

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební, Katedra mapování a kartografie
Studijní program: **Geodézie a kartografie**
Studijní obor: **Geoinformatika**



**Reprodukce grafických předloh
pomocí digitálního fotoaparátu**

Diplomová práce

Praha, 2009

diplomant: Bc. Pavla Horáková
vedoucí práce: Ing. Petr Soukup, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a informačních zdrojů. Všechny literární prameny, publikace a informační zdroje, ze kterých jsem čerpala, jsou řádně uvedeny buď přímo v textu, nebo v závěrečném seznamu literatury.

V Praze 22.května 2009

Podpis:

Poděkování

Především děkuji vedoucímu své diplomové práce Ing. Petru Soukupovi za odborné vedení při konzultacích k diplomové práci a za ochotu a pomoc při fotografování kalibračních polí a mapových předloh.

Anotace

Hlavním cílem práce je zjistit jaké jsou možnosti využití digitálních fotoaparátů pro účely reprodukce grafických předloh. Práce se zaměřuje na posouzení přesnosti reprodukce z hlediska geometrie a barevné věrnosti. Samotnému posouzení předchází kalibrace fotoaparátu k získání parametrů distorze, jež ovlivňují nafotografované snímky. Z vypočtených parametrů se zjistí při jakém ohnisku je vliv distorze nejmenší a o tuto distorzi se snímek opraví. Nafocení ukázkových předloh se provede pro toto zvolené ohnisko barevný profil. Výsledkem práce jsou ukázky barevných předloh plánů, částí historických mapových listů opravených o distorzi objektivu pro dané ohnisko s co nejvěrnějším barevným podáním.

Klíčová slova

Kalibrace objektivu, distorze objektivu, radiální distorze, reprodukce grafických předloh, věrnost barev, barevný profil.

Annotation

The diploma thesis is disserting upon possibilities of digital camera usage as a reproduction tool for graphical model purposes. The thesis mainly focuses on examination of reproduction from the geometrical preciseness and colour trueness aspects. Examination itself is precluded by camera calibration, which gives needed characteristic of geometrical distortion. This factor has a significant affect on the photo shot. The system is able to correct the photo from gain parameters by selecting focus with minimal geometrical distortion. Founding a right colour profile is essential to have true colours after printing it. The result of diploma thesis is collection of sheet models of historical maps, where each model has corrected lens distortion and colour scheme.

Key words

Lens calibration, geometric distortion, radial distortion, map sheet reproduction, color management system, colour profile.

Obsah

1 Úvod.....	11
1.1 Cíl práce	11
1.2 Vymezení pojmů	13
1.2.1 Typografická konvence	13
1.2.2 Zavedená symbolika a použité zkratky	13
1.2.3 Slovníček pojmů	14
2 Kalibrace objektivu	17
2.1 Kalibrace objektivu pomocí testovacího pole	17
2.2 Přípravné práce – volba podmínek	17
2.3 Postup kalibrace objektivu	20
2.3.1 Fotografování	19
2.3.2 Nastavení v programu Photomodeler	20
2.3.3 Obecný postup při zpracování	21
2.3.4 Výsledky kalibrace	21
2.3.5 Výstupy, zhodnocení	21
3 Zkreslení objektivu.....	23
3.1 Distorze objektivu	23
3.1.1 Radiální distorze	23
3.1.2 Tangenciální distorze	24
3.2 Radiální distorze v programu Photomodeler	24
3.3 Korekce distorze v programu Photomodeler	26
3.4 Kritéria hodnocení výsledků radiální distorze	26
3.5 Eliminace distorze objektivu	29
4 Výsledky kalibrace a opravy distorze objektivu	30
4.1 Volné a fixní ohnisko	31
4.1.1 Radiální distorze podle maximálního rozměru snímku	33
4.1.2 Radiální distorze podle celkové chyby	35

4.2 Podélný a diagonální směr fotografování	37
4.2.1 Radiální distorze podle maximálního rozměru snímku	38
4.2.2 Radiální distorze podle celkové chyby	39
4.3 Ověření výsledků	40
4.3.1 Radiální distorze podle maximálního rozměru snímku	42
4.3.2 Radiální distorze podle celkové chyby	43
5 Digitální fotoaparát Canon EOS 450D	44
5.1 Technické parametry	44
5.2 CMOS čip	46
5.3 Rozlišení a citlivost CMOS čipu	46
5.4 Vznik digitálního obrazu	46
5.5 Barevný digitální obraz	47
6 Systém správy barev	48
6.1 Barevné prostory	48
6.1.1 Barevný prostor sRGB	49
6.1.2 Barevný prostor Adobe RGB	49
6.1.3 Barevný prostor CIA LAB	50
6.2 Bayerova maska	50
6.3 Bayerova interpolace	51
6.4 Barevná hloubka	51
6.5 ICC profil	51
6.5.1 Typy ICC profilů	52
6.5.2 Správa barev s ICC profily	53
6.5.3 Přiřazení profilu.....	54
6.6 Použité formáty obrazových dat	54
7 Vady objektivu	57
8 Barevná kalibrace	60
8.1 Věrná reprodukce	60
8.2 Pomůcky pro barevnou kalibraci	60
8.2.1 Barevná tabulka s referenčními daty BST11	60

8.2.2	Spektrofotometr ColorMunki	61
8.2.3	Použité programy	63
8.3	Rámcový postup při barevné kalibraci	64
8.4	Rámcový postup při barevné reprodukci vzorků předloh	64
8.4.1	Nastavení fotoaparátu	65
8.4.2	Vyfotografování barevných předloh	66
8.4.3	Ověření věrnosti barev	66
8.4.4	Postup výpočtu barevné odchylky	67
8.5	Postup pořízení barevné reprodukce barevné kalibrační tabulky	68
8.6	Postup pořízení barevné reprodukce vzorků předloh	69
8.7	Shrnutí postupů a výsledků.....	71
9	Závěr	74
10	Literatura a zdroje	76
11	Přehled obrázků a tabulek	78
12	Přehled příloh.....	80
13	Přílohy A – Q	

1 Úvod

1.1 Cíl práce

V dlouhé historii lidstva bylo vytvořeno značné množství textových a grafických dokumentů, které obsahují veliké množství cenných informací. Přes pokrok v oblasti informačních technologií zůstává dosud velká většina z nich v analogové podobě, a je tak ohroženo jejich zachování do budoucna. Hlavním důvodem tohoto stavu je velká pracnost a časová náročnost procesu digitalizace.

Klasickou cestu digitalizace analogových předloh představuje použití skenerů. Rozvoj mikroelektroniky v oblasti světlocitlivých čipů umožňuje dnes konstruovat fotoaparáty s vysokým rozlišením. Jejich výhody oproti skenerům spočívají zejména v rychlosti digitalizace předloh, a dále v mobilním a bezkontaktním postupu. Naopak nevýhody fotoaparátů lze jistě spatřovat v obtížnějším dosažení požadovaných geometrických a barevných parametrů digitálních obrazů předloh.

Podstatnou součástí procesu digitalizace předloh je také možnost jejich případného zpětného převodu do analogové podoby. V takovém případě logicky požadujeme, aby vytvořená reprodukce byla maximálním možným způsobem podobná originálu. Tuto podobnost lze obecně zkoumat ve dvou rovinách. V rovině geometrické přesnosti (rozměr, tvar) a v rovině barevné věrnosti (absolutní a relativní poměry barev).

Cílem této diplomové práce bylo zjistit, jaké jsou možnosti využití digitálních fotoaparátů pro účely reprodukce grafických předloh mapových listů a posoudit přesnost reprodukce map z hlediska geometrie a barev. Obě tyto složky spolu se stanovením nejvhodnějšího technologického postupu a s určením dosažitelných limitů při reprodukci grafických předloh byly hlavním zaměřením diplomové práce. Mapové předlohy, které představují svým způsobem specifický typ předloh, patří s ohledem na formát a „hustotu informací“ zřejmě k nejobtížněji reprodukovatelným.

Při posuzování možností digitálních fotoaparátů se vycházelo z předpokladu, že zásadní vliv na výsledek geometrického zkreslení předlohy má radiální distorze objektivu. Nejlepším způsobem pro ověření tohoto předpokladu je provést kalibraci fotoaparátu pomocí testovacího

kalibračního pole a zjistit parametry radiální distorze. Prostřednictvím nafotografování snímků při různých ohniskových vzdálenostech se získá přehled průběhu radiální distorze objektivu. Eliminace vlivu radiální distorze objektivu se provede ve vhodném programu. Při porovnání ohniskových vzdáleností s odpovídající velikostí radiální distorze se zvolí nejvhodnější ohnisková vzdálenost s přijatelným vlivem distorze, při kterém je vhodné následně pořizovat snímky vybraných detailů mapových listů. U těchto snímků se dále posoudí barevná věrnost. K určení barevné věrnosti se nasnímá barevná kalibrační tabulka. Pomocí spektrofotometru se ověří barevné podání.

Výsledkem práce jsou reprodukce vybraných detailů mapových listů, opravené o distorzi objektivu.

1.2 Vymezení pojmů

1.2.1 Typografická konvence

V diplomové práci jsou dodržovány tyto typografické konvence:

Tučné písmo slouží ke zvýraznění

Podtržené písmo vyznačuje internetový odkaz

[...] číslo v hranatých závorkách symbolizuje literární pramen (uveden v kapitole 10)

(...) číslo v kulatých závorkách symbolizuje internetový odkaz (uveden v kapitole 10)

1.2.2 Zavedená symbolika a použité zkratky

W	šířka snímacího čipu
H	výška snímacího čipu
K_1, K_2	koeficienty radiální distorze objektivu
P_1, P_2	koeficienty tangenciální distorze objektivu
r_{\max}	maximální rozměr snímku měřený z jeho středu
dr	velikost radiální distorze

Další použitá symbolika je uvedena přímo v textu před jejím použitím.

CIE	Commission internationale de l'éclairage
ICC	International Color Consortium
RGB	Red Green Blue
CMS	Color Management System
DPP	Digital Photo Professional

1.2.3 Slovníček pojmů

CCD /CMOS (Charge-coupled device / Complementary metal–oxide–semiconductor)

Světlocitlivý čip (senzor, obrazový snímač) převádějící dopadající světlo (obraz) na elektrický signál (digitální signál), který fotoaparát zpracovává na obrázek. Světlocitlivý prvek je sám o sobě barvoslepý.

Clona resp. **clonové číslo**

Nastavitelný otvor za objektivem, určuje množství světla, které jím dopadá na čip. Clonové číslo je velikost otvoru, kterým proudí světlo skrze objektiv na světlocitlivý prvek. Udává se v hodnotách $f/8$, $f/16$.

CIE (Commission internationale de l'éclairage)

Mezinárodní komise pro osvětlování věnující se světlu, osvětlování, barvě a kolorimetrickým soustavám.

CIE LAB nezávislý barevný prostor specifikovaný mezinárodní komisí pro osvětlování (CIE)

CIE XYZ souřadnice kolorimetrického prostoru CIA LAB

CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, black)

CMYK je barevný model založený na subtraktivním míchání barev. Používá se především u reprodukčních zařízení.

Color Management System

System, který má zajistit, aby barevnost obrazu vypadala na všech zařízeních stejně, tj. stejně na monitoru, na barevné tiskárně, nátisku až po finální tisk.

Distorse objektivu (Lens Distortion)

Distorse objektivu nebo-li zkreslení objektivu je souhrn zbytkových vad objektivu projevující se posunem obrazu bodu od jeho správné polohy v rovině snímku. Je způsobena geometrickou nepřesností při výrobě objektivu.

Decentrační distorse objektivu

Zkreslení objektivu způsobené odchylkami středů křivosti jednotlivých vrcholů objektivu od jeho optické osy.

Exif (Exchangeable image file format)

Exif je specifikace pro formát metadat vkládaných do souborů digitálními fotoaparáty.

Expozice

Míra vyjadřující množství světla, kterému je čip při pořizování snímku vystaven. Závisí na cloně a době otevření uzávěrky.

Rozměr čipu (Format Size)

Velikost obrazové části v milimetrech.

Gamut

Barevný gamut je dosažitelná oblast barev v určitém barvovém prostoru. Vymezuje oblast barev, s nimiž dokáže pracovat konkrétní zařízení.

Histogram (Sloupcový diagram)

Graf znázorňující množství červené, zelené a modré barvy v obraze. Dává přehled o tom, kolik pixelů je na snímku obsaženo ve škále od nejtmašího do nejsvětějšího jasu.

Hlavní snímkový bod (Principal Point)

Hlavní snímkový bod představuje průsečík roviny snímku s paprskem. Paprskem se myslí paprsek procházející v předmětovém prostoru středem promítání. Základní bod na snímku souvisí s parametry distorze a všemi body na snímku. Předpokládá se, že hlavní bod je ve stejném souřadnicovém systému jako základní bod na čipu kamery.

ICC profily nebo-li barvové profily

Soubor, matematicky popisující barevné vlastnosti (zkreslení ideálních barev) každého zařízení. Jejich formát je definován organizací International Color Consortium (ICC) a obsahuje všechny informace potřebné k převodu RGB souřadnic do souřadnic CIE XYZ, nebo CIE L*a*b..

Kontrast (Protiklad)

Barevný kontrast označuje kontrast jednotlivých barev. Jasový kontrast je rozdíl jasů různých ploch. Číselné vyjádření kontrastu = (Rozdíl jasů ve scéně / Průměrný jas ve scéně).

Konstanta komory

Konstanta komory je definována jako vzdálenost od hlavního snímkového bodu ke středu výstupní pupily. Označuje se většinou písmenem f.

L*a*b* souřadnice barevného prostoru CIE LAB

Obrazový bod (Pixel picture element)

Obrazový bod (prvek) je nejmenší jednotka digitální rastrové grafiky.

Ostrost

Ostrost je hranový kontrast obrazu. Tzn. že bod na snímáči, resp. na výsledné fotografii, se zobrazí v reálné scéně též jako bod.

Parametry barev

Tón barvy je charakterizovaný vlnovou délkou - modrá, červená, zelená. Jsou dvě základní skupiny barev: chromatické (pestré) a achromatické (nepestré barvy, bílá, černá, odstíny šedi).

Sytost barvy (Saturace) – rozdílnost barvy od nepestré barvy, rozlišujeme barvy syté a bledé.

Jas barvy – udává intenzitu bílého světla, rozlišují se barvy světlé a tmavé.

Přexpozice znamená, že vyfotografovaný snímek je příliš světlý.

Podexpozice znamená, že vyfotografovaný snímek je příliš tmavý.

Pravé barvy (True color)

Tvoří prostor vytvořený barevnými odstíny. Označují 24 bitovou barvu (16 777 216 barev).

RGB Red Green Blue (červená, zelená, modrá)

RGB je barevný prostor založený na aditivním způsobu míchání barev.

Radiální distorze

Zkreslení objektivu v radiálním směru, tj. ve směru poloměru. Distorze má symetrický průběh.

Rozlišení

Udává přesný počet pixelů (v podobě šířka × výška), které dané zařízení dokáže zobrazit.

Tangenciální distorze

Zkreslení objektivu v tangenciálním směru tj. ve směru tečny. Distorze má asymetrický průběh.

Vyvážení bílé (WB = White Balance)

Vyvážení bílé je přizpůsobení barevného podání snímků daným světelným podmínkám, barevné teplotě osvětlení. Slouží ke korigování různého zabarvení bílého světla, aby výsledek co možná nejvíce odpovídal barevné realitě.

ZOOM / transfokátor

Objektiv s plynule měnitelnou ohniskovou vzdáleností. Změnou ohniskové vzdálenosti se však mění i světelnost objektivu. Čím větší zvětšení, tím méně světla dopadá na čip CCD.

Závěrka

Zařízení ve fotoaparátu, které se otvírá v okamžiku stisknutí spouště a umožňuje světlu dopadnout na čip. Určuje jak dlouhou dobu bude světlo dopadat na světlocitlivý prvek.

2 Kalibrace objektivu

Cílem kalibrace bylo nejen zjistit prvky vnitřní orientace, ale také, zda lze z nafocených snímků podle daného ohniska odhadnout velikost a průběh radiální distorze. Dalším cílem bylo posouzení, jak se radiální distorze objektivu projevuje na snímcích po jejím upravení v programu Distortion. Dále pak najít ohnisko s nejmenším vlivem radiální distorze objektivu, které se následně použije i pro fotografování reprodukcí.

2.1 Kalibrace objektivu pomocí testovacího pole

Kalibrace objektivu slouží k určení vlastností použitého fotoaparátu. V našem případě byl použit digitální fotoaparát Canon EOS 450D. Vlastnosti přístroje lze vyjádřit parametry, které označujeme za prvky vnitřní orientace. Jsou jimi konstanta komory, poloha hlavního snímkového bodu, zkreslení = distorze objektivu (radiální a tangenciální zkreslení)

radiální distorze parametry jsou označeny K_1 a K_2

tangenciální distorze parametry jsou označeny P_1 a P_2

Kalibračním objektem byl testovací kalibrační terč s kruhovými bodovými značkami na formátu papíru A2, který byl připevněný na rovinné desce.

2.2 Přípravné práce - volba podmínek

Před samotným měřením byly zvoleny postupy a vybrány podmínky, za kterých bude fotografování a zpracování prováděno (viz níže). Výsledky jednotlivých kroků posloužily k výběru vhodného postupu fotografování předloh.

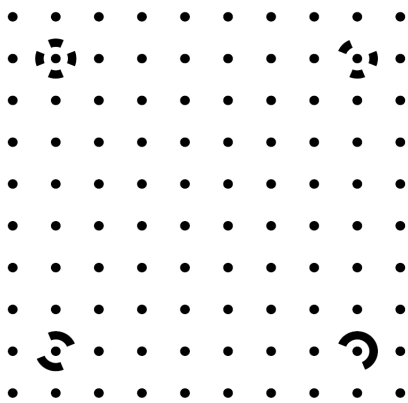
Volba kalibrační metody kalibrace pomocí rovinného testovacího pole

Rozměr rovinného testovacího pole formát A2

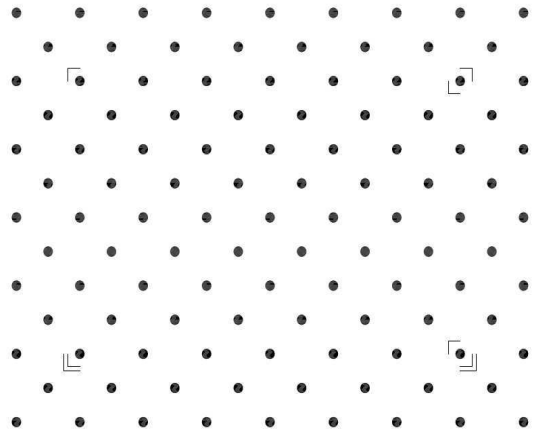
(nejvíce se blíží rozměru mapového listu)

Typy kalibračních polí

1. Čtvercové pole s ortogonálně natočenou sítí
2. Obdélné pole s diagonálně natočenou sítí

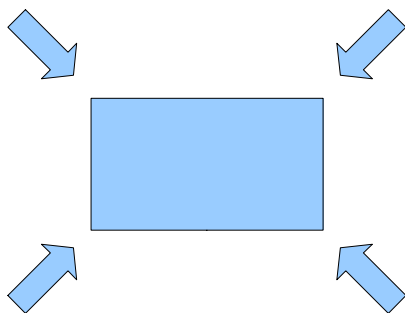


Obr.1: Čtvercové pole s ortogonálně natočenou sítí



Obr.2: Obdélné pole s diagonálně natočenou sítí

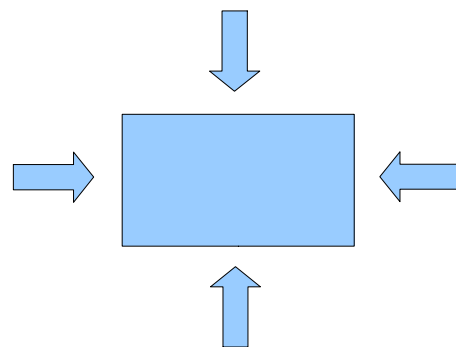
Volba snímání kalibračních polí



Obr.3: Diagonální směr fotografování

v diagonálním směru

v podélném směru



Obr.4: Podélný směr fotografování

Počet snímků

5 snímků (4 + 1)

4 diagonální snímky resp. ortogonální, pootočené o 90°

1 frontální snímek (s osou záběru kolmou na testovací pole)

Ohniskový rozsah

18 – 45 mm

Rozměry čipu

4272 x 2848 pixelů

Použitý software

Photomodeler Pro 4.0*

(software kanadské firmy Eos Systems Inc)

Distortion v 5.25

(program jehož autorem je Ing. Tomáš Dolanský, Ph.D.)

