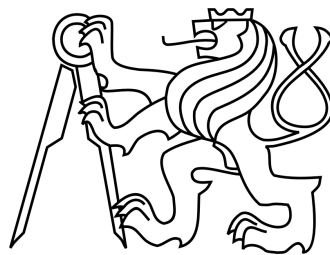


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
OBOR GEOINFORMATIKA



DIPLOMOVÁ PRÁCE
VYUŽITÍ DIGITÁLNÍHO FOTOAPARÁTU V KARTOGRAFICKÉ
REPRODUKCI

Vedoucí práce: Ing. Petr SOUKUP, Ph.D.
Katedra mapování a kartografie

červen 2011

Ondřej VALA

ZDE VLOŽIT LIST ZADÁNÍ

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je zhodnotit a popsat využití digitálního fotoaparátu v kartografické reprodukci, a to z hlediska geometrického zkreslení a barevné věrnosti obrazu. Geometrické zkreslení obrazu, představované radiální distorzí, je posuzováno po provedení kalibrace pro různé ohniskové vzdálenosti objektivu. Vhodným postupem je vliv zkreslení minimalizován. Pro dosažení odpovídajícího barevného podání je využito kalibrace použitých vstupních a výstupních zařízení spolu s vytvořením jejich ICC profilů. Kontrolou postupu je porovnání barevné věrnosti podkladových dat a nově vytvořeného obrazu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kartografická reprodukce, digitální fotoaparát, kalibrace, distorze objektivu, věrnost barev, ICC profil

ABSTRACT

The purpose of master's thesis evaluates and describes utilization the digital camera for the cartographic reproduction, with regard to geometric distortion and colour management. Geometric distortion, represented by radial lens distortion, is assessed after calibration for different lens focal length and after its correction. The appropriate procedure is minimized the distortion effect. To achieve an adequate colour rendition is used calibration of the input and output devices along with the creation of ICC profiles. The audit process is compared by the colour accuracy of the underlying data and the newly created image.

KEYWORDS

Cartographic reproduction, digital camera, calibration, lens distortion, color management, ICC profile

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou uvedeny přímo v textu nebo v závěrečném seznamu použité literatury.

V Praze dne

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Především děkuji vedoucímu své diplomové práce Ing. Petru Soukupovi, Ph.D. za odborné vedení a konzultace během celé tvorby této publikace. Mé další díky patří nejbližší rodině a přátelům, kteří mne po celou dobu studií podporovali.

Obsah

Úvod	9
1 Digitální fotoaparáty	11
1.1 Základní pojmy	11
1.2 Historie digitálních fotoaparátů	12
1.3 Digitální fotoaparát Canon EOS 550D	14
1.4 Geometrické vady objektivu	16
2 Distorze objektivu	18
2.1 Definice	18
2.2 Prvky vnitřní orientace	18
2.3 Určení distorze objektivu	20
2.3.1 Kalibrační pole	20
2.3.2 Konfigurace snímků	21
2.4 Výpočet distorze objektivu	22
3 Geometrická kalibrace	25
3.1 Nastavení fotoaparátu	25
3.2 Výpočet kalibrace v programu PhotoModeler	26
3.3 Volba kalibračního pole	27
3.3.1 Sledované parametry	28
3.3.2 Konfigurace snímků	29
3.3.3 Posouzení výsledných hodnot	29
3.4 Volba konfigurace snímků	31
3.4.1 Doporučené postupy	31
3.4.2 Volba vlastní konfigurace	32
3.4.3 Posouzení výsledných hodnot	33
3.5 Volba ohniskové vzdálenosti	34
3.5.1 Sledované parametry	34
3.5.2 Posouzení výsledných hodnot	35
3.6 Kontrolní snímkování	37
3.6.1 Použité vybavení	37

