

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program: GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

Studijní obor: GEODÉZIE A KARTOGRAFIE



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Problematika dynamického rozsahu snímků v kontextu  
blízké fotogrammetrie

Vedoucí práce: Ing. Jindřich HODAČ, Ph.D.  
Katedra geomatiky



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Haupt Jméno: Lukáš Osobní číslo: 381465

Zadávací katedra: Katedra geomatiky

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie a kartografie

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Problematika dynamického rozsahu snímků v kontextu blízké fotogrammetrie

Název diplomové práce anglicky: Dynamic range of images in context of close range photogrammetry

Pokyny pro vypracování:

- seznámte se podrobně s problematikou dynamického rozsahu snímků a možnostmi jeho úprav/zvýšení,
- vyberte několik způsobů úpravy dynamického rozsahu vhodných pro testování v kontextu projektů z blízké fotogrammetrie,
- najděte vhodný testovací objekt a proveďte jeho snímkování,
- různými metodami upravte dynamický rozsah pořízené sady snímků,
- zpracujte testovací projekty s využitím metody optické korelace pro jednotlivé sady snímků,
- srovnajte dosažené výsledky podle vhodně zvolených kritérií,
- shrňte získané poznatky s ohledem na časovou náročnost, efektivitu a možnosti automatizace, formulujte doporučení pro úpravy dynamického rozsahu u snímků využívaných v blízké fotogrammetrii.

Seznam doporučené literatury:

Boháč, Ondřej - Optické korelační systémy - průzkum a zhodnocení aktuálního stavu.  
diplomová práce; Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Praha 2014

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 22. února 2016 Termín odevzdání diplomové práce: 22. května 2016

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

22.2.2016

Datum převzetí zadání

## **ABSTRAKT**

Cílem této práce bylo nalézt nejvhodnější metodu navýšení dynamického rozsahu digitálního snímku pro fotogrammetrické zpracování metodou optické korelace. Součástí práce je stručný popis techniky, která byla použita pro pořízení testovacích snímků. Rovněž je zde uveden krátký popis použitého software. U jednotlivých metod zvýšení dynamického rozsahu je kladen důraz na automatizaci jednotlivých kroků k dosažení totožných výsledků z různých stanovisek snímkování. Výsledkem práce je vytvoření mračen bodů z podkladových snímků upravených na základě jednotlivých metod a jejich vzájemné porovnání. V závěru práce jsou výsledky shrnuty a jednotlivé metody posouzeny. Metody jsou rovněž rozděleny na základě časové náročnosti.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Fotogrammetrie, dynamický rozsah, kontrast, optická korelace, RAW, geometrické korekce, testování.

## **ABSTRACT**

The aim of this study was to find the most suitable method to increase the dynamic range of the digital image for the purpose of image correlation. The work includes a brief description of the technique that was used for taking the test shots. Also, there is a short description of the used software. For each method is the emphasis on the automation of individual steps to achieve identical results from various standpoints. The results are point clouds made from background images edited with different methods and their comparison. In conclusion each method is summarized the various methods are divided based on time-consuming.

## **KEY WORDS**

Photogrammetry, dynamic range, contrast, optical correlation, RAW, geometric corrections, testing.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že diplomovou práci s názvem " Problematika dynamického rozsahu snímků v kontextu blízké fotogrammetrie" jsem vypracoval samostatně. Veškerou použitou literaturu a další podkladové materiály uvádím v seznamu zdrojů.

V Praze dne .....

.....  
(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucí diplomové práce Ing. Jindřichovi Hodačovi, Ph.D. za vedení práce a prospěšné konzultace v průběhu zpracování práce. Také bych chtěl poděkovat své rodině a svým blízkým, za jejich podporu, trpělivost a především důvěru, kterou do mě vkládali během průběhu celého dosavadního studia.

# Obsah

Úvod .....	9
1 Přístrojové vybavení.....	10
1.1 Digitální zrcadlovky.....	10
1.1.1 Canon EOS 6D.....	11
1.2 Objektivy.....	12
1.2.1 Canon EF 24-70 f/2.8L USM II.....	12
1.2.2 Canon EF 35 f/1.4L USM.....	13
2 Softwarové nástroje.....	15
2.1 Adobe Photoshop CS6 .....	15
2.2 Adobe Lightroom 5.3 .....	16
2.3 Photomatix Pro.....	16
2.4 Agisoft PhotoScan 1.2.4.....	17
2.5 CloudCompare .....	18
3 Dynamický rozsah .....	19
3.1 Teoretický úvod .....	19
3.1.1 Dynamický rozsah snímače .....	20
3.1.2 Přeexponovaná a podexponovaná místa.....	21
3.1.3 Histogram .....	22
3.2 Význam dynamického rozsahu ve fotogrammetrii .....	24
3.2.1 Metoda optická korelace .....	24
4 Testovací snímky.....	25
4.1 Obecné zásady.....	25
4.2 Snímkování pro účely diplomové práce .....	26
4.2.1 Testovací objekt – rotunda sv. Martina .....	26

4.2.2	Světelné podmínky .....	27
4.2.3	Snímkování objektu .....	27
4.2.4	Zpracování snímků .....	29
5	Metody zvýšení dynamického rozsahu .....	34
5.1	Softwarové metody zvýšení dynamického rozsahu .....	34
5.1.1	Nástroje v programu Adobe Lightroom .....	35
5.1.2	HDR snímky v programu Photomatix .....	39
5.1.3	Světelné masky v programu Photoshop .....	45
5.1.4	Porovnání výstupních snímků z jednotlivých metod .....	54
5.2	Zvýšení dynamického rozsahu během snímkování .....	56
5.2.1	Nasvícení objektu pomocí světelných zdrojů .....	56
5.2.2	Funkce HDR ve fotoaparátu .....	57
6	Metoda optické korelace .....	58
6.1	Teoretický úvod .....	58
6.2	Tvorba modelů metodou optické korelace .....	59
6.2.1	Vlčovací body, místní souřadnicový systém .....	59
6.2.2	Postup v programu Agisoft PhotoScan .....	61
6.3	Geometrické a optické porovnání modelů .....	63
6.3.1	Obecný postup geometrického srovnání v programu Cloud Compare .....	63
6.3.2	Srovnání modelů .....	64
7	Zhodnocení metod .....	70
7.1	Časová náročnost metod .....	70
7.1.1	Nástroje programu Lightroom .....	71
7.1.2	Metoda HDR .....	72
7.1.3	Metoda světelných masek .....	72
7.1.4	Funkce HDR ve fotoaparátu .....	72

7.1.5	Nasvícení scény umělými světly během snímkování .....	73
7.2	Výsledná kvalita modelu.....	73
7.3	Doporučený postup pro metodu optické korelace .....	73
7.3.1	Rekognoskace objektu .....	74
7.3.2	Pořízení snímků .....	74
7.3.3	Zpracování snímků .....	75
	Závěr.....	76
	Použité zdroje.....	77
	Seznam použitých zkratk.....	78
	Seznam obrázků .....	79
	Seznam tabulek .....	82
	Seznam příloh.....	83
A	Digitální médium (DVD).....	84
B	Dosažené odchylky snímkových souřadnic .....	85
C	Dosažené odchylky - transformace celé sítě.....	86
D	Dosažené odchylky - transformace segmentu sítě .....	87
E	Porovnání vzdáleností dvou síťových modelů 1 .....	88
F	Porovnání vzdáleností dvou síťových modelů 2 .....	89
G	Porovnání vzdáleností dvou síťových modelů 3 .....	90
H	Detailní snímky vřícovacích bodů .....	91
I	Schéma postupu – metoda HDR.....	92
J	Schéma postupu – metoda světelných masek.....	93



# Úvod

Cílem této diplomové práce je popsat problematiku dynamického rozsahu digitálních snímků v rámci pozemní fotogrammetrie a popsat a prakticky otestovat veškeré dostupné metody, kterými lze dynamický rozsah zvýšit. Jako testovací fotogrammetrická metoda je použita metoda optické korelace. Výsledkem práce jsou mračna bodů vytvořená z jedné sady vstupních snímků upravené různými metodami.

Práce obsahuje 7 kapitol. V první je popsána použitá fototechnika a použitý software. Další částí je seznámení s dynamickým rozsahem snímků a jeho problematikou, které způsobuje v optické korelaci. V další kapitole je popsán postup pořízení vzorových snímků a jejich základní úpravy. Následující část je věnována jednotlivým metodám zvýšení dynamického rozsahu a vytvoření jednotlivých mračen bodů.

K pořízení veškerých snímků byla použita vlastní fototechnika od firmy Canon. Použitý software k úpravě snímků je od společností Adobe a HDRsoft. Tyto programy byly vybrány na základě zkušeností autora s ohledem na dosažení co nejkvalitnějšího výstupu. Pro účely zpracování metodou optické korelace je použit software Agisoft a pro končené srovnání jednotlivých mračen bodů je použit program CloudCompare.

Hlavní část práce je pak popis jednotlivých metod, kterými lze dosáhnout zvýšení dynamického rozsahu. Důraz je především kladen na dosažení totožných výsledků z různých stanovisek pro potřeby optické korelace. Rovněž je kladen důraz na sledování časové náročnosti jednotlivých postupů. Následně jsou vstupní snímky upraveny pomocí jednotlivých metod. Z nich jsou pak vytvořeny mračna bodů, která jsou poté porovnána, jak slovně, tak obrazově.

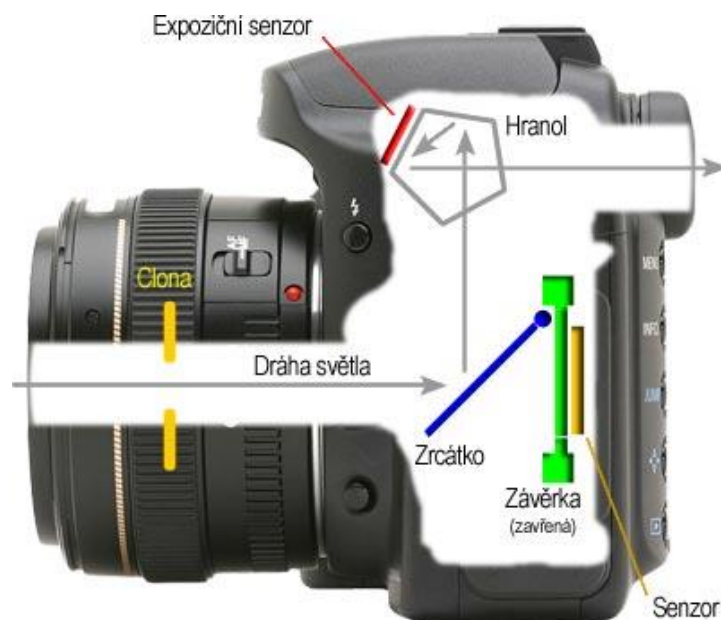
V závěru jsou pak shrnuty bodově jednotlivé postupy, včetně jejich výhod, nevýhod a seřazeny na základě jejich časové náročnosti.

# 1 Přístrojové vybavení

V této kapitole je popsáno vybavení, které bylo použito pro pořízení veškerých testovacích a ukázkových snímků, které jsou součástí této diplomové práce. Konkrétně se jedná o digitální zrcadlovku od firmy Canon a objektivy od téže společnosti.

## 1.1 Digitální zrcadlovky

Digitální je obdobou klasické zrcadlovky s tím rozdílem, že místo klasického filmu je použito digitálního snímače. Nejčastěji se používá CCD nebo CMOS senzorů. Často se můžeme setkat s označením DSLR (Digital Single-Lens Reflex) nebo zkráceně SLR (Single-Lens Reflex). Součástí konstrukce je pentaprizmatický hranol (u levnějších variant nahrazen soustavou malých zrcátek), který odráží světlo z objektivu přímo do hledáčku – výsledkem toho je, že v hledáčku vidíme přesně totéž, co skutečně fotíme. Součástí DSLR je pak sklopné zrcátko, které umožňuje použití pouze jednoho objektivu jak pro hledáček, tak pro snímač. Světlo po sklopení zrcátka neprochází do hledáčku, ale přímo na digitální snímač, před kterým je umístěna elektronicky ovládaná závěrka. Obr. 1.1 znázorňuje jednotlivé prvky u DSLR.



Obr. 1.1: řez digitální jednookou zrcadlovkou (zdroj: [4])

### 1.1.1 Canon EOS 6D

Canon EOS 6D je poloprofesionální digitální jednobáňová zrcadlovka, vybavena 20,2 megapixelovým CVMNOS snímačem o velikosti políčka kinofilmu (36 mm x 24 mm). Tělo je z hořčíkové slitiny a polykarbonátu. Hledáček je hranolový s 97% krytím optického pole. Závěrka má rozsah od 30 sec do 1/4000 s. Přístroj nemá vestavěný blesk a synchronizace s externím bleskem je 1/180 sec. Optická data jsou zaznamenávána na SD karty, přičemž je k dispozici pouze 1 slot. Zrcadlovka má rovněž zabudované přijímače GPS a Wifi, které své opodstatnění naleznou právě i v disciplínách pozemní fotogrammetrie. K dispozici máme 11 ostřících bodů a prostřední z nich je křížový a dokáže ostřit již od -3EV. Rozsah citlivosti ISO je od 100 do 12 800 s rozšířením až na 102 400.

Důvodem, proč jsem pro pořízení testovacích snímků vybral právě tuto zrcadlovku, je fakt, že dynamický rozsah jejího snímače je 12,1 EV (vysvětlení v kapitole 3), což je ve srovnání s jinými zrcadlovkami velice dobrá hodnota. Dále software zrcadlovky podporuje režim velkého dynamického rozsahu (HDR). Rovněž její velké rozlišení nám umožňuje pracovat s velkým množstvím detailů.



Obr. 1.2: Canon EOS 6D (zdroj: [2])

## 1.2 Objektivy

Objektiv je čočka nebo soustava čoček, vytvářející opticky změněný obraz, který se obvykle ještě dále zpracovává (záznamem, okulárem apod.). Používá se například ve fotoaparátu k soustředění světla na senzor nebo na film. Součástí každého objektivu je clona, která reguluje tok světla a tím nám umožňuje pracovat s hloubkou ostroty (rovina, ve které se nacházející objekty jsou ostré). V dnešní době používá většina fotoaparátů elektronicky ovládanou clonu. Dříve se nastavovala přímo na těle objektivu pomocí clonového kroužku.

Objektivy lze obecně zařadit do mnoha kategorií dle jejich vlastností. Nejzákladnější dělení je dle jejich konstrukce. Známe dva typy objektivů – objektivy s pevnou a proměnnou ohniskovou vzdáleností. Objektivy s pevnou ohniskovou vzdáleností (tzv. monofokální) jsou většinou kvalitnější, co se týče optické kvality – skla jsou navržena jen pro jednu ohniskovou vzdálenost. Výhodou objektivů s proměnnou ohniskovou vzdáleností (tzv. zoom) je jejich flexibilní použití – místo tří kroků vpřed jednoduše nastavíme zoomovacím prstencem delší ohniskovou vzdálenost. Proměnné ohnisko s sebou nese nevýhody v podobě větší konstrukce a horší zobrazovací kvality.

Dalším důležitým dělení je na základě světelnosti objektivů. Světelnost může být u objektivů konstantní - nemění se s měnící ohniskovou vzdáleností nebo proměnná. Objektivy pak dělíme na světelné – clona  $< 2.8$  - a ostatní – clona  $> 2.8$ .

Objektivy můžeme dále dělit na základě ohniskové vzdálenosti. Dělí se na rybí oka (fish eye), širokoúhlé, normální (základní) a teleobjektivy. K pořízení snímků byl použit jak zoomový objektiv kvůli většímu rozsahu ohnisek. Pro demonstrační snímky byl použit druhý objektiv s pevným ohniskem a vysokou světelností.

### 1.2.1 Canon EF 24-70 f/2.8L USM II

Jedná se o objektiv se standardním zoomem v profesionální kvalitě. Ohnisková vzdálenost je 24 až 70 mm. Zorný úhel je  $84^\circ$  až  $34^\circ$ . Objektiv nabízí vynikající kvalitu obrazu a vysokou světelnost f/2.8 v celém rozsahu zoomu. Jde o dokonalý objektiv k jakémukoliv plnoformátovému fotoaparátu EOS. Díky odolnosti před povětrnostními vlivy je objektiv chráněn před prachem a vlhkostí. Výhodou objektivu je rovněž zámek zoomovacího prstence na ohnisku  $f = 24$  mm. Během snímání se tedy nemění použité ohnisko.

„Objektiv poskytuje vynikající kvalitu obrazu v celém rozsahu zoomu, a to díky asférickým prvkům objektivu, nízkému rozptylu UD (ultra-low dispersion) a sklu super UD. Inovovaná optika, která zajišťuje maximální ostrost v celém záběru. Přední a zadní členy jsou opatřeny fluorovou vrstvou. Kruhová clona se 9 lamelami poskytuje krásné rozostření. Ultrasonický USM mikromotor poskytuje přesné a tiché zaostření, což oceníte nejen při fotografování statických záběrů, ale i při natáčení videosekvence. Manuální zásah během automatického zaostřování je možný. Nejkratší zaostřitelná vzdálenost je 38 cm od roviny záznamového media (film či senzor) vyznačené na těle fotoaparátu.“[1]



Obr. 1.3: Canon EF 24-70 f/2.8L USM II (zdroj: [3])

### 1.2.2 Canon EF 35 f/1.4L USM

Jedná se o širokouhlý monofokální objektiv s ohniskovou vzdáleností 35 mm. Zorný úhel je 63°. Maximální clonové číslo objektivu je 22. Mezi jeho hlavní přednosti patří vynikající světelnost 1,4 a nízká hmotnost. Díky vysoké světelnosti jej lze použít na snímkování za horších světelných podmínek bez nutnosti použití stativu.

„V optické soustavě skládající se z 11 členů v 9 skupinách jsou zahrnuty členy, které zabraňují vzniku optických vad, mezi něž mimo jiné patří i chromatická aberace. Ultrazvukový motor skýtá tiché a velmi rychlé zaostření. V případě potřeby je možné rychlé ultrasonické AF zaostřování přepnout na MF. Nejkratší zaostřitelná vzdálenost je 30 cm od roviny záznamového media (film či senzor) vyznačené na těle fotoaparátu.“[1]



Obr. 1.4: Canon EF 35 f/1.4L USM (zdroj: [3])

## 2 Softwarové nástroje

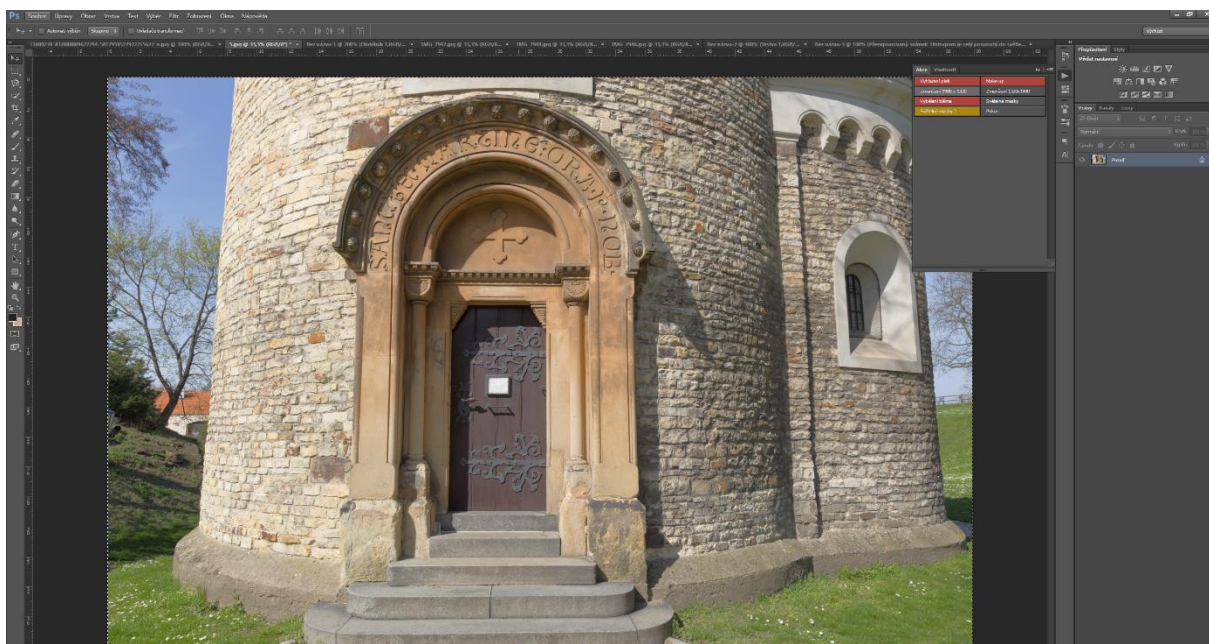
V této kapitole jsou popsány veškeré programy použité během zpracování snímků a tvorby mračen bodů, včetně jejich vzájemného porovnání. Software pro úpravu snímků (postprocessing) jsem vybral na základě výsledků mé bakalářské práce. Programy pro optickou metodou optické korelace mi byly doporučeny na základě zkušeností vedoucího diplomové práce.

### 2.1 Adobe Photoshop CS6

Adobe Photoshop patří v současnosti mezi nejlepší programy na úpravu digitálních snímků. Mezi hlavní výhody s fotogrammetrického hlediska určitě patří rozsáhlá databáze kalibračních dat pro objektivy od většiny výrobců. Photoshop umí na základě těchto dat velice přesně odstranit distorzi objektivu. Odpadá tím nutnost výpočtu vlastních kalibračních dat – viz. výsledky diplomové práce Bc. Martina Tröstla, [12].

V této diplomové je Photoshop použit především na metodu světelných masek. Na ostatní metody stačí z důvodu velké časové úspory (větší efektivita práce) následující program – Adobe Lightroom.

"Kvalitní a profesionální bitmapový grafický editor vhodný pro laiky i odborníky. Photoshop se postupem času stal světovým standardem pro editaci grafiky v nejvyšší kvalitě. Adobe Photoshop CS5 je ideálním nástrojem pro tvorbu fotografií." [5]



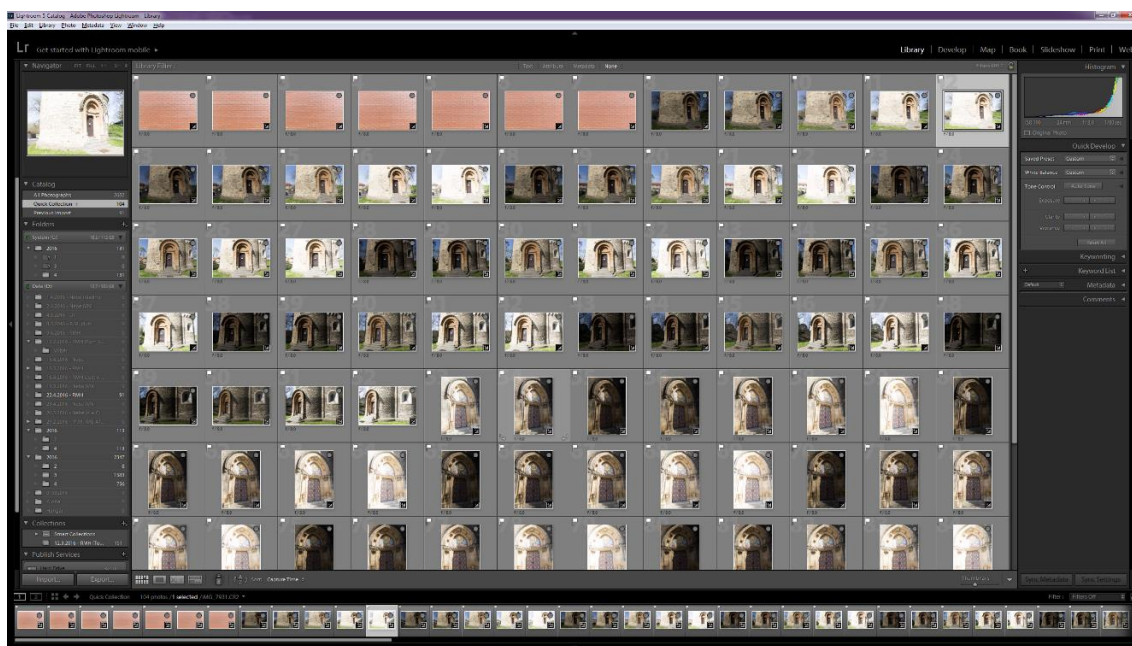
Obr. 2.1: Pracovní prostředí programu Adobe Photoshop CS6 (zdroj: autor)

## 2.2 Adobe Lightroom 5.3

Jak již bylo řečeno, Adobe Lightroom byl vybrán na základě výsledků autorovi bakalářské práce. Jedná se o jeden z nejlepších programů, který umožňuje plnohodnotně editovat a spravovat digitální snímky. Velkou výhodou je správa snímků pomocí integrované knihovny, kde lze snímky rozdělovat několika způsoby, označovat je, třídit a spravovat.

Lightroom byl vybrán hlavně kvůli možnosti upravovat celou sadu snímků najednou se stejným nastavením – snímky ze všech stanovisek tedy identické. Rovněž tento princip zkrátí dobu potřebnou ke zpracování snímků.

"Profesionální nástroj nejen pro profesionály, určený pro zpracování, publikování a správu fotografií. Adobe Photoshop Lightroom může posloužit i pro organizaci vašich fotografií a nabízí nepřehledné množství výtečných vlastností na špičkové úrovni." [5]



Obr. 2.2: Pracovní prostředí programu Adobe Lightroom 5.3 (zdroj: autor)

## 2.3 Photomatix Pro

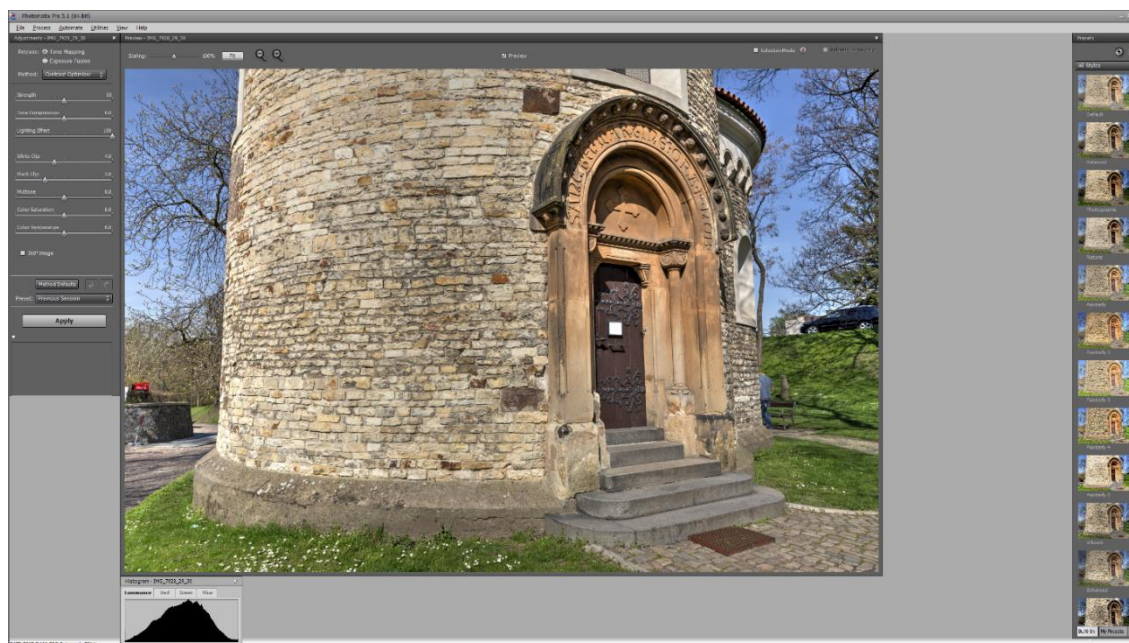
Na zpracování metodou HDR (High Dynamic Range) existuje mnoho programů. Vybral sem právě Photomatix od společnosti HDRsoft. A to z důvodu kvalitního výstupu, nad kterým máme velikou možnost kontroly pomocí široké škály nastavení. Nespornou výhodou je rovněž možnost uložení tohoto nastavení a aplikování na další snímky – to nám zaručuje, že všechny snímky z téhož stanoviska budou upraveny stejným způsobem. Rovněž také výstupy z tohoto programu zachovávají na rozdíl od ostatních HDR programů přirozený vzhled snímku.



„Photomatix Pro vám umožní zkombinovat několik digitálních fotografií stejného objektu s jinými parametry (čas závěrky, ISO, clona apod.) do jednoho obrázku tak, že dosáhnete jeden výsledný obrázek bez přepálených i příliš tmavých oblastí.“ [7]

Alternativními programy jsou například:

- HDR Efekt Pro,
- Zoner Photo Studio,
- Fusion a další.