Nastavení fotoaparátu

Ostření	manuální
Závěrka	1/50
Clona	F22
ISO	400
Vyvážení bílé	vlastní
Kvalita	RAW data + .jpg
Ohnisková řada [mm]	18, 24, 35, 45 **

* Program Photomodeler Pro 4.0 byl dostupný na katedře. Některé postupy při testování a výběru vhodné metody vycházely z informací dostupných i k programu Photomodeler 6. Jedná se o stejný program, jen je novější a vylepšený. Vzhledem, k tomu, že v době zpracování práce nebyl dostupný, nebyla v něm data zpracována. Pouze byla pro inspiraci použita demoverze tohoto programu, která má jednu podstatnou „vadu“ pro naše testování. Jako vzorové snímky se nedají použít jiné snímky než, ty které jsou k dané demoverzi přiděleny.

** Při ručním nastavení před pořízením snímků byla ohniska nastavována na tyto hodnoty 18, 24, 35, 45 mm. Před zpracováním dat byly údaje o ohnisku ověřeny v Exif datech jednotlivých snímků. Hodnoty ohnisek se lišily. Při dalších výpočtech byla použita Exif data.

2.3 Postup kalibrace objektivu

2.3.1 Fotografování

Nejprve byla nafotografována kalibrační testovací pole – čtvercové a obdélné. Inspirací pro použití čtvercového pole byly vzorové snímky pro demo verzi programu Photomodeler 6. Obdélné testovací pole využívá Laboratoř fotogrammetrie Katedry mapování a kartografie. Postup focení vycházel z literatury [1].

V našem případě bylo zvoleno pět snímků. Jeden frontální snímek s osou záběru kolmou na testovací pole a dále čtyři skloněné konvergentní snímky pootočené o 90°. Frontální snímek je důležitý pro správné určení polohy hlavního snímkového bodu. Optimální pro kalibraci je osm snímků, které vedou k příznivějšímu protnutí a vyšší redundanci (vyššímu počtu nadbytečných parametrů). Konfigurace pěti snímků dostatečně vystihuje testovací pole. Pro dostatečně přesné určení parametrů je rozhodující zejména počet a rozmístění bodů na jednotlivých snímcích.

Fotografování bylo prováděno jak v diagonálním směru fotografování, tak i v podélném směru fotografování. A to zvláště pro každé pole. Diagonálního snímání bylo použito v literatuře [1]. Inspirací pro použití fotografování ve směru podélném bylo instruktážní video demoverze Photomodeler verze 6, Photomodeler Tutorial Videos: Camera Calibration – Part 1 a Part 2.

Cílem bylo zjistit, které z těchto dvou způsobů fotografování budou optimální pro další zpracování, a jestli se to projeví i na vlivu radiální distorze objektivu.

Následně byla data zpracována v programu Photomodeler Pro 4. Podrobný postup kalibrace, konfigurace snímků a jejich zpracování v programu Photomodeler vycházel z návodů v literatuře[1]. Dále o něm nebude detailně popisováno. V následujícím textu jsou vyzdvíženy důležité informace týkající se nastavení parametrů v programu a jejich výstupů.

2.3.2 Nastavení v programu Photomodeler

Před samotným zpracováním bylo nutné určit, zda dané ohnisko bude po celou dobu fixní tj. během výpočtů neměnné, či zda bude povoleno jeho přepočítávání během procesu. **Volné ohnisko** – při zpracování dat bylo společně s prvky distorze vypočteno i nové ohnisko. **Fixní ohnisko** – bylo nastaveno tak, že není po zpracování dat přepočítáno a zůstává po celou dobu neměnné. Pro oba případy zůstal rozměr čipu také neměnný.

Po zpracování dat v programu Photomodeler Pro 4 se zobrazí dialogové okno celkové chyby tzv. total error dialog. Jedná se o okno se sloupcovým grafem. Každý sloupec představuje celkovou (součtovou) odchylku v jedné iteraci. Tato celková chyba je bezrozměrná. Jedná se o kombinaci zbytkových chyb z obrazu, z parametrů kamery, z hran, z kontrolních bodů a z dalších prvků. Nevýhodou této chyby je, že není známo, jak se počítá v programu Photomodeler, a tudíž s ní nemůžeme plně pracovat. V našem případě k ní bylo přihlédnuto pouze z pohledu kontroly. Jestliže se stane, že výsledky zpracování jsou hodně špatné (není známo podle čeho program posuzuje dobré a špatné výsledky), pak program jednoduše prvky radiální distorze nespočítá.

2.3.3 Obecný postup při zpracování

Schématické znázornění postupu zpracování snímků v programu Photomodeler:

Založení projektu → **Doplnění parametrů fotoaparátu** → **Určení identických bodů**
→ **Referencování (automatické, ruční – doplnění)** → **Kontrola identických bodů**
→ **Výsledek kalibrace**. Podrobnější popis je uveden v literatuře [1].

2.3.4 Výsledky kalibrace

Výsledkem kalibrace byly spočítané hodnoty parametrů distorze K_1 , K_2 , P_1 , P_2 a přepočítané prvky vnitřní orientace – ohnisková vzdálenost a poloha hlavního snímkového bodu. Z těchto dat byla vypočtena distorze pro jednotlivé poloměry. Výsledky jsou přehledně znázorněny v tabulkách (Příloha A - H) a grafech (Příloha I – O), více v kapitole 4.

2.3.5 Výstupy, zhodnocení

Čtvercové kalibrační testovací pole s ortogonálně natočenou sítí se ukázalo v našem případě jako nevhodné, protože si s ním software Photomodeler Pro 4 neumí dobře poradit a je pro něj obtížné určit správné natočení snímků. Právě čtvercová forma rozmístění bodů znemožňuje programu určit správnou orientaci snímků a za této situace pak nedošlo k určení orientace jednotlivých snímků. Nebylo tak možné zjistit ani prvky distorze. Důvodem, proč bylo toto pole vybráno pro testování, byly vzorové snímky v demo verzi programu Photomodeler 6. Vzhledem k tomu, že pro všechny výpočty byl použit program Photomodeler Pro 4 a nikoliv novější verze programu, nelze tuto možnost zcela zavrhnout pro jiné případy. Pro naše účely bylo toto pole vyloučeno.

Je možné, že nová verze programu provádí orientaci jiným způsobem nebo jiným způsobem vypočítává parametry distorze. V dalších výpočtech bylo použito pouze pole obdélné s diagonálně natočenou sítí, se kterým neměl program Photomodeler Pro 4 problém.

Z hlediska použitého směru fotografování (podélný a diagonální) byl směr podélný pro naše účely vyloučen. Vhodnější bylo použít fotografování testovacího kalibračního pole ve směru diagonálním.

Výsledky s použitím volného a fixního ohniska v programu Photomodeler se na první pohled příliš neliší. Nevýhodou u fixního ohniska je, že po opravě v programu Distortion dojde k nežádoucímu oříznutí snímků v důsledku opravy distorze. Fixní ohnisko nebylo dále zahrnuto do dalšího zpracování (více v kapitole 4).

S odstupem času došlo ke kontrolnímu, opětovnému nafocení testovacího kalibračního pole. Dle předchozích výsledků bylo použito testovací kalibrační pole s diagonálně natočenou sítí s diagonálním směrem fotografování. Při zpracování v programu Photomodeler bylo použito volné ohnisko. Výsledky druhého fotografování byly začleněny do porovnávání s výsledky prvního fotografování.

3 Zkreslení objektivu

Zkreslení objektivu je souhrn zbytkových vad objektivu projevující se posunem obrazu bodu od jeho správné polohy v rovině snímku. Zkreslení nebo-li distorze objektivu má radiální a tangenciální složku.

3.1 Distorze objektivu

Distorze objektivu je vada, která působí na geometrii zobrazení. Má vliv na přesnost měření, konkrétně na přesnost snímkových souřadnic. Je způsobena souhrnem geometrických nepřesností při výrobě objektivu - optickými čočkami, nedokonalou výrobou, zasazením senzoru kamery a v neposlední řadě i teplotou a vibracemi. Určení distorze buď provádí výrobce nebo ji lze zjistit analytickými metodami s využitím testovacího kalibračního pole. Při nadbytečném počtu měření na snímcích lze průběh distorze vypočítat. Zavedením oprav lze minimalizovat vliv distorze objektivu. Rozlišujeme dva druhy distorze – radiální a tangenciální.

3.1.1 Radiální distorze

Jedná se o posun bodu radiální vzdálenosti r na snímku o hodnotu \mathbf{dr} . Průběh radiální distorze není naprosto přesně rotačně symetrický. Při kompenzaci radiální distorze ale předpokládáme symetrii. Vzhledem k rotační symetrii stačí určit průběh distorze v jednom radiálním směru.

Radiální distorzi je nutné pro přesnost práce znát. Buď je dodána výrobcem nebo se určí pomocí laboratorního měření, popřípadě se použije kalibrační postup přímo při měření a vyhodnocení. V našem případě byla zvolena třetí možnost.

Radiální se jí říká, protože se vyskytuje v radiálním směru tj. ve směru od středu snímku. Radiální distorze je závislá na vzdálenosti od středu snímku. Ve středu snímku by měla být radiální distorze nulová. Radiální distorze objektivu též závisí na ohniskové vzdálenosti. Proto nelze najít universální formuli pro radiální distorzi. Při fotografování snímků bylo přistoupeno k předem nastavované ohniskové vzdálenosti, abychom mohli zvolit ohnisko s nejlepší radiální distorzí.

3.1.2 Tangenciální distorze

Druhým typem distorze objektivu je tangenciální distorze. Je vyvolána nepřesnou centrací jednotlivých čoček objektivu. Působí kolmo na směr radiální distorze a způsobuje nepravidelné, špatně definované lokální posuny. Pro její odstranění je třeba znát hodnoty distorze v celé ploše. Při odstraňování této distorze se musí pro každý měřený bod interpolovat oprava v plošné tabulce. Toto zkreslení nelze prakticky jednoduše kompenzovat a běžně se neuvažuje. V dalších výpočtech je předpokládáno, že vliv tangenciální distorze je zanedbatelný.

V našem případě byl použit lepší digitální fotoaparát Canon EOS 450D (více o fotoaparátu v kapitole 5), běžně dostupný v obchodní síti. Se současným vývojovým trendem digitálních fotoaparátů bylo předpokládáno, že vliv tangenciální distorze je pro naše účely též zanedbatelný.

3.2 Radiální distorze v programu Photomodeler

Podle nápovědy v programu Photomodeler Pro 4 jsou zde dvě vyjádření radiální distorze. A to symetrická a asymetrická radiální distorze. Symetrické vyjádření se jeví menší než vyjádření asymetrické. Přesto program Photomodeler Pro 4 používá asymetrickou formu. Radiální distorze objektivu je symetrická v hlavním bodu. Označený bod (tzv. Hlavní bod) radiální distorze r je vyrovnán koeficientem drb (poloměr \times velikost radiální distorze). Korekce je aplikována pro x-ovou a y-ovou souřadnici.

$$x_c = x \cdot \left(1 + \frac{drb}{r}\right) \quad y_c = y \cdot \left(1 + \frac{drb}{r}\right)$$

Po vydělení vzorce parametrem r dostáváme

$$r \cdot dr = drb \quad dr = \frac{drb}{r}$$

a pro x-ovou a y-ovou souřadnici pak

$$x_c = x \cdot (1 + dr) \quad y_c = y \cdot (1 + dr)$$

Photomodeler používá vzorec pro **dr** : $dr = K_1 \cdot r^2 + K_2 \cdot r^4$ kde $r^2 = x^2 + y^2$

Standardní symetrická forma radiální distorze je : $dr = A_0 + A_1 \cdot r^2 + A_2 \cdot r^4$

K převedení této **symetrické formy na asymetrickou** používá Photomodeler parametr **s**:

$$s = (1 - A_0) \quad f = \frac{f_2}{s} \quad K_1 = \frac{A_1}{s} \quad K_2 = \frac{A_2}{s}$$

f₂ je ohnisková vzdálenost od Hlavního bodu v původní kalibraci se symetrickou distorzí

f je ohnisková vzdálenost použitá v Photomodeleru

K převedení **asymetrického vyjádření na symetrické vyjádření** je v programu Photomodeler použit malý trik. Protože je třeba určit symetrický bod, tak radiální distorze se rovná nule.

$$A_0 = -(K_1 \cdot r_0^2 + K_2 \cdot r_0^4) \quad s = (1 - A_0) \quad f_2 = f \cdot s \quad A_1 = K_1 \cdot s \quad A_2 = K_2 \cdot s$$

kde **r₀** je libovolný poloměr

Jednotky pro jednotlivé parametry

ohnisková vzdálenost	f	mm
rozměr čipu	f _w , f _h	mm
poloha hlavního bodu	x _p a y _p	mm
parametry	K ₁ , K ₂ , P ₁ , P ₂	-

Parametry fotoaparátu jsou upraveny k definování nových přibližných parametrů. Program Photomodeler Pro 4 využívá standardní vyjádření distorze objektivu se čtyřmi parametry zobrazené v dialogovém okně „Informace o kameře“.

3.3 Korekce distorze v programu Photomodeler

Následující vzorce popisují, jak program Photomodeler Pro 4 používá korekce distorze. Distorze objektivu způsobuje posun bodů obrazu na obrazovém povrchu CMOS čipu ze správné pozice. Kompenzace pro jakýkoliv bod (x,y) na obrazové rovině, kde hlavní bod má souřadnice (0,0):

$$x_c = x + dr_x + dp_x \quad y_c = y + dr_y + dp_y$$

x_c, y_c jsou souřadnice opraveného obrazového bodu

dr_x je x – ová složka korekce radiální distorze K_1

dr_y je y – ová složka korekce radiální distorze K_2

dp_x je x – ová složka korekce posunu distorze objektivu P_1

dp_y je y – ová složka korekce posunu distorze objektivu P_2

Vzorce používané v programu Photomodeler Pro 4 pro vyjádření posunu distorze:

$$dp_x = P_1 \cdot (r^2 + 2 \cdot x^2) + 2 \cdot P_2 \cdot x \cdot y \quad dp_y = P_2 \cdot (r^2 + 2 \cdot y^2) + 2 \cdot P_1 \cdot x \cdot y$$

3.4 Kritéria hodnocení výsledků radiální distorze

Záměrem bylo vybrat vhodné ohnisko s vhodnými parametry pro odstranění vlivu radiální distorze objektivu. Byla zvolena kritéria, podle kterých se bude usuzovat na vhodnost ohniska pro následné fotografování reprodukcí mapových listů. Snahou je též zjistit, zda se objevují nějaké vzájemné vztahy mezi jednotlivými posuzovanými kritérii, ze kterých by se dal předpokládat určitý průběh v dalších měřeních.

Posouzení podle

1. průběhu radiální distorze objektivu v grafu
2. celkové chyby (total error) určené programem Photomodeler Pro 4
3. hodnoty radiální distorze objektivu v maximálním rozměru snímku

Volba požadavků na přesnost

1. Průběh radiální distorze objektivu v grafu

Vycházíme z obecných informací o jednotkách. Velikost radiální distorze je udávána v mikrometrech (μm). V ideálním případě bychom chtěli, aby hodnota radiální distorze byla nulová nebo se co nejvíce přiblížila nulovým hodnotám. V reálu to není úplně možné. Snahou bylo získat hodnoty radiální distorze co nejmenší. Horní hranice pro přijetí výsledků měření byla taková, aby ve směru maximálního rozměru snímku dosahovala hodnot 0,1 mm (100 μm), které odpovídají na mapě o měřítku 1:1000, délce 10 cm (viz níže, bod 3).

2. Celková chyba (total error)

Po zpracování snímků v programu Photomodeler se s výsledky kalibrace zobrazí i hodnota tzv. celkové (součtové) chyby. Tato celková chyba je bezrozměrná. Jedná se o kombinaci zbytkových chyb z obrazu, z parametrů kamery, z hran, z kontrolních bodů a z dalších prvků. Nevýhodou této chyby je, že z není známo jak se počítá v programu Photomodeler a tudíž s ní nemůžeme plně pracovat. V našem případě k ní bylo přihlédnuto pouze z pohledu kontroly.

3. Hodnoty radiální distorze v maximálním rozměru snímku

Rozměr čipu, jehož velikost je zobrazována ve výstupním okně Photomodeleru, se pro každé ohnisko mění. Na našich výstupech se pohybuje pro šířku W v rozmezí 18 – 21 mm a pro délku H v rozmezí 12 – 14 mm. S rozměrem čipu se mění též maximální rozměr snímku. Radiální distorze objektivu se projevuje v radiálním (poloměrovém) směru. Maximální poloměr, tak můžeme na vzorovém mapovém listě reprezentovat jako maximální rozměr snímku. Polovina délky úhlopříčky mapového listu představuje v našem případě maximální rozměr snímku (r_{max}). Polovina délky úhlopříčky na předloze mapového listu o rozměru 620 x 460 mm je 386 mm. Maximální rozměr snímku je tedy 386 mm.

V tomto případě se hodnoty radiální distorze pohybují v rozpětí -0,41 až 0,46 mm pro jednotlivá ohniska.

ohniska [mm]	18	20	25	28	34	43	44
r max [mm]	10,95	10,92	11,39	11,99	12,06	12,17	12,17
radiální distorze [mm]	0,46	-0,16	-0,41	0,40	0,04	0,34	0,22

Tab.2 Radiální distorze u maximálního rozměru snímku pro jednotlivá ohniska

Požadavek $x < 0,1$ mm splňuje pouze ohnisko 34 mm. Přijatelných hodnot dosahuje i ohnisko 20 mm (16 cm ve skutečnosti) a ohnisko 44 mm (22 cm ve skutečnosti). Z důvodu většího přiblížení fotoaparátu k fotografované předloze došlo k výběru ohniska 28 mm, se kterým se dále snadněji nasnímalý barevné předlohy mapových listů.

3.5 Eliminace distorze objektivu

Výsledky kalibrace byly použity pro snížení resp. odstranění vlivu radiální distorze objektivu v programu Distortion v 5.25. Jedná se o program, který vytvořil Ing. Tomáš Dolanský, Ph.Dr. Výstupy z programu jsou znázorněny v grafech (Příloha J, K, L, N, O).

4 Výsledky kalibrace a opravy distorze objektivu

V této kapitole jsou shrnuty výsledky kalibrace a opravy distorze. Výstupy jsou zde jen u některých vybraných grafů. Veškeré kalibrační protokoly jsou v přílohách (Příloha A-H) a grafy radiální distorze jsou v přílohách (Příloha I-O). Níže je přehled všech postupů, které byly doposud provedeny a na základě nichž se vybralo vhodné testovací kalibrační pole, směr fotografování a následně i ohnisko.