3.7	Odstranění distorze	39
3.7.1	Software pro odstranění distorze	39
3.7.2	Kontrola odstranění distorze	39
3.8	Určení geometrické přesnosti zaznamenání mapy	42
3.8.1	Maximální geometrická přesnost zaznamenání mapy	43
3.9	Shrnutí geometrické kalibrace	44
4	Reprodukce barev	45
4.1	Vznik digitálního obrazu	45
4.2	Vytváření barevného obrazu	46
4.3	Zobrazování barev	47
4.3.1	Model RGB	47
4.3.2	Model CMYK	48
4.3.1	Prostor sRGB	49
4.3.2	Prostor Adobe RGB	49
4.4	ICC profily	50
4.4.1	Prostor CIE L*a*b	50
4.5	Převody mezi barevnými prostory	51
5	Barevná kalibrace	53
5.1	Spektrofotometrický systém Eye-One XTreme	53
5.2	Kalibrace výstupního zařízení – monitor	54
5.2.1	Popis zařízení	54
5.2.2	Postup kalibrace	55
5.3	Kalibrace výstupního zařízení – tiskárna	56
5.3.1	Postup kalibrace	57
5.3.2	Popis zařízení	57
5.4	Kalibrace digitálního fotoaparátu	58
5.4.1	Použité vybavení	58
5.4.2	DNG profil	59
5.4.3	Postup kalibrace	59
5.5	Volba barevného prostoru	60
5.5.1	Postup určení vhodného prostoru	61
5.5.2	Kontrola vstupních dat	62
5.5.3	Porovnání výsledných dat	63

5.6	Volba zbylých parametrů barevné kalibrace.....	63
5.6.1	Testovací subjekty	64
5.6.2	Volba vhodné časové uzávěrky	66
5.6.3	Postup testování	65
5.6.4	Popis převodu mezi spektrálními daty a prostorem CIE L*a*b.....	66
5.6.5	Kontrola výstupního zařízení.....	68
5.6.6	Porovnání výsledných dat.....	68
5.7	Testování přesnosti při použití barevné kalibrace.....	70
5.7.1	Použité vybavení.....	70
5.7.2	Kalibrace skeneru.....	71
5.7.3	Aplikace profilu skeneru.....	72
5.7.4	Porovnání výsledných dat.....	72
5.8	Shrnutí barevné kalibrace	73
6	Praktické využití postupu.....	74
6.1	Mapová předloha	74
6.2	Postup práce	75
6.3	Porovnání výsledných dat.....	78
	Závěr	80
	Slovníček zkratk	83
	Použitá literatura.....	89
	Obsah přiloženého DVD	97
	Seznam příloh.....	103

Úvod

Mapy, stejně jako další podklady poskytující cenné kartografické informace, byly, jsou a v nejbližší době budou poskytovány v analogové formě. A taktéž jako každá další věc, i ony podléhají procesu stárnutí. Jedinou možností, jak u těchto podkladů zachovat cenné informace, je vytvořit jejich přesný digitální obraz. Tento úkon tvořící podstatnou část nynější kartografické reprodukce se nazývá digitalizace.

Proces digitalizace je v dnešní době u mapových děl představován formou snímání jednotlivých bodů předlohy na skenovacích strojích. Ty však nejsou nejlevnější a jejich cena je přímo úměrná velikosti skenované mapy. V mnohých případech se pohybuje v rámci statisíců. Druhým možným přístupem je použití digitálních fotoaparátů. Tyto přístroje, umožňující okamžité nasnímání podkladů, jsou v současnosti již osazeny světlocitlivými čipy s vysokým rozlišením a možností zachovat i nejmenší detail obrazu. Jejich nespornou výhodou je relativně nízká pořizovací cena, mobilita a hlavně pak možnost bezkontaktní digitalizace. Naopak nevýhodou při použití těchto kamer je obtížnější dosažení geometrických a barevných parametrů originálu mapy.

Právě dodržení posledních dvou podmínek při volbě různých výpočtů a postupů tvoří základ této diplomové práce. Samotné zaznamenání obrazu ovšem nepostačuje. Součástí procesu musí nezbytně být i převod digitálních dat zpět do analogové formy. A to s požadavkem, aby se nově vytištěný mapový výstup co nejvíce geometricky a barevně podobal svému originálu. Účelem práce je tak zhodnocení a popis použitelnosti digitálních kamerových přístrojů v kartografické reprodukci z hlediska faktorů geometrického zkreslení a barevné věrnosti.