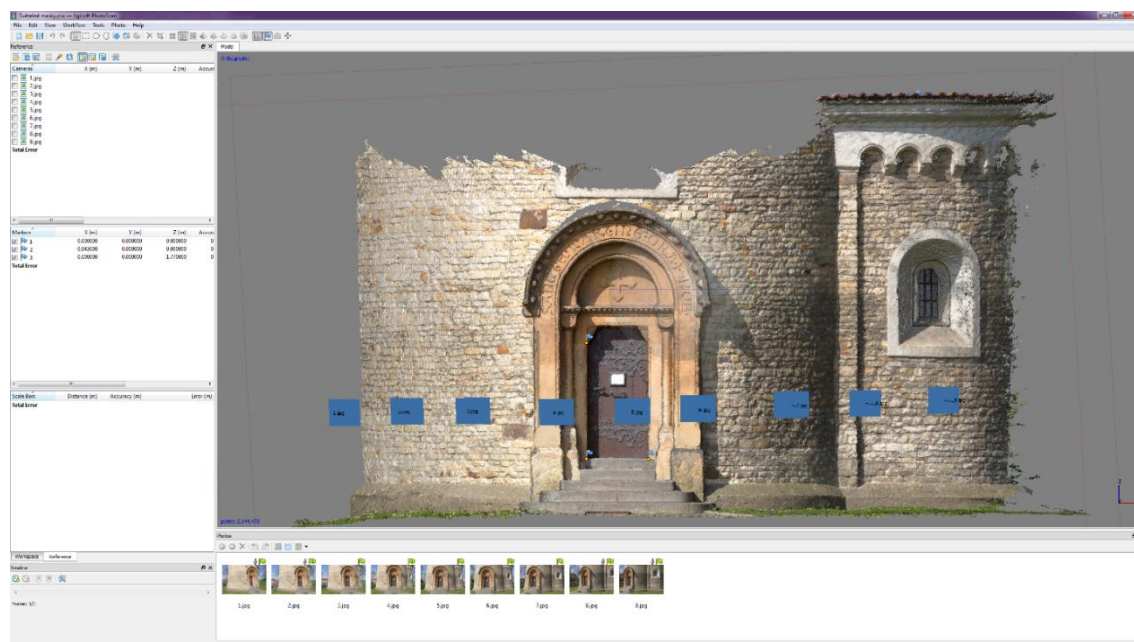


Obr. 2.3: Pracovní prostředí programu Photomatix Pro 5.1 (zdroj: autor)

## 2.4 Agisoft PhotoScan 1.2.4

Pro výpočet obrazových mračen jsem zvolil na základě doporučení vedoucího práce program Agisoft PhotoScan. Mezi jeho největší přednosti patří velká všestrannost programu, jednoduchost ovládání a přesnost výsledných výstupů. Pro výpočet modelů nejsou primárně potřeba kalibrační protokoly pro použitý digitální fotoaparát. Veškeré postupy výpočtů (orientace snímků, generace hustého mračna) probíhají automaticky a dají se ovlivnit nastavitelnými parametry.

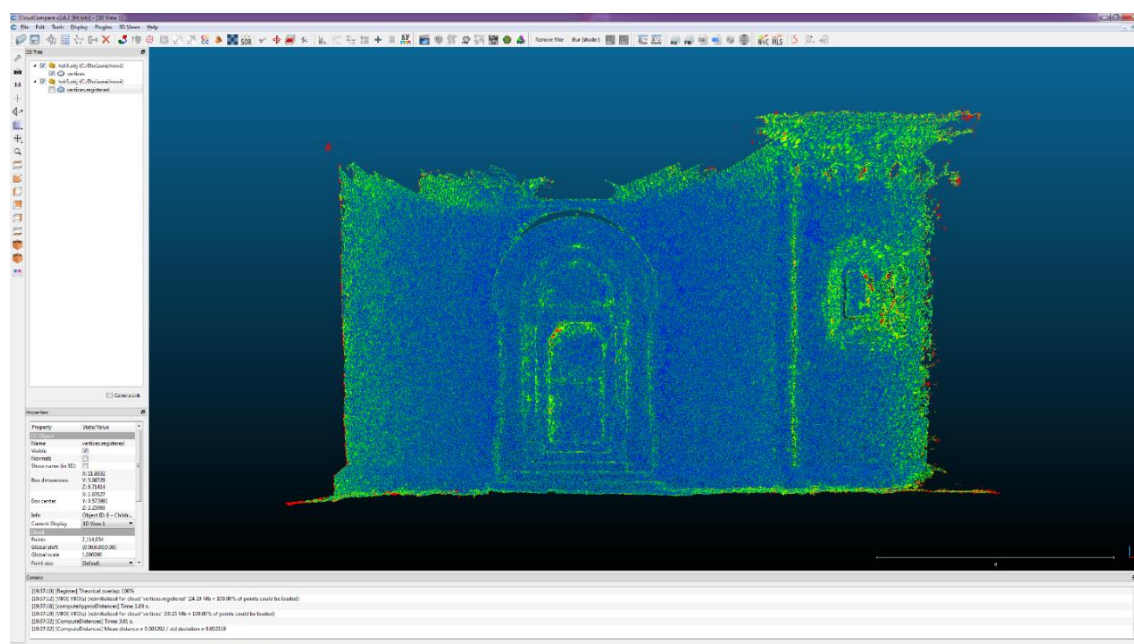
„Agisoft PhotoScan je profesionální software pro automatické zpracování digitálních fotografií na texturovaný 3D model zachycené scény. Tou mohou být jednak terén nebo budova, jednak interiéry staveb nebo libovolné předměty. Agisoft PhotoScan dokáže generovat jak 3D modely vhodné pro prezentační účely, tak profesionální výstupy využitelné v GIS aplikacích.“ [8]



Obr. 2.4: Pracovní prostředí programu Agisoft PhotoScan 1.2.4 (zdroj: autor)

## 2.5 CloudCompare

Důležitou součástí této práce je porovnání jednotlivých mračen bodů. Tyto srovnání byla provedena v programu CloudCompare. Jedná se o freeware software primárně určený pro srovnávání dvou 3D bodových mračen. Program dokáže pracovat i s mračky, která mají více než 10 000 000 bodů. Celé prostředí programu je přehledné a intuitivní. Výstup srovnání dvou mračen, lze přehledně zobrazit pomocí nastavitelných škál a histogramů.



Obr. 2.5: Pracovní prostředí programu CloudCompare v2.6.2 (zdroj: autor)

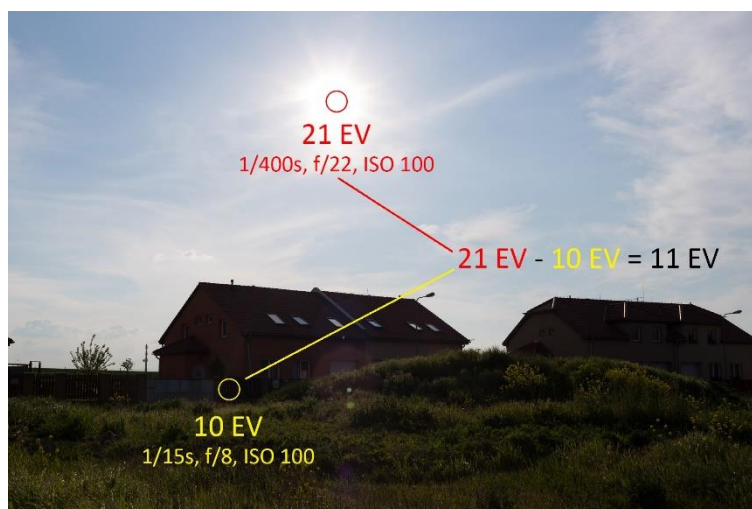
## 3 Dynamický rozsah

Tato kapitola je zaměřena na seznámení s problematikou dynamického rozsahu u digitálních snímků. V první části je popsán dynamický rozsah obecně včetně jeho vysvětlení na histogramu, v části druhé je potom pojednáno o problematice dynamického rozsahu u digitálních snímků, které slouží jako podklad pro následující fotogrammetrické zpracování.

### 3.1 Teoretický úvod

Dynamický rozsah je rozdíl mezi nejmenší a největší hodnotou jasu na digitálním snímku, které se objeví v jednu chvíli na různých místech daného snímku. Jasně rozumíme luminanci (odrazivost) daného místa, která se měří v kandelách na  $m^2$  ( $cd/m^2$ ). Dynamický rozsah je pak rozdíl jasů na snímky udávaný v EV jednotkách. Na obrázku 3.1 můžeme vidět dynamický rozsah fotografované scény.

Expoziční hodnota (z angl. Exposure Value), značená jako EV, je v rámci fotografie velice často používaná veličina. Označuje množství světla, ve kterém fotografujeme. Pomocí EV označujeme intenzitu světla přicházejícího na snímač fotoaparátu. Z historických dohod vyplývá, že hodnotě 0 EV odpovídá takové množství světla, při kterém budeme šedou tabulku správně exponovat při expozici 1 s, cloně  $f/1.0$  a citlivosti ISO 100. Průběh stupnice EV ovšem není přírůstkový, nýbrž násobkový. Každé zdvojnásobení množství světla na fotografované scéně tak odpovídá přírůstku EV o +1. Jinak řečeno, sousední hodnoty EV odpovídají dvojnásobné nebo poloviční intenzitě osvětlení. V tabulce 3.1 zobrazuje závislost expozičních hodnot (EV) na clonovém čísle, hodnotě ISO a expozičním časem.



Obr. 3.1: Dynamický rozsah scény (zdroj: autor)

ISO 100		clonové číslo											
		1,0	1,4	2,0	2,8	4,0	5,6	8,0	11,0	16,0	22,0	32,0	45,0
expoziční čas	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	1/4	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	1/8	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	1/15	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	1/30	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	1/60	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	1/125	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	1/250	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	1/500	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	1/1000	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	1/2000	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	1/4000	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

Tab. 3.1: Tabulka expozičních hodnot (EV)

### 3.1.1 Dynamický rozsah snímače

Senzory digitálních fotoaparátů vyžadují regulaci světla dopadajícího na jednotlivé buňky. Ideální stav nastává tehdy, kdy na snímač dopadá takové množství světla, které umožňuje správnou práci všech buněk. V případě dopadu malého množství světla na buňku není poté buňkou generován žádný signál. V opačném případě (tj. při dopadu velkého množství světla) buňka nevygeneruje větší signál než maximální a buňka tak přestává adekvátně fungovat (tj. „měřit“ světlo).

Tento rozsah, kde každá buňka měří správně, se nazývá dynamický rozsah senzoru. Dopadající světlo na snímač se reguluje clonou a expozičním časem. Problém nastává tehdy, kdy se na fotografované scéně objeví místa zároveň s nízkým a vysokým jasnem. V tomto případě hovoříme o vysokém dynamickém rozsahu fotografované scény. Na snímku se objeví podpaly (podexponovaná místa bez kresby) a přepaly (přeexponovaná místa rovněž bez kresby).

Každý snímač má různý dynamický rozsah. To samé platí i u starých analogových fotoaparátů používajících k záznamu černobílý negativní film. Lidské oko dosahuje hodnot dynamického rozsahu mezi 15 – 30 EV. Kvalitní digitální zrcadlovka (například přístroj použitý pro účely této práce) má dynamický rozsah 12 EV. To je také důvod, proč nemůžeme pořídit snímek takový, jaký byl v danou chvíli viděn lidským okem.

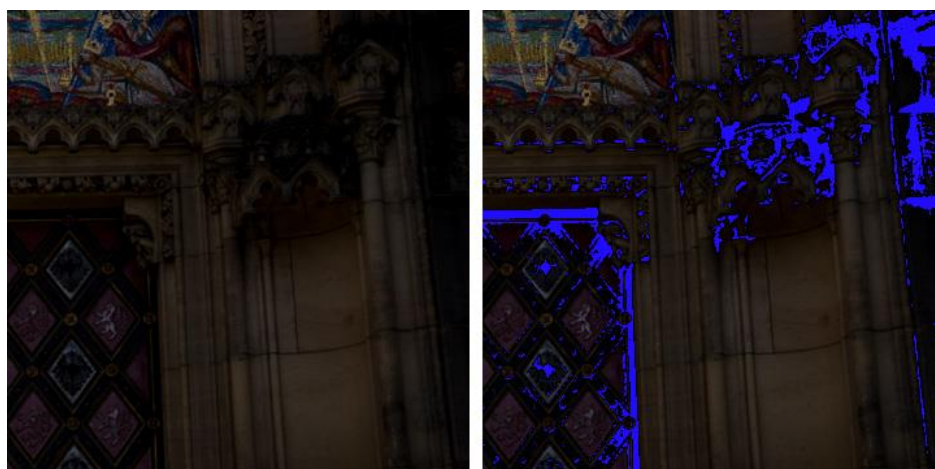
Dynamický rozsah snímku lze zvýšit buď přímo v terénu pomocí nasvícení scény (například v interiéru) nebo jej následně zvýšit během zpracování v počítači. Metod je více a některé z nich vyžadují pořízení více snímků s různě odstupňovanou expozicí. Jednotlivé metody, včetně řešení nasvícení scény jsou popsány v kapitole 5.

### 3.1.2 Přexponovaná a podexponovaná místa

Vlivem nízkého dynamického rozsahu snímače vznikají na snímku podexponovaná místa (viz. výše) a přexponovaná místa (viz. výše). Jedná se o místa na snímku, kde chybí kresba – to znamená, že v daném místě se nachází pouze pixely černé (RGB 0, 0, 0) nebo bílé (RGB 255, 255, 255). Většina programů pracujících s digitálními snímky, dokáže přepaly a podpaly detekovat. Na obrázku 3.2 vidíme názornou ukázkou zvýraznění přexponovaných míst. Na obrázku 3.3 vidíme naopak místa podexponovaná. Jedná se o ukázkou detekce z programu Adobe Lightroom.



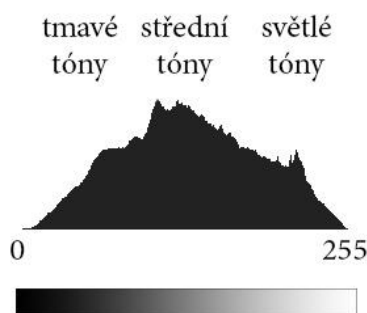
Obr. 3.2: Indikace přexponovaných míst (červeně) v programu Lightroom (zdroj: autor)



Obr. 3.3: Indikace podexponovaných míst (modře) v programu Lightroom (zdroj: autor)

### 3.1.3 Histogram

Dynamický rozsah snímku přímo souvisí i s jasovým histogramem – samozřejmě pouze u digitálních snímků. Jasový histogram je statistika expozice jednotlivých buněk senzoru. Zleva doprava je uvedena hodnota jasu od černé po bílou a svislá čára nám ukazuje, kolik buněk bylo exponováno s daným jasnem. Na obrázku 3.4 je reálný jasový histogram pracuje s 256 hodnotami jasu (šedé).



Obr. 3.4: Jasový histogram snímku (zdroj: autor)

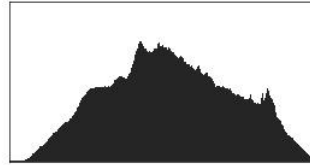
Z histogramu lze hodnotit expozici daného snímku. Na obrázku 3.5 jsou znázorněny jednotlivé situace, které lze z histogramu určit. Většina současných digitálních fotoaparátů dokáže zobrazit histogram snímku již v terénu – buď již během snímkování, nebo po pořízení snímku. Na základě těchto informací můžeme určit dynamický rozsah fotografované scény již během pořizování snímků. Ideální stav histogramu je symetrický tvar, kde nejvyšších hodnot dosahují střední tóny a směrem ke krajům hodnoty klesají. Pokud se bude většina hodnot v histogramu u levého kraje, tedy v tmavých tónech, bude snímek tmavý, podexponovaný. Naopak, bude-li se většina hodnot nacházet v pravé části, bude snímek značně přexponovaný.

Rovněž lze z histogramu vyčíst, zdali byl dynamický rozsah použitého snímače dostačující nebo nikoliv. Pokud jsou všechny hodnoty uvnitř a okrajové hodnoty jsou nulové, pak je dynamický rozsah vyhovující. Pokud jsou na krajích hodnoty vysoké a je evidentní, že by průběh pokračoval za meze histogramu, pak dynamický rozsah scény přesáhl možnosti snímače.

**Správně exponovaný snímek - dostačující dynamický rozsah**

Histogram nepřekračuje levou ani pravou mez - to znamená, že dynamický rozsah nebyl překročen a snímek neobsahuje přepaly, ani podpaly.

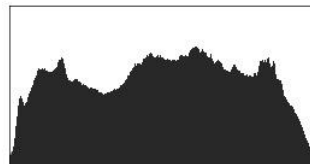
*(tento snímek byl upraven metodou světelných masek pro získání vyššího dynamického rozsahu - více v kapitole 5.)*

**Podexponovaný snímek**

Histogram je celý posunutý do tmavších tónů - navíc dynamický rozsah snímáče nestačil - vlevo by histogram dále pokračoval. Je tedy evidentní, že ten snímek obsahuje podpaly (podexponovaná místa bez kresby).

**Správně exponovaný snímek - překročený dynamický rozsah**

Histogram je rovnoměrně rozložen a je v ideálním tvaru - nejvíc hodnot dosahuje ve středních tónech. I přesto, že se jedná o ideálně exponovaný snímek, vidíme, že v levé části by histogram pokračoval. Dynamický rozsah byl tedy překročen a snímek obsahuje podpaly.

**Přexponovaný snímek**

Histogram je celý posunutý do světlejších tónů. Stejně tak jako u podexponovaného snímku, i zde byl překročen dynamický rozsah použitého snímáče. Snímek tedy obsahuje přepaly (bílá místa bez kresby).



Obr. 3.5: Jednotlivé ukázky závislosti histogramu na expozici (zdroj: autor)

## 3.2 Význam dynamického rozsahu ve fotogrammetrii

Otázka dynamického rozsahu je v oboru fotogrammetrie velice důležitá. Snímek s překročeným dynamickým rozsahem, obsahujícím přepaly a podpaly, způsobuje ve výstupech hrubé chyby. Proto je třeba s dynamickým rozsahem pracovat. V této práci je testován pouze vliv při zpracování optické korelace. To ale neznamená, že by v ostatních metodách bylo zbytečné tuto problematiku řešit. Například u tvorby fotoplánu pomocí jedno snímkové metody je nevhodné, aby snímek neobsahoval kresbu v zastíněných nebo osvětlených prostorech.

### 3.2.1 Metoda optická korelace

Nedostatečný dynamický rozsah snímků způsobuje u výsledků z optické korelace hrubé chyby. Jedná se především o podexponovaná místa a přexponovaná místa. V těchto místech se objevuje šum a body jsou vychýlené do prostoru od své skutečné polohy nebo zde body úplně chybí. Je to zapříčiněno tím, že podexponovaná místa (pouze černá barva s hodnotami RGB 0,0,0) a přexponovaná místa (pouze bílá barva s hodnotami RGB 255,255,255) neobsahují žádnou kresbu a nelze v nich korelaci provést. Na obrázku 3.6 jsou vidět odlehlé body v podexponovaných místech na dveřích objektu. Na obrázku 3.7 jsou vidět v levé části chybějící body v mračnu a na pravé straně je podkladový snímek.



Obr. 3.6: Chybně rozptýlené body v mračnu bodů – pohled shora (zdroj: autor)



Obr. 3.7: Chybějící body v podexponovaném místě bez kresby (zdroj: autor)



## 4 Testovací snímky

Tato kapitola pojednává o obecných zásadách pořizování snímků pro zpracování metodou optické korelace. Další část je věnována samotnému snímkování, které proběhlo pro účely této práce. Některé zásady byly záměrně porušeny proto, aby podkladové snímky obsahovaly větší chyby způsobené vysokým dynamickým rozsahem scény a výsledky z nich byly markantnější a prokazatelnější.

### 4.1 Obecné zásady

Pro kvalitu výsledného modelu hraje klíčovou roli sběr dat (snímkování). Většina autorů má u svých programů napsány hlavní zásady, které by měly být během snímkování dodrženy, aby se předešlo negativním vlivům. Mezi tyto zásady patří:

- Nevhodná je homogenní (monotónní) textura objektu a rovněž textura s opakujícím se vzorem.
- Objekt se nesmí pohybovat – pohybovat se může pouze snímkovácí komora.
- Objekt by neměl být průhledný, lesklý a vysoce odrazivý.
- Stanoviska snímkování by se měly pohybovat – není vhodné fotit tzv. „panorámováním“ z jednoho místa.
- Osvětlení objektu by mělo být konstantní.
- Není vhodné snímkovat při přímém osvětlení sluncem, které kromě jiných negativních vlivů má na svědomí výskyt nežádoucích stínů.
- Ideální je používat manuální režimy komory – docílíme tím, že všechny snímky budou stejně exponované (za předpokladu konstantního osvětlení).
- Není vhodné používat extrémně širokoúhlé nebo teleskopické objektivy (z důvodu většího geometrického zkreslení).
- Snímky by měly obsahovat EXIF data (*Agisoft PhotoScan umí pracovat i bez EXIF dat*).
- Hodnota ISO by měla být použita co nejnižší – při vyšším hodnotě ISO roste množství digitálního šumu na snímku.
- Důležitou roli hraje i rozlišení snímku – čím vyšší rozlišení, tím lze očekávat podrobnější výsledky.

- Je důležité používat vyšší clony – z důvodu vyšší hloubky ostrosti – aby vše, co bude vyhodnocováno, bylo dokonale ostré. Obecně by mělo být clonové číslo mezi 8 – 11. Od 11 výše ztrácí snímek na ostrosti vlivem difrakce (jedná se o fyzikální jev – ohyb světla na hranách – v tomto případě na hranách lamel clony) objektivu.
- Překryt sousedních snímků by měl být co možná nejvyšší – minimum je požadováno 60%
- Zájmová část objektu by měla zabírat co největší plochu snímače a měla by být zobrazena minimálně na 3 snímcích.
- Pokud možno používat krátké expoziční časy, aby se předešlo optické neostrosti z důvodu pohybu komory během snímkování. Pokud vychází časy dlouhé, je vhodné použít stativ.

## 4.2 Snímkování pro účely diplomové práce

Pro účely této práce byla vybrána jako testovací objekt románská Rotunda svatého Martina na Vyšehradě (Praha). Vybrána byla z důvodu blízké dopravní dostupnosti – to bylo důležité, jelikož byly potřeba specifické světelné podmínky pro snímkování. Cílem bylo pořídit snímky v ostrém slunečním světle, které zvyšují právě dynamický rozsah fotografované scény a na snímku tak vznikly přexponovaná a podexponovaná místa.

### 4.2.1 Testovací objekt – rotunda sv. Martina

Jak již bylo zmíněno, jako testovací objekt byla vybrána rotunda svatého Martina nacházející se na Vyšehradě. Jedná se o nejstarší stavbu nacházející se v oblasti Vyšehradu a současně se jedná o nejstarší rotundu na území hlavního města Prahy. Rotunda byla postavena v 11. stol. – přesné datum není známo. V letech 1878 – 1880 proběhla obnova rotundy podle návrhu architekta Antonína Bauma. Na jižní straně rotundy byl vytvořen novorománský portál podle motivů převzatých z Vyšehradského kodexu. [6]

Důvodů k volbě právě konkrétní historické stavby jako testovacího objektu je hned několik. Tyto důvody jsou:

- Dobrá dopravní dostupnost – bylo důležité zachytit specifické světelné podmínky a bylo tedy potřeba se co nejdříve k objektu dopravit.
- Rotunda neobsahuje monotónní, ani opakující se motivy – předešlo se tak nežádoucím vlivům.
- Vstupní portál je prostorově členitý a z toho důvodu na vstupních dveřích vznikají podexponované stíny, na kterých se zkoumá vliv na geometrickou přesnost.

- Okolí vstupního portálu, který je hlavní zájmovou oblastí, je bez problému přístupné. Stanoviska tedy mohla být volena ve stejné vzdálenosti od objektu a úhel protnutí os snímků mohl být konstantní.
- Žádná část objektu není zakryta vegetací nebo jinými nežádoucími objekty.
- Na objektu jsou výrazné body, které sloužily jako vlíčovací body pro definici místního systému modelu.
- Objekt není rozsáhlý tak, aby bylo nutné použití extrémně širokouhlého objektivu.

#### 4.2.2 Světelné podmínky

Samotné snímkování probíhalo za ostrého slunce, které vytvářelo na vstupních dveřích stíny, které ovlivňují kvalitu výsledného modelu. Pro ideální výstup by bylo vhodné měkké rozptýlené světlo, které se vyskytuje, když je Slunce pod mrakem. Takové světlo je konstantní a nevytváří tvrdé stíny.

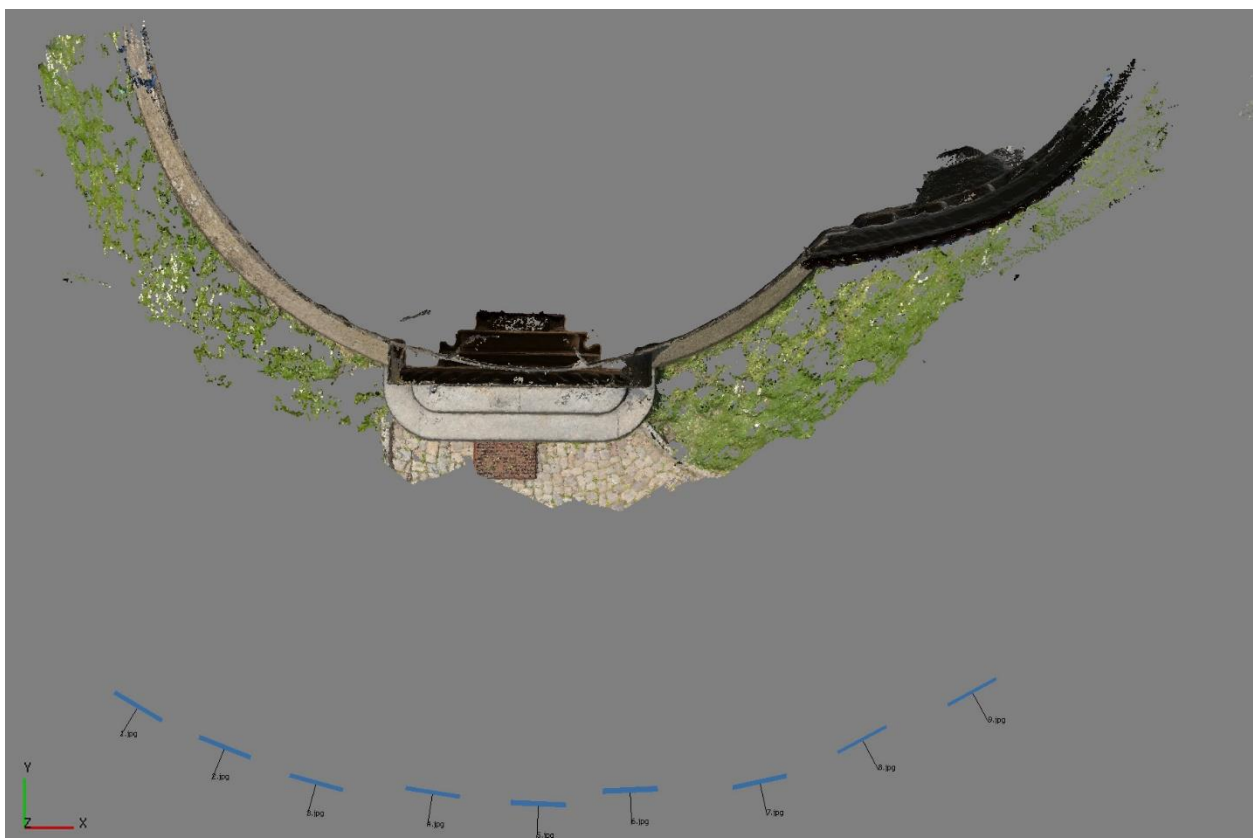
U menšího objektu je tedy ideální vyčkat na tyto světelné podmínky. U větších objektů, které se snímají i více dní, není možné čekat na ideální podmínky a snímky se pořizují i za nevhodných podmínek. Úkolem této práce je navrhnout postup, jak získat kvalitní výstup i ze snímků, které byly pořízeny za zhoršených světelných podmínek, kdy je dynamický rozsah snímané scény vyšší než dynamický rozsah snímače použité komory.

#### 4.2.3 Snímkování objektu

Snímkování pro vyhotovení modelu byly provedeno fotoaparátem Canon EOS 6D s nasazeným objektivem Canon EF 24-70 f/2.8L USM – ohnisková vzdálenost byla fixována na hodnotě 24 mm. Veškeré snímky byly ukládány ve formátu RAW (\*.CR2 v případě Canonu). Více informací o použité technice je uvedeno v kapitole 1.

Úhel protnutí os záběru sousedních snímků byl zvolen  $7^\circ - 9^\circ$  na základě výsledků bakalářské práce Ing. Ondřeje Boháče, [9]. K nafocení vstupního portálu bylo na základě výše uvedeného úhlu použito 9 stanovisek. Na obrázku 4.1 je zobrazena celá situace snímkování.

Na každém stanovisku bylo pořízeno 5 snímků od -2 EV do +2 EV. Střední expozice ( $\pm 0$  EV) byla nastavena manuálně (ISO 100, f/8.0, expoziční čas 1/320s a vyvážení bílé nastaveno jako automatické). Ostatní expoziční údaje byly dopočteny použitým fotoaparátem (funkce *bracketing*). Celkem tedy bylo pořízeno 45 snímků. Během snímkování byl fotoaparát umístěn na pevný kovový fotografický stativ. Ten zaručil, že se komora během snímkování na jednom stanovisku nepohnula a výsledné, expozičně odsazené snímky jsou totožné. Na obrázku 4.2 jsou vidět jednotlivé snímky ze stanoviska 5, včetně jejich expozičních údajů.