Program Photodeler Pro 4

- Čtvercové testovací kalibrační pole s ortogonálně natočenou sítí – software nezpracuje
- Obdélné testovací kalibrační pole s diagonálně natočenou sítí – zpracováno
- Fixní ohniskové vzdálenosti – pro všechny výstupy stejné ohnisko
- Volné ohniskové vzdálenosti – pro každý výstup nově přepočítané ohnisko
- Snímky nafocené v podélném směru – zpracováno
- Snímky nafocené v diagonálním směru – zpracováno

Program Distortion

- Fixní ohniskové vzdálenosti – přílišné oříznutí snímků, nevhodné
- Volné ohniskové vzdálenosti – zpracováno

Určení směru fotografování pro volné ohnisko

- Snímky nafocené v podélném směru – dosaženo horších výsledků než diagonálním
- Snímky nafocené v diagonálním směru – dosaženo lepších výsledků

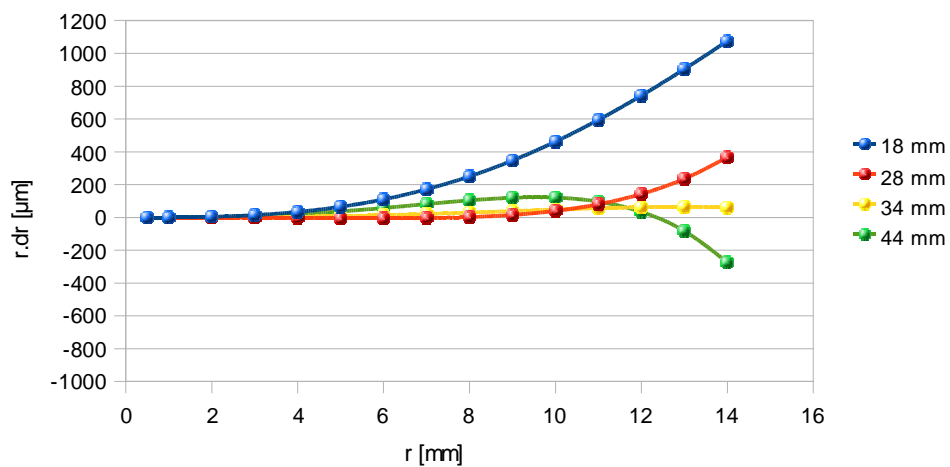
Porovnání snímků fotografovaných v diagonální směru při volném ohnisku

- První testování a druhé (ověřovací) testování

4.1 Volné a fixní ohnisko

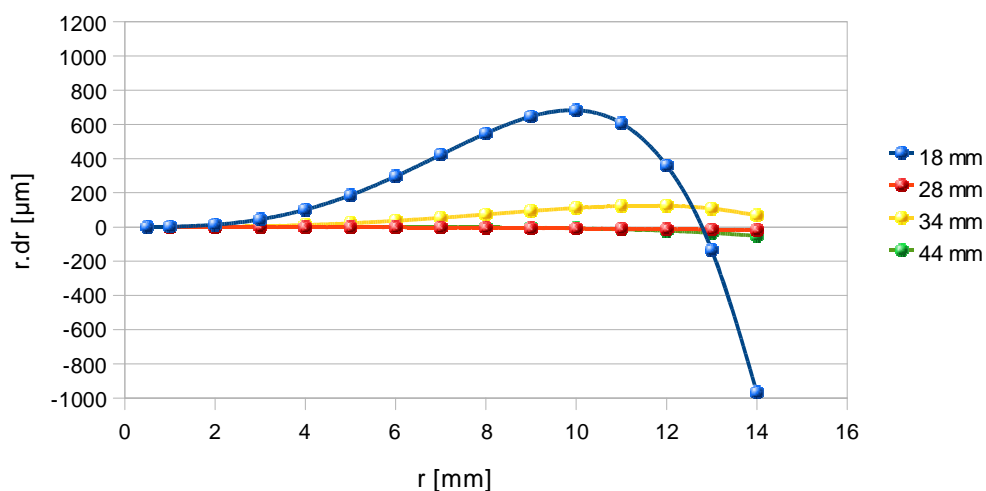
Na základě výstupních hodnot po zpracování programem Photodeler Pro 4 bylo určeno, které ohnisko je z hlediska zpracování v programu Photodeler Pro 4 vhodnější pro potřeby této práce. Nejprve došlo k porovnání grafů průběhu radiální distorze objektivu pro volné a fixní ohnisko (diagonální směr fotografování) – viz níže.

Průběh radiální distorze při použití volného ohniska



Obr.6: Průběh radiální distorze při volném ohnisku

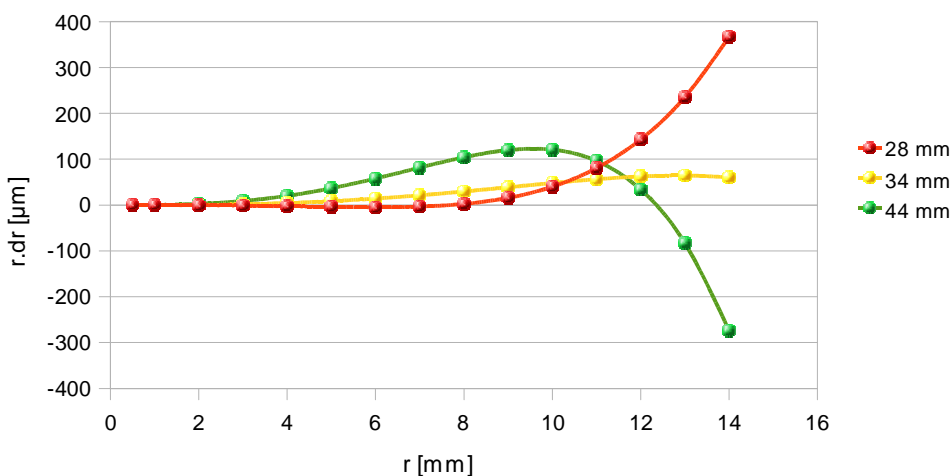
Průběh radiální distorze při použití fixního ohniska



Obr.7: Průběh radiální distorze při fixním ohnisku

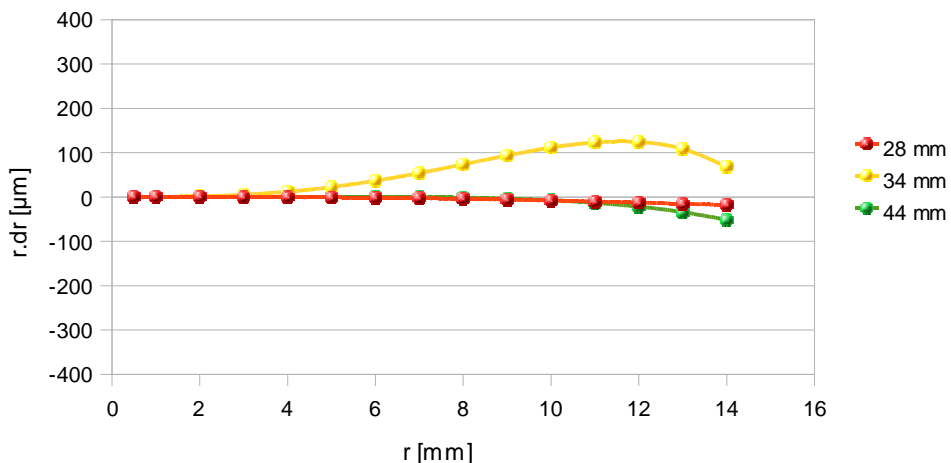
Oba grafy představují hodnoty radiální distorze při prvním zpracování v programu Photomodeler Pro 4. Pro porovnání byly použity snímky fotografované ve směru podélném a diagonálním. Grafy, výše uvedené na obr.6 a obr.7, jsou ze snímků s diagonálním směrem fotografování. Z grafů je patrné, že ohnisko 18 mm se značně odchyľuje jak pro fixní, tak i pro volné ohnisko. Na dalších obrázcích obr.8 a obr.9 jsou stejné grafy obr.6 a obr.7 v detailu po odstranění odchyleného ohniska 18 mm.

Průběh radiální distorze při použití volného ohniska



Obr.8: Průběh radiální distorze při použití volného ohniska

Průběh radiální distorze při použití fixního ohniska



Obr.9: Průběh radiální distorze při použití fixního ohniska

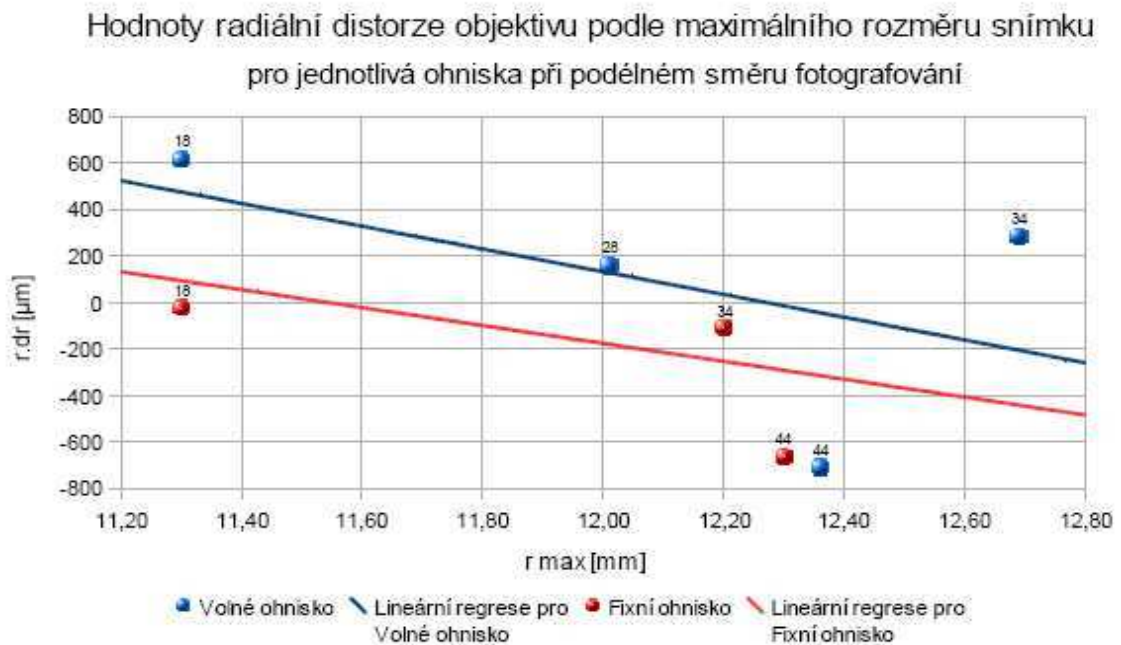
Hodnoty radiální distorze dosahují nejmenších hodnot pro fixní ohnisko 28 mm.

4.1.1 Radiální distorze podle maximálního rozměru snímku

Průběh radiální distorze lze posuzovat i podle hodnot maximálního rozměru snímku. Porovnání se prováděla pro obě ohniska (volná a fixní) a pro oba směry fotografování (podélný a diagonální).

Podélně	Volné ohnisko				Fixní ohnisko			
ohnisko [mm]	18	28	34	44	18	28	34	44
r max [mm]	11,30	12,01	12,69	12,36	11,30	12,01	12,20	12,30
r.dr [μm]	618	161	285	-708	-18	158	-107	-663

Tab.3: Radiální distorze objektivu pro maximální rozměr snímku při podélném směru fotografování



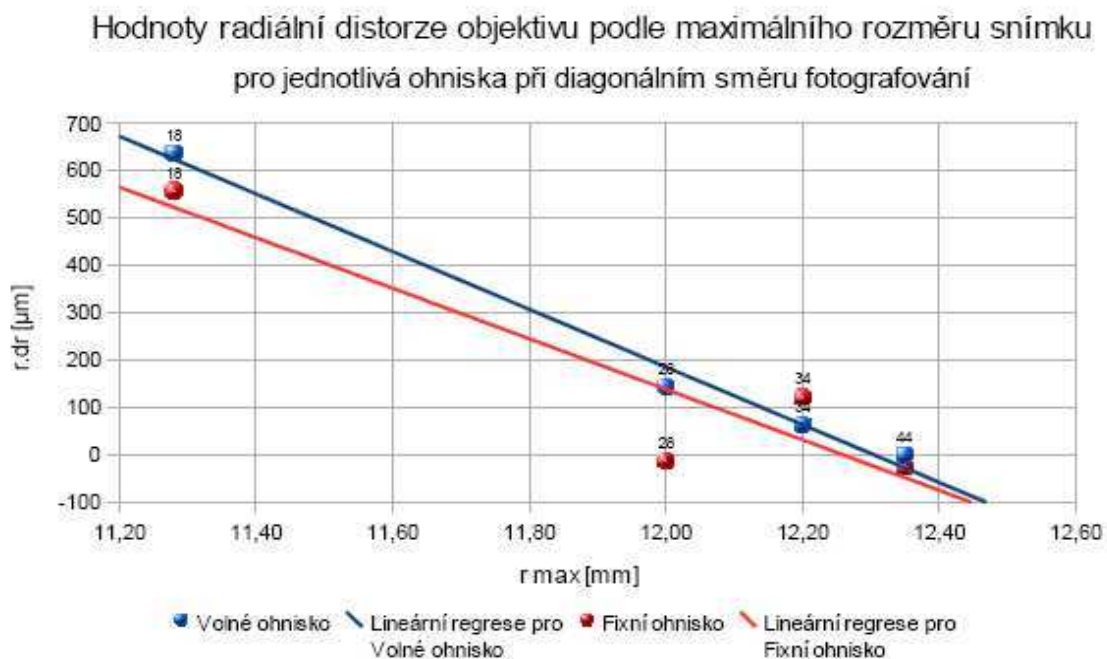
Obr.10: Radiální distorze objektivu pro maximální rozměr snímku při podélném směru fotografování

Po proložení křivky lineární regrese je volné ohnisko 28 mm nejbližší k této křivce. U fixního ohniska je to ohnisko 18 mm. S rostoucím ohniskem klesají i hodnoty radiální distorze v hodnotě maximálního rozměru snímku.

Pozn. U ohniska 28 mm jsou hodnoty radiální distorze pro volné a fixní ohnisko tak blízké, že na grafu splývají v jeden bod.

Diagonálně ohnisko [mm]	Volné ohnisko				Fixní ohnisko			
	18	28	34	44	18	28	34	44
r max [mm]	11,28	12,00	12,20	12,35	11,28	12,00	12,21	12,35
r.dr [μm]	635	143	63	0	557	-13	122	-26

Tab.4: Radiální distorze objektivu pro maximální rozměr snímku při diagonálním směru fotografování



Obr.11: Radiální distorze objektivu pro maximální rozměr snímku při diagonálním směru fotografování

V diagonálním směru je křivka lineární regrese u volného ohniska blíže jednotlivým ohniskům tj. součty druhých mocnic jsou zde menší než u fixního ohniska. I rozsah hodnot radiální distorze se pohybuje v menším intervalu (-26, 635) než u podélného směru fotografování (-708, 618). Z pohledu hodnot radiální distorze objektivu v maximální rozměru snímku nelze přesně říci, zda je vhodnější volné nebo fixní ohnisko. U diagonálního směru fotografování dosahuje radiální distorze objektivu menších hodnot než u podélného směru.

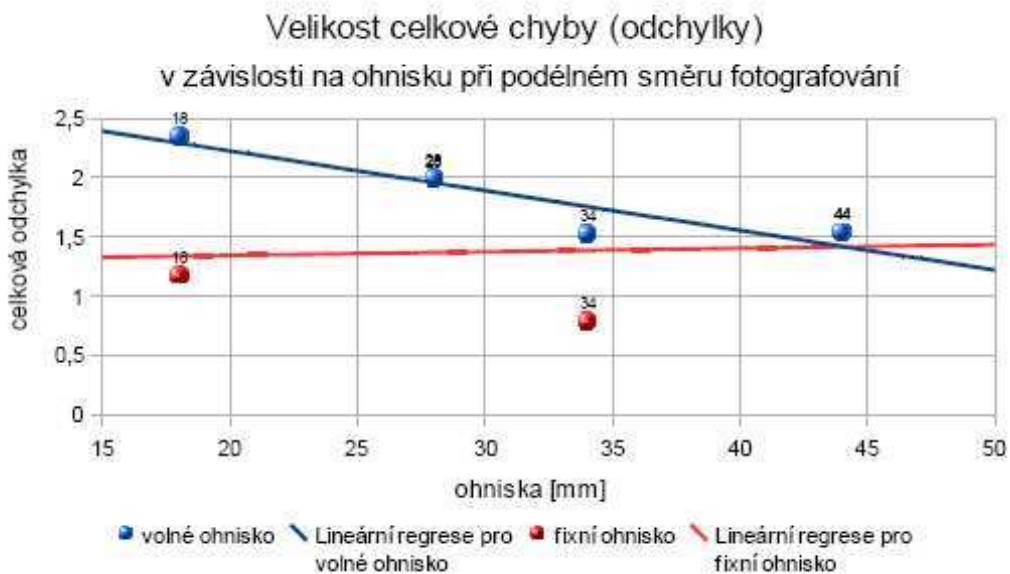
4.1.2 Radiální distorze podle celkové chyby

Na níže uvedených grafech je znázorněn vztah mezi celkovou chybou (odchylkou) podle jednotlivých ohnisek. Zobrazení je jak pro volná, tak i pro fixní ohniska, pro každý směr (podélný a diagonální) fotografování zvlášť.

Podélně fotografováno

Ohnisková vzdálenost		18 mm	28 mm	34 mm	44 mm
Celková chyba (total error)	volné ohnisko	2,35	2,00	1,53	1,54
	fixní ohnisko	1,18	1,99	0,79	1,54

Tab.5: Velikost celkové chyby podle ohniska při podélném směru fotografování



Obr.12: Velikost celkové chyby podle ohniska při podélném směru fotografování

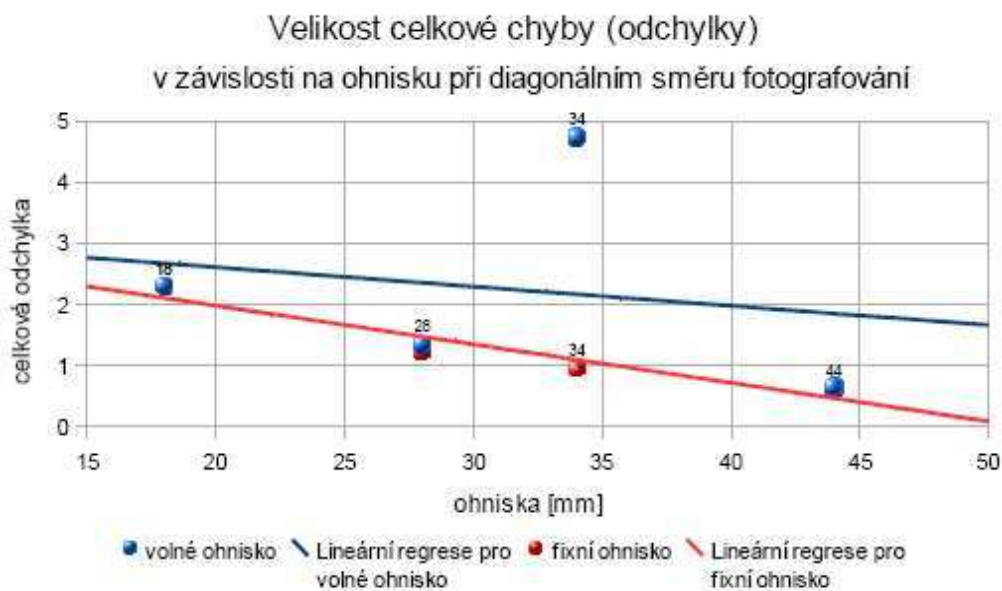
V podélném směru fotografování hodnoty celkové chyby (odchylky) u fixního ohniska mění střídavě svou hodnotu. Oproti tomu u volného ohniska celková chyba s ohniskovou vzdáleností lineárně klesá.

Pozn. U ohniska 28 mm jsou hodnoty radiální distorze objektivu pro volné a fixní ohnisko tak blízké, že na grafu splývají v jeden bod. U ohniska 44 mm jsou hodnoty totožné, též splývají v jeden bod.

