutil
import cv2

f1=open("results.txt","w")
files = [f for f in os.listdir('.') if f.lower().endswith('.jpg')]

for infile in files:

    print('Processing %s ...' % (infile))
    cv_image = cv2.imread(infile)
    gray = cv2.cvtColor(cv_image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    variance_of_laplacian = cv2.Laplacian(gray, cv2.CV_64F).var()
    f1.write(infile+"\t"+str(variance_of_laplacian)+"\n")

print('Done')
f1.close()
```