Obr. 4.1: Rozložení stanovisek při snímkování (zdroj: autor)



Obr. 4.2: Jednotlivé snímky ze stanoviska 5 odsazené o  $\pm 1$  EV (zdroj: autor)

#### 4.2.4 Zpracování snímků

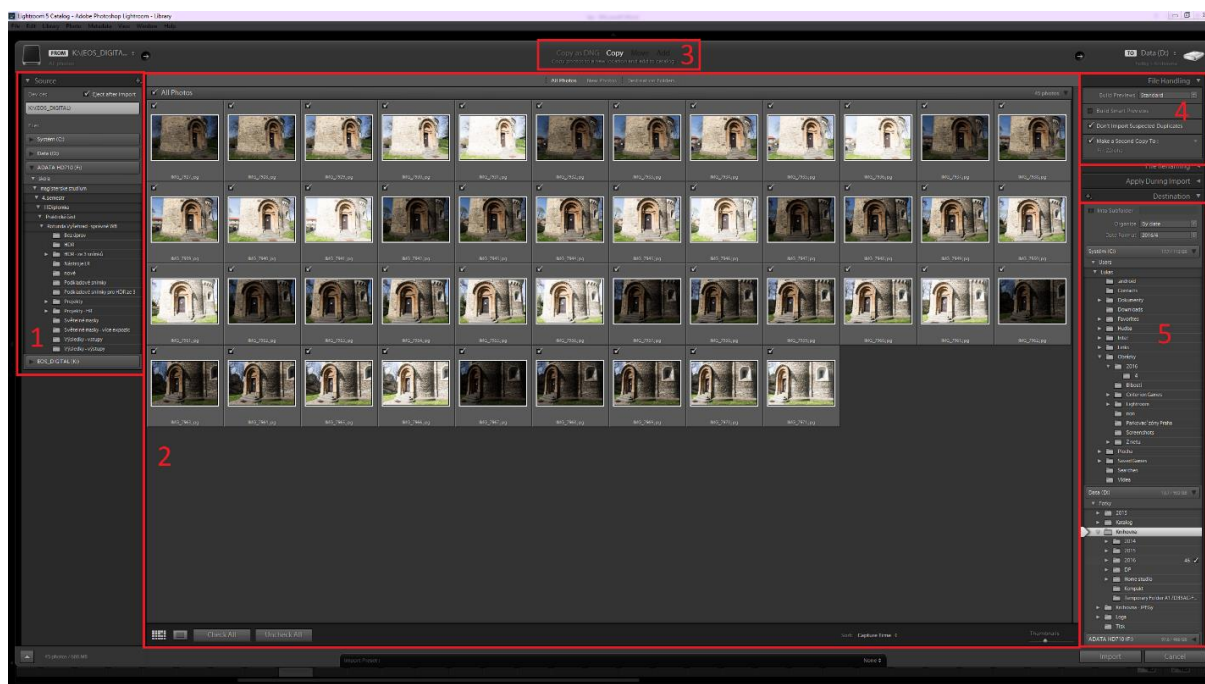
Po pořízení snímků následoval celý základní postprocesing digitálních snímků. Tím rozumíme veškeré úkony s digitálním snímkem, které se provádějí po jeho pořízení. Celý postup je napsán na základě autorovi bakalářské práce, [10]. Níže jsou vypsány jednotlivé kroky v tom pořadí, ve kterém by se měly provádět:

- 1) Import snímku z fotoaparátu/paměťové karty do počítače
  - Přidání snímků do digitální knihovny v programu Adobe Lightroom
  - Zálohování surových (RAW) snímků na jiné úložiště (například externí harddisk)
- 2) Třídění snímků
  - Vhodné je zařadit si snímky do kolekce, kvůli snazšímu vyhledávání v případě většího počtu zakázek
  - Označit si snímky, které jsou povedené a se kterými budeme nadále pracovat
- 3) Základní úpravy snímků
  - Základní tonální úpravy – *white balance* (vyvážení bílé), *contrast* (kontrast), *clarity* (zřetelnost), *saturation* (nasycení), *vibrance* (živost)
  - Doostření snímků, redukce šumu
  - Geometrické korekce objektivu
  - Zvýšení dynamického rozsahu pomocí nástrojů Adobe Lightroom – *shadows* (stíny), *highlights* (světla), *blacks* (černá) a *whites* (bílá)
- 4) Export snímků ve vhodném formátu
  - \*.jpg, \*.tiff
- 5) Rozsáhlejší a složitější úpravy snímků
  - Například metody zvyšující dynamický rozsah – HDR, světelné masky

Jednotlivé kroky jsou popsány v následujících podkapitolách. Metody, které zvyšují dynamický rozsah snímku, jsou popsány v kapitole 5.

#### 4.2.4.1 Import snímků do knihovny Adobe Lightroom

K práci se snímky byl vybrán software Adobe Lightroom ve verzi 5.3 (popsán v kapitole 2). Import snímků se provádí v záložce *Library* (knihovna). V levém sloupci (2) se vybírá zdroj, odkud se budou snímky importovat – většinou buď paměťová karta vložená do čtečky karet, nebo fotoaparát připojený přes USB kabel k počítači. V hlavním okně se nám zobrazí snímky, které jsou k dispozici ve vybraném zařízení/kartě. V horní liště (3) vybrána možnost *Copy* (kopírovat) – snímky se ze zařízení/karty zkopírují do úložiště v počítači – to vybíráme v pravém panelu v záložce *Destination* (umístění, 5). V záložce *File handling* (práce se souborem, 4) nastavíme zálohu (*Make a Second Copy To:*) a zvolíme možnost *Build Previews – standart* (vytváření náhledů – standart). Poté potvrdíme tlačítkem import a snímky se nám nahrají do počítače, přidají do virtuální knihovny programu Lightroom a vytvoří se záložní kopie originálních snímků na externím disku. Čísla v závorkách odpovídají označení na následujícím obrázku 4.3.



Obr. 4.3: Import snímků v programu Adobe Lightroom (zdroj: autor)

#### 4.2.4.2 Třídění snímků

Po importu byly snímky přidány do kolekce „rotunda svatého Michala“ pro snazší vyhledávání snímků v knihovně. Následně byly označeny snímky, které budou nadále upravovány a to pomocí výběru *Flag as pick* (označit jako vybrané). Po označení všech snímků byl nastaven filtr na *Flagged* (označené). Podrobnější postup a všechny možnosti označování a třídění jsou shrnuty autorovi bakalářské práci, [10].

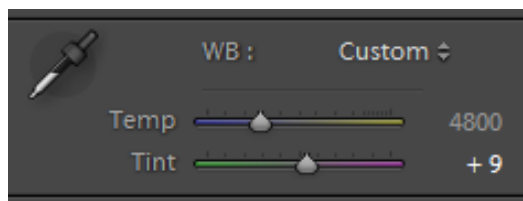
#### 4.2.4.3 Základní úpravy snímku

Základní úpravy se provádí v záložce *Develop* (*vyvolat*). Vzhledem k časové úspoře e vhodné upravovat všechny snímky najednou se stejnými parametry – je nutné tedy označit všechny snímky (klávesová zkratka Ctrl + A) a zapnout položku *autosync* (*automatická synchronizace*). Pokud je funkce zapnutá, všechny úpravy provedené na aktivním snímku se automaticky aplikují i na všechny ostatní vybrané snímky. Podrobný postup včetně vysvětlení jednotlivých funkcí je uveden v bakalářské práci autora, [10].

První, co by se mělo na snímcích upravit, je *white balance* (*vyvážení bílé*, obrázek 4.5). Nastavuje se dvěma posuvníky – *Temperature* (*Teplota*) v Kelvinech a *Tint* (*nádech*) v rozsahu -150 – 150. Já jsem zvolil hodnoty (*Temp* – 4800, *Tint* - +9), které určil fotoaparát na prostředním snímku (stanovisko 5) a tuto hodnotu nastavil i pro ostatní snímky. Je důležité, aby všechny snímky ze všech stanovisek měly vyvážení bílé stejné. V tabulce 4.1 jsou přibližné hodnoty vyvážení bílé v závislosti na okolním osvětlení.

Žárovka	Zářivka	Slunečno	Pod mrakem	Blesk	Stín
3200	4000	5200	6000	6000	7000

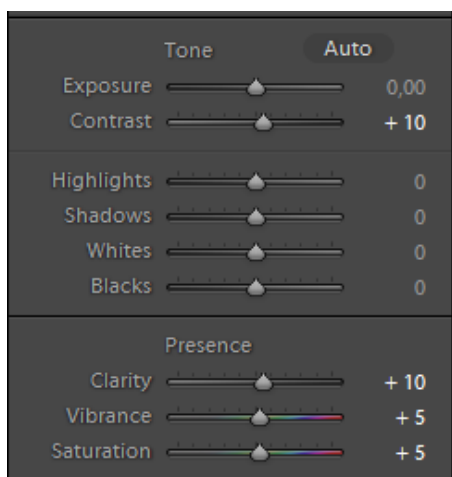
Tab. 4.1: Tabulka hodnot vyvážení bílé



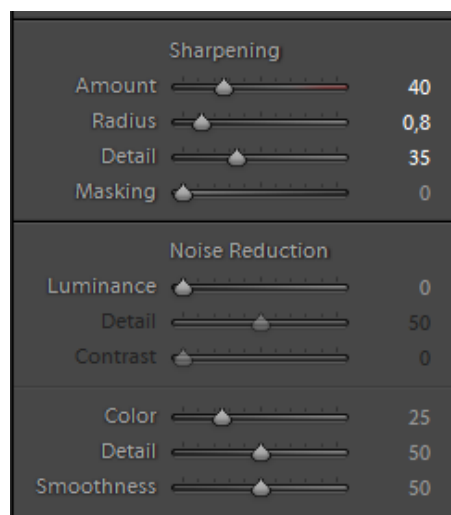
Obr. 4.4: Vyvážení bílé v programu Lightroom (zdroj: autor)

Dále byly na všech snímcích provedeny základní úpravy (obrázek 4.5). Upraven byl *contrast* (*kontrast*, hodnota - +10), *clarity* (*zřetelnost*, hodnota - +10), *vibrance* (*živost*, hodnota - +5) a *saturation* (*nasycení*, hodnota - +5). Funkce *highlights* (*světla*), *shadows* (*stíny*), *whites* (*bílá*) a *blacks* (*černá*) byly nastaveny na hodnotu 0. Důvodem je, že všechny tyto funkce ovlivňují dynamický rozsah snímku, se kterým se bude pracovat různými metodami v následující kapitole.

Digitální snímky, které jsou upravovány (vyvolány) z se surových (RAW) dat je nutné doostřit a odstranit digitální šum – obrázek 4.6. V tomto případě nebyl šum odstraňován, z důvodu použití nízké hodnoty ISO (ISO 100) při pořizování snímku. Snímek byl pouze doostřen pomocí parametrů *amount* (množství, hodnota - 40), *radius* (poloměr, hodnota - 0,8), *detail* (doostření detailů, hodnota - 35) a *masking* (maskování, hodnota - 0 = doostřuje se celý snímek).

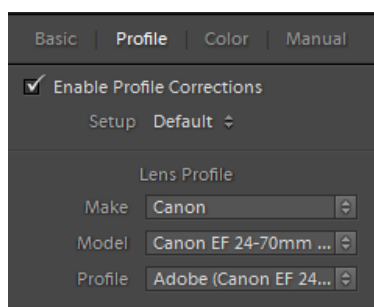


Obr. 4.5: Panel základních úprav v programu Lightroom (zdroj: autor)



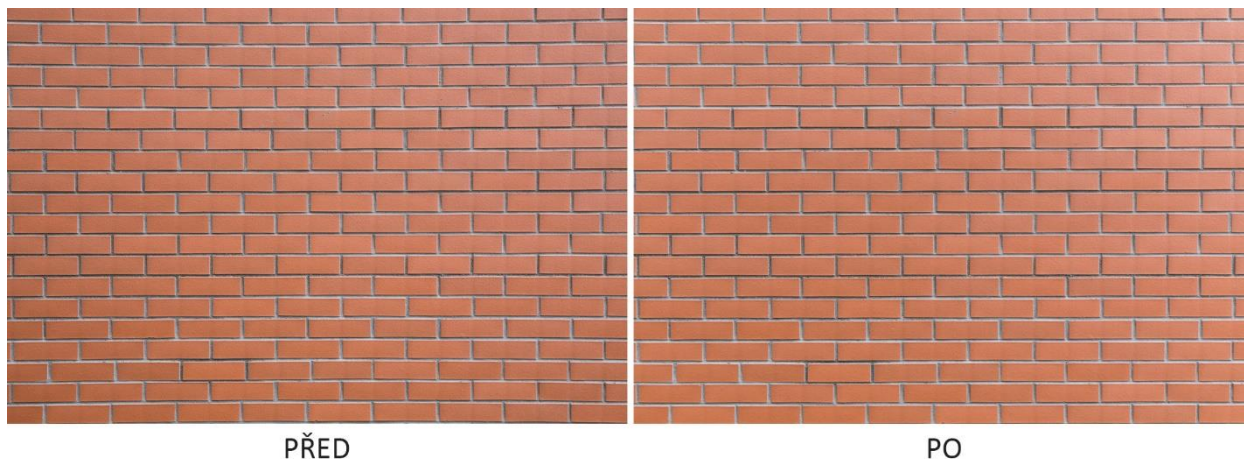
Obr. 4.6: Panel doostření a redukce šumu v programu Lightroom (zdroj: autor)

Poslední úpravou jsou geometrické korekce na základě kalibračních dat výrobce objektivu a odstranění barevné aberace. Geometrické korekce fungují na základě kalibračních dat výrobců objektivů (v tomto případě canon). Odstraňuje se geometrické zkreslení a vinětace objektivu. Všechny tři vady objektivu jsou blíže specifikované v bakalářské práci autora, [10]. Na obrázku je 4.7 je panel, kde se zapínají geometrické korekce – výrobce objektivu a přesný typ objektivu včetně použitého ohniska je určen z EXIF dat daného snímku. Na obrázku 4.8 můžeme vidět snímek před aplikací geometrických korekcí a po aplikaci. Jak je ze snímku patrné, kraje jsou světlejší z důvodu odstranění vlivu vinětace objektivu. Rovněž bylo odstraněno poduškovité zkreslení.



Obr. 4.7: Panel nastavení geometrických korekcí v programu Lightroom (zdroj: autor)





Obr. 4.8: Názorná ukázka aplikace geometrických korekcí na snímek (zdroj: autor)

#### **4.2.4.4 Export snímků**

Po provedení všech úprav byl proveden export snímků. Jako výstupní formát byl zvolen JPEG (\*.jpg) a to z důvodu datové úspory. Kvalita (míra komprese) JPEG byla nastavena na 100%. Snímky rovněž nebyly nijak zmenšeny nebo doostřeny.

## 5 Metody zvýšení dynamického rozsahu

Tato kapitola je zaměřena na metody zvýšení dynamického rozsahu snímku. V první části jsou vyjmenovány možnosti zvýšení dynamického rozsahu pomocí softwarových nástrojů v různých typech programů. Jedná se tedy o metody zvyšující rozsah po pořízení snímku. Z výsledků těchto metod jsou v dalších kapitolách vytvořeny modely metodou optické korelace a následně geometricky porovnány.

V další části jsou stručně nastíněny postupy, kterými lze zvýšit dynamický rozsah již během snímkování. Jedná se především o nasvícení dané scény/objektu pomocí světla, které je vhodné použít například v interiérech daného objektu.

### 5.1 Softwarové metody zvýšení dynamického rozsahu

Jak již bylo zmíněno výše, veškeré softwarové metody pro zvýšení dynamického rozsahu snímku probíhají až po jeho pořízení. Jejich hlavní výhodou je, že neprodłużují čas během pořizování snímku. Vše se děje až během postprocesingu v počítači. Metod pro zvýšení dynamického rozsahu snímku je několik a fungují na podobném principu, a sice na automatickém vyhledání podexponovaných a přeexponovaných míst a jejich následné editaci. Ta již probíhá různými způsoby. Mezi tyto metody patří:

- Nástroje pro optimalizaci jasů a stínů v programu Adobe Lightroom,
- tzv. HDR (z angl. High Dynamic Range) metoda,
- metoda světelných masek v programu Adobe Photoshop.

Použití jednotlivých metod má vliv na pořizování snímku. Pro první je potřeba pořídit snímek pouze s jednou expozicí. Pro zbylé dvě metody je vhodné pořídit více snímků s různým expozičním časem. Z toho vyplývá, že tyto dvě metody vyžadují použití stativu během snímkování (z důvodu vyloučení pohybu fotoaparátu během snímkování) a rovněž jsou časově náročnější – pořízení snímků trvá delší dobu, stejně tak jako následný postprocesing.

Danou metodu je tedy vhodné vybírat již během pořizování snímku na základě odhadovaného rozsahu snímání scény/objektu. Například, pokud budeme mít během snímkování konstantní světelné podmínky s dostatečně měkkým (rozptýleným) světlem, které nevytváří tvrdé stíny, odpadá nutnost řešit následné zvyšování dynamického rozsahu snímku během zpracování.

Z hlediska hodnocení snímku pro účely fotogrammetrického zpracování, jsou pro zvýšení dynamického rozsahu snímku vhodné poslední dvě zmíněné metody, a sice metoda HDR a metoda světelných masek. Hlavním důvodem je, že během jejich aplikace na snímek se nezvyšuje množství digitálního šumu. To je způsobeno tím, že podexponovaná a přeexponovaná místa na snímku se středovou expozicí (tj.  $\pm 0$  EV) jsou nahrazena přímo částmi snímků z odsazených expozic (např.: -2 EV, +2 EV apod.). Tudíž není žádný důvod ke vzniku digitálního šumu, který ovlivňuje výsledky fotogrammetrického zpracování – v tomto případě metodu optické korelace.

Všechny následující metody jsou různě náročné na čas a rovněž i na potřebné znalosti. U každé metody je popsán celý postup, zobrazeny snímky před úpravou a po následné úpravě. U metody HDR a metody využívající světelné masky je v závěru každé kapitoly ještě popsán postup pro automatizaci celého postupu, který výrazně zkrátí dobu potřebnou k úpravě všech vstupních snímků. V závěru této kapitoly jsou pak srovnány snímky upravené jednotlivými metodami.

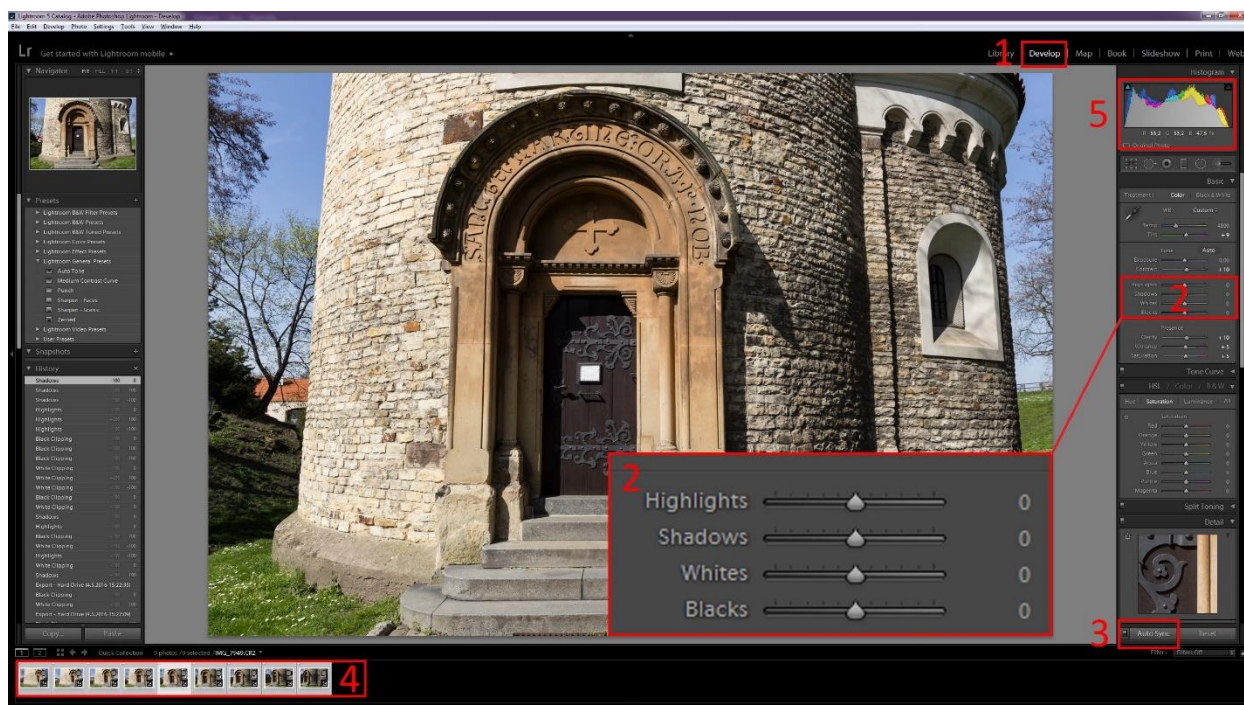
### 5.1.1 Nástroje v programu Adobe Lightroom

Tato metoda zvyšování dynamického rozsahu snímku patří mezi ty úplně základní. Hlavní výhodou je malá časová náročnost – stačí pořídit pouze jeden snímek se správnou expozicí a veškeré úpravy provést již během základních úprav. Hlavní nevýhodou tohoto postupu je zvyšování množství digitálního šumu na snímku.

Jak již vyplývá z názvu podkapitoly, tato metoda se provádí v programu Adobe Lightroom. Prvním nástrojem jsou funkce *shadows* (stíny) a *highlights* (světla). Fungují základě automatického výběru podexponovaných a přeexponovaných míst a jejich následné redukci (snížení nebo zvýšení jasu v daných místech). Druhým nástrojem jsou funkce *blacks* (černá) a *whites* (bílá). Ty pracují na základě posunutí bílého nebo černého bodu histogramu – snižují množství černé (RGB 0, 0, 0) a bílé (RGB 255, 255, 255) na snímku.

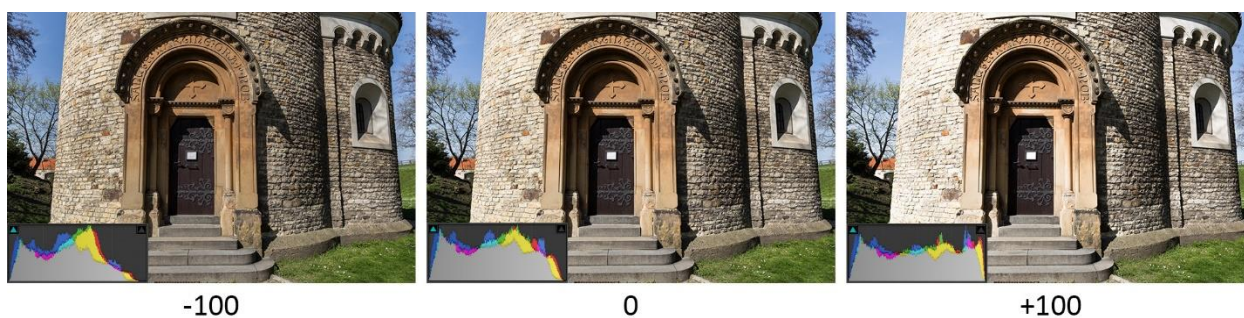
#### 5.1.1.1 Postup úprav

Nástroje (2) pro zvýšení dynamického rozsahu se nalézají v záložce *Develop* (vyvolat, 1). Ideální je použít tyto funkce po nastavení všech ostatních (základních) úprav. Je vhodné mít během úprav označené všechny snímky (4) a zapnutou funkci *Auto Sync* (automatická synchronizace, 3), která provádí úpravy souběžně na všech snímcích z jedné sady. Vliv úprav na snímku můžeme rovněž pozorovat na histogramu snímku (5). Čísla v závorkách odpovídají číslům na obrázku číslo 5.1.



Obr. 5.1: Nástroje na zvýšení dynamického rozsahu v programu Lightroom (zdroj: autor)

Prvním posuvníkem se ovládá funkce *Highlights* (světla), která na snímku eliminuje (-) nebo naopak zesvětluje (+) přexponovaná místa. Na obrázku 5.2 je vidět, jak funkce pracuje, včetně vlivu na histogram daného snímku. Funkci lze nastavit stejně jako všechny ostatní v hodnotách od -100 do +100. Všechny ukázkové snímky jsou rovněž součástí přílohy A - DVD.



Obr. 5.2: Ukázka funkce *Highlights* v programu Lightroom (zdroj: autor)

Další posuvník ovládá funkci *Shadows* (stíny), která je opakem první zmíněné funkce. Jejím účelem je prosvětlit (+) stíny nebo v opačném případě je ještě více ztmavit (-). Její efekt je znázorněn na obrázku 5.3 – opět jsou zobrazeny krajní hodnoty a základní snímek bez úprav.

Obr. 5.3: Ukázka funkce *Shadows* v programu Lightroom (zdroj: autor)

Třetím posuvníkem se nastavuje funkce *Whites (Bílá)*, která posouvá hranici bílé barvy histogramu v hodnotách -100 až 100. Hodnota 0 je implicitní dle histogramu daného snímku. Od krajní hodnoty směrem doleva (k hodnotě -100) ubývá na snímku množství pixelů s bílou barvou. Směrem doprava (k hodnotě +100) na snímku naopak bílé přibývá. Na obrázku 5.3 je vidět efekt dané funkce a její vliv na histogram.

Obr. 5.4: Ukázka funkce *Whites* v programu Lightroom (zdroj: autor)

Poslední funkce je *Blacks (Černá)*, která je opět opakem k předchozí funkci. Hodnota 0 je opět implicitní dle histogramu snímku. Směrem doleva (k hodnotě -100) na snímku přibývá pixelů s černou barvou. Druhým směrem (k hodnotě +100) černé barvy naopak ubývá. Na obrázku 5.4 je vidět efekt dané funkce a její vliv na histogram.

Obr. 5.5: Ukázka funkce *Blacks* v programu Lightroom (zdroj: autor)

### 5.1.1.2 Výsledky metody

Pro zvýšení dynamického rozsahu snímku je vhodné použít všechny čtyři funkce. Prosvětlením stínů a zároveň snížením jasu v přeexponovaných místech, roste dynamický rozsah daného snímku. Na obrázku 5.6 je porovnání základního snímku se snímekem po úpravách výše zmíněnými nástroji. Z důvodu vysokého dynamického rozsahu scény byly použity krajní hodnoty funkcí. Veškeré snímky v plném rozlišení upravené touto metodou jsou rovněž součástí přílohy A - DVD.



Bez úprav

Po úpravě

Obr. 5.6: Porovnání základního snímku před a po úpravě pomocí nástrojů pro zvýšení dynamického rozsahu programu Lightroom (zdroj: autor)

Jak již bylo řečeno, hlavní nevýhodou této metody je nárůst množství digitálního šumu na snímku. To může při fotogrammetrickém zpracování způsobovat hrubé chyby při výpočtu modelu. Na obrázku 5.7 je srovnán výstup této metody s metodou světelných masek. Na obrázku je zřetelně vidět markantní nárůst digitálního šumu.



Nástroje programu Lightroom

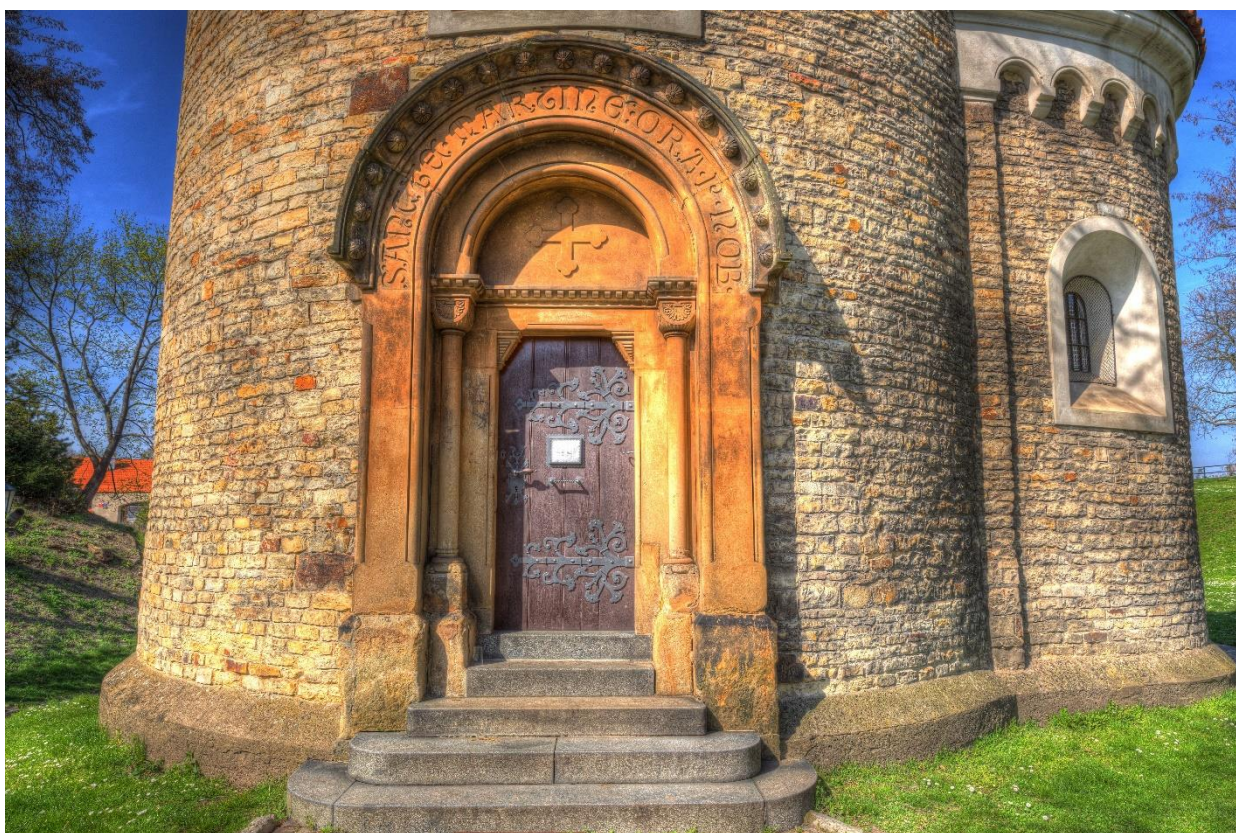
Metoda světelných masek

Obr. 5.7: Ukázka nárůstu digitálního šumu při použití nástrojů Lightroom oproti metodě světelných masek (zdroj: autor)

### 5.1.2 HDR snímky v programu Photomatix

V digitální fotografii HDR označuje techniku skládání více snímků téže scény, pořízených ve stejnou dobu, ale s různými expozičními dobami. Cílem je složit z nich jeden výsledný snímek tak, aby v něm byly současně vidět detaily podexponovaných i přeexponovaných míst.