Diagonálně fotografováno

Ohnisková vzdálenost		18 mm	28 mm	34 mm	44 mm
Celková chyba (total error)	volné ohnisko	2,31	1,35	4,75	0,66
	fixní ohnisko	2,31	1,24	0,97	0,64

Tab.6: Velikost celkové chyby podle ohniska při diagonálním směru fotografování



Obr.13: Velikost celkové chyby podle ohniska při diagonálním směru fotografování

V diagonálním směru hodnoty celkové chyby (total error) u fixního ohniska oproti předchozímu případu lineárně klesají. V případě volného ohniska se hodnoty celkové chyby střídavě mění.

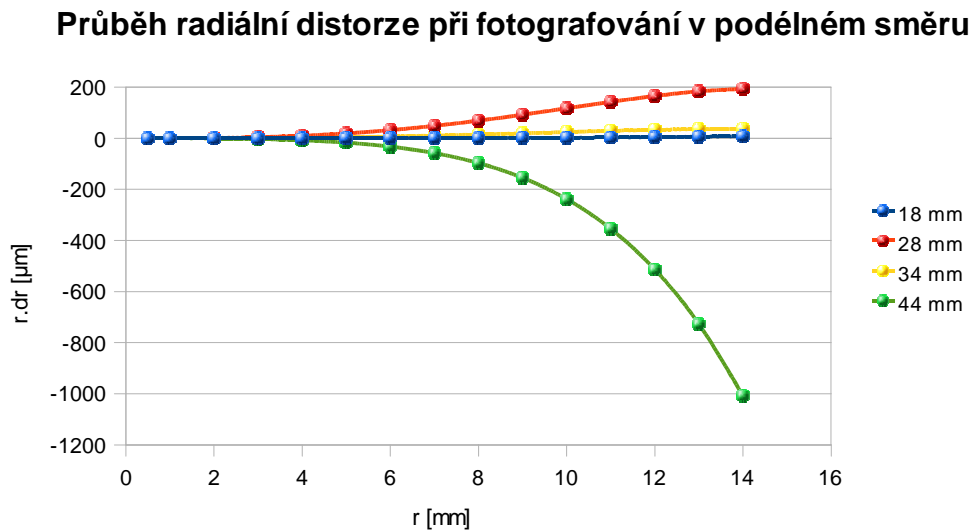
Shrnutí výsledků:

Z celkové chyby (odchylky) nelze přesně určit, který způsob zpracování je lepší – zda s volným ohniskem či s fixním ohniskem. Při rozhodování, které z těchto dvou ohnisek bude vhodnější, bylo přihlíženo nejen z pohledu programu Photomodeler, ale i z pohledu opravy distorze v programu Distortion. Snímky u fixního ohniska jsou po opravě distorze objektivu s vyhlazováním nevhodně oříznuty. Části snímků tak jsou odstraněny a nelze provést další určení parametrů distorze v programu Distortion. Pro určení totiž chybí potřebný počet bodů testovacího kalibračního pole, které byly ořezem odstraněny. Z tohoto důvodu bylo fixní ohnisko z dalších postupů a výpočtů vyloučeno.

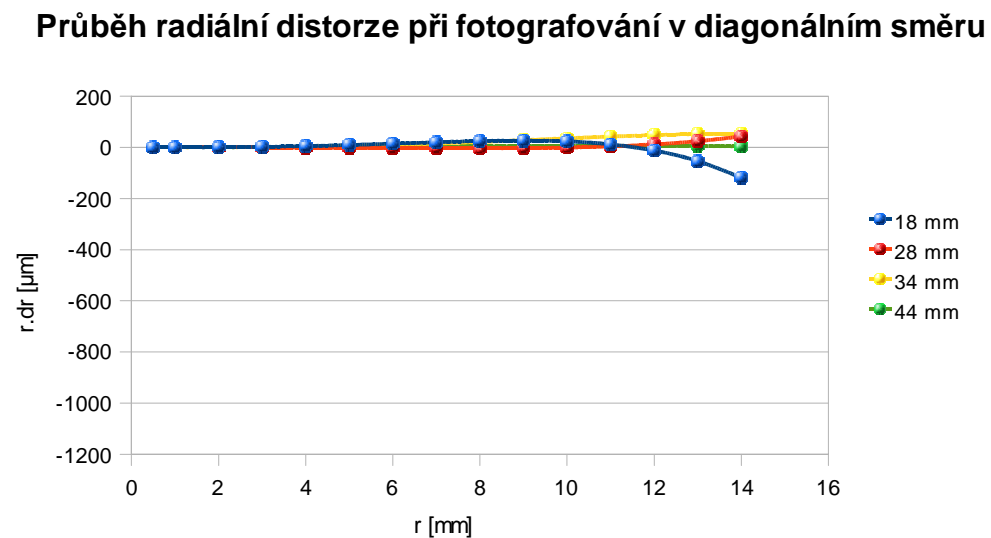
Pozn. U ohniska 18 mm jsou hodnoty radiální distorze pro volné a fixní ohnisko totožné, na grafu splývají v jeden bod. U ohniska 44 mm jsou hodnoty tak blízké, že též splývají v jeden bod.

4.2 Podélný a diagonální směr fotografování

Porovnává se, zda směr fotografování má vliv na průběh distorze a který směr je vhodnější pro naše použití.



Obr.14: Průběh radiální distorze při volném ohnisku a při podélném směru fotografování



Obr.15: Průběh radiální distorze při volném ohnisku a při diagonálním směru fotografování

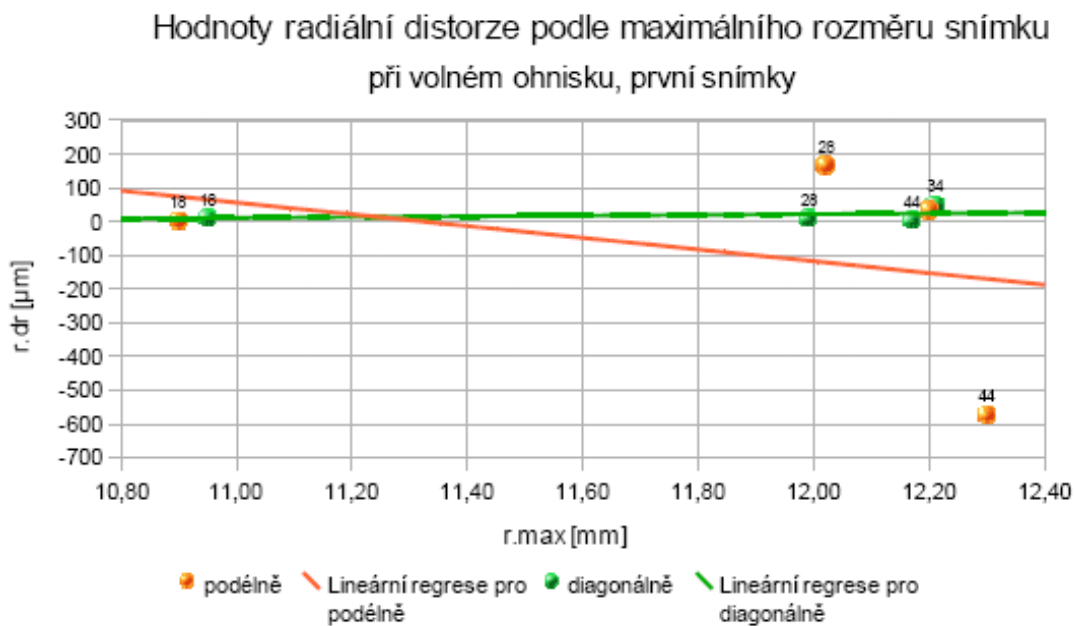
Hodnoty radiální distorze objektivu po opravě distorze v programu Distortion vycházejí lépe pro diagonální směr fotografování.

4.2.1 Radiální distorze podle maximálního rozměru snímku

Hodnoty radiální distorze objektivu, po její opravě, vyjádřené pomocí maximálního rozměru snímku jednotlivých ohnisek (volných), jsou na obr.16 znázorněny pro podélný i diagonální směr fotografování.

fotografování	podélně			
ohnisko [mm]	18	28	34	44
r max [mm]	10,90	12,02	12,20	12,30
r.dr [μm]	3	166	34	-572
fotografování	diagonálně			
ohnisko [mm]	18	28	34	44
r max [mm]	10,95	11,99	12,21	12,17
r.dr [μm]	13	12	49	7

Tab.7: Radiální distorze objektivu pro maximální rozměr snímku po její opravě



Obr.16: Radiální distorze objektivu pro maximální rozměr snímku po její opravě

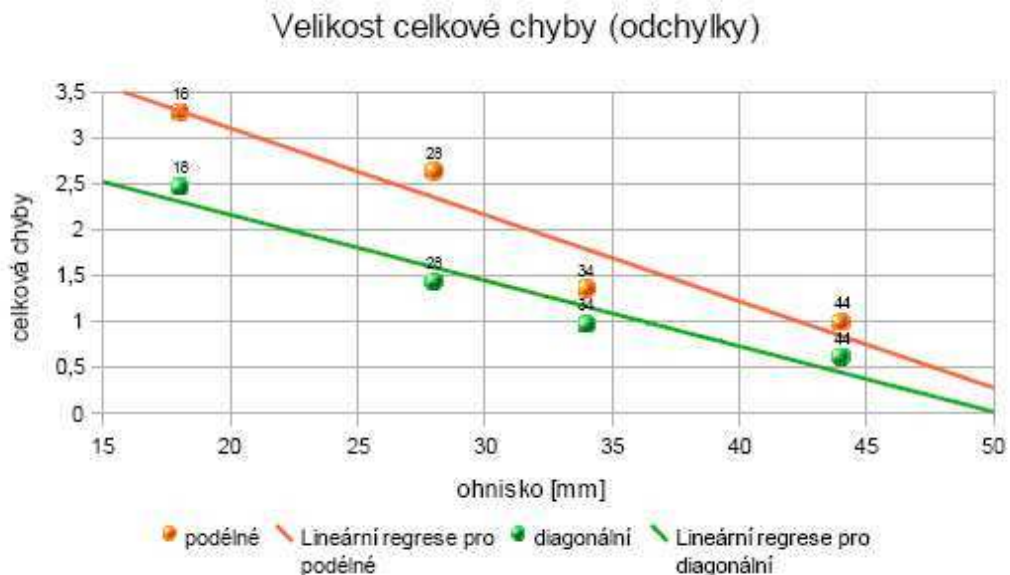
Z grafu je patrné, že křivka lineární regrese radiální distorze pro maximální rozměr snímku je u diagonálního směru fotografování blízka nulové hodnotě. Patrné je to i z umístění ohnisek 18 mm, 28 mm a 34 mm v grafu. Ohnisko 44 mm pro podélný směr je odchyleno od ostatních. Hodnoty radiální distorze objektivu pro maximální rozměr snímku u podélného směru fotografování jsou rozptýlenější díky ohnisku 44 mm a částečně i ohnisku 28 mm.

4.2.2 Radiální distorze podle celkové chyby

Celkovou chybu (odchylku) radiální distorze objektivu spočítá program Photomodeler po zpracování snímků nebo-li po zorientování a po referencování. Celková chyba je uvedena pro jednotlivá volná ohniska podle směrů fotografování (podélný a diagonální), po opravě distorze objektivu v programu Distortion.

Ohnisková vzdálenost		18 mm	28 mm	34 mm	44 mm
Celková chyba (total error)	podélně	3,28	2,64	1,36	1,00
	diagonálně	2,47	1,44	0,98	0,62

Tab.8: Velikost celkové chyby podle ohniska po opravě distorze objektivu



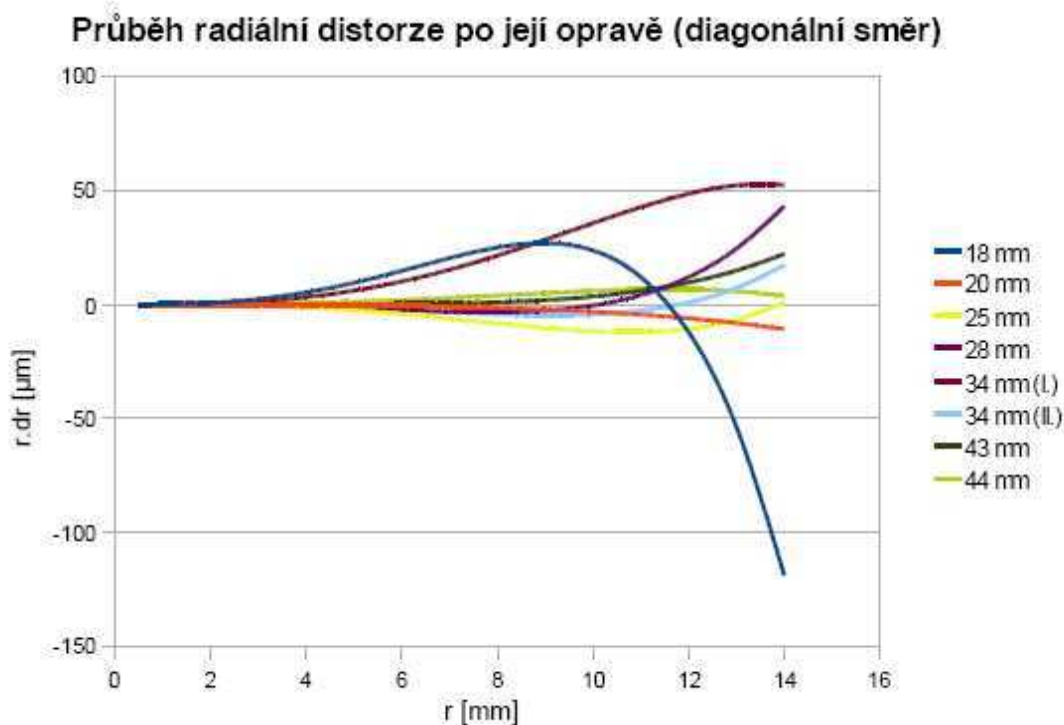
Obr.17: Velikost celkové chyby podle ohniska po opravě distorze objektivu

Celková chyba (odchylka) je u stejných ohnisek **menší** pro **diagonální** směr fotografování. Ze všech porovnávání vychází volné ohnisko fotografované ve směru diagonálním, po opravě distorze objektivu, jako vhodnější. Abychom mohli říci, že je tomu opravdu tak, byly pořízeny kontrolní (doplňující) snímky (viz kapitola 4.3).

Veškeré grafy a tabulky o průběhu radiální distorze objektivu pro jednotlivá ohniska a hodnoty radiální distorze před a po její eliminaci v programu Distortion (Příloha J-K, N, O).

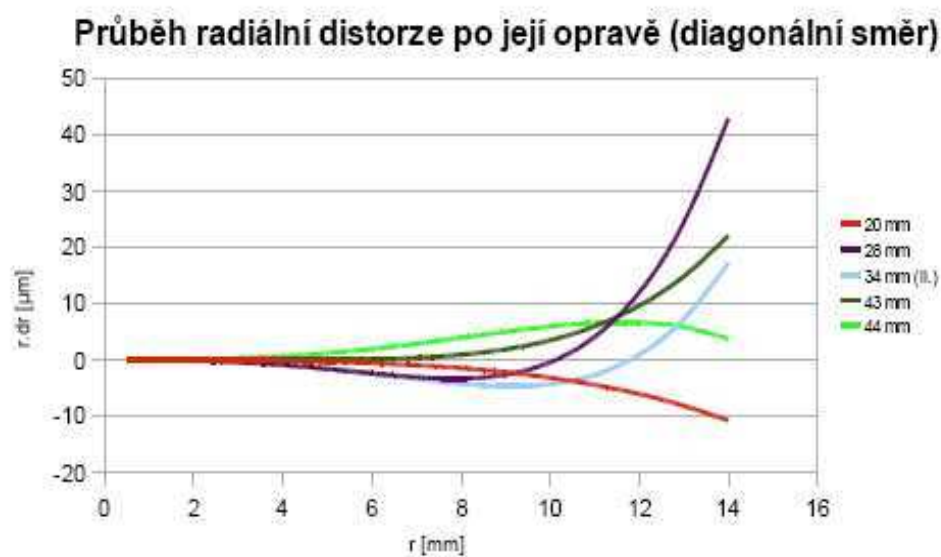
4.3 Ověření výsledků

Kontrolní (doplňující) snímky byly pořízeny na základě předchozích výsledků jednotlivých porovnávání tj. volné ohnisko, diagonální směr fotografování, oprava distorze. Ohniska při fotografování byly nastavovány na hodnoty 18, 24, 35, 45 mm v obou případech. Správná ohniska byla získána z Exif dat.

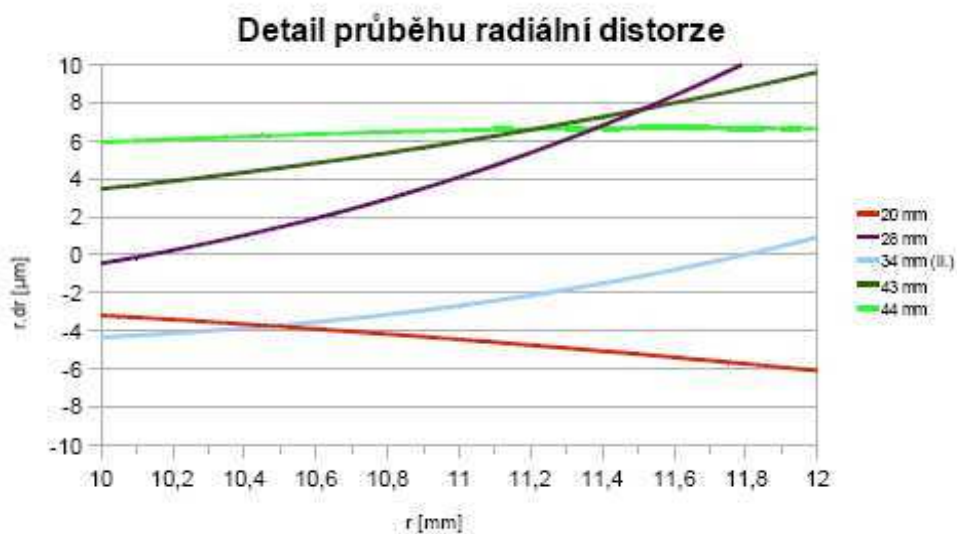


Obr.18: Radiální distorze objektivu - první a druhé (kontrolní) snímky

Z grafu je patrné, že nejsou vhodná ohniska 18 mm a 34 mm (první snímky). Radiální distorze objektivu narůstá už na poloměru 4 mm. U ohnisek 18 mm a 34 mm (první snímky) se pravděpodobně projevuje i hrubá chyba, která musela vzniknout během fotografování, protože během zpracování byly dodrženy všechny podmínky pro správné vyhotovení. Ohniska byla dále vyloučena a nebylo s nimi počítáno. U ohniska 25 mm radiální distorze objektivu více narůstá už při poloměru 8 mm. Průměrná hodnota maximálního rozměru snímku se pohybuje mezi 11 a 12 mm. Výběr vhodného ohniska probíhal v tomto intervalu. Na obr.19 je graf průběhu radiální distorze objektivu po odstranění některých ohnisek.