Programů, které umí vytvářet snímky metodou HDR je v dnešní době hodně. Pro účely této práce byl vybrán program Photomatix od firmy HDRsoft. Vybrán byl proto, že nabízí širokou škálu nastavení úprav, stejně tak jako automatizaci celého procesu. Výsledky upravené v tomto programu vypadají věrohodně – některé programy mají tendenci ze snímků dělat spíše „malované“ obrázky, které nejsou pro fotogrammetrické účely vhodné. Viz. obrázek 5.8.

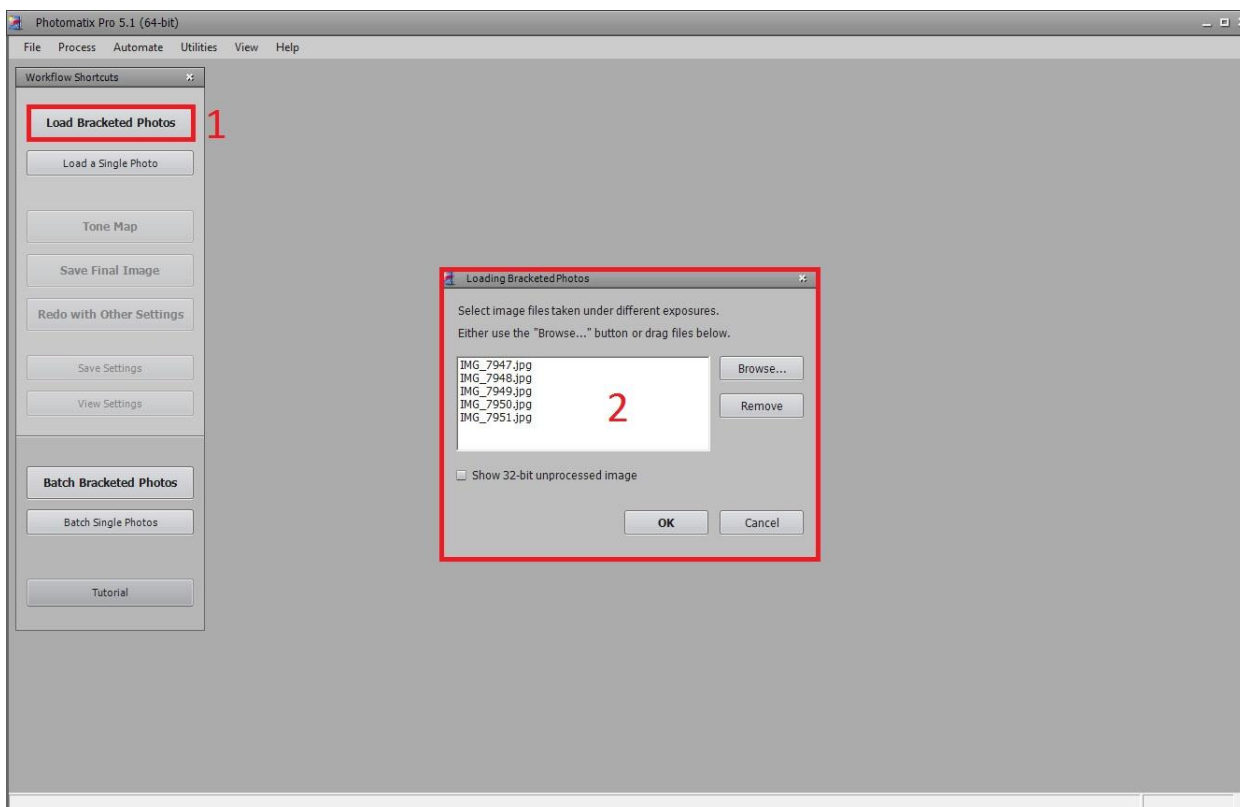


Obr. 5.8: Nevhodný snímek upravený metodou HDR (zdroj: autor)

Hlavní výhodou této metody je její výsledný snímek – s vysokým dynamickým rozsahem a vysokým kontrastem. Další výhodou je možnost automatizace celého procesu. Nevýhodou je nutno pořízením více snímků s různou expoziční dobou – s tím souvisí nutnost použití kvalitního fotografického stativu, který zajistí, aby se snímač během snímkování na jednom stanovišti nepohnul. V opačném případě jsou výsledky nepoužitelné pro fotogrammetrické účely.

### 5.1.2.1 Postup úprav

Po otevření programu je nutné prvně načíst snímky, které chceme upravit. To provedeme tlačítkem *Load Bracketed Photos* (načíst skupinu snímků, 1). Následně v dialogovém okně (2) tlačítkem *Browse* (listovat) vybereme vstupní snímky (obrázek 5.10). Následně potvrdíme tlačítkem *OK*. Čísla v závorkách odpovídají popiskům na obrázku číslo 5.9.



Obr. 5.9: Otevření snímků v programu Photomatix (zdroj: autor)

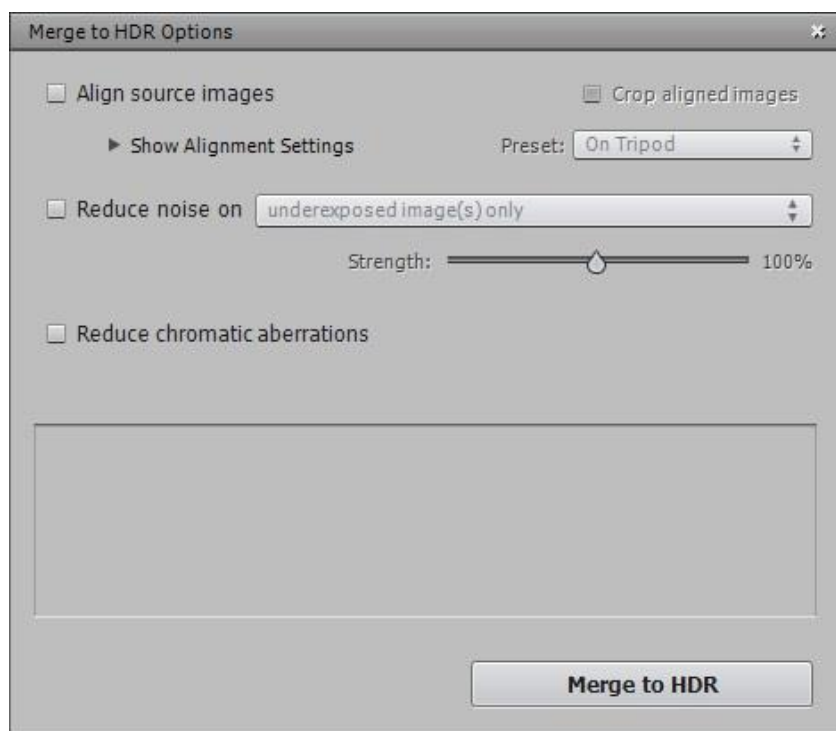


Obr. 5.10: Vstupní snímky s různou expoziční dobou (stanovisko 5, zdroj: autor)

Následně se otevře okno (obrázek 5.11) s parametry sestavení snímků do jednoho s vysokým dynamickým rozsahem. Z hlediska fotogrammetrie je důležité nechat všechny možnosti nezaškrtnuté. Možnost *Align source images* (zarovnat zdrojové snímky) by změnila geometrický tvar jednotlivých snímků – z tohoto důvodu se snímky pořizují právě z pevného stativu. Funkcí *Reduce noise on* (redukovat šum) se na snímku redukuje množství digitální šumu, který potlačíme během

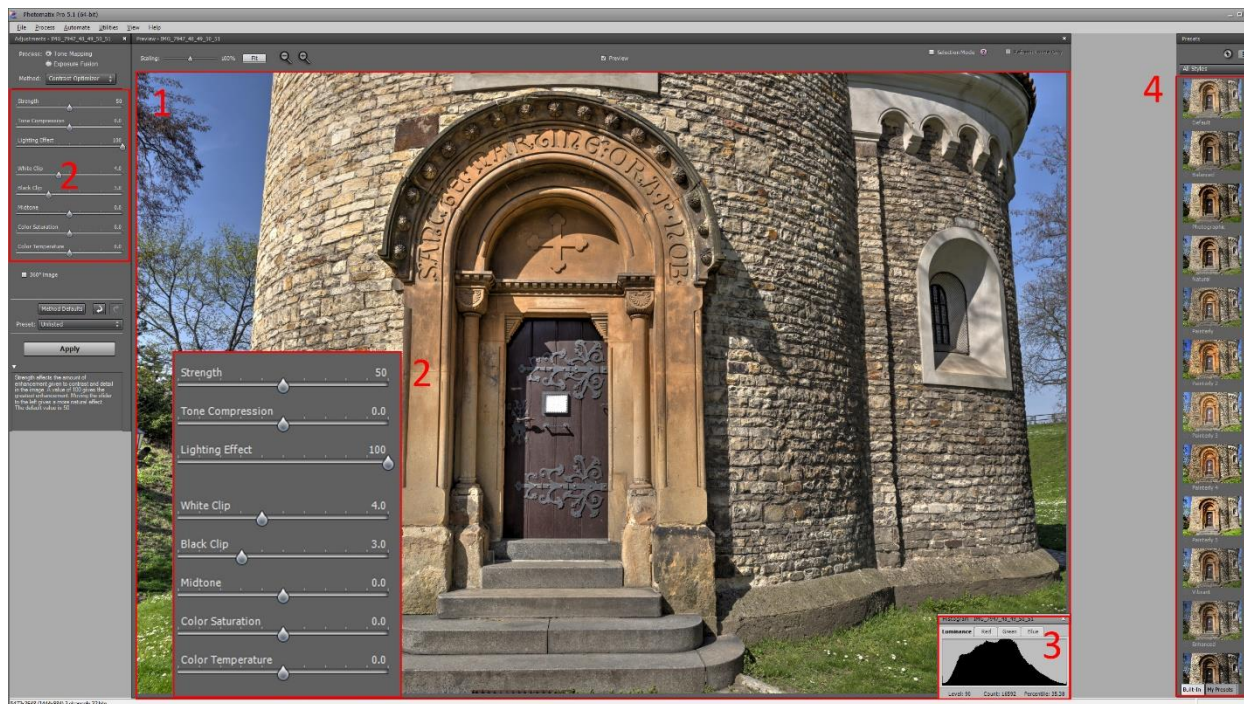


pořizování snímku, a sice použití co nejmenší hodnoty ISO. Funkce *Reduce chromatic aberrations* (*redukce chromatické aberace*) není v této fázi zpracování důležitá – chromatickou aberaci na snímcích je vhodnější odstranit již během základní úprav podkladových snímků. Snímek s vysokým dynamickým rozsahem se vytvoří po kliknutí na tlačítko *Merge to HDR* (*spojit do HDR*).



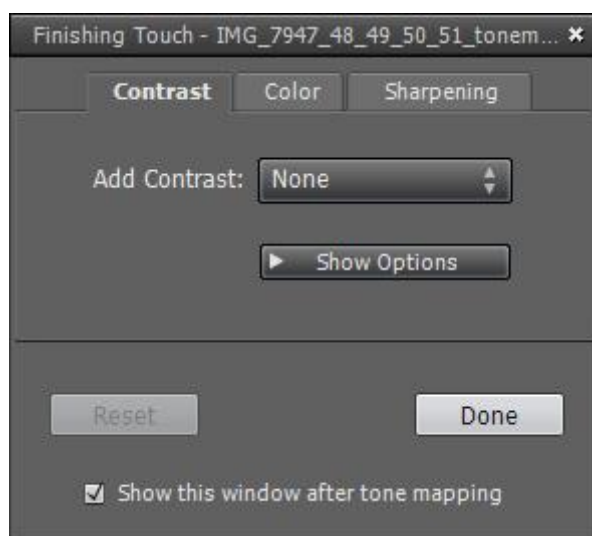
Obr. 5.11: Nastavení procesu složení snímku metodou HDR  
v programu Photomatix (zdroj: autor)

V hlavním okně (1) se otevře výsledný složený snímek. V levém dolním rohu je vidět rovněž jasový histogram (3) daného snímku. V pravém sloupci jsou přednastavené možnosti úprav daného snímku. Z fotogrammetrického hlediska jsem zvolil možnost *Balanced* (*vyrovnaný*), která nabízí věrný kontrastní snímek. Ostatní možnosti bych spíše volil jako vhodné pro použití v kreativní fotografii. Po vybrání daného přednastavení lze ještě snímek dopracovat funkcí v levém postranním panelu (2). Z hlediska účelů fotogrammetrie jsou důležité pouze první tři funkce. První z nich *Strength* (síla) nastavuje sílu efektu na daný snímek – tuto jsem na stavil na 50. Při vyšších hodnotách již rostlo množství digitálního šumu. Druhá funkce *Tone Compression* (*Barevná komprese*) byla ponechána na hodnotě 0 z důvodu vizuálně nejlepšího výsledku. Poslední možnost nastavení je *Lightning effect* (*světelný efekt*) – zde byla nastavena hodnota nejvyšší, tedy 100, z důvodu většího prosvětlení stínů. Tlačítkem *Apply* (*aplikovat*) aplikujeme úpravy na daný snímek.



Obr. 5.12: Snímek s vysokým dynamickým rozsahem složený z podkladových snímků v programu Photomatix (zdroj: autor)

Následné dialogové okno (obrázek 5.13) bylo ponecháno na implicitních hodnotách. Z hlediska fotogrammetrie není vhodné přidávat snímku kontrast nebo jej doostřovat (tyto úpravy se provádějí již během základních úprav). Tlačítkem *Done* (*hotovo*) byl uložen finální snímek.



Obr. 5.13: Výsledné uložení snímku v programu Photomatix (zdroj: autor)

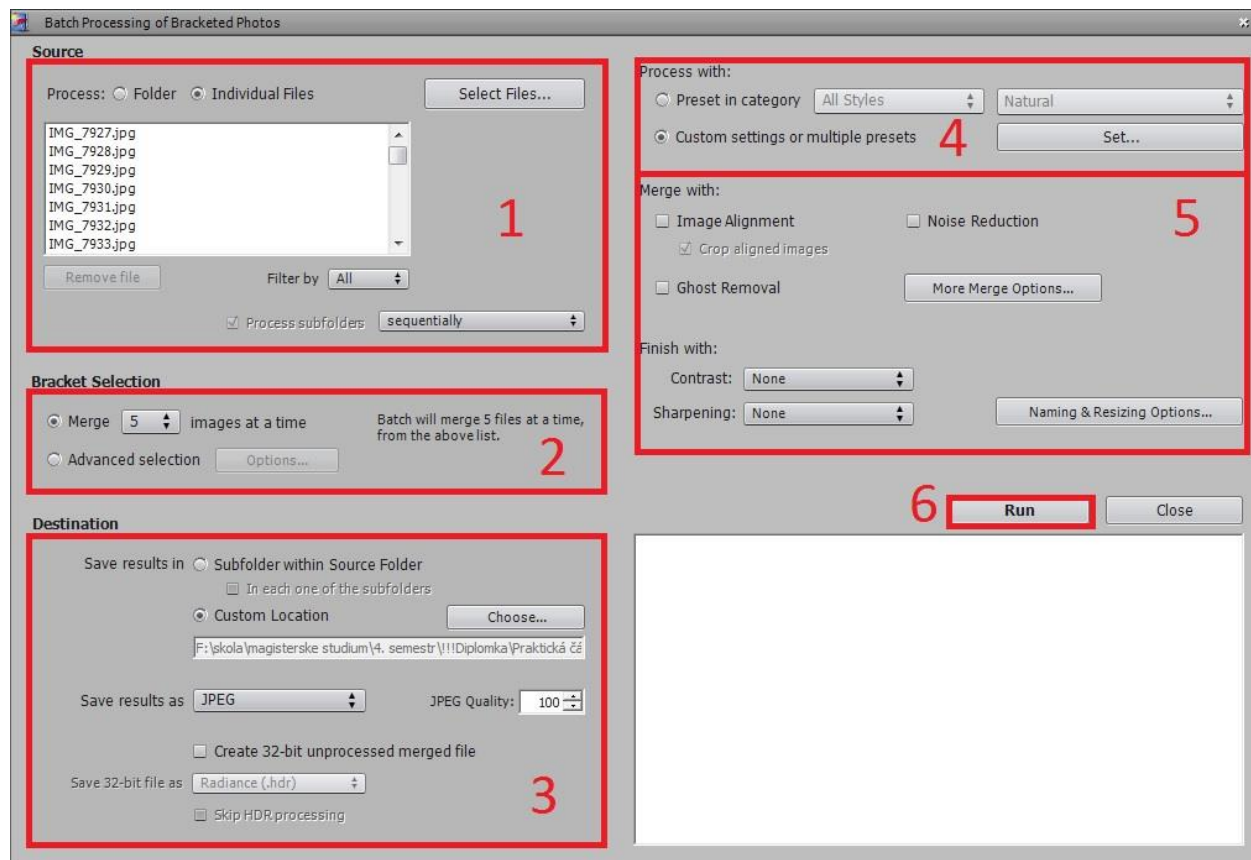
Z důvodu většího množství jednotlivých kroků bylo vytvořeno přehledné schéma celého postupu, které je zobrazeno v příloze I.



### 5.1.2.3 Proces automatizace

Velkou výhodou programu Photomatix oproti konkurenčnímu software je možnost automatizace úprav. To znamená, že můžeme upravit všechny snímky naráz pomocí dávkového zpracování. Tato funkce se v programu Photomatix zapíná v záložce *Automate (automatizace)* položkou *Batch processing (dávkové zpracování)*. Abychom měli kontrolu nad výsledkem, je důležité upravit snímky z jednoho stanoviska a toto nastavení si uložit a následně použít během dávkového zpracování.

Následně se otevře dialogové okno (obrázek 5.16 – čísla odpovídají číslům v závorkách). Nejdříve je potřeba zvolit snímky/složku (1), které je potřeba dávkově upravit. Následně nastavíme počet snímků, které byly na daném stanovisku pořízeny. V tomto případě bylo pořízeno vždy pět snímků (obrázek 5.10 výše). Další položkou je nastavení cílové složky, kam se budou výsledné snímky ukládat (3). Rovněž je potřeba nastavit požadovaný formát (v tomto případě JPEG s kvalitou 100%). Dalším krokem je nastavení parametrů procesu (4) – bylo vybráno nastavení, které je popsáno v předchozí části kapitoly. V poslední části nastavení (5) nechám vše nezatržené – všechny položky jsou nežádoucí pro využití ve fotogrammetrii. Dávkový proces spustíme tlačítkem *Run (spustit, 6)*.



Obr. 5.16: Dialogové okno s nastavením automatizace v programu Photomatix (zdroj: autor)

### 5.1.3 Světelné masky v programu Photoshop

Metoda světelných masek je ze všech uvedených způsobů nejnáročnější. To platí jak pro snímkování, kde je potřeba pořídit více expozičních, tak pro zpracování, které je časově nejnáročnější. Jejich nespornou výhodou je výsledná kvalita obrazu, minimální nárůst digitálního šumu na snímku a možnost upravovat snímky s velice vysokým dynamickým rozsahem.

Autorem metody světelných masek je americký fotograf Tony Kuyper, který tyto světelné masky začal používat nejspíše jako první. Více informací o tomto autorovi a o světelných maskách jako takových naleznete na jeho webové stránce, [18].

Světelné masky lze použít pouze v programu Adobe Photoshop, který umožňuje výbornou práci s vrstvami a barevnými kanály, které jsou pro tuto metodu nezbytné. Principem světelných masek je automatický výběr pixelů na snímku na základě jejich hodnoty jasu. Výběr přímo souvisí s histogramem daného snímku. Nejjasnějším (přeexponovaným) místům na snímku se přiřadí bílá barva (RGB - 255, 255, 255) a nejtmašším místům se přiřadí barva černá (RGB - 0, 0, 0). Veškerým ostatním pixelům se přiřadí hodnota ze stupnice šedi (RGB - x, x, x, kde  $x \in (0, 255)$ ).

Takto vytvořená maska určuje, krytí dané vrstvy – bílá barva znamená 100% krytí a barva černá 0% krytí. Veškeré hodnoty mají hodnotu krytí přímo úměrnou jejich hodnotě na stupnici šedi. Na obrázku 5.17 je ukázka takové masky (*konkrétní maska pro stíny*). Ty části, které se blíží barvou k bílé, mají vyšší krytí než části tmavé – z toho vyplývá, že čím světlejší je barva daného pixelu – tím je krytí vyšší. Výsledkem je tedy o maska s plynulým přechodem krytí.

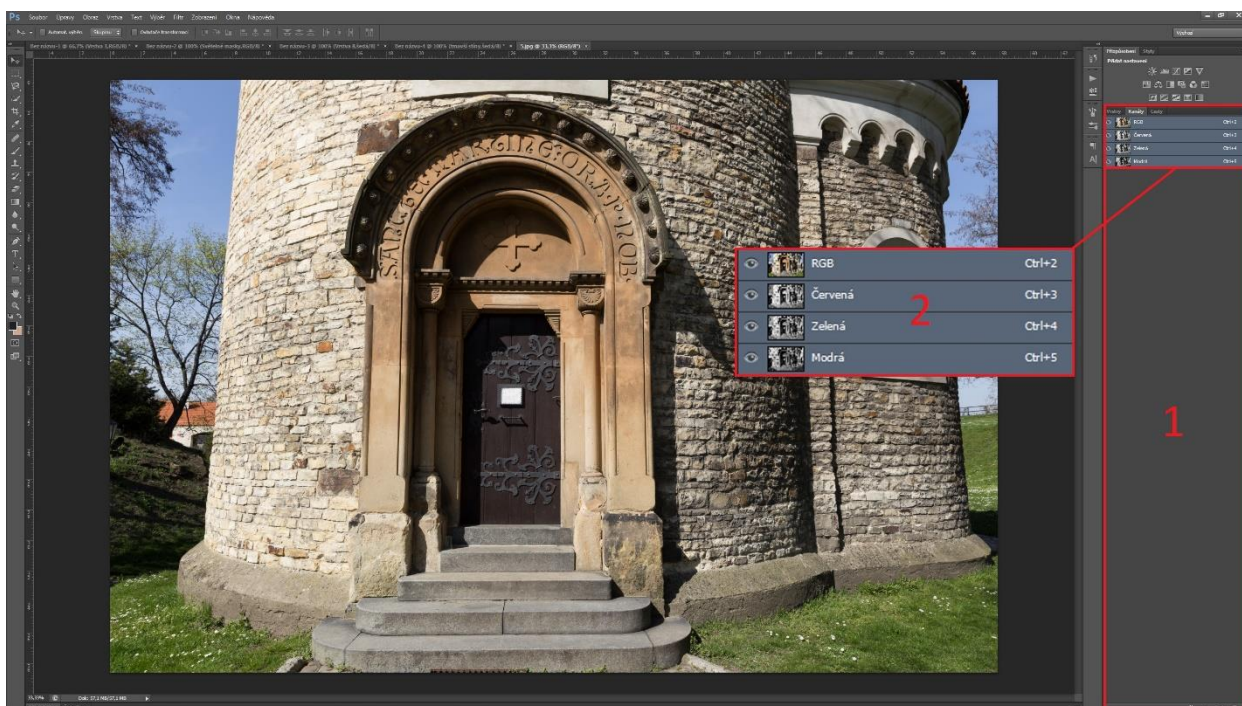


Obr. 5.17: ukázka světelné masky určující krytí na snímku (zdroj: autor)

Je vhodné zmínit, že pomocí světelných masek lze zvýšit dynamický rozsah snímku i z jednoho jediného snímku. Tato metoda je ovšem nevhodná pro fotogrammetrické účely – při jejím použití roste množství digitálního šumu na snímku a funguje obdobně jako nástroje programu Lightroom. Je tedy časově náročná a výsledky jsou shodné jako při použití nástrojů programu Lightroom. Pro účely této práce tedy byla použita kombinace obou metod, kdy stíny byly vloženy z odlišně exponovaného snímku a mírně přexponovaná místa upraveny pomocí křivek.

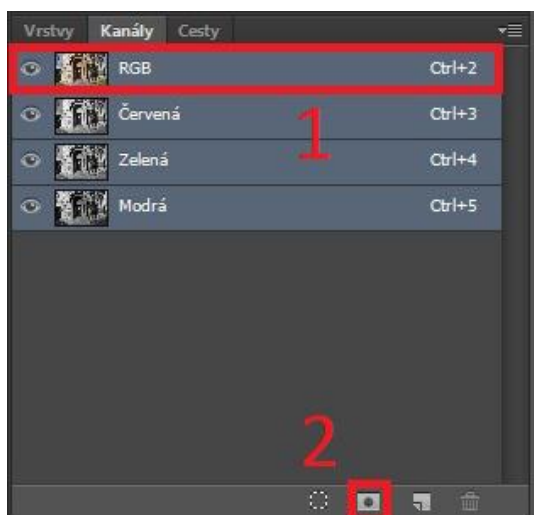
### 5.1.3.1 Postup úprav

Úpravy se provádí na snímku se středovou expozicí ( $\pm 0$  EV). Pro úpravy dynamického rozsahu snímku pomocí světelných masek v programu Photoshop je důležitý pouze pravý sloupec (1), na kterém nalezneme záložky *Vrstvy (layers)* a *Kanály (Channels)*, na které jsou jednotlivé barevné kanály (2) – kanál RGB, Červený (red), Zelený (green) a Modrý (Blue). Na obrázku 5.18 je zobrazeno okno programu Photoshop s číselným označením výše uvedených položek.

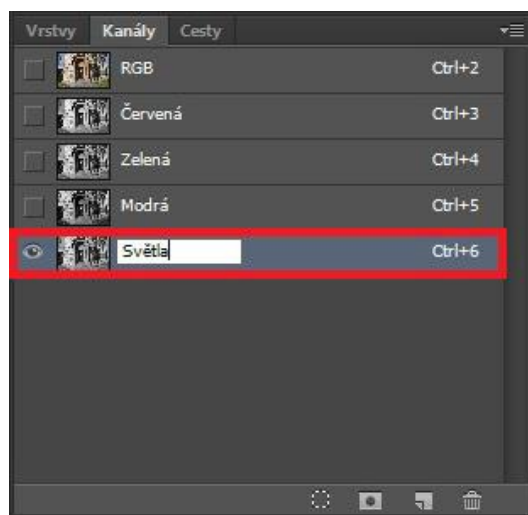


Obr. 5.18: Pracovní okno programu Adobe Photoshop s otevřeným (zdroj: autor)

Prvním krokem je vytvoření samotných světelných masek pro světla na snímku. První masku vytvoříme podržením tlačítka Ctrl a kliknutím na zmenšeninu snímku v kanálu RGB (1). Tímto se provede výběr na základě hodnot jasů daného snímku. Kliknutím na tlačítko (2) se kanál s výběrem uloží. Na obrázku 5.19 jsou znázorněny oba kroky. Následně je vhodné si výsledný kanál přejmenovat – například jako na obrázku 5.20.

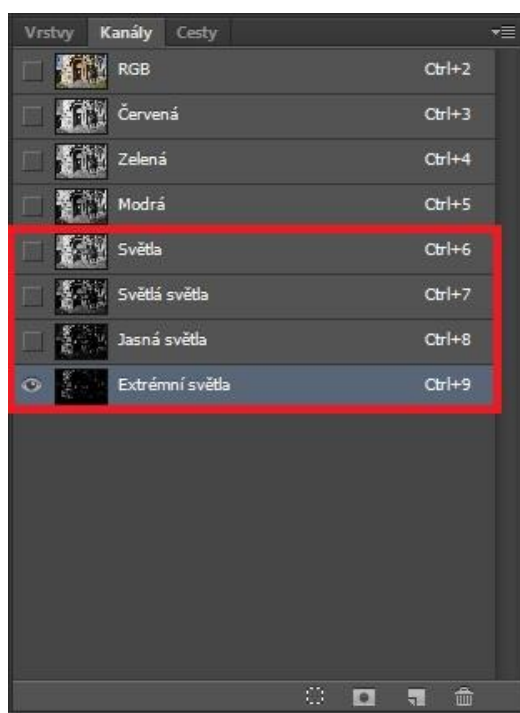


Obr. 5.19: Tvorba světlé masky z kanálu RGB (zdroj: autor)



Obr. 5.20: Vhodné přejmenování vytvořeného kanálu (zdroj: autor)

Dalším krokem je vytvoření masky pro světlejší oblasti se provede podržením tlačítek *Ctrl + Shift + Alt* a kliknutím na kanál vytvořený v předchozím kroku. Tato funkce udělá průsečík s předchozím kanálem. Kanál opět uložíme tlačítkem (obrázek 5.19, 2). Tento postup se nadále opakuje (vždy se udělá průsečík s kanálem vytvořeným v předchozím kroku. Počet světlých masek záleží na dynamickém rozsahu konkrétního snímku. Ve většině případů stačí 4 světlé masky. Výsledek je vidět na obrázku 5.21. Jednotlivé výsledné masky jsou pak zobrazeny na obrázku 5.22.