Obr.19: Radiální distorze objektivu - první a druhé snímky, bez ohnisek 18, 25, 34 mm



Obr. 20 Detail grafu na obr. 19 pro poloměry 10 -12 mm

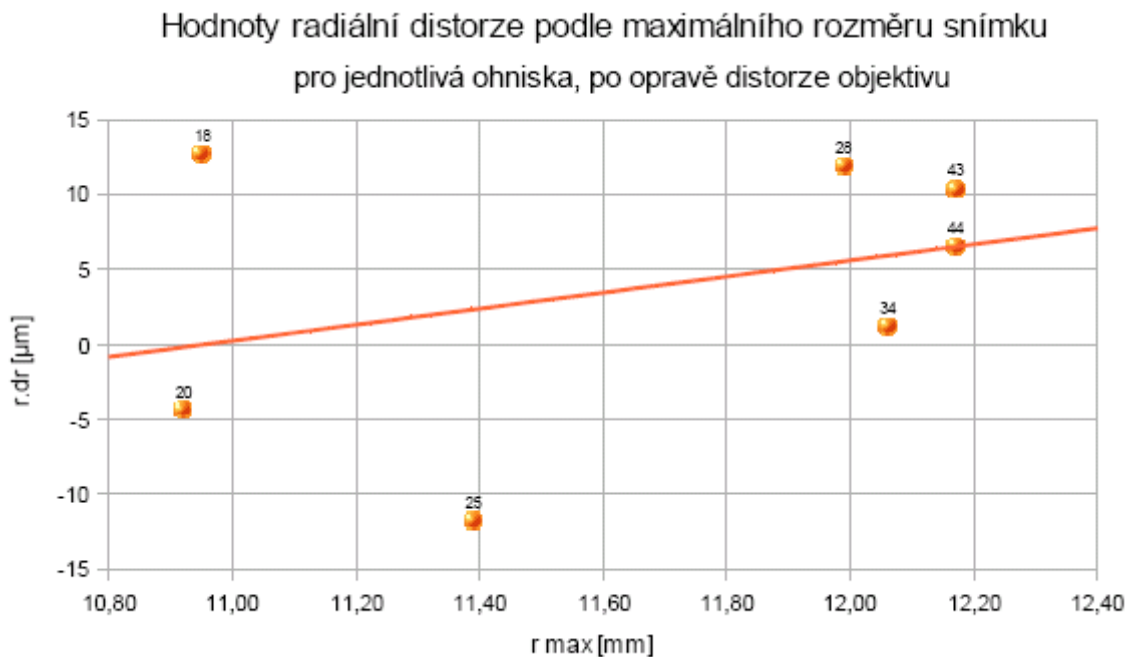
V poloměru 10 mm dosahuje radiální distorze objektivu nejmenších hodnot u ohniska 28 mm. V poloměru 11 mm nejmenších hodnot dosahuje ohnisko 34 mm (druhé snímky – kontrolní) a u poloměru 12 mm je to též ohnisko 34 mm (druhé snímky).

4.3.1 Radiální distorze podle maximálního rozměru snímku

Hodnoty radiální distorze objektivu po její opravě, vyjádřené pomocí maximálního rozměru snímku jednotlivých ohnisek (volných) pro diagonální směr fotografování.

ohnisko [mm]	18	20	25	28	34	43	44
r max [mm]	10,95	10,92	11,39	11,99	12,06	12,17	12,17
r.dr [μm]	13	-4	-12	12	1	10	7

Tab.9: Radiální distorze podle maximální rozměru snímku při volném ohnisku a diagonálním směru fotografování



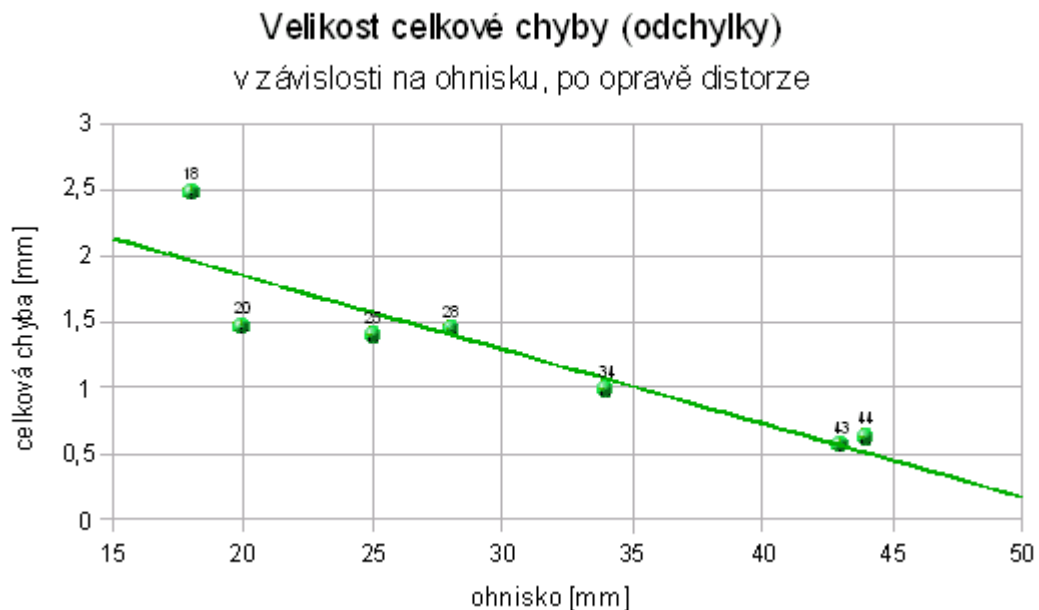
Obr.21: Radiální distorze podle maximální rozměru snímku při volném ohnisku a diagonálním směru fotografování

Při posuzování hodnot radiální distorze pro maximální rozměr snímku, nejmenších hodnot tj. hodnot téměř nulových, dosahuje ohnisko 34 mm (druhé snímky). Další ohniska 25 mm a 28 mm v maximálním rozměru snímku dosahují stejných hodnot radiální distorze objektivu. Přímka lineární regrese je nejbližší ohniskům 20 mm a 44 mm.

4.3.2 Radiální distorze podle celkové chyby

ohnisko [mm]	18	20	25	28	34	43	44
celková chyba	2,47	1,46	1,39	1,44	0,98	0,57	0,62

Tab.10: Velikost celkové chyby podle ohniska při diagonálním směru fotografování



Obr.22: Velikost celkové chyby podle ohniska při diagonálním směru fotografování

Nejmenší celková chyba je pro ohnisko 43 mm a největší je pro ohnisko 18 mm. Ke křivce lineární regrese se nejvíce přibližují ohniska 43 mm, 34 mm a 28 mm. Průměrná hodnota celkové chyby je 1,28*. K této průměrné hodnotě se nejvíce přibližují ohniska 20 mm, 25 mm a 28 mm. Z pohledu celkové chyby nelze jednoznačně říci, které ohnisko je vhodnější.

Shrnutí výsledků:

Z porovnávání všech výsledků se jako nejvhodnější jeví provádět fotografování v diagonálním směru s ohniskem 34 mm. Při následném zpracování v programu Photomodeler je pak vhodné nastavit volné ohnisko. V této práci bylo vybráno pro fotografování předloh ohnisko 28 mm.

* Pozn. Celková chyba (odchylka) nemá v programu definované jednotky (je bezrozměrná)

5 Digitální fotoaparát Canon EOS 450D

Pro fotografování testovacích kalibračních polí a mapových listů byl pořízen digitální fotoaparát značky Canon typu EOS 450D (viz obrázky níže)



Obr.23: Fotoaparát Canon EOS 450D, zdroj URL <http://www.fotoaparar.cz/article/10642/print>

5.1 Technické parametry

Fotoaparát Canon EOS 450D je jednooká digitální zrcadlovka (D-SLR = Digital Single Lens Reflex) obsahující **obrazový snímač** CMOS, jehož formát je APS-C (22,2 mm x 14,8 mm) s efektivními pixely 12,20 Mpix (ekvivalent ohniska 1,6) a s celkovým počtem pixelů 12,40 Mpix. U **objektivu** Canon EF a EF-S lze nastavit ohniskovou vzdálenost 18-55 mm f/3,5-5,6 IS (Image Stabilizer) s minimální clonou f/22-36. Zrcadlový **hledáček** má pokrytí 95 %. **Citlivost ISO** se pohybuje pro základní zóny 100 – 800 a pro kreativní zóny 100 – 1600. Snímky je možné ukládat s různým rozlišením. Nejlepší kvalita odpovídá formátu RAW, který má příponu CR2. Rozlišení a velikost pro RAW je 4272 x 2848 pixelů (15,3 Mpix), 15,3 MB. Snímky obsahují Exif (Exchangeable Image File) údaje. Fotoaparát umožňuje nastavit též **barevný prostor** (sRGB a Adobe RGB), ale profil ICC není do snímku vložen při fotografování. Profil ICC je možné snímku přiřadit až v software Digital Photo Professional. **Vyvážení bílé** lze ručně nastavit.

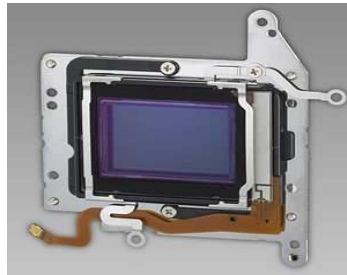
Přehled všech technických parametrů fotoaparátu včetně podrobného popisu se nachází v příručce k fotoaparátu. Příručku je možné stáhnout z internetových stránek výrobce Canon.

5.2 CMOS čip

Důležitou částí fotoaparátu je snímací čip. Rozměr čipu se označuje písmeny W a H a je udáván v milimetrech. Každý čip se skládá z jednotlivých buněk (pixelů). Každá buňka je světlocitlivá tj. dokáže registrovat světlo a vyhodnocovat jeho intenzitu.

Velikost snímacího čipu hraje roli při určování maximálního rozměru snímku (r_{\max}). Pro hodnotu maximálního rozměru snímku lze vypočítat hodnotu radiální distorze objektivu.

Existují dva typy čipů – CCD a CMOS. Navzájem se od sebe liší např. ve způsobu výroby, CMOS je konstrukčně složitější, ale výrobně levnější. Dále se liší ve způsobu digitalizace obrazu a výstupu dat přes sběrnici. U CCD je barevné provedení o něco horší.



Obr.24: Snímací čip, zdroj <http://www.fotoaparát.cz/image/26388>

Ve fotoaparátu Canon EOS 450D je použit čip CMOS. CMOS je elektronická součástka na bázi tranzistoru. Oproti CCD čipu, kde obvody digitalizující obraz pro všechny pixely postupně, jsou v případě CMOS již přímo jeho součástí. Každá světlocitlivá buňka má tyto obvody přímo u sebe. Digitalizace obrazu se provádí v každé světlocitlivé buňce zvlášť v jeden okamžik. Snižuje se tak doba nutná pro přečtení obrazu z CMOS čipu a snižuje se i spotřeba energie.

Citlivé oblasti na světlo zaujímají pouze nepatrnou část celé plochy čipu. Ostatní plocha je vyhrazena digitalizačním obvodům. Nad každou světločivnou buňkou je RGB filtr a miniaturní čočka. Tato čočka soustředí paprsky dopadající na plochu světločivné buňky pouze do místa citlivého na světlo. Počet takovýchto mikronových čoček tak stoupá do desítek miliónů. Výstup dat z CMOS čipu se děje najednou. Vývod dat totiž má každá světločivná buňka zvlášť. To zvyšuje rychlost odběru dat z CMOS čipu.

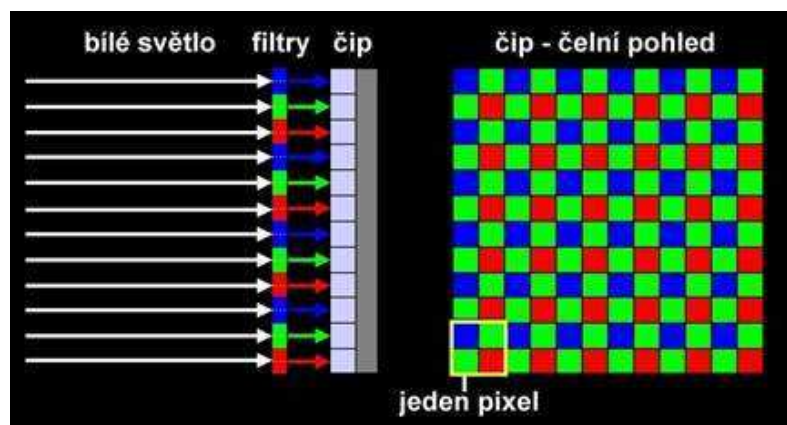
5.3 Rozlišení a citlivost čipu

Počet pixelů se udává jako hlavní údaj o CCD či CMOS čipu. Údaj o rozlišení snímku udává kolik bodů (pixelů) vodorovně a kolik bodů svisle je schopen fotoaparát rozeznat. Barevné světločivné buňky se sdružují do skupin po čtyřech. Jedna buňka pro červenou, jedna pro modrou a dvě pro zelenou. Po čtyřech jsou z důvodů jednoduchosti vyplnění plochy. Každá čtveřice barev představuje jeden barevný pixel. Rozlišení se takto 4 krát sníží. K původnímu rozlišení se dostane tak, že jednotlivá buňka z každé čtveřice se použije pro výpočet barev z dalších čtyř okolních buněk. Tak dojde zpět ke zvýšení barevného rozlišení na původní rozlišení.

Citlivost CMOS čipu je udávána ve stejných jednotkách jako citlivost filmů – ASA. CMOS citlivost je o něco nižší než u CCD. [4]

5.4 Vznik digitálního obrazu

Obrazový snímač využívá citlivosti polovodičů na světlo. Běžným polovodičem používaným ve fotoaparátech je křemík. Křemíkový čip o ploše několika centimetrů čtverečních obsahuje milióny pixelů. Je rozrastrován do struktury separovaných mikroskopických plošek.



Obr.25: Schematické znázornění čipu a barevných filtrů před jeho buňkami, zdroj obrázku <http://www.rvp.cz/clanek/397/1137>

Po stisknutí spouště fotoaparátu, světlo procházející objektivem, vytvoří na plošce čipu obraz fotografovaného předmětu. Vlivem dopadající světelné energie se v každé z buněk čipu z vazeb uvolňují elektrické náboje. Čím víc je určitá buňka osvětlena, tím větší náboj na ní vznikne. Obraz vytvořený světlem se čipem přemění na neviditelný „elektrostatický obraz“. Převod analogového obrazu na digitální obraz se provádí pomocí analogově-digitálního převodníku. Tento převodník přemění elektrostatický obraz na elektrické impulzy, které se po zpracování ukládají v digitální podobě. Výsledný digitální obraz je černobílý. Čipy jsou schopny rozlišovat jen rozdíly v jasu jednotlivých obrazových bodů, ale nedovedou zaznamenat jejich barevné odstíny.

5.5 Barevný digitální obraz

Pro vytvoření barevného obrazu se využívá princip aditivního skládání základních barev. Každý pixel je překryt filtrem jedné ze základních barev: červené, modré nebo zelené. Předřazený barevný filtr je stejně rastrován jako čip, má šachovnicové střídání barev. Pro zaznamenání barevného obrazu musí čip zaznamenávat informace zvlášť pro každou ze tří základních barev. Zelená barva je zdvojnásobena. Z celkového počtu pixelů v jedné buňce snímač zachytí $\frac{1}{4}$ červené, $\frac{1}{4}$ modré, a $\frac{1}{2}$ zelené škály. Aby nedocházelo k zelenému zabarvení obrazu, má tato barva poloviční váhu. Každá z buněk předává elektronickým obvodům informace o intenzitě světla odpovídající barvy, literatura [4].

Tato data jsou dále předávána do analogově-digitálního převodníku a ten je předá dále internímu software, který interpolací z obrazových dat vytvoří výsledný obraz. Interpolační algoritmus porovnává data daného pixelu a pixelů okolních a vypočítá novou hodnotu pro daný pixel. Dopotává každému bodu zbývající hodnoty pro další dvě barevné složky. Takto získá každý bod informaci o všech třech barevných složkách.

Na obrazovce počítačového monitoru pak dochází k opačnému ději. Informace o intenzitě o jednotlivých barvách se předají bodům zářícím stejnou barvou. Naše oko z těchto tří barevných složek vytvoří výslednou barvu.

6 Systém správy barev

Color Management System nebo-li systém správy barev je soubor prostředků a činností, jejichž cílem je co nejlépe reprodukovat jednotlivé barvy originálu a to i se všemi nedostatky, tj. zajistit tak uspokojivou reprodukci barevného podání originálního obrazu.

Color Management System se skládá ze dvou částí. Jedna slouží k určování barevných prostorů a druhá ke konvertování obrazových dat z jednoho barevného prostoru do druhého. Systém správy barev vyžaduje standardní způsob, kterým lze popsat barevný prostor každého zařízení. Též jím lze popsat prostor nezávislý na zařízení, které dovolí (v rámci možností) jednoznačně určit barvy odpovídající všem číselným kódům v určitém prostoru (řešeno pomocí **ICC profilů**).

Softwarový modul **CMM** (Color Management Module/Method) nebo-li tzv. **color engine** je systém, který dokáže obrazová data konvertovat z jednoho prostoru do druhého tak, aby došlo k zachování barev.

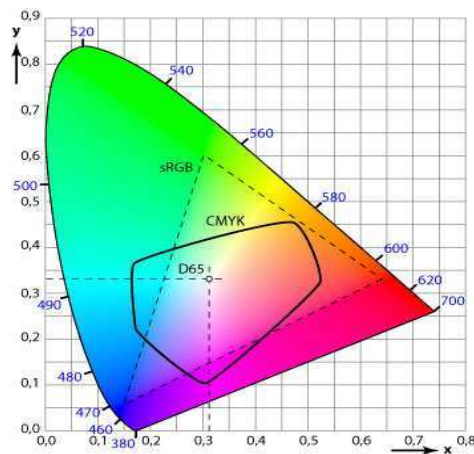
6.1 Barevné prostory

Barevný prostor popisuje rozsah zobrazitelných barev různých zařízení a vnímání barev člověkem. Barevné prostory RGB (sRGB, Adobe RGB), CMYK a CIE LAB označují způsob reprodukce barev. Rozsah zobrazitelných barev jednoho určitého barevného prostoru je často znázorňován polem ohraničeným čarou uvnitř kolorimetrického trojúhelníku CIE.

Adobe RGB a sRGB jsou dva s převahou nejčastěji používané RGB profily. Adobe RGB je RGB profil, doporučený pro práci s RGB obrázky, které jsou následně určeny k ofsetovému tisku. Standardní profil, který je možné implementovat do běžných barevných zařízení, se označuje sRGB. Z hlediska barevnosti obrázku je sRGB menší barevný prostor než Adobe RGB. Standardním barevným prostorem ve Windows je sRGB. Vzhledem k tomu, že snímky byly tisknuty na tiskárně HP LaserJet 5550 (dtp) pracující pouze s sRGB prostorem, bylo zbytečné je fotografovat a zpracovávat v Adobe RGB, jelikož konečný výsledek by se stejně musel převést do sRGB. Pro snímky byl použit sRGB barevný prostor.

6.1.1 Barevný prostor sRGB

Barevný prostor sRGB (standard Red Green Blue) definuje barevnost primárních barev (červené, zelené a modré). Definuje tak nelineární transformaci mezi intenzitou primárních barev a právě uloženým číslem. V bitech je červená barva označena (255, 0, 0), zelená (0,255,0), modrá (0, 0, 255). V CIE XYZ souřadnicích barvy je červená značena jako [0.6400, 0.3300, 0.0300], zelená [0.3000, 0.6000, 0.1000] a modrá [0.1500, 0.0600, 0.7900]. Barevný prostor sRGB poskytuje dostatek možností pro zpracování celých čísel v obrazovém souboru tak, aby bylo možné vnímat výsledné zobrazení, zdroj (1).



Obr.26: Barevný gamut, zdroj (4)

6.1.2 Barevný prostor Adobe RGB

Adobe RGB „vidí“ větší rozsah barev, ale počet barev je stejný jako u sRGB. Zásadní výhoda Adobe RGB je širší gamut. Při znalosti správy barev lze s Adobe RGB při tisku získat větší barevný rozsah a dokonce i sytější barvy, než při použití běžného sRGB. Důležité je, aby snímek nafocený v Adobe RGB obsahoval ICC profil Adobe RGB. K tisku je pak třeba použít takové zařízení, které dokáže Adobe RGB ICC profil přečíst a správně interpretovat. U běžných tiskáren tato záruka není.

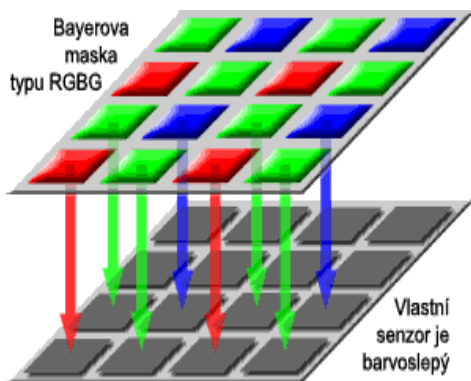
6.1.3 Barevný prostor CIE LAB

CIE LAB je nezávislý barevný prostor zobrazující všechny viditelné barvy. Prostor CIE LAB slouží jako referenční barevný prostor pro systémy ke správě barev. Barvy mají podle vnímání stejný odstup. To znamená, že barevné rozdíly, které jsou vnímány jako stejně velké, jsou stejně velké také číselně. Každou barvu lze v CIE LAB přesně definovat třemi hodnotami:

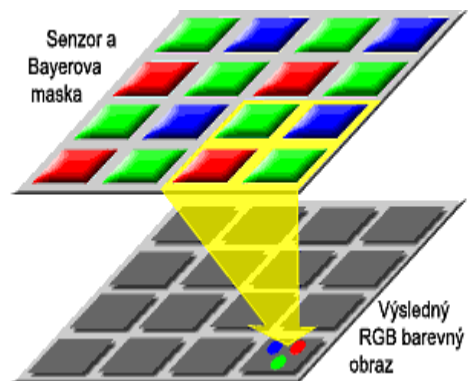
- L** Luminance (= jas),
- a** hodnota červené a zelené,
- b** hodnota žluté a modré.

6.2 Bayerova maska

Je logické se domnívat, že 12 megapixelový fotoaparát má senzor vybavený 12 miliony pixelů s tím, že každý pixel je schopen zaznamenat barvu. Bohužel, skutečnost je složitější a zdaleka ne tak přímočará. Dvanácti megapixelová fotografie má sice 12 milionů pixelů na senzoru, ale pouze černobílých, tedy neschopných vidět barvu. Buňky (pixely) senzoru jsou barvoslepe a zaznamenávají jen množství světla (jas). Aby senzor vytvořil dojem, že vidí barevně, má nad svými jednotlivými pixely barevnou RGB masku uspořádanou do pravidelné struktury (matice), které se říká Bayerova maska. Nad 3 miliony z nich je červený filtr, nad 3 miliony z nich modrý a nad 6 milionů zelený. Zelená maska je ve čtverci dvakrát, čímž se simuluje zvýšená citlivost oka na zelenou, zdroj (5).



Obr.27: Bayerova maska, zdroj (5)



Obr.28: Bayerova maska, RGB výsledný obraz

6.3 Bayerova interpolace

Bayerova interpolace se používá k získání plnohodnotné informace pro každý pixel z okolních a různě barevně citlivých buněk senzoru. Žádná buňka senzoru nevidí úplnou a skutečnou barvu. Vidí vždy buď červenou, zelenou nebo modrou část. Barvu jednoho pixelu fotografie je tak potřeba vypočítat. K výpočtu se použijí okolní pixely. Pro získání plně barevné RGB informace se ze čtyř sousedních pixelů senzoru (2x2) vypočítá jeden RGB pixel obrazu. Pro sousední pixel obrazu je použita pouze o jeden pixel posunutá čtveřice pixelů senzoru, takže ve výsledku je každý pixel senzoru použit 4 krát, zdroj (5).

6.4 Barevná hloubka

Barevná hloubka se udává v bitech. Čím větší je toto číslo, tím více barev je možné rozeznat na výsledném snímku. Například 24 bitů znamená, že na každou barvu připadá 8 bitů (8 bitů na červenou, 8 bitů na zelenou a 8 bitů na modrou). Barevná hloubka 16 bitů je značena jako **High Color** a barevná hloubka 24 bitů je značena jako **True Color**.

6.5 ICC profil

ICC profil označovaný též jako ICM profil nebo-li barevný profil. ICC profil je datový soubor, který matematicky popisuje, jak dané zařízení zkresluje ideální barvy. Charakterizuje barevný gamut a vlastnosti reprodukčního zařízení. Tyto informace mohou být využity pro přesnou reprodukci či zobrazení barev na daném zařízení jako je fotoaparát, tiskárna, monitor, skener. Profily slouží k převodu mezi barevnými prostory (např. RGB a CMYK).

Jeho struktura je vytvořena prostřednictvím značek (tagů). Tagy lze popsat jako předem deklarované značky, které vymezují blok dat a zároveň definují jejich význam. Tag například říká, že za ním následující data jsou názvem profilu, nebo že obsahují převodní tabulku pro přepočítání barev.

Každé zařízení má trochu odlišné barevné prostory a i samotné barvy, ze kterých se skládá barevné spektrum. Barevný profil zajistí takové míchání barev, aby se výsledný odstín přiblížil exaktní definici dané barvy. Jednoduše ICC profily určují jednotlivým zařízením, jak mají s každou barvou pracovat, aby její výsledné zobrazení bylo v maximální možné míře shodné s originálem. Barevné profily vycházejí ze standardní definice základních barev a jejich lokalizace se děje pomocí souřadnic v barevném spektru.

Mezinárodní komise po osvětlení (CIE) doporučuje dvě základní formy ICC profilů. Standardní profil může být založen buď na **matematickém modelu**, jako je tomu u monitoru. Protože monitor je vstupně - výstupní zařízení, tudíž musí profil „umět“ převod oběma směry. Druhou formou profilu je **LUT (look-up-table)**, převodní tabulka hodnot, která se používá převážně u tiskáren a skenerů.

6.5.1 Typy ICC profilů

Profily se mohou dělit na **vstupní** a **výstupní** profily. Nebo se mohou dělit podle **barevného modelu**, který popisují - RGB, CMYK, Lab profilu, Hexa-chrome profil, podle **typu zařízení**, jenž profil popisuje – fotoaparát, monitor, tiskárna, skener. **Barevné profily** popisují barevné zobrazení daného zařízení. **Kalibrační profily** slouží k úpravě barev. Převádějí barevný prostor zařízení do nezávislého barevného prostoru nebo barevného prostoru jiného zařízení .

Samostatnou skupinou dodávaných profilů jsou tzv. **generické profily** (generický = rodový, druhový profil). Tyto profily jsou vytvořené pro "typická" zařízení nebo pro barevný prostor (Generic RGB, CMYK). Jejich kvalita je závislá na zdroji. Nejedná se o profil právě konkrétního zařízení. Kvalitu výsledných barev mohou ovlivnit např. mechanické odchylky, nestandardní parametry obrazovky, nové náplně barev v tiskárně, jiný druh použitého papíru (u tiskáren) apod.

6.5.2 Správa barev s ICC profily

K většině současných zařízení se dodává obecný ICC profil. Protože je obecný, není až tak velmi přesný. Obsahuje rozptyly způsobené pásovou rychlovýrobou, chybí pečlivé doladění. Před vytvořením profilu se nejdříve dané zařízení zkalibruje a poté se charakterizuje tj. změří se barevná odezva. Speciální program pak z naměřených hodnot vypočítá ICC profil a případně je vyladí.

Pro každé zařízení se vytvoří profil popisující jeho chování při převodu barev mezi vlastním barevným prostorem a nezávislým barevným prostorem. V praxi se nejčastěji používá prostor CIE $L^*a^*b^*$ resp. model CIE $L^*a^*b^*$ (obvykle se píše jen Lab nebo LAB). L^* , a^* , b^* jsou souřadnice barev. Jako nezávislý prostor je definován každý prostor, pro který je možné nalézt převodní funkce tak, aby jeho každá barva měla unikátní obraz v prostoru CIE XYZ. Rovněž tak každá barva z CIE XYZ musí mít svůj unikátní obraz ve zkoumaném prostoru.

LAB prostor se označuje jako nezávislý, protože popisuje celé teoretické spektrum, neovlivněné žádnou reprodukční technologií. Do prostorů závislých patří všechny RGB a CMYK prostory. Závislostí se nemyslí závislost barev na vlastnostech zařízení, ale jak je barva vytvářena. Numerické hodnoty souřadnic v RGB i CMYK prostoru nestačí k tomu, aby byla barva jednoznačně určena. Prosté souřadnice nepostihují řadu dalších faktorů, např. barevnost primárních složek a umístění závislého modelu v rámci spektra. Tyto faktory jsou často dány vlastnostmi monitoru, tiskárny, skeneru apod.

ICC profil může posloužit jako nástroj pro převody mezi závislým a nezávislým prostorem. Výpočtem ze souřadnic v závislém prostoru získáme souřadnice barvy v nezávislém prostoru. Každý profil je proto podle standardu vytvořen tak, že poskytuje propojení do nezávislého prostoru. Závislý prostor obsahuje jen malou část barev nezávislého prostoru. Pro každou barvu v závislém prostoru přitom najdeme její vzor v nezávislém prostoru, naopak to ale již neplatí.

6.5.3 Přiřazení profilu

Přiřazením profilu se nemění obrazová data, ale mění se význam barev. Profil se využívá při editaci obrázků bez vloženého profilu. Cílem převodu je zachovat původní barevnost obrazových dat v novém prostoru. K profilu původního prostoru se naleznou odpovídající vzorové barvy v nezávislém prostoru. Z nezávislého prostoru se provede přepočítání do cílového závislého prostoru. Najdou se takové souřadnice, aby změna barvy byla nulová nebo co nejmenší. Probíhá tak převod z RGB do CMYK při přípravě obrazových dat k tisku.

Běžnou příčinou barevných rozdílů vznikajících během barevných převodů, jsou rozdíly mezi gamuty jednotlivých prostorů. Tento problém správy barev se řeší převáděním barev do užšího prostoru, ve kterém se hledá jejich nejpřesnější aproximace.

6.6 Použité formáty obrazových dat

Snímky byly při pořízení ukládány do formátu RAW. Pro další zpracování je bylo třeba uložit do jiného formátu, se kterým uměly programy pracovat. Zobrazení RAW snímků bylo možné v dodaném software k fotoaparátu (DPP) s možností ukládat snímky pouze do TIFF a JPG. V našem případě byl zvolen bezztrátový formát TIFF, 8 bitů se zachováním Exif dat a přidáním ICC profilu. Program Distortion pracuje pouze s formáty JPG a BMP a tak snímky byly následně konvertovány do formátu BMP. Pro výstup z programu Scribus byl použit formát PDF-X/3 pro tisk (z důvodů zachování rozměrů reprodukce nastavené v programu).

RAW

RAW jsou surová data. Data, jenž zachovávají maximum informací získaných ze snímacího prvku. Způsob záznamu digitálních dat je bezztrátový. RAW data bývají přirovnávána k negativu a občas se označují jako „digitální negativ“. Toto přirovnání v mnohém opravdu sedí. Podobně jako negativ RAW není konečným produktem, ale jen polotovarem. Jde o příměr, který naznačuje, že fotografie ukládané v digitálním fotoaparátu do tohoto formátu jsou nejen v původní bezztrátové kvalitě, ale i bez jakýchkoliv dalších úprav a korekcí. Ukládá se skutečně „pouze“ primárně získaná informace ze snímače spolu

s informacemi o uspořádání barevných filtrů na snímači a dalších charakteristik fotoaparátu. Protože se na tato data nedá dívat jako na obrázek, je třeba je zpracovat pomocí speciálního softwaru počítače a z těchto dat poskládat obrazový soubor, zdroj (2).

Samotný přepočítání na tři hodnoty modelu RGB se provádí až v počítači nebo při převodu do jiného formátu. Data jsou ukládána s barevnou hloubkou, která je reálně snímána. V našem případě byla barevná hloubka 14 bitů.

Obsah RAW souboru

RAW soubor primárně obsahuje zcela hrubá digitální data toho, co uviděl senzor. Současně data sdělují okolnosti pořízení snímku tj. tzv. metadata. RAW data tedy nejsou ukotvena k žádnému standardnímu barevnému prostoru, v datech není vyvážena bílá, není definován bílý bod ani gamma křivka atd.

RAW formát* není bohužel nijak standardizován. Výrobci si každý definuje vlastní formát RAW podle svých potřeb, preferencí a použité technologie (senzoru). Rozdíly jsou značné a dokumentace k jednotlivým RAW formátům také není většinou dostupná. Jednotliví výrobci používají k zaznamenání surových dat každý svůj vlastní soukromý formát, případně dokonce i různé verze u různých modelů fotoaparátů. A nejen to. Např. Nikon své RAW dokonce šifruje, aby k nim neautorizované programy neměly přístup. Naopak společnost Adobe definovala svůj otevřený a standardní formát DNG (Digital Negativ), zdroj (2).

* Ačkoli se často hovoří o formátu RAW, tak se vůbec o žádný konkrétní formát nejedná. Navíc by se RAW vlastně správně ani nemělo psát velkými písmeny, jak je tomu zvykem, protože na rozdíl od názvů jako třeba JPEG či TIFF se tu nejedná o iniciálovou zkratku. V souvislosti s digitálními fotoaparáty se pod pojmem RAW obecně míní jakýkoli soubor obsahující surová data obdržená ze snímače digitálního fotoaparátu, než dojde k jejich softwarovému zpracování ve fotoaparátu nebo dodatečně na počítači. Každý z RAW formátů má svoji vlastní příponu v názvu souborů, podle které je lze identifikovat (viz Tab.11).

Nestandardnost RAW formátu dokládají i nejrůznější koncovky souborů:

.raf	Fuji
.crw .cr2	Canon
.tif .kdc .dcr	Kodak
.mrw	Minolta
.nef	Nikon
.orf	Olympus
.dng	Adobe – otevřený standard
.ptx .pef	Pentax
.arw .srf .sr2	Sony
.x3f	Sigma
.erf	Epson
.mef .mos	Mamiya
.raw	Panasonic

Tab.11: Přehled RAW formátů, zdroj (5)

TIFF (Tagged Image File Format)

TIFF je flexibilní a adaptabilní formát pro ukládání rastrové grafiky, zejména snímků určených pro tisk. TIFF může být použit jako obal pro JPEG a RLE komprimované obrazy. TIFF soubor může také obsahovat vektorově umístěný Clipping path (osnovu, která ořízne nebo orámuje hlavní obraz). Na rozdíl od standardních JPEG souborů, TIFF soubory využívají bezztrátovou kompresi. TIFF má možnost využívat i LZW kompresi a bezztrátovou datovou kompresi pro redukci velikosti souboru.

BMP (Microsoft Windows Bitmap)

BMP je formát rastrové grafiky. Výhodou tohoto formátu je jeho extrémní jednoduchost, dobrá dokumentovatelnost a volné použití. Dokáže jej snadno číst i zapisovat většina grafických editorů. Obrázky BMP jsou ukládány po jednotlivých pixelech. Je možné rozlišit různé množství barev (tzv. barevnou hloubku), podle toho, kolik bitů je použito pro reprezentaci každého pixelu. Soubory ve formátu BMP většinou nepoužívají žádnou kompresi.

7 Vady objektivu

Vady objektivu mohou mít vliv na geometrické uspořádání a barevné (chromatické) vyjádření. Některé vady lze odstranit, jiné lze eliminovat. Většina vad má vliv na geometrii objektivu resp. čočky objektivu.

Odchylka od ideálního zobrazení (Aberace)

Barevná vada vznikající nestejným lomem světelných paprsků různé vlnové délky na čočce objektivu. Aberace se projevuje fialovou, někdy zelenou konturou na přechodech mezi vysokým jasnem a stínem. Vada se projevuje zejména v okrajových částech snímku. Aberace se nedá v počítači kompenzovat, dá se ale potlačit.

Asférická vada (koma)

Dopadem šikmého širokého svazku paprsků na optickou soustavu se místo bodu zobrazí kaustická plocha s jednou rovinou symetrie. Tato aberace je nesymetrická a má vliv na jakost obrazu.

Astigmatismus

Šikmé paprsky se lámou jinak než kolmé. Body mimo střed se zobrazují jako elipsy nebo úsečky a ke krajům se prodlužují. Vada se při konstrukci objektivu odstraňuje vhodnou kombinací čoček nebo se zmírní zacloněním.

Barevná vada čoček

Paprsky, které se po průchodu čočkou lámou, mají různé vlnové délky. Dochází k vytvoření barevných kaustických ploch. Vadu lze kompenzovat použitím různých druhů skel, které se od sebe liší indexem lomu.

Čočkový efekt (lenses effect)

Čočkový efekt se projevuje tak, že střed obrázku je podstatně světlejší než okraje. U některých objektivů s krátkou ohniskovou vzdáleností může rozdíl světelného toku činit až desítky procent. Lepší objektivy většinou kompenzují čočkový efekt, ovšem za cenu snížení

světelnosti. K rychlému ověření, zda se u fotoaparátu projevuje tento efekt, stačí nafotografovat stejnoměrně osvětlenou neutrálně šedou desku. Pokud bude fotografie v rozích tmavší, dochází k čočkovému efektu.

Zkreslení objektivu (Distorze objektivu)

Distorze nebo-li zkreslení objektivu je způsobeno souhrnem geometrických nepřesností při výrobě objektivu. Distorze objektivu má vliv na geometrické uspořádání. Distorze objektivu může být radiální nebo tangenciální (více kapitola 3).

Rozklad (Dithering)

V plynulých barevných přechodech s omezeným počtem barev dochází k zobrazení nežádoucích linií. Odstranění těchto linií při omezeném počtu barev se zabývá dithering. Tato metoda simuluje v obrázku barvy, které nejsou bezprostředně k dispozici. Dithering ale má i své nedostatky - vždy se zvětšuje velikost souboru a má tendenci rozbíjet ostré linie.

Barevná vada (chromatická aberace)

Barevná vada čočky, která je způsobená závislostí ohniskové vzdálenosti čoček na vlnové délce světla. Paprsky různých vlnových délek se lámou pod různými úhly. Výsledkem jsou fialové a zelené kontury na kontrastních přechodech (přechody mezi stínem a oblastí s vysokým jasnem). Tento jev se zvětšuje směrem od optické osy objektivu, tzn. u krajů snímků bývá nejsilnější. Vada se dá eliminovat vhodnou kombinací dvou k sobě nepřiléhajících čoček nebo se redukuje pomocí speciální čočky nebo skupiny čoček v objektivu. Vždy ale záleží na kvalitě konkrétního objektivu. Další možností je korekce vady v grafickém editoru.

Posterizace

Posterizace označuje vadu obrazu, kdy vlivem nedostatečné jemnosti barev (malému tonálnímu rozsahu) dojde k viditelnému přeskočení barev místo jemného přechodu. V barevném přechodu obrázku to vypadá, jako když "dojdou barvy" a místo barevně plynulého a jemného gradientu se objeví barevné fleky. Důvodem je, že dvě nejbližší barvy jsou příliš daleko od sebe a tento rozdíl je vidět. Posterizace se objevuje jako následek výrazné editace a to zejména při malé barevné hloubce 8 bitů/kanál. Eliminace je možná snímáním do RAW, které většinou podporuje vyšší barevnou hloubku nebo rozkladem.

Sférická vada

Paprsky světla procházející objektivem se různě lámou a neprotínají se v jednom bodě. Vytvářejí kolem optické osy tzv. kaustickou plochu („obalovou“ plochu). Bod se nezobrazí jako bod, ale jako malý rozptylový kroužek. Vadu nelze zcela odstranit, lze ji kompenzovat kombinací spojné a rozptylné čočky.

Vinětace

Jev zvaný vinětace v pravém slova smyslu vada není. Jedná se v podstatě o nestejnorné rozložení světla na snímku. To se projevuje tmavnutím rohů obrazu. Vinětace je způsobena jednak optickými zákonitostmi, ale také konstrukcí objektivu, hlavně jeho stavební délkou. Obecně se dá říci, že čím více čoček obsahuje objektiv, tím může být náchylnější k vinětaci.