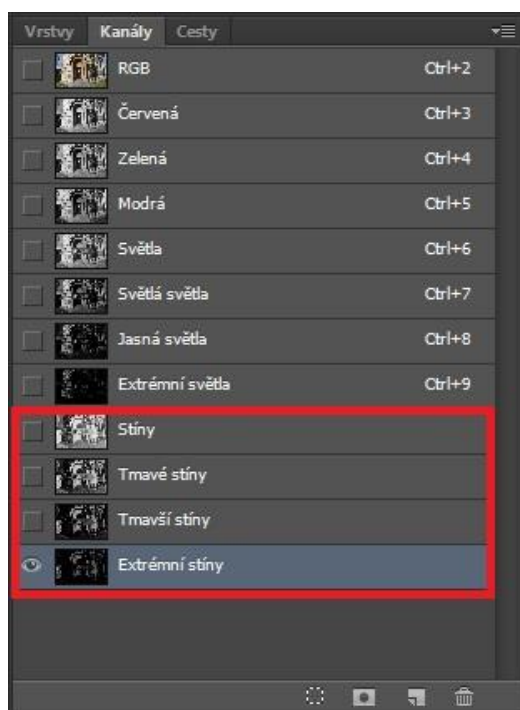


Obr. 5.21: Výsledné světlé masky pro světla na snímku (zdroj: autor)

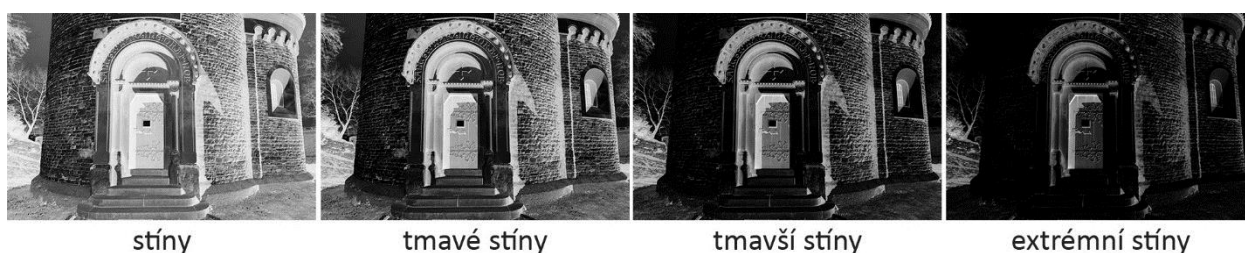


Obr. 5.22: Výsledné světelné masky pro světla - detail (zdroj: autor)

Třetím krokem je vytvoření světelných masek pro stinné oblasti. Vytvoří se opět podržením tlačítka **Ctrl** a kliknutím na kanál **RGB**. Tím je vytvořena maska pro světla. Stisknutím kláves **Shift + Ctrl + I** provedeme inverzi daného výběru. Tím vznikne první světelná maska pro stíny. Ostatní se vytvoří opět pomocí průsečíků s předchozími kanály. Na obrázku 5.23 je vidět opět výsledek a jednotlivé světelné masky pro stíny jsou na obrázku 5.24.



Obr. 5.23: Výsledné světelné masky pro stíny na snímku (zdroj: autor)



Obr. 5.24: Výsledné světelné masky pro stíny - detail (zdroj: autor)

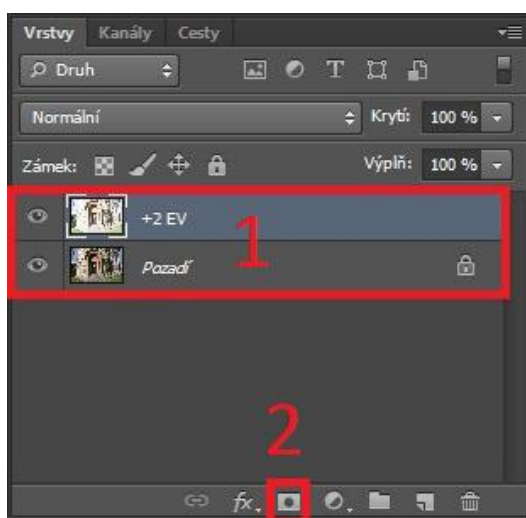


Po vytvoření světelných masek pro stíny a světla následuje editace samotného snímku. Prvním krokem bylo zhodnocení vstupních snímků. Pro zesvětlení stínů byl jako zdrojový snímek vybrán přeexponovaný s hodnotou expozice +2 EV. Vybrán byl z důvodu dostatečného množství detailů a malého množství stínů vstupním portálem objektu. Dále bylo usouzeno, že snímek se středovou expozicí neobsahuje velké množství přeexponovaných míst, které by bylo nutné použít z podexponovaných snímků (-2 EV a -1 EV). Tato místa byla upravena následně pomocí křivek viz. níže. Oba vstupní snímky jsou zobrazeny na obrázku 5.25.



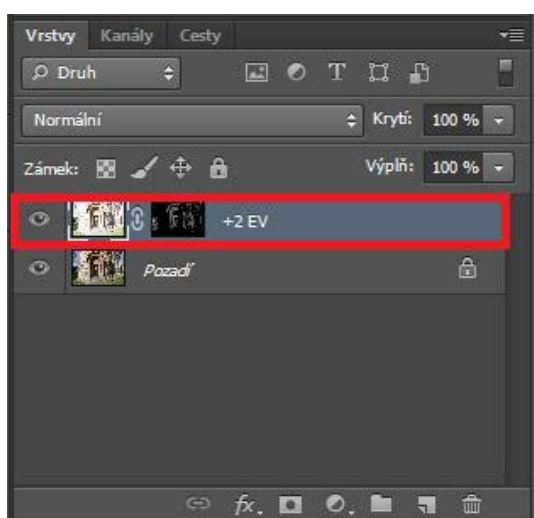
Obr. 5.25: Vstupní snímky pro úpravu metodou světelných masek (zdroj: Autor)

Dalším krokem je otevření přeexponovaného snímku (+2 EV) a jeho následném zkopírování do předchozího okna (projektu) – snímek se středovou expozicí. To se provede nejdříve jeho výběrem klávesami Ctrl + A, zkopírováním Ctrl + C a vložení do předchozího projektu klávesami Ctrl + V. Následně pro lepší orientaci je vhodné vrstvu se snímkem přejmenovat (obrázek 5.26, 1).

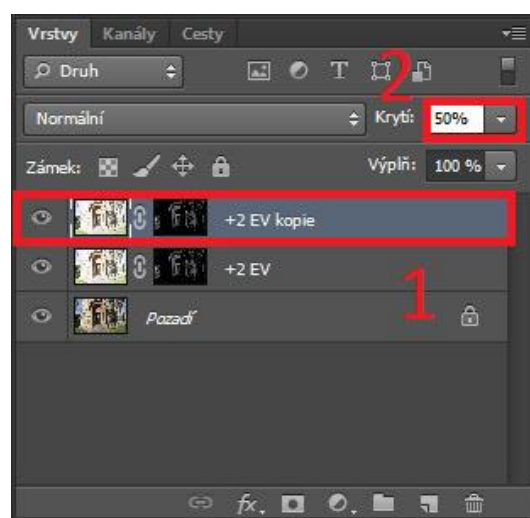


Obr. 5.26: Vrstvy s podkladovými snímky (zdroj: autor)

Jelikož nyní potřebujeme na snímku upravit stíny, vybereme nevhodnější světelnou masku pro stíny. V tomto případě byla zvolena maska *Extrémní stíny* a to z důvodu, že na snímku byla oblast dveří velice tmavá. V záložce *Kanály* tedy vybereme danou masku podržením klávesy Ctrl a kliknutím na příslušný kanál. Následně výběr aplikujeme pomocí tlačítka (obrázek 5.26, 2). v tuto chvíli se každému pixelu z přeexponovaného snímku nastavilo požadované krytí a stíny jsou prosvětleny. Výsledná vrstva s její maskou je na obrázku 5.27. Stíny byly však stále trochu tmavé a z toho důvodu byla tato vrstva duplikována pomocí držení kláves Ctrl + J. Následně bylo sníženo krytí (obrázek 5.28, 2) této vrstvy (1) na 50%. Po této úpravě byly stíny již světlé a obsahovaly velké množství detailů.

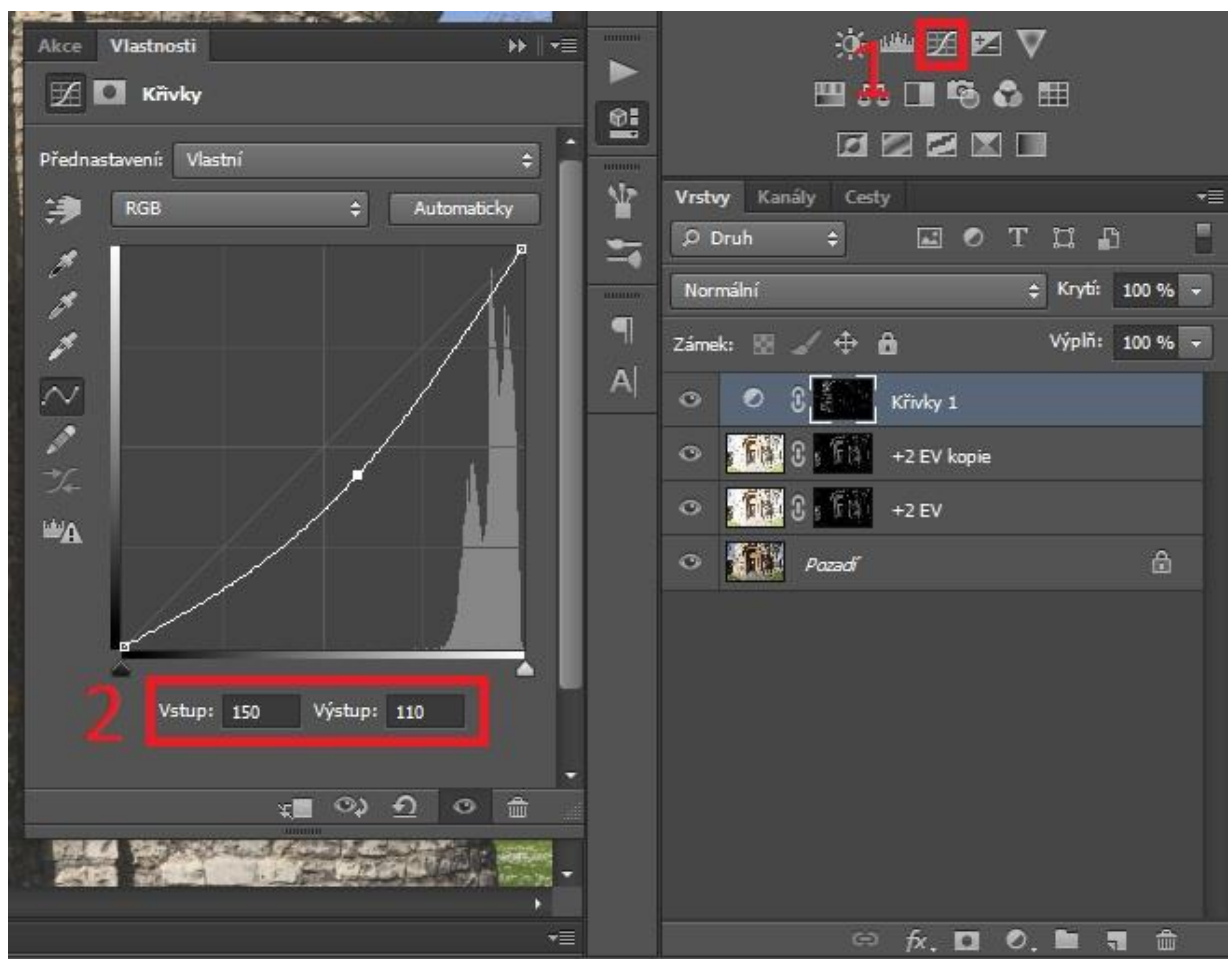


Obr. 5.27: Přeexponovaný snímek s příslušnou maskou (zdroj: autor)



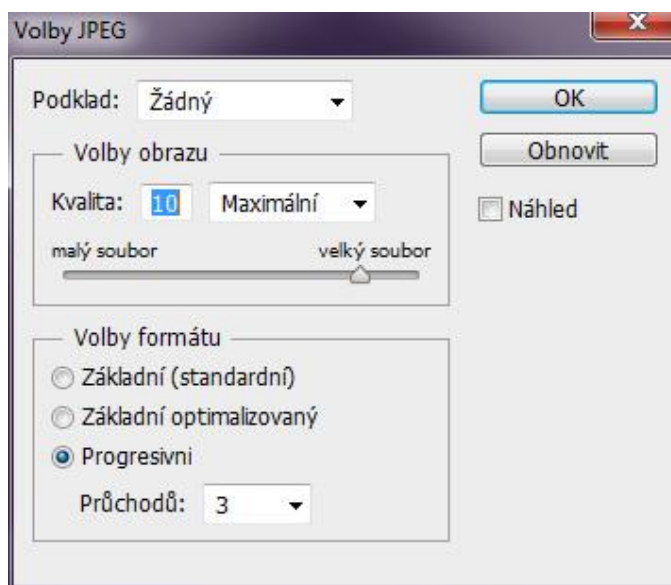
Obr. 5.28: Duplikovaná vrstva s 50% krytím (zdroj: autor)

Posledním krokem byla úprava světlých míst na snímku. Opět byl proveden výběr nevhodnější světelné masky pro světla – zvolena byla světelná maska *Extrémní světla* – bylo potřeba upravit pouze ty nejjasnější místa, který snímek obsahuje málo. Po provedení výběru, stejným způsobem, jako v předchozím kroku byl spuštěna funkce *Křivky* (*Curves*, 1). Pomocí této funkce byl upraven jas daných oblastí. Nastaveny byly hodnoty *Vstup (input)* 150 a *Výstup (Output)* 110. Čísla v závorkách odpovídají číslům na obrázku 5.29.



Obr. 5.29: Úprava přexponovaných míst pomocí funkce *Křivka* (zdroj: autor)

Výsledný snímek byl uložen pomocí klávesové zkratky Ctrl + Shift + S. Jako výstupní formát byl zvolen JPEG s maximální kvalitou (100%). Nastavení komprese je zřejmé z obrázku 5.30.



Obr. 5.30: Dialogové okno s nastavením parametrů formátu JPEG (zdroj: autor)

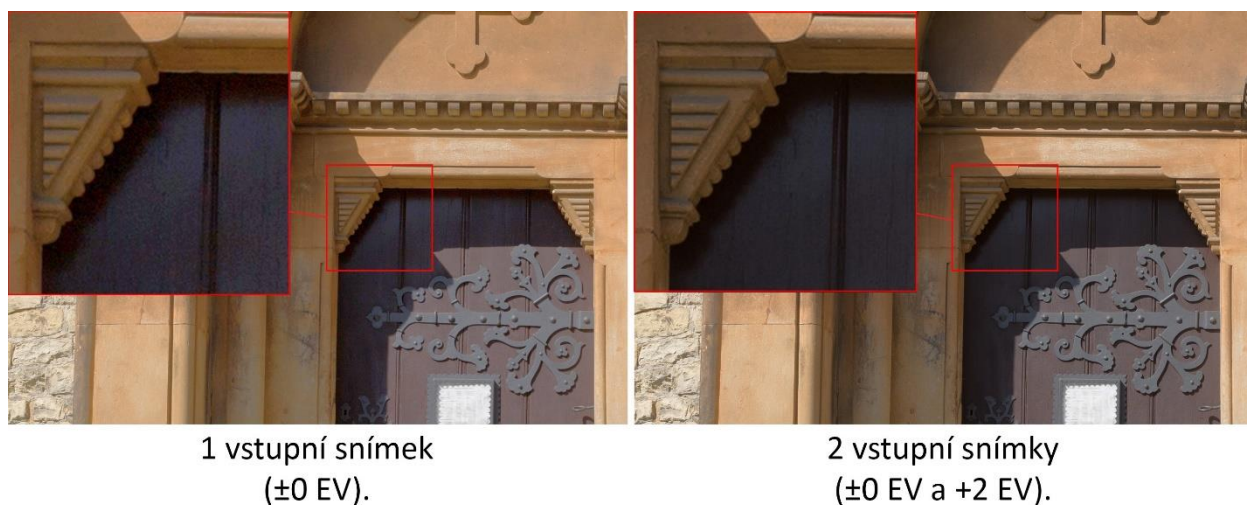
### 5.1.3.2 Výsledky metody

Na obrázku 5.31 je opět srovnán snímek se středovou expozicí s výsledným snímkem zpracovaným pomocí metody světelných masek. Opět je vidět výrazné zvýšení dynamického rozsahu snímku. Snímek také obsahuje ve srovnání s předchozími nejmenší množství digitálního šumu a přibližuje se nejvíce realitě, která byla pozorována lidským okem během snímkování.



Obr. 5.31: Porovnání snímku před a po úpravě metodou světelných masek (zdroj: autor)

Snímek byl rovněž v rámci testování upraven pouze z jednoho vstupního snímku se středovou expozicí ( $\pm 0$  EV) pomocí funkce *Křivky*. Z obrázku 5.32 je zřejmé, že výstup z 1 vstupního snímku obsahuje ztlačeně více digitálního šumu. Rovněž je kontrast výsledného snímku menší, což je pro metodu optické korelace nevhodné. Všechny výsledné snímky jsou součástí přílohy A - DVD.



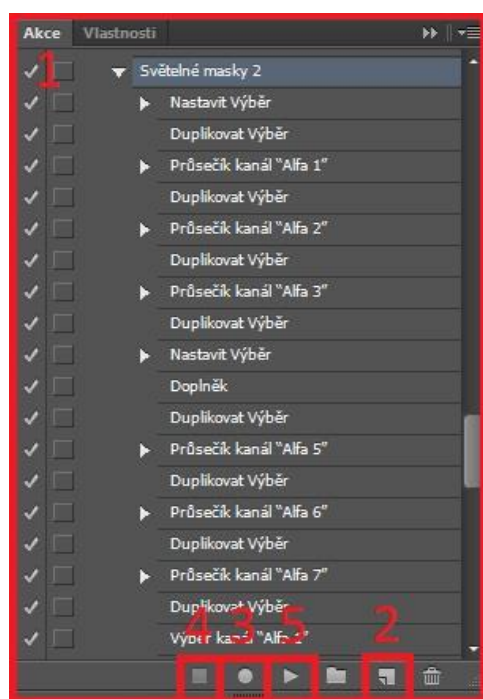
Obr. 5.32: Detaily snímků z různých vstupních snímků (zdroj: autor)

Z důvodu většího množství jednotlivých kroků bylo vytvořeno přehledné schéma celého postupu, které je zobrazeno v příloze J.

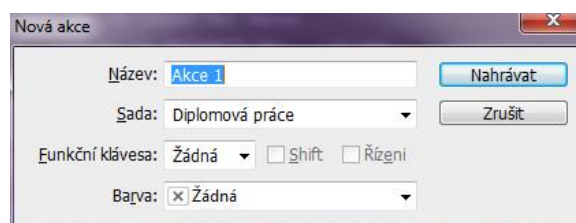
### 5.1.3.3 Proces automatizace

Samotný postup světelných masek je relativně náročný na čas. Proto je vhodné ho co nejvíce automatizovat. Ideálním nástrojem v programu Photoshop jsou tzv. *Akce (Actions)*, které umožní nahrát a uložit provedený postup krok za krokem. U prvního snímku z prvního stanoviska tedy provedeme celý postup, který nahrajeme a následně aplikujeme na všechny ostatní snímky.

Prvním krokem je zapnout funkci *Akce* klávesovou zkratkou Alt + F9. Následně se otevře panel nástrojů (1). *Akce* se vytvoří kliknutím na tlačítko (2). Následně se otevře dialogové okno (obrázek 5.34), ve kterém zvolíme název a *Sadu (set)* – skupina podobných akcí. Poté tlačítkem (3) spustíme nahrávání a začneme upravovat daný snímek. Po dokončení úprav klikneme na tlačítko (4) pro ukončení nahrávání a akce se sama uloží. Uložená akce se spouští ikonou (5).



Obr. 5.33: Panel nástrojů funkce *Akce* v programu Photoshop (zdroj: autor)



Obr. 5.34: Dialogové okno pro vytvoření nové akce (zdroj: autor)

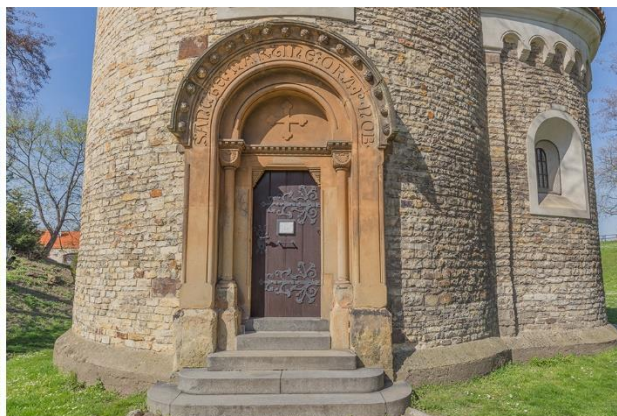
Pro zpracování této práce byly vytvořeny dvě akce. První vytvořila na libovolném snímku všechny světelné masky – jak pro světla, tak pro stíny. Druhá akce byla vytvořena pro kompletní úpravu snímku z jednoho stanoviska. Jediné co bylo provedeno manuálně bylo zkopírování a vložení přeexponovaného snímku na základní ( $\pm 0$  EV). Následně byla spuštěna celá akce, která provedla postup krok za krokem, a výsledný snímek byl uložen ve formátu JPEG. Tímto způsobem bylo ušetřeno cca 10 minut na každém stanovisku.

### 5.1.4 Porovnání výstupních snímků z jednotlivých metod

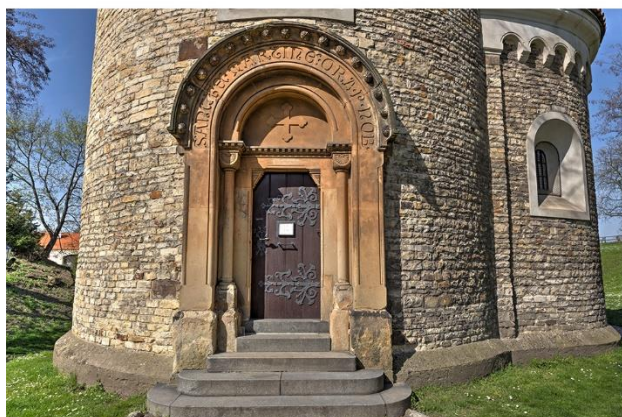
Všechny výše uvedené metody zvýšily dynamický rozsah vstupních snímků. Výsledky z různých metod se liší na první pohled množstvím detailů ve stínech, kontrastem a množstvím digitálního šumu na snímku. Vliv na geometrickou kvalitu modelů zpracovaných metodou optické korelace je popsán v následující kapitole. Na obrázku 5.35 jsou zobrazeny jednotlivé výstupy z různých metod. Pro srovnání byly použity snímky ze stanoviska 5. Zbylé snímky jsou součástí přílohy A - DVD.



Snímek bez úprav



Nástroje programu Lightroom



Metoda HDR



Metoda světelných masek

Obr. 5.35: Srovnání výstupů z jednotlivých metod (zdroj: autor)

Z hlediska množství detailů ve stínech se jeví jako nejlepší výstupy z metody světelných masek a snímků upravených pomocí nástrojů v programu Lightroom. Výsledné snímky metody HDR mají kresbu ve stínech viditelně tmavší. Rozdíl mezi snímky upravených metodou světelných masek a nástroji programu Lightroom je především v množství šumu. Druhý zmíněný snímek obsahuje evidentně velké množství rušivého šumu. Z hlediska metody optické korelace se tedy jeví jako lepší vstupní snímek upravený metodou světelných masek. Na obrázku 5.36 je vidět detail části dveří a přilehlého sloupu. Na obrázku je evidentní množství šumu a detailů ve stínech.

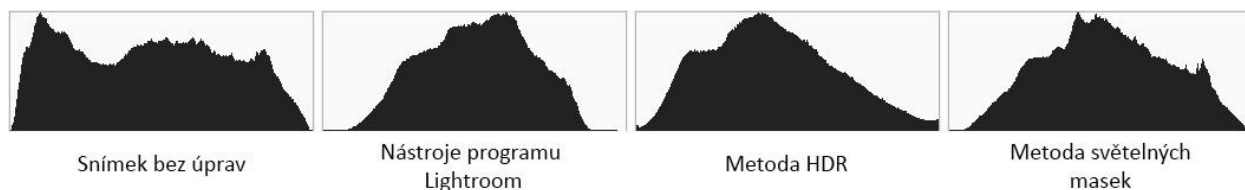


Obr. 5.36: Srovnání vstupu a výstupů z jednotlivých metod (detail dveří a sloupu, zdroj: autor)

Z hlediska kontrastu, který je rovněž důležitý pro metodu optické korelace, je nejlepší výstup z metody HDR – je to způsobeno především větším množstvím černé barvy (RGB 0, 0, 0) na snímku. Tento fakt je rovněž evidentní ze srovnání histogramů (obrázek 5.37) výsledných snímků. Snímek upravený metodou HDR má v histogramu největší počet černé barvy a celý je posunutý více vlevo – je tudíž tmavší.



Obr. 5.37: Srovnání vstupu a výstupů z jednotlivých metod (detail části portálu, zdroj: autor)



Obr. 5.38: Srovnání vstupu a výstupů na základě histogramu daného snímku (zdroj: autor)

## 5.2 Zvýšení dynamického rozsahu během snímkování

Dynamický rozsah snímku lze zvýšit rovněž již během snímkování. První metodou je nasvícení objektu pomocí světelných zdrojů. Další způsob je použití funkce pro zvýšení dynamického rozsahu přímo ve fotoaparátu. Obě tyto metody mají tu nevýhodu, že jsou náročné na čas strávený snímkováním daného objektu. Ani jeden z těchto způsobů nebyl pro testování použit. Důvody, které k tomu vedly, jsou uvedeny v následujících podkapitolách.

### 5.2.1 Nasvícení objektu pomocí světelných zdrojů

První zmíněnou metodou je nasvícení daného objektu pomocí světelných zdrojů. Jedná se o způsob vhodný především při snímkování objektu v interiéru – například sklepení historických budov apod. K této metodě se přistupuje většinou z důvodu špatného okolního osvětlení v těchto prostorách. Z důvodu časové náročnosti během snímkování a rozdílu barevné teploty pro světelný zdroj – přirozené světlo, nebyla tato metoda použita pro testování.

K samotnému nasvícení těchto prostor se nejčastěji využívají systémové blesky, studiová světla, přenosná halogenová světla a další. V tabulce 5.1 jsou uvedeny informace o jednotlivých světelných zdrojích. Jak je z tabulky zřejmé, je obtížné kombinovat různé druhy světelných zdrojů z důvodu rozdílné barevné teploty. Výhodou systémových blesků je jejich mobilita – jsou lehké a nepotřebují připojení k elektrické síti. Další výhodou je, že jejich zdroj produkuje pouze malé množství světla – v některých historických budovách by mohl vyšší teplota zdroje porušit exponáty umístěné v daných prostorách. Nevýhodou je nižší výkon oproti zbylým uvedeným zdrojům. Hlavní výhodou přenosného halogenového světla je jeho nízká pořizovací cena. Studiové světlo má vyšší pořizovací cenu. Výhodou je stejně jako u systémových blesků možnost nastavení výkonu a použití současně se systémovými blesky kvůli stejné barevné teplotě.

položka	jednotky	systémový blesk	studiové světlo	přenosné halogenové světlo
barevná teplota	[ K ]	5500	5500	3200
cena	[ Kč ]	do 10 000	5 - 20 000	do 1 500
váha	[ kg ]	do 1	2 - 5	do 2
výkon	-	-	+	+
teplota zdroje	-	+	-	-
napájení	-	AAA baterie	sít/AKU	sít

Tab. 5.1: Srovnání světelných zdrojů



Samotné nasvícení prostor je složitá problematika, jelikož tyto světla vytvářejí tvrdé unikátní stíny pro každý snímek. Je nutné během snímkování světla nepřemisťovat a mít nastavený stále stejný výkon (v případě systémového blesku a studiového světla). Jak bylo zmíněno výše, je nutné, aby všechny světelné zdroje použité k nasvícení dané scény/objektu, měly stejnou barevnou teplotu.

### 5.2.2 Funkce HDR ve fotoaparátu

V současné době se začíná používat metoda HDR i ve fotoaparátech. Z hlediska fotogrammetrie je zatím nevyužitelná. Alespoň v případě použitého fotoaparátu Canon EOS 6D. Důvodů je hned několik:

- Funkce HDR ve fotoaparátu neumožňuje uložit pořízený snímek ve formátu RAW. Je tedy téměř nemožné ho upravovat v rámci postprocesingu bez ztráty optické kvality. Rovněž je nutné během snímkování nastavit správné vyvážení bílé. V počítači již nelze změnit.
- Dále funkce neumožňuje žádné nastavení procesu a funguje pouze automaticky. Snímky z různých stanovisek se tedy mohou lišit.
- Zpracování ve fotoaparátu trvá delší dobu (cca 1 minutu)

Na obrázku 5.39 je vidět snímek pořízený s klasickou expozicí ve srovnání se snímek pořízeným funkcí HDR přímo ve fotoaparátu.



klasická expozice

snímek pořízený funkcí HDR  
ve fotoaparátu

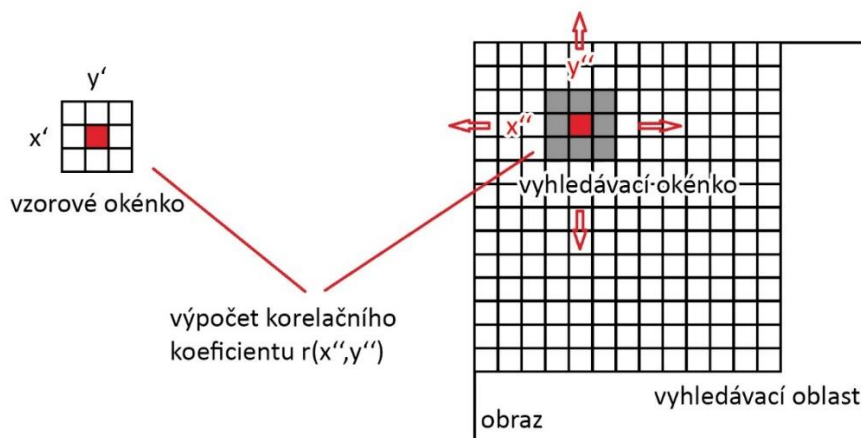
Obr. 5.39: Srovnání snímku s klasickou expozicí a snímek pořízeným funkcí HDR ve fotoaparátu (zdroj: autor)

## 6 Metoda optické korelace

Tato kapitola je zaměřena na tvorbu modelů pomocí metody optické korelace. V úvodu kapitoly je popsán teoretický princip této metody. Další část je věnována samotnému tvorbě modelů z podkladových snímků upravených různými metodami zvýšení dynamického rozsahu v programu Agisoft PhotoScan. V poslední části kapitoly jsou jednotlivé modely obrazově a geometricky porovnány.