Zklenutí obrazu

Zklenutí zorného pole je vada, která spočívá ve skutečnosti, že body ležící v rovině kolmé k optické ose se nezobrazují v rovině kolmé k ose, ale na zakřivené ploše. Nelze tak získat obraz, který by byl v celém rozsahu stejně ostrý. Tato vada souvisí s astigmatismem.

Zkreslení obrazu

Ke zkreslení dochází tehdy, je-li zvětšení vnějších částí předmětu odlišné od zvětšení vnitřních částí. Zkreslení lze dobře vidět pomocí tzv. rastru. Pokud jsou vnější části předmětu zvětšeny více, mluvíme o poduškovitém zkreslení, jsou-li naopak zvětšeny méně než vnitřní části, pak se jedná o zkreslení soudkovité. Soustava, u níž nedochází ke zkreslení, se nazývá ortoskopická.

8 Barevná kalibrace

Cílem barevné kalibrace je získat co nejvěrnější barevnou reprodukci mapového listu, posoudit věrohodnost barevného vyjádření na originálu a na snímku (předlohy mapového listu) a znát vzájemné vztahy vedoucí ke standardní čistotě barev.

8.1 Věrná reprodukce

Vyfotografovaná a následně vytištěná předloha mapového listu by měla mít stejné barevné uspořádání jako její originál. Pro správný jas a kontrast na předloze mapového listu je potřeba vhodně vybrat bílý bod tj. nejsvětlejší zobrazitelné místo, případně i černý bod tj. nejtmaší zobrazitelné místo.

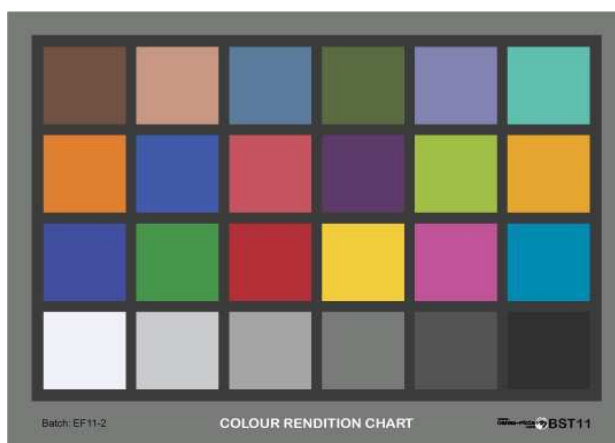
8.2 Pomůcky pro barevnou kalibraci

- Fotoaparát Canon EOS 450D (viz kapitola 5)
- Barevná tabulka s referenčními daty BST11
- Software – Digital Photo Professional, UFRaw, Scribus, ColorMunki Design
- Spektrofotometr ColorMunki
- Vybrané mapové listy
- Měřické trojúhelníčky

8.2.1 Barevná tabulka s referenčními daty BST11

Byla použita matná tabulka o rozměru 140x190 mm s referenčními kolorimetrickými daty a výpočetní soubor comparator.xls. Tabulka obsahuje dvacet čtyři barevných a šedých ploch tištěných inkjektovou technikou, velikosti 26x26mm, s matným povrchem. Barvy jsou velmi blízké barvám tabulky GretagMacbeth. Reprezentují jednak nejdůležitější odstíny pro vizuální posuzování barevné věrnosti (tzv. tlumené paměťové barvy - pleťová, listová a modř oblohy), dále základní aditivní a subtraktivní barvy (červená, zelená, modrá, azurová, purpurová, žlutá), a doplňkové barvy pokrývající celý barevný prostor (oranžová, purpurová

modř, střední červeně, fialová, žlutozelená, oranžová žlutě) s důrazem na obtížněji reprodukovatelné barvy (modř květu, modrozelená). Šestistupňová šedá škála pokrývá běžný rozsah jasů na scéně. Bílá plocha s 88% odrazností reprezentuje vysoce bílý papír, nejtmavší plocha (černá) je tmavší než běžně tištěná ofsetová matná černá. Celkový kontrast je 30:1. Přibližné kolorimetrické souřadnice jednotlivých barevných ploch pro denní světla D65 a D50 jsou uvedena v datové tabulce (X,Y,Z = souřadnice CIE 1931, L*,a*,b* = souřadnice CIE 1976).



Obr.29: Barevná tabulka s referenčními daty BST11

8.2.2 Spektrofotometr ColorMunki

Spektrofotometr se skládá z rotačního disku, který slouží k nastavení měřicího módu. Snímač je umístěn v otočném jádře těla spektrofotometru, přičemž otočením snímače se snadno volí režim, ve kterém bude přístroj pracovat. Ve středu otočného panelu je umístěno velkoplošné tlačítko, které aktivuje měření. Podle polohy sondy lze přístroj použít pro měření intenzity okolního osvětlení, barevnosti obrazu projektoru, měření monitoru a odrazné měření (barva povrchu předmětů). Poslední jmenovaná měření sdílejí společnou polohu, při měření monitoru. Přirozeně při měření monitoru není aktivní osvětlení povrchu. Samostatnou polohu má kalibrace. Přístroj je k počítači připojen USB konektorem a tím je i napájen, zdroj (7).

V závislosti na prováděném měření se ručně otáčí středová část s ukazatelem polohy. Dle polohy se čidlo měření odkrývá nebo zasouvá.

- A = poloha pro měření okolního osvětlení
- B = poloha pro měření projektoru
- C = poloha pro kalibraci samotné sondy
- D = poloha pro měření monitoru a skenování měřených odrazových předloh



Obr.30: Spektrofotometr

Postup práce se spektrofotometrem ColorMunki

Před měřením se nejprve provede kalibrace zařízení. Kalibrace se provádí otočením rotačního disku na pozici C a stisknutím spouště. Několik sekund je třeba setrvat a přístroj se sám zkalibruje. Podle druhu snímání (bodové, liniové) se před nastavením odblokuje zaměřovací klapka (Target Flap) pomocí postranního tlačítka. Odblokovaná zaměřovací klapka pomáhá, aby bylo možné, pokud je to třeba, přesně určit bod, ze kterého se bude měření nad barevným polem provádět. Po přesném zacílení se přístroj přitlačí k zaměřovací klapce a sám odečte hodnoty RGB.

Jednotlivé kroky postupu práce se spektrofotometrem ColorMunki

1. Spuštění software ColorMunki Design
2. Připojení spektrofotometru pomocí USB kabelu k počítači
3. Umístění spektrofotometru nejprve na bílou část mimo tabulku
4. Provedení kalibrace – poloha C
5. Začátek snímání – stisknutá spoušť, držaná po celou dobu měření
6. Plynulým pohybem přejíždět první řádek tabulky
7. Zastavení na bílé ploše mimo tabulku, uvolnění tlačítka spouště
8. Měření na řádku na bílé ploše je ukončeno

8.2.3 Použité programy

Pro načtení snímků v RAW formátu a odečtení úrovní RGB byl použit software dodaný výrobcem (firmou Canon) Digital Photo Professional (DPP) a Open source UFRaw běžící pod programem GIMP.

Pro převod snímku z formátu RAW do bezztrátového TIFFu byl použit software DPP, který pracuje pouze s formáty TIFF a JPG. Program Distortion pracuje pouze s BMP a JPG formáty. Pomocí programu IrfanView byl formát bezztrátový TIFF převeden do bezztrátového BMP. Program Kokeš, ve kterém byla provedena projektivní transformace, pracuje též s BMP formátem. Pro práci s barevnými paletami odměřenými spektrofotometrem bylo použito softwaru dodaného k tomuto zařízení, ColorMunki Design.

8.3 Rámcový postup při barevné kalibraci

Rámcový postup při pořizování a zpracování fotografického snímku. Nejdříve byla snímána barevná kalibrační tabulka a následně se ověřila její barevná reprodukce. U barevné kalibrační tabulky nebyla použita oprava radiální distorze objektivu, protože prvotním záměrem v této části práce bylo posoudit její barevnou věrnost.

- 1) Nastavení fotoaparátu, výchozí podmínky
- 2) Vyfotografování barevné kalibrační tabulky – sRGB a Adobe RGB prostor
- 3) Ověření barevné reprodukce – odečtení hodnot RGB
- 4) Převod RAW formátu snímku do TIFF formátu (v softwaru DPP)
- 5) Program Scribus – příprava k tisku
- 6) Tisk kalibrační tabulky na tiskárně
- 7) Barevné porovnání originálu barevné tabulky s vytištěnou barevnou tabulkou (použití spektrofotometru ColorMunki)

8.4 Rámcový postup při barevné reprodukci vzorků předloh

- 1) Nastavení fotoaparátu, výchozí podmínky - stejné jako u snímání barevné tabulky
- 2) Vyfotografování vybraných předloh mapových listů
- 3) Změření rozměrů předloh měřicími trojúhelníčky
- 3) Převod RAW formátu snímku do TIFF formátu (v softwaru DPP)
- 4) Převod TIFF do BMP
- 5) Eliminace distorze objektivu v programu Distortion – výstup ve formátu BMP
- 6) Program Kokeš – projektivní transformace (zachování poměru 1:1)
- 7) Program Kokeš – výřez vzorku o rozměru 160x250 mm
- 8) Program Scribus – příprava k tisku
- 9) Tisk vzorku mapového listu na tiskárně
- 10) Barevné porovnání originálu reprodukce s tištěným výstupem

8.4.1 Nastavení fotoaparátu

Nastavení parametrů fotoaparátu bylo použito stejné jako při kalibraci přístroje. Ohnisková vzdálenost byla zvolena 28 mm.

Ostření	manuální
Závěrka	1/50
Clona	F22
ISO	400
Barevný prostor	sRGB resp. Adobe RGB *
Kvalita	RAW data + .jpg
Ohnisko	28 mm **

Fotoaparát byl po dobu fotografování připevněn a zavěšen na stativu. Zároveň z důvodů rychlé kontroly pořízených snímků byl přímo propojen s počítačem. Citlivost snímání byla nastavena na nižší přijatelné hodnoty (nižší citlivost = méně šumu) a snímky byly ukládány do RAW formátu. Zaclonění bylo nastaveno na vyšší clonové číslo.

* Fotoaparát umožňuje použít oba barevné prostory. Pro zvolení správného barevného prostoru RGB byla barevná kalibrační tabulka vyfotografována pro oba prostory sRGB a Adobe RGB. Podle hodnot barevných odchylek byl k dalšímu fotografování použit sRGB prostor.

** Dle předchozího zpracování výsledků kalibrace pro jednotlivá ohniska vycházely hodnoty radiální distorze nejbližší nulové hodnotě u ohniskové vzdálenosti 34 mm (druhé, kontrolní fotografování) a pak u ohniska 28 mm. Ohnisko 28 mm nejlépe vyhovovalo limitním podmínkám při fotografování v laboratoři tj. možnosti rozsahu stativu pro celkový záběr fotografovaného mapového listu.

8.4.2 Vyfotografování barevných předloh

Barevná kalibrační tabulka (dále předloha) byla rovnoměrně osvětlena, bez reflexů, prostá prachu a škrábanců. Nedodržení tohoto základního požadavku by vedlo k chybnému barevnému podání. Nebylo nutné, aby předloha zabírala celou plochu snímku. Osvětlení při snímání předlohy odpovídalo osvětlení scény snímků pro předlohy vzorků mapových listů.

8.4.3 Ověření věrnosti barev

Správně nasvícená a vyfotografovaná tabulka byla uložena do formátu RAW. Fotoaparát umožňuje ukládat snímky jak v barevném prostoru sRGB, tak i v barevném prostoru Adobe RGB. Při prvním pořizování snímku barevné kalibrační tabulky byl použit prostor sRGB. Při druhém fotografování prostor Adobe RGB. Z odečtených barevných úrovní RGB, jednotlivých ploch barevné tabulky, pro každý barevný prostor a k získání barevných odchylek, byl k dalšímu fotografování použit sRGB prostor.

K odečtení hodnot RGB úrovní došlo jak v programu Digital Photo Professional, dodaného výrobcem (firmou Canon), tak i v Open Source programu UFRaw (plug-in GIMP). Na každé z 24 ploch došlo k pěti odečtením RGB úrovní. Výsledná barevná úroveň RGB pro jednu plochu byla získána průměrem z pěti odečtů. Získané hodnoty barevných úrovní se přenesly do excelovské tabulky (comparator.xls), jež byla součástí přiloženého CD k barevné tabulce. V tomto souboru došlo k výpočtu souřadnic Lab pro pět nejběžnějších barevných prostorů a k výpočtu průměrné barevné odchylky. Srovnáním „vyfotografovaných“ souřadnic se souřadnicemi skutečnými (součástí souboru comparator.xls) bylo možné vybrat nejbližší barevný prostor fotopřístroje.

Kritériem pro porovnání hodnot originální tabulky s vyfotografovanou tabulkou byla tzv. barevná odchylka označovaná ΔE_{ab} . Výsledkem byla průměrná barevná odchylka pro každý barevný prostor (sRGB, Adobe RGB, Apple RGB, Color Match, Wide Gamut).

8.4.4 Postup výpočtu barevné odchylky

Po transformaci RGB úrovní do souřadnic L*a*b* se tyto souřadnice odečetly od souřadnic L*a*b* daných (skutečných).

Lab vypočtené (transformované z RGB) – **Lab** skutečné = $\Delta \mathbf{Lab}$

Barevná odchylka jedné barevné plochy = $\sqrt{(\Delta \mathbf{Lab})^2}$

Průměrná barevná odchylka = $\sum \sqrt{(\Delta \mathbf{Lab})^2} / 24$

Barevný prostor, kde je barevná odchylka nejmenší, je nejbližší skutečnému prostoru fotoaparátu. Barevná odchylka by se ve správném prostoru měla pohybovat mezi 5 – 10 ΔE_{ab} .

Pro srovnání

- | | |
|-------------------|--|
| 1 ΔE_{ab} | odpovídá právě rozlišitelnému rozdílu mezi barvami |
| 2 ΔE_{ab} | odpovídá přesnosti spektrofotometru |
| 5 ΔE_{ab} | odpovídá profesionálnímu nátisku fotografií |

V softwaru Digital Photo Professional, po následném zpracování v comparator.xls, barevné hodnoty RGB dosahovaly menší barevné odchylky než u softwaru UFRaw (plug-in GIMP). A to i přes maximální snahu o zachování stejných podmínek odečítání RGB barevných úrovní. Byla provedena pokusná odečítání a průměrná barevná odchylka při použití softwaru dosahovala těchto hodnot:

a) Digital Photo Professional

- | | |
|---|----------------------|
| 1. snímek barevné kalibrační tabulky (sRGB)..... | 8,0 ΔE_{ab} |
| 2. snímek barevné kalibrační tabulky (sRGB)..... | 8,2 ΔE_{ab} |
| 3. snímek barevné kalibrační tabulky (Adobe RGB)..... | 12,6 ΔE_{ab} |

b) UFRaw (plug-in GIMP)

- | | |
|--|----------------------|
| 1. snímek barevné kalibrační tabulky (sRGB)..... | 13,0 ΔE_{ab} |
|--|----------------------|

8.5 Postup pořízení barevné reprodukce barevné tabulky

Před samotným pořízením barevné reprodukce mapových listů se provedlo nasnímání barevné kalibrační tabulky a zjistila se věrnost barev. Barevná tabulka byla snímána 2x. Jednou s barevným prostorem sRGB a podruhé s barevným prostorem Adobe RGB. V DPP softwaru se pro oba prostory odečetly barevné úrovně RGB. RGB hodnoty se převedly na Lab hodnoty a spočetla se průměrná barevná odchylka (ΔE_{ab}) – viz tabulka. Pro další zpracování bylo použito prostoru sRGB.

sRGB barevný prostor	Průměrná barevná odchylka	Adobe RGB barevný prostor	Průměrná barevná odchylka
sRGB	8,2	sRGB	13,4
Adobe 1998	7,9	Adobe 1998	12,6
Apple RGB	8,9	Apple RGB	12,5
Color Match	8,7	Color Match	12,2
Wide Gamut	15,0	Wide Gamut	17,8

Tab.12: Barevné odchylky barevných prostorů sRGB a Adobe RGB

Hodnoty barevných úrovní pro barevný prostor sRGB byly odečteny jak v programu DPP, tak i v programu UFRaw. Odečtené RGB hodnoty a výsledky průměrných barevných odchylek jsou v Příloze Q.

S formátem RAW nebylo možné dále pracovat v následujících programech, a tak byl převeden do formátu TIFF (8 bitů) se zachováním Exif dat. Zároveň s formátem TIFF bylo možné uložit i ICC profily přímo do obrázku. Pro porovnání byly zvoleny oba postupy tj. první snímek uložen s ICC profily ve snímku a druhý snímek bez ICC profilů ve snímku.

K převedení snímků do vhodného formátu pro tisk, se zachováním barev, se použil program Scribus. V nastavení programu, ve správě barev, byly nastaveny ke snímku správné ICC profily pro výstup do formátu PDF-X3 a výstup pro tiskárnu HP LaserJet 5550 (dtn).

Na vytištěných dokumentech se spektrofotometrem odečetly barevné úrovně. Software ColorMunki Design přímo zobrazil hodnoty pro RGB, Lab souřadnice a htm kód barvy. Porovnáním originálu barevné tabulky s její tištěnou reprodukcí došlo k posouzení kvality barevného zobrazení a zhodnocení vlivu podmínek na barevnou věrnost. Kritériem pro posouzení barevné věrnosti reprodukce byla průměrná barevná odchylka (ΔE_{ab}). Podrobnější výsledky viz (Příloha P).

8.6 Postup pořízení barevné reprodukce vzorků předloh

Postup je obdobný jako u pořízení barevné reprodukce kalibrační tabulky s tím rozdílem, že se zde provádí oprava distorze v programu Distortion pro dané ohnisko. Vstupní hodnoty pro výpočet distorze se použily z kalibračního měření (Příloha B, ohnisko 28 mm). Nejprve bylo nutné převést TIFF formát do BMP formátu, protože program Distortion pracuje pouze s formáty JPG a BMP.

Při opravě distorze, v programu Distortion, bylo možné nastavit, zda ukládat snímky s vyhlazením nebo bez něho. Použití vyhlazení snímků se projevuje plynulým barevným (nepostřehnutým) přechodem, ale program si okraje snímků ořízne. Bez použití vyhlazení se na snímků zobrazily nevzhledné bílé radiální kružnice.

Pro zachování geometrické přesnosti tj. zachování poměru 1:1 (originál:vytištěná předloha), se použilo projektivní transformace v programu Kokeš. Před samotnou transformací bylo třeba zjistit rozměry předlohy mapového listů, které byly využity při projektivní transformaci. K určení vhodného rozměru se použily měřické trojúhelníčky. Přesně změřené rozměry jsou důležité pro správné určení bodů, použitých při projektivní transformaci, která předlohu mapového listu zobrazila se správnými rozměry.

Jelikož nebylo nutné pro naše účely tisknout celou předlohu mapového listu, tak se vybrala oblast, která byla vytisknuta na formát papíru o rozměru A4. Vybraná oblast (dále výřez) měla pevně stanovené rozměry (160 x 250mm) pro všechny vybrané předlohy a byla uložena ve formátu BMP.

Poslední fází před samotným tiskem bylo přiřazení barevného ICC profilu pro tiskárnu v programu Scribus. Výřez byl vytištěn na laserové tiskárně HPcolor LaserJet 5550 (dtn).

Použité předlohy mapových listů

Použité předlohy mapových listů byly převážně vybrány z Historického atlasu měst ČR, svazek č.3, České Budějovice.

Konkrétně se jednalo o mapu

- 1) mapa č.5 České Budějovice a okolí na Hillenbrandově plánu z roku 1783
- 2) mapa č.10 České Budějovice na plánu S.Matyáše a A.Moučky z roku 1920
- 3) mapa č.13 České Budějovice na vojenském plánu z roku 1986
- 4) předloha Helwigovy mapy Slezka z roku 1561

Z každého snímku mapy byl proveden výřez o rozměru 160x250 mm. Po vytištění snímků předloh mapových listů, byly na originálu a tištěné předloze odměřeny dvě kontrolní délky (Tab.13). Na rozdílů těchto délek můžeme posoudit, jak výrazně se projevuje radiální distorze objektivu.

	originál	vytištěný snímek	rozdíl
mapa č.5	263,5 mm	263,9 mm	0,4 mm
	148,9 mm	149,9 mm	1,0 mm
mapa č.10	207,3 mm	208,9 mm	1,6 mm
	139,7 mm	141,1 mm	1,4 mm
mapa č.13	172,8 mm	174,5 mm	1,7 mm
	157,0 mm	158,2 mm	1,2 mm
Helwigova mapa	209,8 mm	211,3 mm	1,5 mm
	248,2 mm	248,6 mm	0,4 mm

Tab.13: Měřené vzdálenosti na originálu a tištěné kopii předlohy

Rozdíly v odměřených délkách se pohybují v rozpětí 0,4 – 1,7 mm. Předpokládaná přesnost 0,10 mm nebyla splněna. Reálně se blížíme více k přesnosti 1,7 mm.

8.7 Shrnutí postupů a výsledků

Na následujících řádcích jsou shrnuty postupy při barevné kalibraci. Postupy při geometrické kalibraci jsou shrnuty v kapitole 4.

Činnost: Fotografování s barevným prostorem sRGB a Adobe RGB

Cíl: Výběr vhodného barevného prostoru

Způsob: Odečtení barevných úrovní RGB v DPP

Kritérium posouzení: Nejmenší dosažená průměrná barevná odchylka (ΔE_{ab})

Výsledek: Prostor sRGB je vhodnější

Činnost: Převod RAW formátu snímku do TIFF formátu

Cíl: Vybrat vhodný formát s nejmenší ztrátou informací tj. zachování Exif dat

Způsob: DPP software

a) vložení ICC profilu (z fotoaparátu) do snímku

b) bez vložení ICC profilů

Výsledek: Snímek ve formátu TIFF (8 bitů) se zachováním Exif dat

Pro předlohu

Činnost: Převod TIFF formátu snímku do BMP formátu

Cíl: Použít bezztrátový formát dostupný v programu Distortion pro opravu distorze

Způsob: IrfanView software

Výsledek: Snímek ve formátu BMP opravený o distorzi objektivu

Pro předlohu

Činnost: Výřez části předlohy o rozměru 160x250 mm, zobrazený na formátu A4.

Cíl: Zachovat geometrii (poměr 1:1) předlohy v souladu s originálem

Způsob: Projektivní transformace v programu Kokeš

Výsledek: Výřez předlohy o daných rozměrech

Činnost: Příprava snímků k tisku

Cíl: Maximálně zachovat věrnost barev

Způsob: Nastavení ICC profilů pro dokument a pro vybranou tiskárnu,

Volba formátu výstupu PDF-X3*

1 dokument = 1 snímek originální barevné tabulky (TIFF)

+ originální tabulka dodaná výrobcem (DigitalChart.jpg)

Výsledek: dokumenty ve formátu PDF/X3

* PDF/X-3 povoluje obrazy v CIELAB a dalších prostorech.

Pro barevnou tabulku

Tisk 2 dokumentů

1. dokument s vloženými ICC profily

2. dokument bez vložených ICC profilů

Činnost: Porovnání originální tabulky s tištěným výstupem 1.dokumentu a 2. dokumentu

Cíl: Posouzení barevné věrnosti vytištěné a vyfotografované tabulky s originální předlohou a posouzení barevné věrnosti vytištěné tabulky s originálem dodaným výrobcem ve formátu JPG (DigitalChart.jpg)

Způsob: Odečtení LAB barevných úrovní pomocí spektrofotometru

Kritérium posouzení: Průměrná barevná odchylka (ΔE_{ab})

Výsledek: $10 < \Delta E_{ab} < 12$, dokument s vloženými ICC profily podává věrnější barvy

Činnost: Odměření kontrolních délek na originálu a na vytištěné reprodukci mapového listu

Cíl: Ověřit geometrickou přesnost

Způsob: Použitím měřických trojúhelníků odečteny vybrané vzdálenosti

Kritérium posouzení: Požadovaná přesnost 0,10 mm

Výsledek: 0,04 mm - 0,17mm

Shrnutí

Z výsledků (Příloha Q) vyfotografovaných barevných kalibračních tabulek je patrné, že je vhodnější použít při fotografování sRGB prostor, převod z RAW do TIFF uložit s ICC profily přímo ve snímku.

Nejvhodnější by bylo nadále pracovat s formátem TIFF, tak jako u barevné tabulky. Vzhledem k tomu, že je třeba provést opravu distorze v program Distortion, je nutné snímky převést do formátu BMP. Po opravě radiální distorze jsou opravené snímky buď s bílými radiálními kruhy nebo jsou okraje snímku oříznuté. Při zpracování bez vyhlazování se radiální kruhy zobrazí. V případě použití vyhlazení dochází k oříznutí snímku.

Následně se přistoupilo k porovnání barev pro jednotlivé formáty. Formát TIFF a BMP zachovávají stejný počet barev. Počet barev byl po opravě distorze bez vyhlazování menší než s vyhlazováním. Se změnou počtu barev při výřezu reprodukce mapového listu se počítalo.

Po pohledové revizi originálu mapy s vytištěným výřezem reprodukce mapového listu se barevné provedení liší více než bylo předpokládáno na základě testování s barevnou kalibrační tabulkou. Provedla se kontrola porovnání barev (v Exif datech) po každém konvertování do nového formátu. Výsledkem je, že k výrazné ztrátě barevného podání nedochází.

Z hlediska geometrického zkreslení bylo dosaženo přesnosti blížící se 1,7 mm na rozměr výřezu předlohy 160 x 250 mm. Přičemž byla předpokládaná přesnost 0,10 mm.

9 Závěr

Ve své diplomové práci jsem se zabývala možnostmi reprodukce grafických předloh s využitím digitálních fotoaparátů. Předmětem mého zájmu byla jak vlastní digitalizace předloh, tak jejich tisk na dostupném výstupním zařízení. Pozornost byla věnována geometrické přesnosti i barevné shodě reprodukcí. V práci je podrobně popsán celý realizovaný technologický postup. Jsou uvedeny provedené varianty řešení s hodnocením dosažených výsledků a doporučením nejvhodnějšího postupu. Práce prokázala použitelnost navrženého postupu. Získané výsledky jsou však limitovány zejména dvojicí faktorů. První faktor představuje rozlišení digitálního fotoaparátu – velikost pixelu digitalizované předlohy limituje dosažitelnou geometrickou přesnost. Druhý faktor spočívá ve schopnosti přesně kalibrovat použitá zařízení (fotoaparát, tiskárna) pro práci s barvami – dostupné generické barvové profily nevystihují zcela přesně konkrétní modely použitých zařízení. Dále jsou shrnuty jednotlivé výsledky práce.

V práci byla použita dvě kalibrační pole – čtvercové kalibrační testovací pole s ortogonálně natočenou sítí a obdélné kalibrační pole s diagonálně natočenou sítí (viz kapitola 2.3). Software Photomodeler Pro 4, ve kterém byly určeny prvky radiální distorze objektivu, si neumí dobře poradit se čtvercovým testovacím polem a je pro něj obtížné určit správné natočení snímků. Právě čtvercová forma rozmístění bodů znemožňuje programu určit správnou orientaci snímků. Za této situace nedošlo k určení orientace jednotlivých snímků. Nebylo tak možné zjistit ani prvky distorze objektivu (podrobnosti kapitola 2.4.5).

Z hlediska použitého způsobu fotografování (v podélném a diagonálním směru) byl podélný způsob pro naše účely vyloučen. Vhodnější bylo použít fotografování testovacího kalibračního pole ve směru diagonálním. Z hlediska nastavení volného a fixního ohniska v programu Photomodeler pro výpočet radiální distorze objektivu, testované výpočty ukázaly, že volné ohnisko je pro naše potřeby vhodnější.

Proběhlo nasnímání testovacího kalibračního pole pro jednotlivá ohniska. Po zjištění prvků radiální distorze objektivu se porovnal její průběh podle jednotlivých ohnisek. Cílem bylo vybrat ohnisko s nejmenším vlivem radiální distorze objektivu. V našem případě došlo z důvodu většího přiblížení fotoaparátu k předloze k výběru ohniska 28 mm, se kterým se dále snadněji nasnímal barevné předlohy mapových listů.

Pro fotografování barevných předloh byl použit postup fotografování s diagonálním směrem. Vstupní parametry pro opravu radiální distorze objektivu byly použity z testovacího snímání pro ohnisko 28mm.

Při barevné kalibraci byla nejprve vyfotografována barevná kalibrační tabulka v barevném prostoru sRGB ve formátu RAW (více o formátu RAW v kapitole 6). K posouzení barevné věrnosti originálu a vytištěného snímku barevné kalibrační tabulky byl použit pro odečítání RGB hodnot spektrofotometr ColorMunki. Barevná věrnost v případě barevné tabulky odpovídala mezím barevné odchylky 5 – 10 ΔE_{ab} .

Z hlediska barevného podání u předloh vzorových mapových listů došlo k porovnání barev (v Exif datech) po každém konvertování do nového formátu. Cílem bylo zjistit, při jakém převodu dochází k největší ztrátě barev, která by mohla mít vliv na výslednou barevnost. Výsledkem je, že počet barev byl po opravě distorze objektivu bez vyhlazování menší než s vyhlazováním. Jinak ale k výrazné ztrátě barev nedochází.

Roli hraje i práce s barvovými profily, které byly začleněny do snímků při barevném zpracování. Profily ICC byly použity pro digitální fotoaparát a tiskárnu. Jednalo se o typové (generické) profily a nikoliv o konkrétní profily. Tudíž je možné, že profily vyznačují určité odchylky, protože nejsou vytvořeny přímo ke konkrétnímu zařízení. V této oblasti je prostor pro další zkoumání.

Na vyfotografovaných předlohách byly odměřeny dvě kontrolní délky a porovnány s délkami odměřenými na originálech. Rozdíly v odměřených délkách se pohybují v rozpětí 0,4 – 1,7 mm. Předpokládaná přesnost byla 0,10 mm. Reálně se blížíme více k přesnosti 1,7 mm. V porovnání s cílem práce musíme konstatovat, že přesnost 0,10 mm je nejvyšší možná přesnost, které je schopen digitální fotoaparát Canon EOS 450D dosáhnout.

Limitujícím faktorem je stále malé rozlišení digitálního fotoaparátu, které má vliv na degradaci detailů. V současnosti s dostupnými digitálními fotoaparáty je tento postup vhodný pouze pro malé formáty. Do budoucna je zde ale možnost lepšího využití. S rostoucím pokrokem a vývojem digitálních fotoaparátů bude tento postup nabývat na významu. Pro výrobce fotoaparátu je tu stále prostor pro rozšiřování rozlišovací schopnosti fotoaparátu. Současné limity se tak budou posunovat dále.

Přínosem tohoto postupu pořizování reprodukcí barevných předloh je nepotřebnost skeneru. Nespornou výhodou je bezkontaktní snímání předloh, mobilnost a snadná přizpůsobivost různým podmínkám měření. Dalším faktorem je rychlé nasnímání předlohy.

10 Literatura a zdroje

- [1] Laboratoř fotogrammetrie Katedry mapování a kartografie: Kalibrace digitálních fotoaparátů, návody na cvičení, LFGM - FSv ČVUT v Praze

- [2] PAVELKA K., Fotogrammetrie 1, skripta, FSv ČVUT v Praze, Praha 2009
ISBN 978-80-01-04249-6

- [3] SOUKUP R., Fotografujeme digitálně I. , Grada Publishing, a.s. Praha 2004
ISBN 80-247-1087-0

- [4] MAY A., Digitální fotografie, Dorling Kindersley Book, London 2000,
přeložil Jozef Koval z anglického originálu Digital Photography, Slovart s.r.o 2002
ISBN 80-7209-404-1

- [5] BULOW H., Kurz digitální fotografie, Augustus Verlag München 2001,
přeložila Jarmila Doubravová z německého originálu Grundkurs digitale fotografie,
Euromedia Group k.s – Knižní klub 2002
ISBN - 80-242-0782-6

Internetové zdroje

- (1) Wikipedia [on-line]. Dostupné z URL <<http://en.wikipedia.org>>

- (2) Digimanie [on-line]. Pihan, Roman: **Vše o formátu RAW** 1.-9. díl (články),
dostupné z URL
<http://www.digimanie.cz/art_doc-87481D92051B776BC1257410006AAA3F.html>
datum citace 19.03. 2009

- (3) Fotografování [on-line]. Pihan, Roman, **Vše o světle** 1.-14. díl (články), dostupné z URL <http://www.fotografovani.cz/art/fozak_df/rom_1_01_cojetosvetlo.html>
datum citace 22.03. 2009
- (4) Digneff [on-line]. **Mýtus o Adobe** (článek), Dostupné z URL
<http://www.digneff.cz/art/titulka/080807adobe_rgb.html>
datum citace 07.05. 2009
- (5) Paladix [on-line]. Tezaur Radka: **Správa barev**, Dostupné z URL
<<http://www.paladix.cz/clanky/sprava-barev-zakladni-principy-a-soucasti.html>>
datum citace 01.05. 2009
- (6) Grafika [on-line]. Krejčí, Richard: **Poznejte Scribus** 1.-6. (články),
Dostupné z URL <<http://www.grafika.cz/serial232.html>>
datum citace 02.05. 2009
- (7) Svět tisku [on-line]. **Třešňák, Kamil: ColorMunki Design**
Dostupné z URL <http://www.svettisku.cz/buxus/generate_page.php?page_id=4667&buxus_svettisku=cc19d50d27fd2cabdea81447dc45f9b9>
datum citace 11.05. 2009
- (8) Fotoaparát [on-line]. **Obrázek**
Dostupné z URL <<http://www.fotoaparar.cz/image/26388>>
datum citace 04.05. 2009
- (9) Metodický portál [on-line]. **Obrázek**
Dostupné z URL <<http://www.rvp.cz/clanek/397/1137>>
datum citace 04.05. 2009

11 Přehled obrázků a tabulek

Obrázky

Obr. 1 Čtvercové pole s ortogonálně natočenou sítí	str. 18
Obr. 2 Obdélné pole s diagonálně natočenou sítí	str. 18
Obr. 3 Diagonální směr fotografování	str. 18
Obr. 4 Podélný směr fotografování	str. 18
Obr. 5 Maximální rozměr snímku na předloze mapového listu	str. 28
Obr. 6 Průběh radiální distorze s volným ohniskem	str. 31
Obr. 7 Průběh radiální distorze s fixním ohniskem	str. 31
Obr. 8 Průběh radiální distorze při volném ohnisku	str. 32
Obr. 9 Průběh radiální distorze při fixním ohnisku	str. 32
Obr.10 Radiální distorze objektivu pro maximální rozměr snímku při podélném směru fotografování	str. 33
Obr.11 Radiální distorze objektivu pro maximální rozměr snímku při diagonálním směru fotografování	str. 34
Obr.12 Velikost celkové chyby podle ohniska při podélném směru fotografování	str. 35
Obr.13 Velikost celkové chyby podle ohniska při diagonálním směru fotografování	str. 36
Obr.14 Průběh radiální distorze při volném ohnisku a při podélném směru fotografování	str. 37
Obr.15 Průběh radiální distorze při volném ohnisku a při diagonálním směru fotografování	str. 37
Obr.16 Radiální distorze objektivu pro maximální rozměr snímku po její opravě	str. 38
Obr.17 Velikost celkové chyby podle ohniska po opravě distorze objektivu	str. 39
Obr.18 Radiální distorze objektivu - první a druhé (kontrolní) snímky	str. 40
Obr.19 Radiální distorze objektivu - první a druhé snímky bez ohnisek 18, 25, 34 mm	str. 41
Obr.20 Detail grafu na obr. 19 pro poloměry 10 -12 mm	str. 41
Obr.21 Radiální distorze podle maximální rozměru snímku při volném ohnisku a diagonálním směru fotografování	str. 42

Obr.22 Velikost celkové chyby podle ohniska při diagonálním směru fotografování	str. 43
Obr.23 Fotoaparát Canon EOS 450D	str. 44
Obr.24 Snímací čip	str. 45
Obr.25 Schematické znázornění čipu a barevných filtrů před jeho buňkami	str. 46
Obr.26 Barevný gamut	str. 49
Obr.27 Bayerova maska	str. 50
Obr.28 Bayerova maska, RGB výsledný obraz	str. 50
Obr.29 Barevná tabulka s referenčními daty BST11	str. 61
Obr.30 Spektrofotometr	str. 62

Tabulky

Tab.1 Předpokládaná radiální distorze v místě maximálního rozměru snímku předlohy	str. 28
Tab.2 Radiální distorze objektivu maximálního poloměru pro jednotlivá ohniska	str. 29
Tab.3 Radiální distorze objektivu pro maximální rozměr snímku při podélném směru fotografování	str. 33
Tab.4 Radiální distorze objektivu pro maximální rozměr snímku při podélném směru fotografování	str. 34
Tab.5 Velikost celkové chyby podle ohniska při podélném směru fotografování	str. 35
Tab.6 Velikost celkové chyby podle ohniska při diagonálním směru fotografování	str. 36
Tab.7 Radiální distorze objektivu pro maximální rozměr snímku po její opravě	str. 38
Tab.8 Velikost celkové chyby podle ohniska po opravě distorze objektiv	str. 39
Tab.9 Radiální distorze podle maximálního rozměru snímku při volném ohnisku a diagonálním směru fotografování	str. 42
Tab.10 Velikost celkové chyby podle ohniska při diagonálním směru fotografování	str. 43
Tab.11 Přehled RAW formátů	str. 56
Tab.12 Barevné odchylky barevných prostorů sRGB a Adobe RGB	str. 68
Tab.13 Měření vzdálenosti na originálu a tištěné kopii předlohy	str. 70

12 Přehled příloh

Kalibrační protokoly

Příloha A Podélný směr, první snímky, volné ohnisko – 18, 28, 34, 44 mm

Příloha B Diagonální směr, první snímky, volné ohnisko – 18, 28, 34, 44 mm

Příloha C Podélný směr, první snímky, oprava distorze, volné ohnisko – 18, 28, 34, 44 mm

Příloha D Diagonální směr, první snímky, oprava distorze, volné ohnisko – 18, 28, 34, 44mm

Příloha E Podélný směr, první snímky, fixní ohnisko – 18, 28, 34, 44 mm

Příloha F Diagonální směr, první snímky, fixní ohnisko – 18, 28, 34, 44 mm

Příloha G Diagonální směr, druhé snímky, volné ohnisko – 20, 25, 34, 43 mm

Příloha H Diagonální směr, druhé snímky, volné ohnisko, oprava distorze – 20, 25, 34,43mm

Grafy průběhu radiální distorze

Příloha I Volné ohnisko, první snímky, podélný a diagonální směr

Příloha J Volné ohnisko, první snímky, podélný a diagonální směr, po opravě distorze

Příloha K Volné ohnisko, první snímky, podélný směr, před a po opravě distorze

Příloha L Volné ohnisko, první snímky, diagonální směr, před a po opravě distorze

Příloha M Fixní ohnisko, první snímky, podélný směr a diagonální směr

Příloha N Volné ohnisko, druhé snímky, diagonální směr, před a po opravě distorze

Příloha O Volné ohnisko, první a druhé snímky, diagonální směr, před a po opravě distorze

Barevná kalibrace

Příloha P RGB odečtené hodnoty, barevná odchylka

Příloha Q Vyfotografované barevné reprodukce