### 6.1 Teoretický úvod

Metodu optické korelace využívají v současné době stále více rozšířenější optické korelační systémy. Jejím cílem je nalézt navzájem si odpovídající body na dvou a více snímcích, který zachycují tentýž nehybný objekt. Pro úspěšné nalezení navzájem si odpovídajících bodů je nutné, aby byly podkladové snímky podobné (tj. měly překryt). Na obrázku 6.1 je zobrazen proces vyhledávání jednotlivých bodů.



Obr. 6.1: Princip vyhledávání bodu metodou optické korelace (zdroj: autor)

Na prvním snímku se vybere bod (pixel), který je následně potřeba nalézt na snímku druhém. Aby to bylo možné korelaci provést, rozšiřuje si vyhledávací oblast i na okolí pixelu. Na obrázku 6.1 je znázorněno jako vzorové okénko. Pravděpodobnost shody se přímo úměrně zvyšuje s velikostí vzorového okénka. Zvětšováním okolí bodu se rovněž prodlužuje doba nutná k výpočtu korelace.

Míra shody je udávána hodnotou korelačního koeficientu, který je nabývá hodnot od -1 (úplná neshoda) až 1 (úplná shoda). Hodnota korelačního koeficientu je vypočtena pro každý pixel (bod) ve vyhledávací oblasti.

Pro vzorový pixel a jemu odpovídající obraz, jsou určeny snímkové souřadnice, ze kterých jsou následně vypočteny 3D prostorové souřadnice bodu. Ty jsou určeny pomocí výpočetních algoritmů. Během výpočetních prací jsou rovněž určeny prvky vnější a vnitřní orientace. (ty lze rovněž do systému zadat).

## 6.2 Tvorba modelů metodou optické korelace

Tato podkapitola je věnovaná samotné tvorbě modelů metodou optické korelace. Jak již bylo zmíněno, pro tvorbu modelů byl použit program Agisoft Photoscan. Celkem byly vytvořeny čtyři modely z různých sad snímků:

- bez úprav dynamického rozsahu
- dynamický rozsah upravený nástroji programu Adobe Lightroom
- dynamický rozsah upravený metodou HDR v programu Photomatix
- dynamický rozsah upravený metodou světelných masek v programu Adobe Photoshop

Všechny modely byly vytvořeny stejným způsobem, aby na modelech mohly být pozorovány pouze změny vzniklé úpravou dynamického rozsahu. V první části této podkapitoly je popsán místní souřadnicový systém modelů a následně je popsán postup tvorby modelu v programu Agisoft.

### 6.2.1 Vlícovací body, místní souřadnicový systém

Z důvodu lepšího a jednoduššího porovnávání jednotlivých mračen bodů bylo nutné určit místní souřadnicový systém modelů. V tomto případě nešlo o zkoumání absolutní přesnosti modelů. Souřadnicový systém byl určen třemi vlícovacími body – na objektu byly použity jasně přirozeně identifikovatelné body (viz. obrázek 6.2). Mezi nimi byly změřeny ocelovým pásmem všechny délky. Z prvních dvou délek byly určeny definovány osy X a Z. Osa Y je pak doplňkem systému na pravoúhlý.

bod		délka		
počáteční	koncový	měřené [ m ]	vypočtená [ m ]	rozdíl [ mm ]
1	2	0,945	-	-
1	3	1,770	-	-
2	3	2,005	2,006	1,5

Tab. 6.1: Naměřené délky mezi vlícovacími body



Obr. 6.2: Rozmístění vlíčovacích bodů na objektu (zdroj: autor)

Kontrolním měřením uhlopříčky (délka mezi body 2 a 3) byl zjištěn rozdíl mezi měřenou a vypočtenou délkou 1,5 mm. Na základě tohoto kontrolního měření bylo prokázáno, že osy X a Z lze pro naše účely považovat za navzájem kolmé. V tabulce 4.2 jsou pak výsledné souřadnice vlíčovacích bodů použitých pro orientaci všech následujících modelů. Detailní snímky přirozeně signalizovaných bodů jsou součástí přílohy H.

id	X	Y	Z
	[ m ]	[ m ]	[ m ]
1	0,000	0,000	0,000
2	0,945	0,000	0,000
3	0,000	0,000	1,770

Tab. 6.2: Souřadnice vlíčovacích bodů v místním systému

### 6.2.2 Postup v programu Agisoft PhotoScan

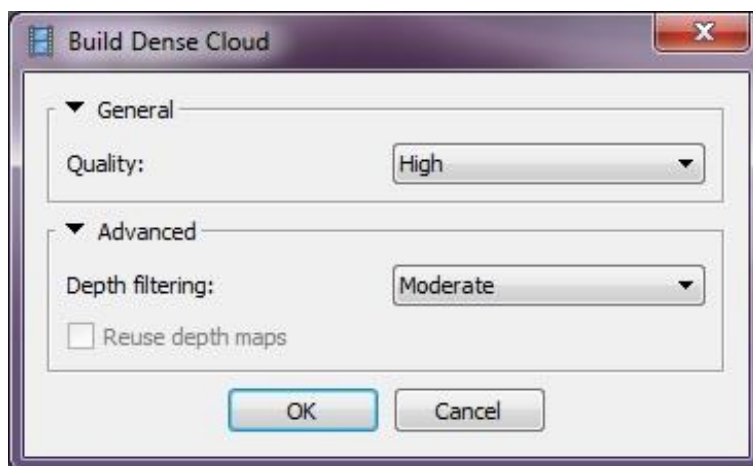
Prvním krokem tvorby samotného modelu v programu Agisoft Photoscan bylo vytvoření nového projektu. Dalším krokem pak importování všech podkladových snímků tlačítkem *Add Photos (Přidat snímky)* v záložce *Workspace (Pracovní prostředí)*. Po importu snímků se provedl první výpočet modelu volbou *Align photos (Zarovnat snímky)* v záložce *Workflow (Pracovní postup)*. Na obrázku 6.3 je vidět použité nastavení. Přesnost byla zvolena nej přesnější. Ostatní hodnoty byly ponechány v implicitním nastavení.



Obr. 6.3: Nastavení funkce Align Photos (zdroj: autor)

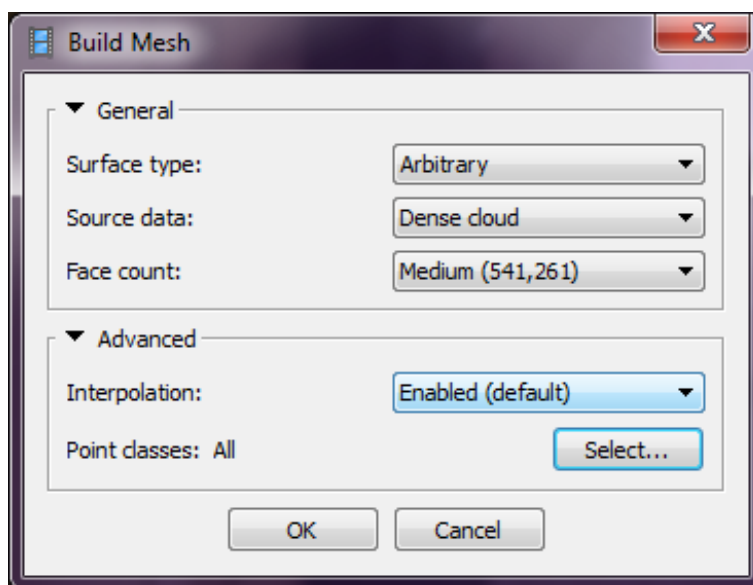
Dalším krokem bylo nahrání vlíčovacích bodů pro orientaci modelů. Samotné souřadnice VB byly uloženy ve formátu \*.TXT a následně nahrány tlačítkem *Import (Import)* v záložce *Reference (Reference)*. VB byly poté označeny na snímcích ze všech stanovisek a možností *Update (Aktualizovat)* byly snímky zorientovány. Snímkové souřadnice byly určeny s přesností na milimetry. Dosažené odchylky určení snímkových souřadnic jsou uvedeny v přehledných tabulkách v příloze B.

Po orientaci modelů byla použita funkce *Dense Cloud (Husté mračno)* k určení většího počtu bodů. Na obrázku 6.4 jsou vidět opět parametry použitého nastavení. Jelikož rozlišení použitého fotoaparátu je 20,2 megapixelů, bylo použito nastavení *Quality (Kvalita) High (Vysoké)*. Při vyšším nastavení již trval výpočet výsledného hustého mračna bodů příliš dlouho (cca 3,5 hodiny). Nastavení *Depth filtering (Filtrování hloubky)* bylo ponecháno s ohledem na členitost objektu na *Moderate (Mírný)*.



Obr. 6.4: Nastavení funkce Build Dense Cloud (zdroj: autor)

Po vytvoření hustého mračna bodů byl vytvořen síťový model. Podkladem pro vytvoření sítě byly právě body z hustého mračna bodů. Síť se vytvoří možností *Build Mesh (Vytvořit síť)*. Parametry nastavení jsou opět zobrazeny na obrázku 6.5. Všechny hodnoty nastavení byly ponechány implicitně.



Obr. 6.5: Nastavení funkce Build Mesh (zdroj: autor)

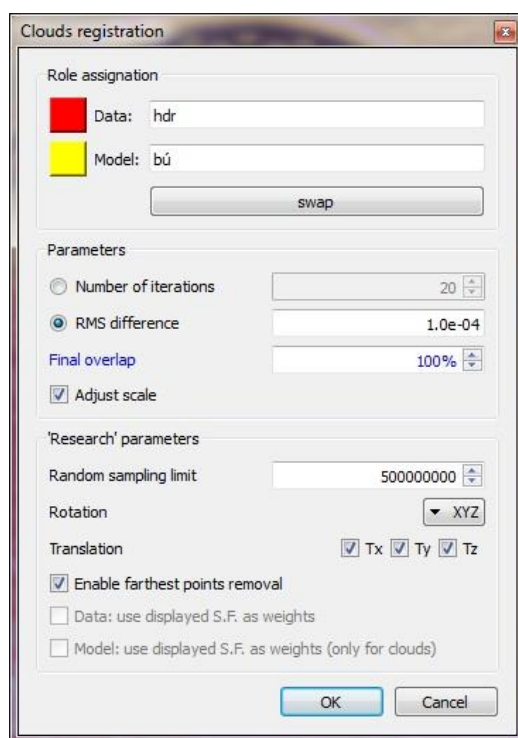
Posledním krokem bylo uložení projektu a export výsledného modelu pomocí možnosti *Export Model (Exportovat model)* a rovněž i hustého mračna bodů – *Export Points (Exportovat body)*. V obou případech byl použit formát \*.OBJ. Všechny modely jsou součástí přílohy A - DVD.

## 6.3 Geometrické a optické porovnání modelů

Tato část kapitoly je věnována porovnání jednotlivých modelů. Geometricky je vždy porovnáván model ze snímků s neupraveným dynamickým rozsahem, tedy ten, u kterého předpokládáme, že bude nedokonalý, s modelem ze snímků upraveným jednou z výše uvedených metod. V poslední části jsou poté srovnány všechny čtyři modely na základě různých kritérií.

### 6.3.1 Obecný postup geometrického srovnání v programu Cloud Compare

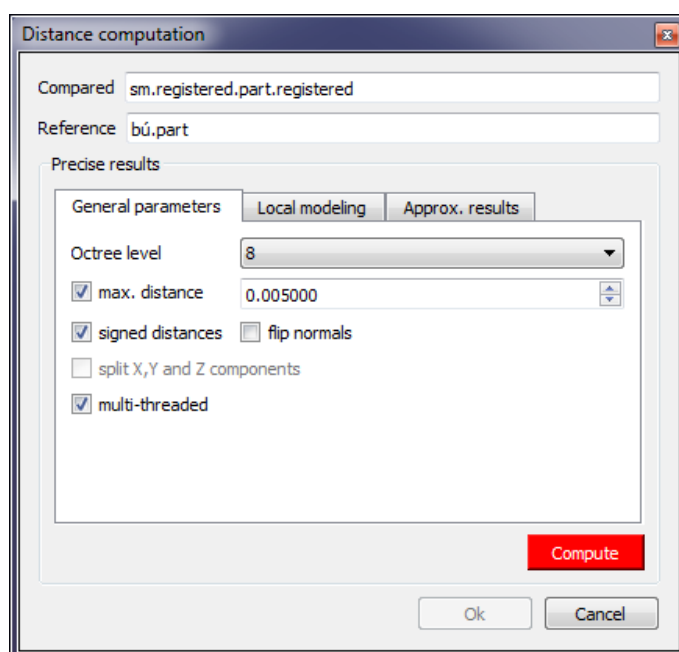
K geometrickému porovnání sítí byl použit program CloudCompare. Prvním krokem je otevření všech modelů ve formátu \*.OBJ v záložce *File (Soubor) - Open (Otevřít)*. Následovalo ztotožnění (transformace) jednotlivých sítí a mračen bodů. Jako referenční model byl použit „Bez úprav“ a všechny ostatní byly transformovány. Na obrázku 6.6 je dialogové okno *funkce Finely register roughly aligned entities... (Přesně transformovat zarovnané modely)*. Parametr *RMS Difference (Root Mean Square neboli kvadratický průměr)* byl nastaven na hodnotu desetiny milimetru (při nastavení vyšších hodnot byly výsledné odchylky podobné). Dále byla zaškrtnuta možnost *Adjust scale (Upravit měřítko)* – z důvodů přesnějších výsledků transformace, a *Enable farthest points removal (Vyloučení odlehlých bodů z výpočtů)*. Poslední parametr *Random sampling limit (Náhodná mez vzorkování)* byl nastaven na 500 000 000 bodů (žádná síť/mračno nemá více než 5 000 000 bodů/trojúhelníků).



Obr. 6.6: Dialogové okno registrace modelů (zdroj: autor)

Tímto způsobem byly postupně natransformovány všechny modely. Dosažené odchylky byly v řádu milimetrů a jsou uvedeny v příloze C. Po transformaci byly ořezány funkcí *Segment* (*Ořez části*) okrajové části modelů. Po oříznutí byla provedena znovu transformace se stejnými parametry jako výše. Během transformace segmentu bylo dosaženo o řád přesnějších odchylek, než při transformaci celku. Dosažené odchylky jsou uvedeny v příloze D.

Poslední krokem byl statistický výpočet odlehlostí jednotlivých modelů. Pro tento výpočet byla použita funkce *Compute cloud/mesh distance* (Výpočet vzdálenosti mračna/sítě). Jako referenční model byl zvolen model z neupravených snímků. Na obrázku 6.7 je zobrazeno dialogové okno s parametry pro výpočet vzdáleností. Parametr Octree level (Stromová struktura) byla nastavena na hodnotu 8 (hodnota zvolena na základě návodu k programu CloudCompare, [13]). Maximal distance (*maximální vzdálenost*) byla z důvodu prokazatelnějších výsledků nastavena na hodnotu 0,5 mm. Ostatní hodnoty byly ponechány implicitně nastavené.



Obr. 6.7: Dialogové okno nastavené výpočtu vzdáleností modelů (zdroj: autor)

### 6.3.2 Srovnání modelů

Výsledné modely byly porovnány třemi kritérii. Prvním z nich bylo porovnání množství bodů obsahující husté mračno bodů v zájmové oblasti. Druhým ve stejné zájmové oblasti bylo rovněž porovnání množství trojúhelníků sítě. Třetím kritériem bylo porovnání mračna bodů porovnána v programu CloudCompare s výše uvedeným postupem. Nakonec bylo porovnáno na základě grafického určení množství detailů a deformace modelů.



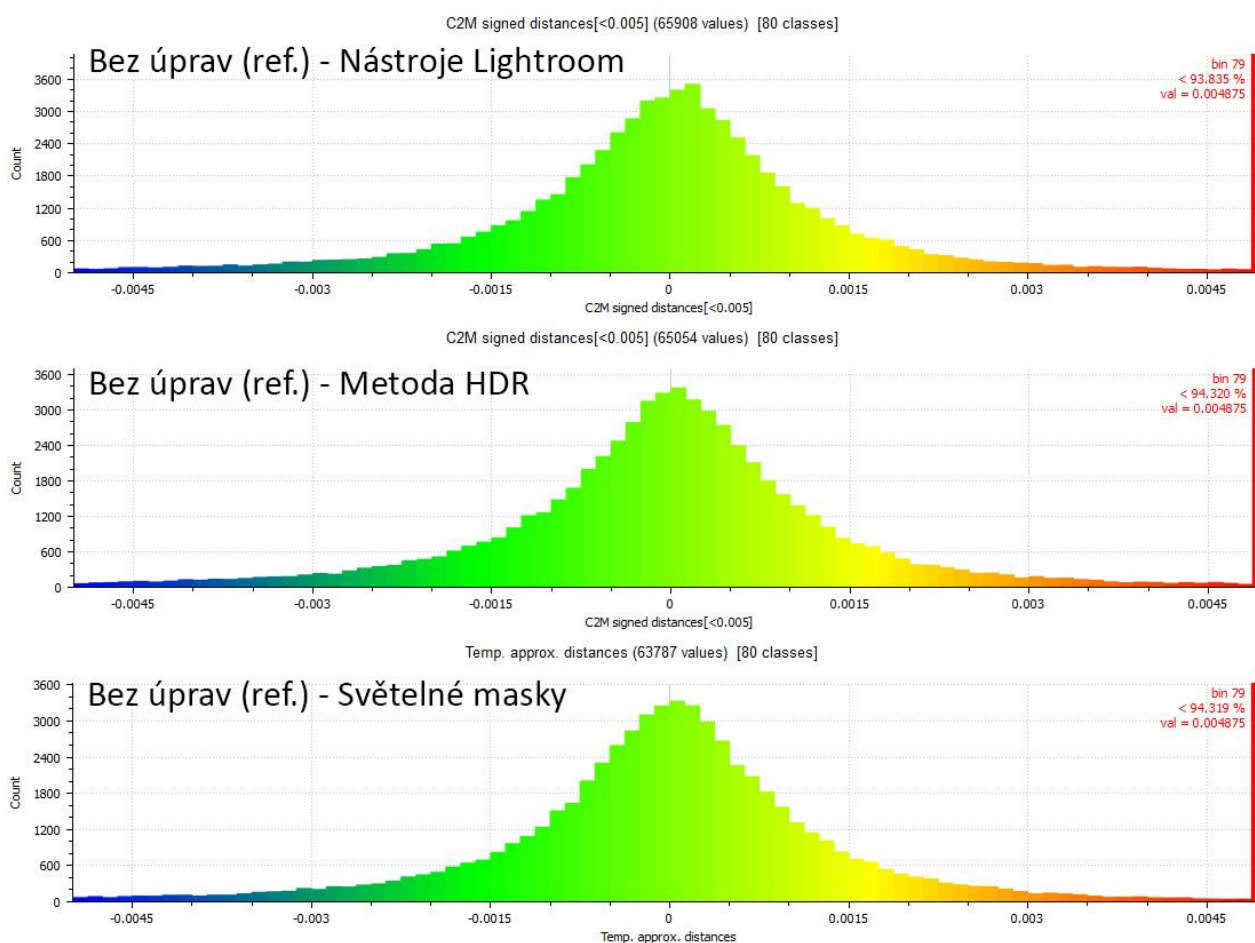


Referenční model				
Model	Počet bodů	Počet trojúhelníků		
Bez úprav	2 506 638	139 656		
Porovnávané modely				
Model	Body		Trojúhelníky	
	Počet	Změna	Počet	Změna
Nástroje Lightroom	2 529 424	0,90%	137 757	-1,36%
HDR	2 545 509	1,53%	135 153	-3,22%
Světelné masky	2 556 587	<b>1,95%</b>	132 321	<b>-5,25%</b>

Tab. 6.3: Změna počtu bodů a trojúhelníků v zájmové oblasti

### 6.3.2.2 Porovnání vzdáleností sítí

Vzdálenosti vždy dvou sítí byly porovnány v programu CloudCompare výše uvedeným postupem. Touto metodou byla nalezena všechna místa, která se liší od základního modelu „Bez úprav“. Histogramy odlehlostí jednotlivých mračen jsou zobrazeny na obrázku 6.9.



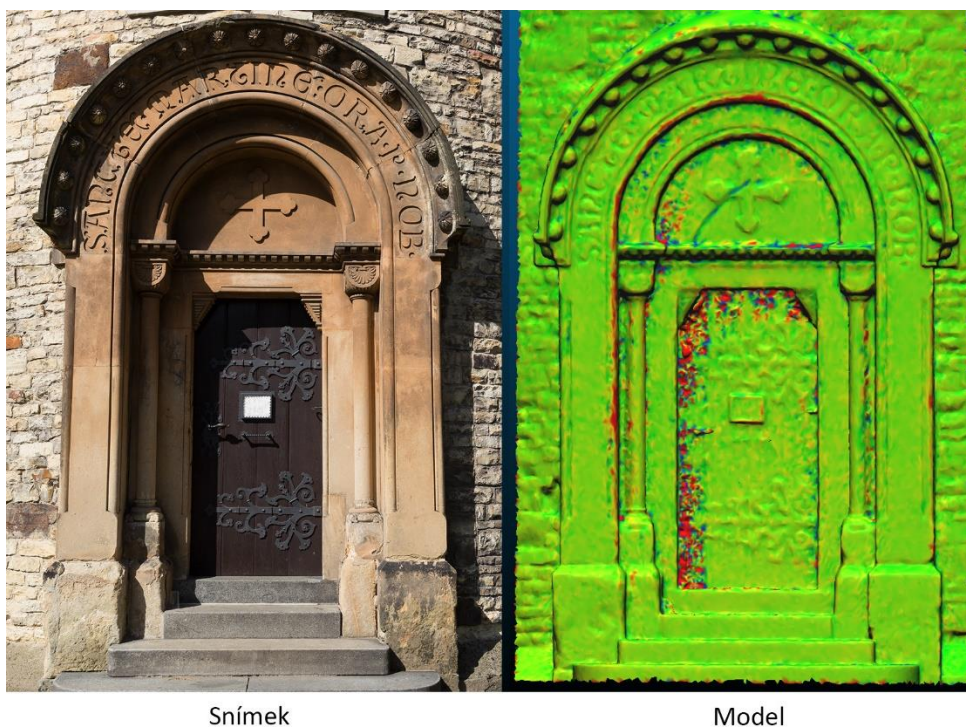
Obr. 6.9: Histogramy jednotlivých odlehlostí (zdroj: autor)

Z obrázku (6.9) lze vyčíst, že všechny modely byly vytvořeny ze stejných podkladových snímků, u kterých byl změněn pouze dynamický rozsah. Z tohoto důvodu je největší četnost rozdílů vzdáleností dvou sítí mezi hodnotami – 1,5 mm až 1,5 mm. Chyba v těchto místech může být způsobena rovněž chybou v transformaci. Procentuální zastoupení odlehlostí větších než 4,9 mm je uvedeno v tabulce 6.4. Jedná se především o místa v zastíněných částech objektu. Největších hodnot dosahuje model, jehož zdrojové snímky byly zpracovány nástroji programu Lightroom. To může být způsobeno především vznikem velkého množství digitálního šumu na snímcích, který mohl způsobit další nepřesnosti v modelu. Ostatní metody vychází procentuálně stejně.

Model		Percentil < 4,9 mm
Referenční	Porovnávaný	[ % ]
Bez úprav	Nástroje Lightroom	6,17%
	Metoda HDR	5,68%
	Metoda Světelných masek	5,68%

Tab. 6.4: Procentuální zastoupení odlehlostí větších než 4,9 mm

Na obrázku 6.10 je zobrazen na pravé straně výstup porovnání odlehlostí dvou sítí – konkrétně model „Bez úprav“ (ref.) a „Nástroje Lightroom“. Je evidentní, že největší množství chyb (zvýrazněny červeně) se nachází v tmavých místech. Pro srovnání je v levé části zobrazen originální snímek bez úprav. Všechny výsledné výstupy z programu CloudCompare pro všechny modely jsou zobrazeny v přílohách E, F a G a rovněž v elektronické podobě součástí přílohy A – DVD.



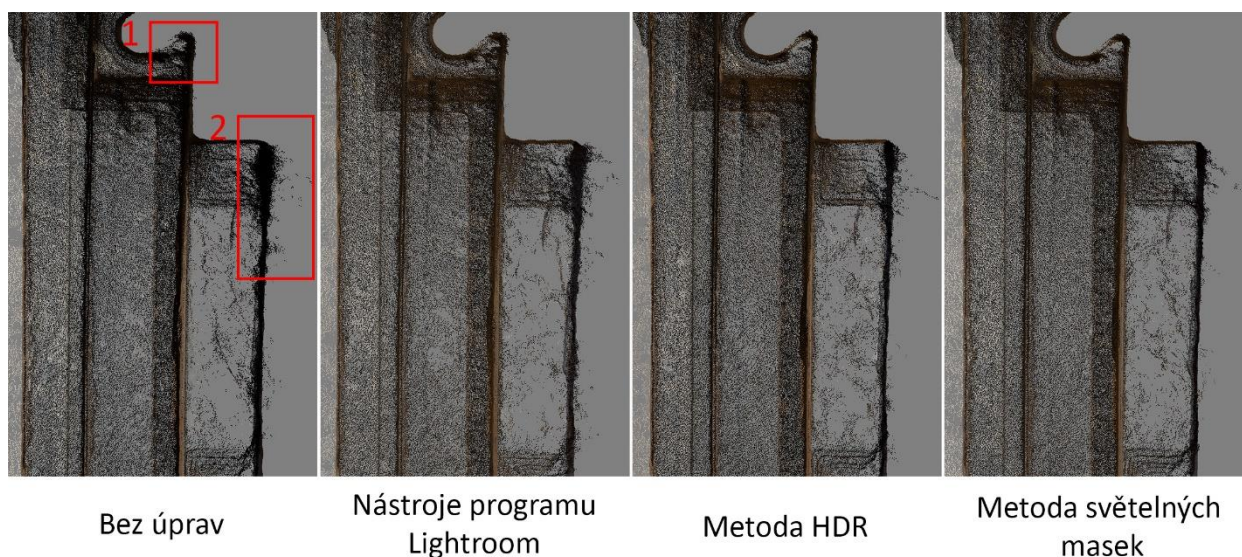
Snímek

Model

Obr. 6.10: Zobrazení výskytu odlehlostí na snímku a modelu (zdroj: autor)

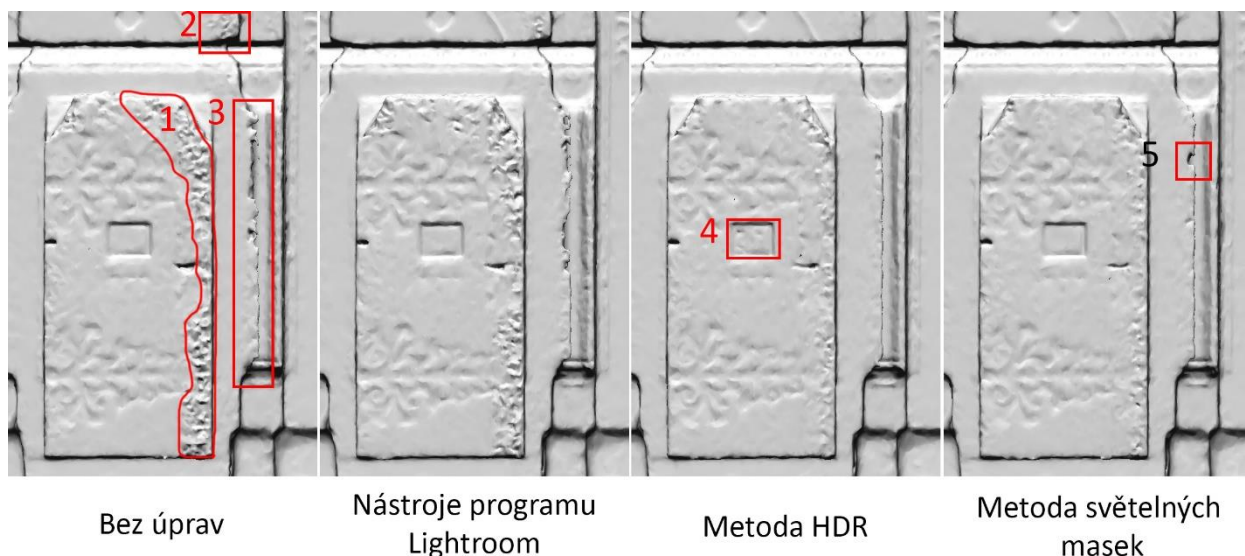
### 6.3.2.3 Porovnání detailů, chyb a geometrie jednotlivých modelů

První hodnocení v této podkapitole se zabývá výskytem hrubých chyb (tzv. šumu) jednotlivých hustých mračen bodů. Na obrázku 6.11 je zobrazen detail dveří (pohled shora). Na prvním modelu je vidět velké množství odlehlých bodů (znázorněny čísla 1 a 2). Na dalším modelu (Nástroje programu Lightroom) je již vidět úbytek tohoto šumu. Na zbývajících dvou modelech je vidět markantní zlepšení v těchto oblastech. Nejlépe z tohoto vizuálního srovnání vychází opět model vyhotovený ze snímků upravených metodou světelných masek.



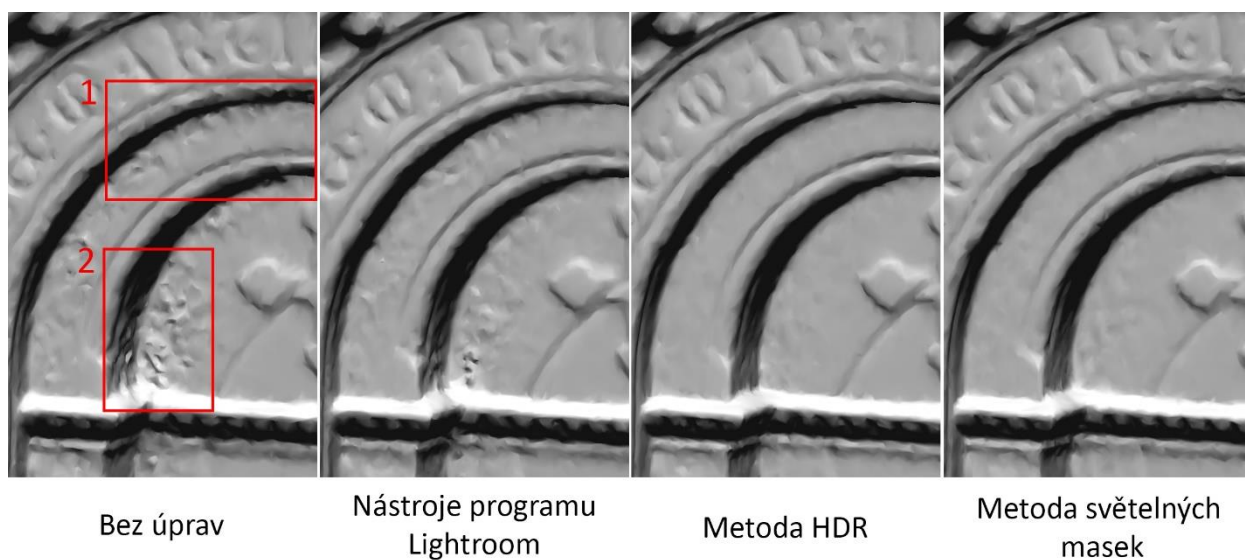
Obr. 6.11: Zobrazení odlehlých bodů na jednotlivých modelech (část dveří – pohled shora, zdroj: autor)

Na následujícím obrázku 6.12 je zobrazena zadní část dveří a levý sloup vstupního portálu. Je zde porovnána geometrická kvalita výsledných modelů. Model „Bez úprav“ opět vykazuje velké množství chyb. Číslem 1 je označená část, která byla zakryta stínem a obsahuje velké nerovnosti povrchu – objekt je v těchto místech rovný. V části 2 se jedná o stejný případ jako u dveří. Číslem 3 je označena styková hrana sloupu se zdí, která na prvním modelu obsahuje velké množství chybějících částí a je nepravidelná. Na druhém modelu je vidět mírné zlepšení. Na zbývajících dvou modelech je již plocha dveří evidentně hladší. Rovněž hrana sloupu má svůj skutečný tvar. Na modelu „HDR“ vznikly nerovnosti na popisové tabulce (4). To může být způsobeno jasnější kresbou v této oblasti. Na modelu „Světelné masky“ je na této hraně vzniklá chyba (5).



Obr. 6.12: Zobrazení části dveří (pohled zezadu) s vyznačením chyb (zdroj: autor)

Obrázek 6.13 zobrazuje část vstupního portálu rotundy. Na prvním modelu je opět vidět povrchová nerovnost znázorněna čísly 1 a 2 na obrázku. Na druhém modelu je vidět zlepšení – povrch v těchto místech je již vyhlazenější. Na zbývajících modelech jsou pak chyby téměř odstraněny a oba modely vypadají v těchto místech velice podobně.



Obr. 6.13: Zobrazení části vstupního portálu (pohled zepředu) s vyznačením chyb (zdroj: autor)

Na základě těchto porovnání vyplývá, že nejvhodnějšími metodami pro úpravu dynamického rozsahu snímku jsou metody HDR a Světelné masky. Výsledné modely ze snímků zpracovaných těmito postupy obsahují nejméně hrubých chyb (šumu), dosahují největšího počtu detailů a hladké plochy neobsahují chybné povrchové nerovnosti.

## 7 Zhodnocení metod

Tato kapitola je zaměřena na závěrečné shrnutí všech výše uvedených metod na základě výsledků získaných během zpracování této práce. Metody byly hodnoceny především na základě časové náročnosti a to jak během procesu snímkování, tak během následného postprocesingu. Dalším zkoumaným kritériem, byl vliv úprav dynamického rozsahu snímku na výslednou kvalitu modelu vytvořeného metodou optické korelace. Závěr této kapitoly je věnován doporučení postupu, který by měl vést ke kvalitnějším výsledkům metody optické korelace.

V tabulce 7.1 je shrnuto porovnání jednotlivých metod. Hodnocení v tabulce odpovídá – 1. nejlepší a 3. nejhorší. Srovnání z hlediska časové náročnosti a kvality výstupu je blíže rozepsáno v dalších kapitolách. Pokud bychom se zaměřili na náročnost zpracování, nejlepší metodou by byly úpravy dynamického rozsahu v programu Lightroom. Nejtěžší je naopak postup metodou světelných masek, který vyžaduje pokročilé znalosti postprocesingu. Dále se lze zaměřit také na možnost ovlivnění výstupu během zpracování – nevýhodou metody HDR je, že v určitých částech úprav funguje program automaticky a my tedy nemáme plnou kontrolu nad provedenými úpravami.

		Nástroje programu Lightroom	Metoda HDR	Metoda světelných masek
Časová náročnost	pořízení snímků	1.	3.	3.
	zpracování (s automatizací)	1.	2.	3.
Kvalita výstupu		3.	2.	1.
Možnost ovlivnit výstup během zpracování		1.	3.	1.
Náročnost zpracování		1.	2.	3.

Tab. 7.1: Zhodnocení metod

### 7.1 Časová náročnost metod

Prvním kritériem pro srovnání byla časová náročnost. Jak je uvedeno výše, lze porovnávat časovou náročnost a obtížnost metod během snímkování a rovněž během následného postprocesingu (zpracování). Časovou náročnost je vhodné uvažovat již během přípravy projektu. U větších objektů, je nutné pořídit snímky z mnoha stanovisek a je potřebné minimalizovat čas strávený snímkováním i následným postprocesingem.

V tabulce 7.2 je přehledně vypsaná časová náročnost všech metod zvyšujících dynamický rozsah snímků. Hodnoty časů jsou určeny na základě pořizování testovacích snímků pro tuto diplomovou práci – tzn. 9 stanovisek a na každém pořízeno 5 snímků. V případě rozsáhlejšího objektu se mohou časy velice lišit. Nejrychlejší metodou (z hlediska délky snímkování i zpracování) je tedy použití nástrojů programu Lightroom. Zbylé dvě metody jsou za předpokladu použití automatizace při postprocesingu přibližně stejně časově náročné na zpracování. Snímkování pro účely about metod je rovněž stejné.

	čas potřebný k pořízení snímku/ů na stanovisku	čas potřebný k provedení základních úprav	1 stanovisko		Všechna stanoviska	
			čas potřebný k právě dynamického rozsahu (bez automatizace)	čas potřebný k právě dynamického rozsahu (s automatizací)	čas potřebný k právě dynamického rozsahu (bez automatizace)	čas potřebný k právě dynamického rozsahu (s automatizací)
<b>Testované metody</b>						
Nástroje programu Lightroom	20 s	2 min	během základních úprav snímků			
Metoda HDR	1 min		3 min	1 min	30 min	5 min
Metoda světelných masek	1 min		5 min	1 min	45 min	10 min
<b>Ostatní metody</b>						
Funkce HDR ve fotoaparátu	1 min 20 s	2 min	během základních úprav			
Nasvícení scény umělými světly	dle náročnosti scény					

Tab. 7.2: Časová náročnost jednotlivých metod

### 7.1.1 Nástroje programu Lightroom

Z hlediska časové náročnosti se jedná o nejrychlejší metodu. Pro tuto metodu není nutné pořizovat více expozičních snímků na jednom stanovisku. Přibližný čas potřebný k pořízení jednoho snímku je maximálně 20 vteřin – v potaz je bráno správné zaostření, kompozice a volba stanoviska.

Z hlediska postprocesingu se opět jedná o nejrychlejší metodu. Upravit dynamický rozsah lze již během základních úprav v programu Lightroom. Další výhodou je možnost upravovat všechny snímky naráz pomocí funkce *Auto Sync*. Z hlediska časové náročnosti, je tedy tato metoda na prvním místě.

### 7.1.2 Metoda HDR

Časová náročnost této metody na stanovisku závisí na dynamickém rozsahu dané scény. Od tohoto faktoru se odvíjí nutný počet pořízených snímků. Pro složité scény je nutné pořídit více snímků s různou expoziční dobou. V obvyklých případech stačí 3 – 5 snímků. U extrémně složitých scén lze pořídit i 9 – 11 snímků. Rovněž je nutné během snímkování použít stativ – to je další faktor, který prodlužuje dobu snímkování. Přibližný čas k pořízení sady snímků z jednoho stanoviska je 1 minuta – měřeno během snímkování pro účely diplomové práce.

Tato metoda je v rámci postprocesingu již mnohem náročnější na čas. Nejprve je nutné provést veškeré základní úpravy. Následně exportovat snímky, které se budou upravovat ve vhodném programu (pro účely diplomové práce použít Photomatix Pro). Na každém stanovisku je poté nutné vygenerovat ze sady snímků výsledný s vysokým dynamickým rozsahem. Jak je zmíněno v kapitole 5.1.2.3, celý proces lze automatizovat dávkovým zpracováním. Tato možnost značně urychlí dobu potřebnou k upravení snímku ze všech stanovisek. Výsledná doba poté závisí především na výkonnosti použitého počítače.

### 7.1.3 Metoda světelných masek

Doba nutná k pořízení vstupních snímků je totožná jako u metody HDR. Liší se pouze doba nutná k jejímu zpracování. Opět je prvotně nutné provést základní úpravy na snímcích. Následně relativně složitě upravit snímek z každého stanoviska. Celý proces lze ovšem urychlit používáním tzv. *Akcí* v programu Adobe Photoshop. Celý postup je uveden v kapitole 5.1.3.3.

### 7.1.4 Funkce HDR ve fotoaparátu

Tato metoda nebyla z důvodů uvedených v kapitole 5.2.2 použita pro tvorbu testovacího modelu. Při pořizování snímků touto metodou platí stejná kritéria, jako u metody HDR i světelných masek. S tím rozdílem, že je nutné započítat ještě dobu, kterou potřebuje použitý fotoaparát ke zpracování obrazu. Časová náročnost postprocesingu je opět minimální – u snímků je nutné provést pouze základní úpravy.



### 7.1.5 Nasvícení scény umělými světly během snímání

Stejně jako předchozí metoda, i tato nebyla použita pro testování. Snímání touto metodou je velice časově náročné. Je nutné rozmístit pečlivě zdroje světla, nastavit správný výkon. Tato metoda je vhodná především pro účely snímání interiérových objektů. U venkovních objektů se může projevit rozdílná barevná teplota přirozeného světla vůči umělým zdrojům světla.

## 7.2 Výsledná kvalita modelu

Všechny testované metody vedly ke zkvalitnění výsledného modelu. Nejlepších výsledků dosáhly modely ze snímků upravených metodou HDR a metodou světelných masek. Snímky upravené nástroji v programu Adobe Lightroom zlepšily model pouze málo. Rovněž je nutné podotknout, že tato metoda zvětšila množství digitálního šumu na snímcích a v některých případech použití mohou výsledný model spíše negativně ovlivnit.

Pokud tedy chceme dosáhnout co nejlepších výsledků, je vhodné použít jednu z těchto dvou metod. Výsledné modely ze snímků, které mají upravený dynamický rozsah jedním z těchto postupů, jsou z hlediska kvality výstupu téměř totožné.

Z mého pohledu nejlépe vychází metoda světelných masek – její možnosti jsou více variabilní a během celého procesu lze výsledky měnit a ovlivňovat a dosáhnout tak, kvalitnějších výsledků v každé situaci. Tato metoda také prokazuje největší nárůst počtu bodů v hustém mračnu a nejvyšší pokles počtu trojúhelníků sítě – to poukazuje na vyšší vyhlazenost výsledné sítě.

Veškeré výsledky týkající se kvality výsledného modelu včetně demonstračních obrázků jsou podrobně popsány v kapitole 6.

## 7.3 Doporučený postup pro metodu optické korelace

Tato kapitola je zaměřena na shrnutí a doporučení postupu navrženého k dosažení co nejvyššího modelu, jakožto výstupu z metody optické korelace. Nejedná se samozřejmě o pevně daný postup, který se musí vždy 100% dodržet. U kvality výsledných modelů záleží na několika faktorech, které z větší části lze ovlivnit. Vlivy ovlivňující modely vypočtené metodou optické korelace jsou uvedeny v kapitole 4.1.

### 7.3.1 Rekognoskace objektu

Rekognoskace objektu patří mezi důležité kroky postupu. Je vhodné seznámit se s objektem a jeho detaily. Zajistit si přístupnost všech částí kolem a uvnitř objektu.

Důležitými kroky jsou:

- Pokud je to možné počkat na vhodné světelné podmínky – ideálně měkké světlo, které nevytváří na objektu stíny.
- Pokud není možné na ideální světelné podmínky počkat, je vhodné si objekt prohlédnout a určit dynamický rozsah scény. Pokud je dynamický rozsah scény vysoký (tj. obsahuje světlá a tmavá místa), je vhodné určit metodu, kterou se dynamický rozsah bude zpracovávat. Rovněž předem určit počet potřebných snímků na jednom stanovisku.
- Metodu zpracování rovněž volit se znalostí potřebného času a požadované přesnosti výsledného modelu.
- Zvolení počtu a rozmístění stanovisek
- V případě pořizování více snímků s různou expozicí na jednom stanovisku je vhodné si je dočasně stabilizovat.

### 7.3.2 Pořízení snímků

Pro co nejkvalitnější snímek není potřeba mít vždy ten nejkvalitnější fotoaparát a používat nejlepší dostupné. Důležité je ovládat funkce fotoaparátu a využít maximum jeho potenciálu.

Nejdůležitější kroky během snímkování jsou:

- Použít ke snímkování vhodnou ohniskovou vzdálenost – je důležité, aby byl celý objekt na snímku a pokrýval co největší plochu snímače.
- Vybrat vhodný formát pro uložení snímků – pokud to fotoaparát dovoluje, volit formát RAW z důvodu větší dosažitelné kvality během postprocesingu.
- Dbát na přesné ostření snímku – používat vyšší clonová čísla, aby byl objekt zájmu v rozsahu hloubky ostrosti. Rovněž přesně zaostřit cílový objekt.
- Předejít vysokým hodnotám ISO, které na snímku zvyšují množství digitálního šumu.
- V případě pořizování více snímků s různými expozičními časy na jednom stanovisku použít pevný fotografický stativ, který zajistí fotoaparátu během snímkování.

### 7.3.3 Zpracování snímků

Zpracováním snímků se rozumí import a správa digitálních snímků a následující postprocessing. Kompletní podrobný postup zpracování digitálních snímků je uveden v bakalářské práci autora, [10]. Zde jsou vypsány především kroky týkající se úprav dynamického rozsahu:

- Provést import snímků do počítače a vytvořit jejich zálohu.
- Vybrat snímky, které budou použity ke zpracování metodou optické korelace.
- Provést základní úpravy snímků a jejich export. S tím souvisí volba formátu, který použijeme pro uložení snímků – pro fotogrammetrické práce jsou nejvhodnější formáty \*.TIFF a \*.JPG (kvalita 80 – 100%).
- V případě zvýšení dynamického rozsahu nástroji programu Lightroom provést tyto úpravy již během kroku výše.
- V případě složitějších úprav metodami HDR nebo světelných masek upravit snímek z jednoho stanoviska a uložit nastavení/postup úprav.
- Snímky z ostatních stanovisek upravit pomocí nástrojů automatizace.

## Závěr

Touto diplomovou prací jsem se snažil popsat kompletní problematiku dynamického rozsahu snímků v kontextu pozemní fotogrammetrie. Hlavním cílem bylo nalezení takové metody zvýšení dynamického rozsahu snímku, která by dosáhla nejkvalitnějšího výstupu metodou optické korelace.

Práce je koncipována tak, aby byl čtenář na začátku seznámen s dynamickým rozsahem a jeho problematikou. Následně jsou popsány veškeré dostupné metody zvýšení dynamického rozsahu snímku. Pro účely testování těchto metod byly pořízeny snímky testovacího objektu, které byly vhodné k demonstraci jednotlivých kroků a postupů a následně sloužily jako vstupní snímky pro tvorbu modelů metodou optické korelace. Zajímavým výsledkem této práce je navržení procesů automatizace, které u jednotlivých metod vedou k výrazné úspoře času během jejich zpracování.

Hlavním výsledkem této práce je sestavení modelů a jejich vzájemné porovnání na základě několika kritérií. Toto srovnání má za úkol čtenářovi přiblížit vliv jednotlivých úprav dynamického rozsahu na výslednou přesnost a geometrii modelu. Rovněž může pomoci k nalezení vhodné metody pro řešení problému způsobených právě vysokým dynamickým rozsahem dané scény.

V závěru práce je pak shrnuta časová náročnost jednotlivých metod v přehledné tabulce. Součástí je rovněž závěrečné zhodnocení jednotlivých metod na základě výsledné kvality modelů a doporučený postup, který je vhodné použít z hlediska problematiky dynamického rozsahu.

Téma dynamického rozsahu je obecně velice široké a některé metody byly v průběhu práce pouze okrajově zmíněny. Například problematika nasvícení interiéru objektu. Jedná se o velice složité postupy, které by se nejlépe shrnuly v samostatně věnované práci.

Výsledná práce obsahuje prolnutí oborů – fotogrammetrie a fotografie. Výsledná práce jako taková, je určena spíše pokročilejší uživatelům. To je způsobeno především obtížností některých zde uvedených metod.

## Použité zdroje

- [1] Fotoškoda. [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://www.fotoskoda.cz/>
- [2] IMAGING RESOURCE. [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://www.imaging-resource.com/>
- [3] Garigo blog. [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://garigorisokuhou.blog.fc2.com/blog-entry-239.html>
- [4] Foto Roman. [online]. [cit. 2016-03-05]. Dostupné z: <http://www.foroman.cz>
- [5] Slunečnice. [online]. [cit. 2016-03-05]. Dostupné z: <http://www.slunecnice.cz/sw/>
- [6] Prague city line. [online]. [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: <http://www.praguecityline.cz/prazske-pamatky/vysehrad-rotunda-sv-martina-je-v-praze-nejstarsi>
- [7] Stahuj.cz. [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: [http://www.stahuj.centrum.cz/grafika\\_a\\_design/tvorba\\_grafiky/ostatni/photomatix/](http://www.stahuj.centrum.cz/grafika_a_design/tvorba_grafiky/ostatni/photomatix/)
- [8] Geodetický software. [online]. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://www.g4d.cz/geodeticky-software/agisoft-photoscan-cz>
- [9] BOHÁČ, Ondřej. Optické korelační systémy – průzkum a zhodnocení aktuálního stavu. Praha, 2014. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra geomatiky. Vedoucí práce Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.
- [10] HAUPT, Lukáš. Post processing a správa digitálních snímků v kontextu pozemní fotogrammetrie. Praha, 2014. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra geomatiky. Vedoucí práce Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.
- [11] Tony Kuyper – light masks. [online]. [cit. 2016-04-05]. Dostupné z: <http://goodlight.us/writing/luminositymasks/luminositymasks-1.html>
- [12] TRÖSTL Martin. Praha, 2013. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra geomatiky. Vedoucí práce Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.
- [13] CloudCompare . [online]. [cit. 2016-10-05]. Dostupné z: <http://www.danielgm.net/cc/>



## Seznam použitých zkratek

ČVUT	<i>České Vysoké Učení Technické</i>
Fsv	<i>Fakulta Stavební</i>
Exif	<i>Exchangeable image file format</i>
RAW	surový, nezpracovaný
JPEG	<i>Joint Photographic Experts Group</i>
DVD	<i>Digital Versatile Disc</i>
HDR	<i>High Dynamic Range</i>

## Seznam obrázků

Obr. 1.1: řez digitální jednookou zrcadlovkou (zdroj: [4]) .....	10
Obr. 1.2: Canon EOS 6D (zdroj: [2]) .....	11
Obr. 1.3: Canon EF 24-70 f/2.8L USM II (zdroj: [3]) .....	13
Obr. 1.4: Canon EF 35 f/1.4L USM (zdroj: [3]).....	14
Obr. 2.1: Pracovní prostředí programu Adobe Photoshop CS6 (zdroj: autor).....	15
Obr. 2.2: Pracovní prostředí programu Adobe Lightroom 5.3 (zdroj: autor).....	16
Obr. 2.3: Pracovní prostředí programu Photomatix Pro 5.1 (zdroj: autor) .....	17
Obr. 2.4: Pracovní prostředí programu Agisoft PhotoScan 1.2.4 (zdroj: autor) .....	18
Obr. 2.5: Pracovní prostředí programu CloudCompare v2.6.2 (zdroj: autor).....	18
Obr. 3.1: Dynamický rozsah scény (zdroj: autor) .....	19
Obr. 3.2: Indikace přeexponovaných míst (červeně) v programu Lightroom (zdroj: autor) .....	21
Obr. 3.3: Indikace podexponovaných míst (modře) v programu Lightroom (zdroj: autor).....	21
Obr. 3.4: Jasový histogram snímku (zdroj: autor) .....	22
Obr. 3.5: Jednotlivé ukázky závislosti histogramu na expozici (zdroj: autor) .....	23
Obr. 3.6: Chybně rozptýlené body v mračnu bodů – pohled shora (zdroj: autor).....	24
Obr. 3.7: Chybějící body v podexponovaném místě bez kresby (zdroj: autor).....	24
Obr. 4.1: Rozložení stanovisek při snímkování (zdroj: autor) .....	28
Obr. 4.2: Jednotlivé snímky ze stanoviska 5 odsazené o $\pm 1$ EV (zdroj: autor).....	28
Obr. 4.3: Import snímků v programu Adobe Lightroom (zdroj: autor).....	30
Obr. 4.4: Využití bílé v programu Lightroom (zdroj: autor).....	31
Obr. 4.5: Panel základních úprav v programu Lightroom (zdroj: autor).....	32
Obr. 4.6: Panel doostření a redukce šumu v programu Lightroom (zdroj: autor).....	32
Obr. 4.7: Panel nastavení geometrických korekcí v programu Lightroom (zdroj: autor) .....	32
Obr. 4.8: Názorná ukázka aplikace geometrických korekcí na snímek (zdroj: autor).....	33
Obr. 5.1: Nástroje na zvýšení dynamického rozsahu v programu Lightroom (zdroj: autor) .....	36
Obr. 5.2: Ukázka funkce <i>Highlights</i> v programu Lightroom (zdroj: autor) .....	36
Obr. 5.3: Ukázka funkce <i>Shadows</i> v programu Lightroom (zdroj: autor) .....	37
Obr. 5.4: Ukázka funkce <i>Whites</i> v programu Lightroom (zdroj: autor) .....	37
Obr. 5.5: Ukázka funkce <i>Blacks</i> v programu Lightroom (zdroj: autor).....	37

Obr. 5.6: Porovnání základního snímku před a po úpravě pomocí nástrojů pro zvýšení dynamického rozsahu programu Lightroom (zdroj: autor).....	38
Obr. 5.7: Ukázka nárůstu digitálního šumu při použití nástrojů Lightroom oproti metodě světelných masek (zdroj: autor).....	38
Obr. 5.8: Nevhodný snímek upravený metodou HDR (zdroj: autor) .....	39
Obr. 5.9: Otevření snímků v programu Photomatix (zdroj: autor) .....	40
Obr. 5.10: Vstupní snímky s různou expoziční dobou (stanovisko 5, zdroj: autor) .....	40
Obr. 5.11: Nastavení procesu složení snímku metodou HDR .....	41
Obr. 5.12: Snímek s vysokým dynamickým rozsahem složený z podkladových snímků v programu Photomatix (zdroj: autor).....	42
Obr. 5.13: Výsledné uložení snímku v programu Photomatix (zdroj: autor) .....	42
Obr. 5.14: Porovnání základního snímku před a po úpravě metody HDR v programu Photomatix (zdroj: autor) .....	43
Obr. 5.15: Detaily snímků z různých vstupních snímků (zdroj: autor) .....	43
Obr. 5.16: Dialogové okno s nastavením automatizace v programu Photomatix (zdroj: autor) ..	44
Obr. 5.17: ukázka světelné masky určující krytí na snímku (zdroj: autor) .....	45
Obr. 5.18: Pracovní okno programu Adobe Photoshop s otevřeným (zdroj: autor) .....	46
Obr. 5.19: Tvorba světelné masky z kanálu RGB (zdroj: autor) .....	47
Obr. 5.20: Vhodné přejmenování vytvořeného kanálu (zdroj: autor) .....	47
Obr. 5.21: Výsledné světelné masky pro světla na snímku (zdroj: autor) .....	47
Obr. 5.22: Výsledné světelné masky pro světla - detail (zdroj: autor).....	48
Obr. 5.23: Výsledné světelné masky pro stíny na snímku (zdroj: autor) .....	48
Obr. 5.24: Výsledné světelné masky pro stíny - detail (zdroj: autor).....	48
Obr. 5.25: Vstupní snímky pro úpravu metodou světelných masek (zdroj: Autor) .....	49
Obr. 5.26: Vrstvy s podkladovými snímky (zdroj: autor).....	49
Obr. 5.27: Přeexponovaný snímek s příslušnou maskou (zdroj: autor).....	50
Obr. 5.28: Duplikovaná vrstva s 50% krytím (zdroj: autor).....	50
Obr. 5.29: Úprava přeexponovaných míst pomocí funkce <i>Křivka</i> (zdroj: autor) .....	51
Obr. 5.30: Dialogové okno s nastavením parametrů formátu JPEG (zdroj: autor) .....	51
Obr. 5.31: Porovnání snímku před a po úpravě metodou světelných masek (zdroj: autor) .....	52
Obr. 5.32: Detaily snímků z různých vstupních snímků (zdroj: autor) .....	52
Obr. 5.33: Panel nástrojů funkce <i>Akce</i> v programu Photoshop (zdroj: autor) .....	53



---

Obr. 5.34: Dialogové okno pro vytvoření nové akce (zdroj: autor) .....	53
Obr. 5.35: Srovnání výstupů z jednotlivých metod (zdroj: autor).....	54
Obr. 5.36: Srovnání vstupu a výstupů z jednotlivých metod (detail dveří a sloupu, zdroj: autor)	55
Obr. 5.37: Srovnání vstupu a výstupů z jednotlivých metod (detail části portálu, zdroj: autor)..	55
Obr. 5.38: Srovnání vstupu a výstupů na základě histogramu daného snímku (zdroj: autor) .....	55
Obr. 5.39: Srovnání snímku s klasickou expozicí a snímkem pořízeným funkcí HDR ve fotoaparátu (zdroj: autor) .....	57
Obr. 6.1: Princip vyhledávání bodu metodou optické korelace (zdroj: autor) .....	58
Obr. 6.2: Rozmístění vlíčovacích bodů na objektu (zdroj: autor).....	60
Obr. 6.3: Nastavení funkce Align Photos (zdroj: autor) .....	61
Obr. 6.4: Nastavení funkce Build Dense Cloud (zdroj: autor) .....	62
Obr. 6.5: Nastavení funkce Build Mesh (zdroj: autor) .....	62
Obr. 6.6: Dialogové okno registrace modelů (zdroj: autor) .....	63
Obr. 6.7: Dialogové okno nastavené výpočtu vzdáleností modelů (zdroj: autor) .....	64
Obr. 6.8: Zobrazení zájmové oblasti (vstupního portálu) na podkladovém snímku a modelu (zdroj: autor).....	65
Obr. 6.9: Histogramy jednotlivých odlehlostí (zdroj: autor) .....	66
Obr. 6.10: Zobrazení výskytu odlehlostí na snímku a modelu (zdroj: autor).....	67
Obr. 6.11: Zobrazení odlehlých bodů na jednotlivých modelech (část dveří – pohled shora, zdroj: autor).....	68
Obr. 6.12: Zobrazení části dveří (pohled zezadu) s vyznačením chyb (zdroj: autor) .....	69
Obr. 6.13: Zobrazení části vstupního portálu (pohled zepředu) s vyznačením chyb (zdroj: autor) .....	69

## Seznam tabulek

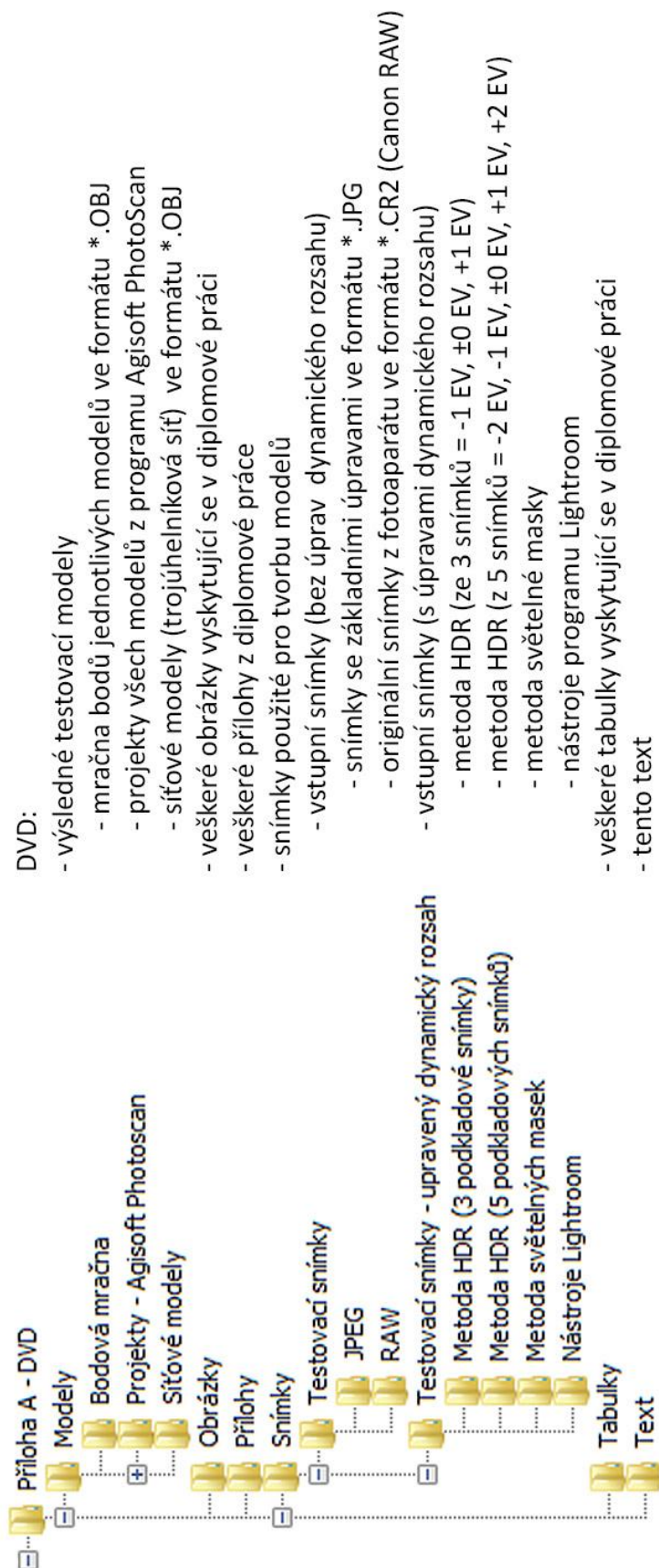
Tab. 3.1: Tabulka expozičních hodnot (EV) .....	20
Tab. 4.1: Tabulka hodnot vyvážení bílé .....	31
Tab. 5.1: Srovnání světelných zdrojů .....	56
Tab. 6.1: Naměřené délky mezi vlíčovacími body .....	59
Tab. 6.2: Souřadnice vlíčovacích bodů v místním systému .....	60
Tab. 6.3: Změna počtu bodů a trojúhelníků v zájmové oblasti .....	66
Tab. 6.4: Procentuální zastoupení odlehlostí větších než 4,9 mm .....	67
Tab. 7.1: Zhodnocení metod .....	70
Tab. 7.2: Časová náročnost jednotlivých metod .....	71



## Seznam příloh

A	Digitální médium (DVD).....	84
B	Dosažené odchylky snímkových souřadnic.....	85
C	Dosažené odchylky - transformace celé sítě .....	86
D	Dosažené odchylky - transformace segmentu sítě .....	87
E	Porovnání vzdáleností dvou síťových modelů 1.....	88
F	Porovnání vzdáleností dvou síťových modelů 2.....	89
G	Porovnání vzdáleností dvou síťových modelů 3.....	90
H	Detailní snímky vlíčovacích bodů.....	91
I	Schéma pracovního postupu – metoda HDR.....	92
J	Schéma pracovního postupu – metoda světelných masek.....	93

## A Digitální médium (DVD)



## B Dosažené odchylky snímkových souřadnic

Bez úprav			
id	chyba		
	X	Y	Z
	[ mm ]	[ mm ]	[ mm ]
1	-1,7	0,0	3,8
2	2,9	0,0	-2,2
3	1,2	0,0	-1,6
<b>Total error</b>	<b>2,1</b>	<b>0,0</b>	<b>2,4</b>

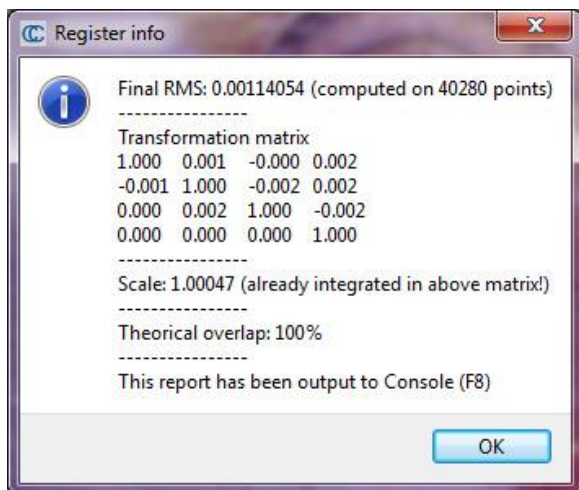
Nástroje Lightroom			
id	chyba		
	X	Y	Z
	[ mm ]	[ mm ]	[ mm ]
1	-1,2	0,0	3,7
2	2,5	0,0	-2,3
3	-1,3	0,0	-1,3
<b>Total error</b>	<b>1,7</b>	<b>0,0</b>	<b>2,6</b>

Metoda HDR			
id	chyba		
	X	Y	Z
	[ mm ]	[ mm ]	[ mm ]
1	-1,7	0,0	2,2
2	2,2	0,0	-1,0
3	-0,2	0,0	1,2
<b>Total error</b>	<b>1,9</b>	<b>0,0</b>	<b>2,4</b>

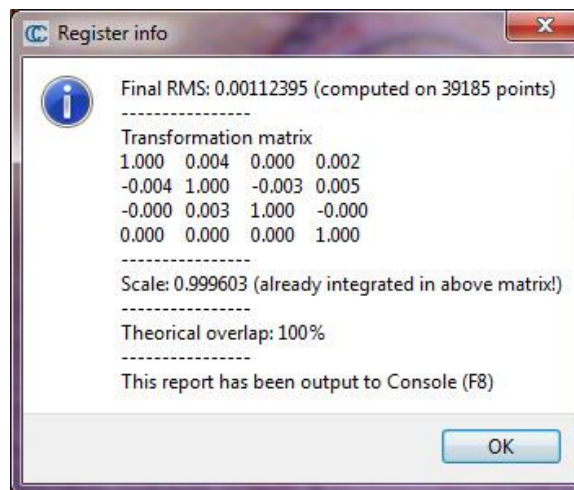
Metoda světelných masek			
id	chyba		
	X	Y	Z
	[ mm ]	[ mm ]	[ mm ]
1	-1,1	0,0	1,4
2	1,5	0,0	-0,6
3	-0,3	0,0	-0,8
<b>Total error</b>	<b>1,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,1</b>

## C Dosažené odchylky - transformace celé sítě

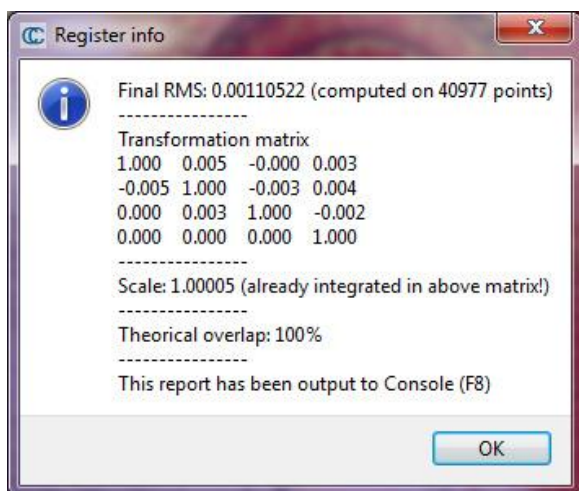
*Bez úprav (ref.) – Nástroje Lightroom*



*Bez úprav (ref.) – Světelné masky*

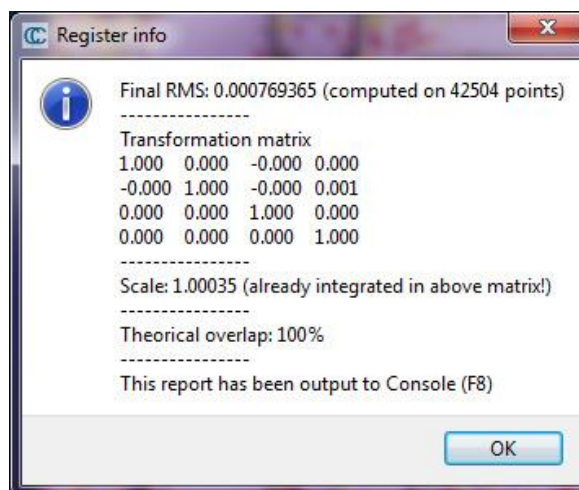


*Bez úprav (ref.) – Metoda HDR*

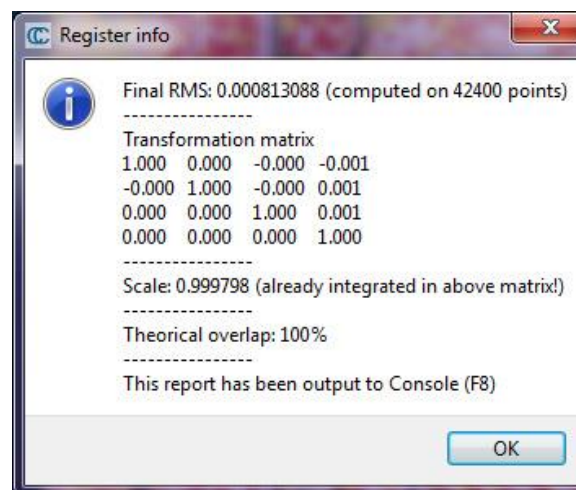


## D Dosažené odchytky - transformace segmentu sítě

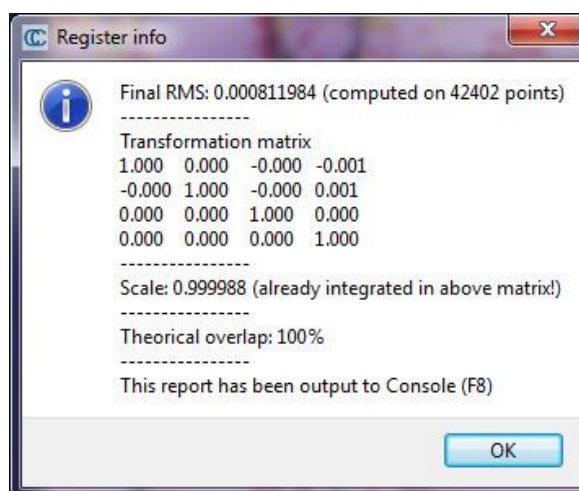
*Bez úprav (ref.) – Nástroje Lightroom*



*Bez úprav (ref.) – Světelné masky*

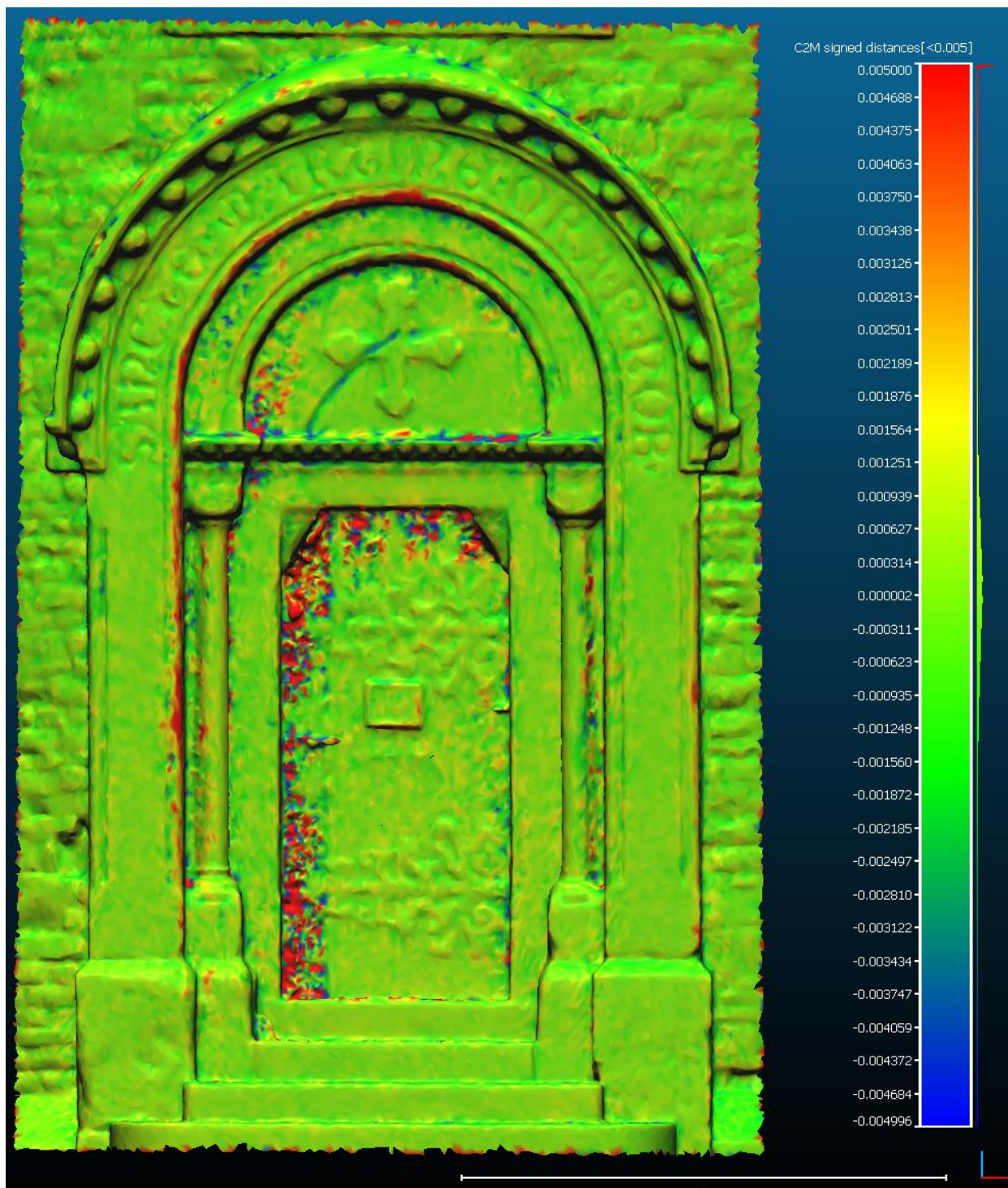


*Bez úprav (ref.) – Metoda HDR*



## E Porovnání vzdáleností dvou síťových modelů 1

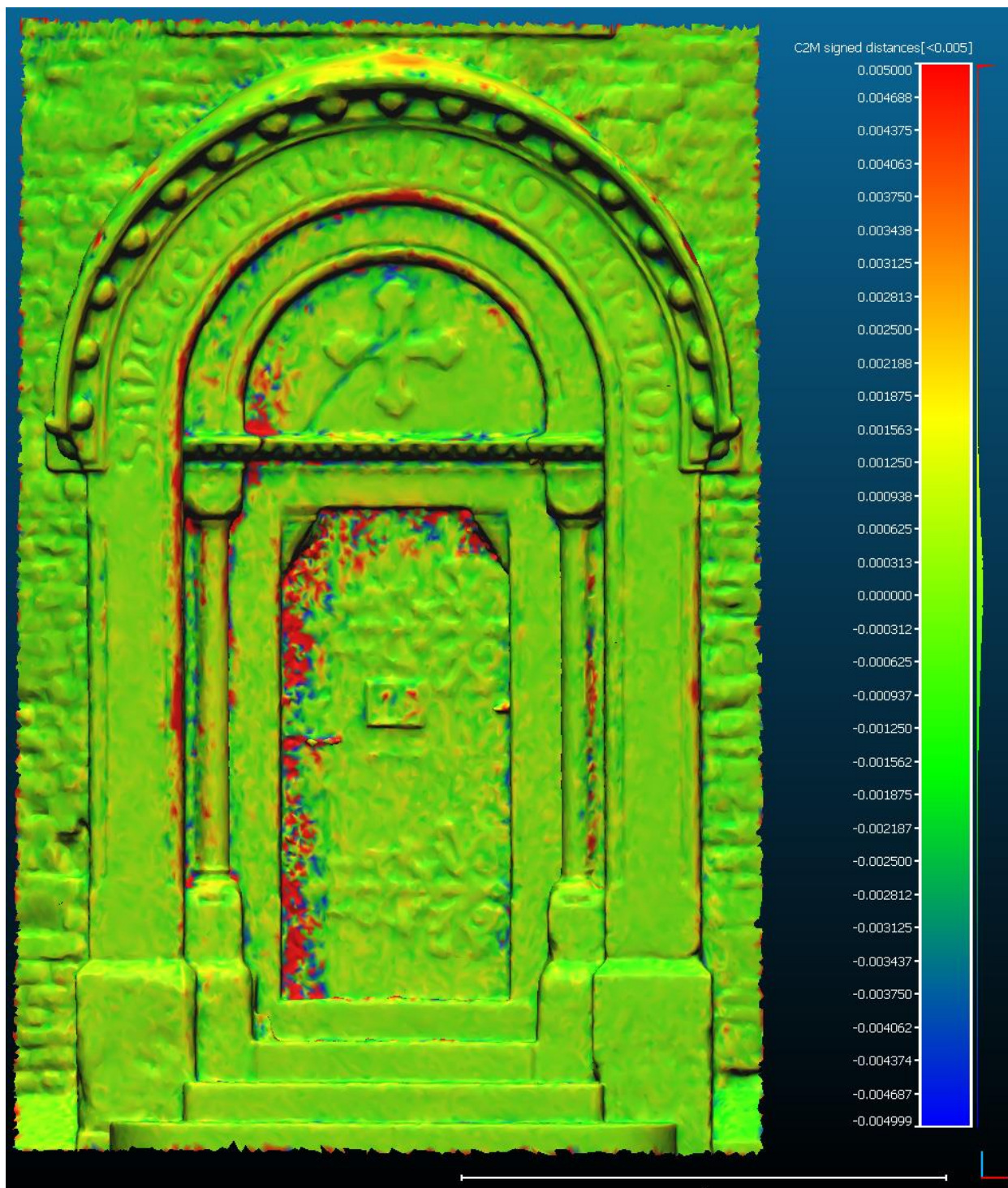
Porovnání modelů *Bez úprav (ref.) – Nástroje Lightroom*





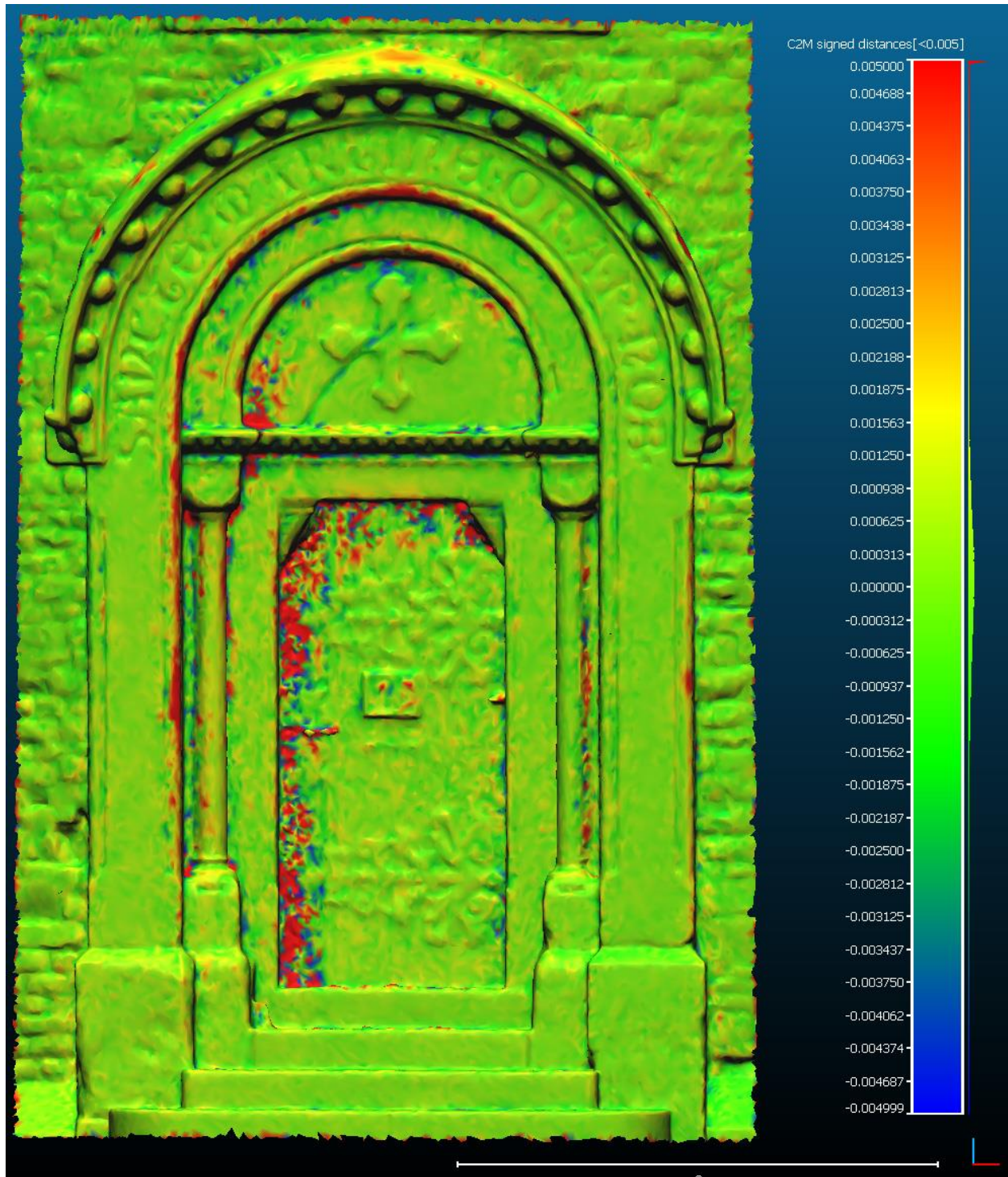
## F Porovnání vzdáleností dvou síťových modelů 2

Porovnání modelů *Bez úprav (ref.) – Metoda HDR*



## G Porovnání vzdáleností dvou síťových modelů 3

Porovnání modelů *Bez úprav (ref.) – Metoda světelných masek*



## H Detailní snímky vlíčovacích bodů

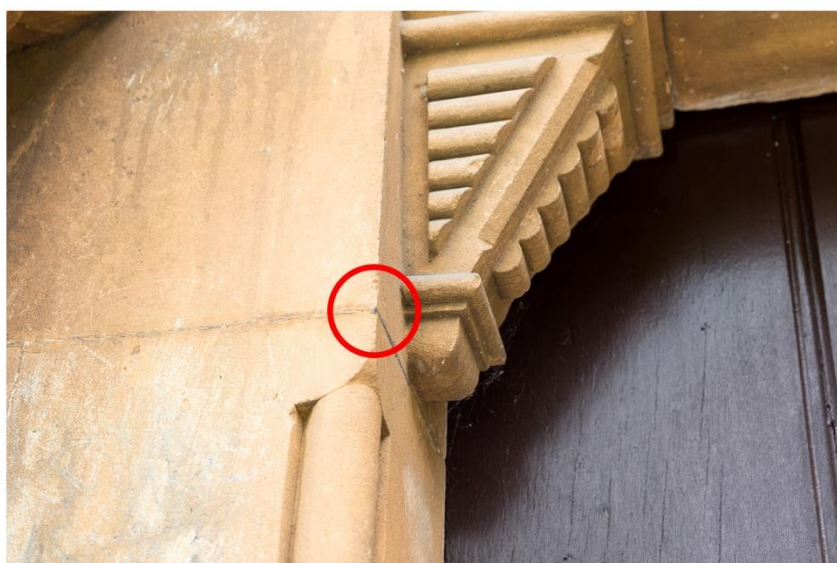
Vlíčovací bod 1



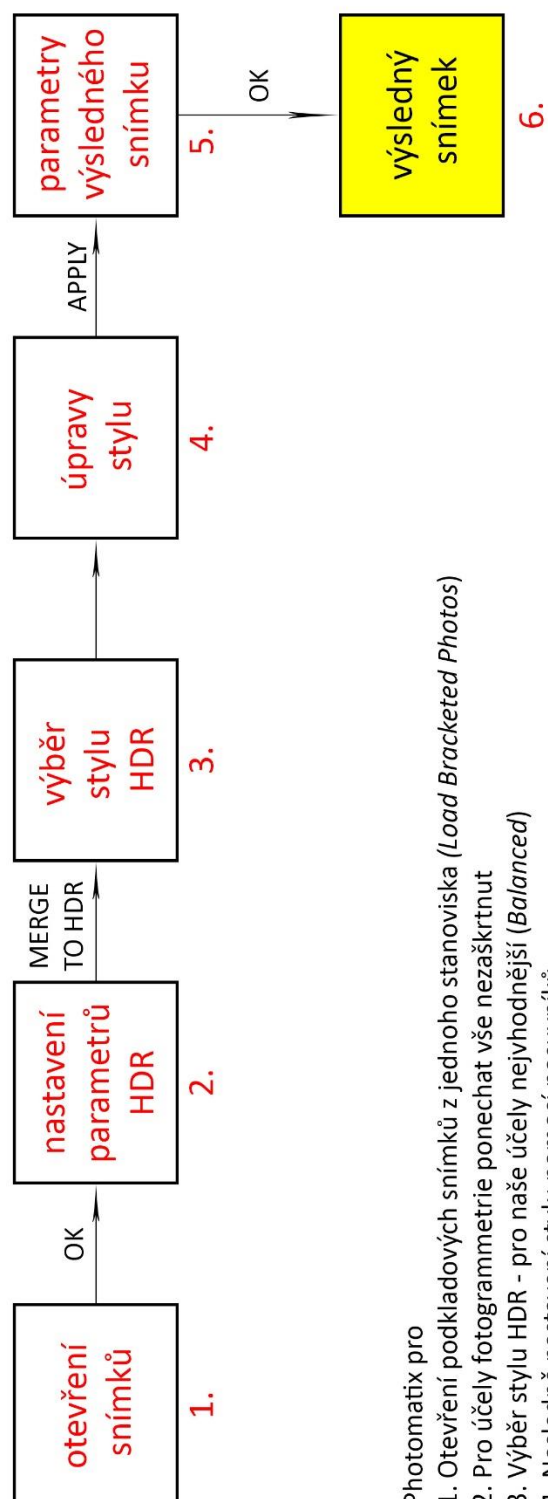
Vlíčovací bod 2



Vlíčovací bod 3



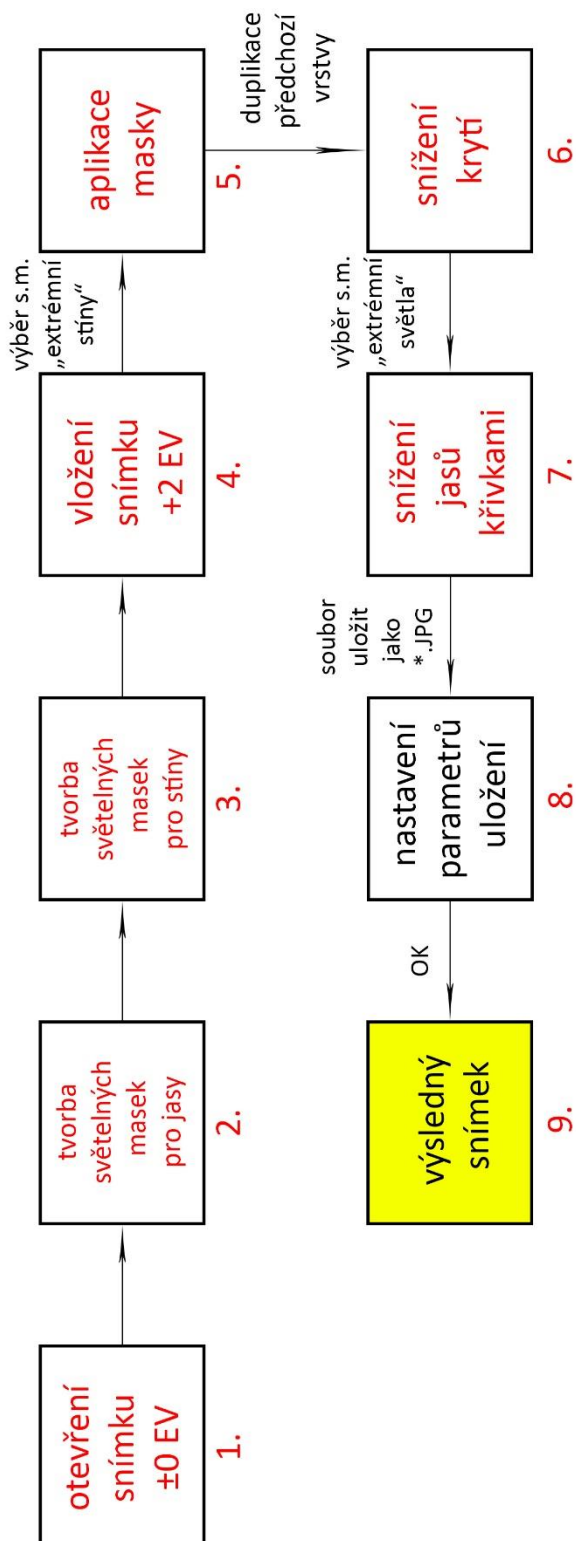
# I Schéma postupu – metoda HDR



Photomatix pro

1. Otevření podkladových snímků z jednoho stanoviska (*Load Bracketed Photos*)
2. Pro účely fotogrammetrie ponechat vše nezaškrtnut
3. Výběr stylu HDR - pro naše účely nejvhodnější (*Balanced*)
4. Nasledně nastavení stylu pomocí posuvníků
5. Parametry renderu výsledného snímku - opět vše nezaškrtnuté.
6. Uložení výsledného snímku (*Save Final Image*)

## J Schéma postupu – metoda světelných masek



Adobe Photoshop CS6

1. Otevření snímku se středovou expozicí
2. Tvorba všech světelných masek pro jasy
3. Tvorba všech světelných masek pro stíny
4. Otevření, zkopírování a vložení snímku +2 EV do současného projektu
5. Aplikace vybrané s. masky „extrémní stíny“ na snímek +2 EV
6. Duplikace předchozí vrstvy a snížení krytí na 50%
7. Výběr s. masky „extrémní světla“ a úprava jasů pomocí křivek
8. Nastavení parametrů formátu JPEG - kvalita 80-100%
9. Výsledný snímek upravený metodou světelných masek