Pro odstranění geometrických zkreslení je použit proces kalibrace objektivu. Tento úkon spočívá v nasnímání kalibračního pole při různých ohniskových vzdálenostech a porovnání jejich průběhu radiální distorze v příslušném programu. Po výběru nejvhodnějšího ohniska je provedeno nasnímání mapové předlohy, která se v digitální formě odstraní

o vliv distorze. Kontrolou odstranění geometrického zkreslení pak je porovnání zvolených délek na originálu a právě vytvořeném výstupu.

V dalším kroku je vyhotovena barevná kalibrace již pořízeného snímku mapové předlohy. Pomocí spektrofotometru a dalších pomůcek jsou vytvořeny nebo upraveny ICC profily vstupních a výstupních zařízení a přiřazen barevný profil snímku. Způsob tvorby tohoto barevného profilu je zvolen na základě odchylek dosažených při různých postupech barevné reprodukce. Kontrolou kalibrace je porovnání barevné věrnosti nově vytvořeného mapového obrazu a originálu.

Závěrem je provedeno shrnutí dosavadních dosažených výstupů s návrhem na jejich zlepšení. Výsledkem práce je metodika postupu a přesnosti, s jakými je možné reprodukovat mapy a další kartografické podklady při použití digitálního fotoaparátu.

1 Digitální fotoaparáty

1.1 Základní pojmy

V následujících kapitolách a podkapitolách budou používány pojmy, které se vztahují k tématu digitální fotografie. Z tohoto důvodu jsou nejdůležitější z nich níže uvedeny a jednoduše popsány. Vysvětlení zbylých neznámých zkratk lze nalézt na konci práce v kapitole *Slovníček zkratek*.

Rozlišení

Udává v případě digitálních fotoaparátů součin prvků, tzv. pixelů, v matici obrazového čipu (např. $1\,200 \times 1000 \text{ px} = 1,2 \text{ Mpx}$) [1]. Tento počet pixelů je stejný i u výsledného snímku. Nejnižší rozlišení dnešních digitálních kamer začíná na 8 Mpx.

Citlivost

Citlivost čipů fotoaparátů se posuzuje pomocí šumu, neboli zrnitosti. Čím je nastavena vyšší citlivost, tím zrnitější je snímek. Jako vlastnost je vyjádřena v ekvivalentních hodnotách ISO.

Závěrka a expoziční čas

Rychlost závěrky určuje, jaké množství světla má proniknout objektivem v daném časovém úseku, tzv. expozičním čase [3]. Rozdíl v citlivosti je úměrný rozdílu dvojnásobného (př. polovičního) expozičního času [2]. Běžné automatické provedení expozice je od $1/500 \text{ s}$ do $1/4 \text{ s}$ [1].

Clonové číslo

Clonové číslo je poměr ohniskové vzdálenosti optické soustavy a průměru vstupní čočky objektivu fotoaparátu. Rozdíl v citlivosti je úměrný rozdílu mezi clonovými čísly [2]. Clonová čísla dnešních fotoaparátů se pohybují v rozmezí od 1.0 do 45 [4].

Světelnost

S clonovým číslem úzce souvisí světelnost, která udává, kolik světla je objektiv schopen získat na senzor kamery. Např. pokud objektiv disponuje ohniskovou vzdáleností 200 mm a světelností $f/4$, znamená to, že je schopen otevřít svou clonu maximálně na průměr rovný 50 mm [4].

Ohnisková vzdálenost

Je vzdálenost mezi středem čočky a rovinou snímku. Určuje zorný úhel, neboli rozsah, zachycené scény [5]. Fotografické objektivy se tak díky ní dělí na širokoúhlé objektivy s malou ohniskovou vzdáleností, normální objektivy se zorným úhlem odpovídajícím lidskému oku a teleobjektivy schopné přiblížit i vzdálené objekty [1].

1.2 Historie digitálních fotoaparátů

Počátky digitálních kamer lze datovat do 70. let 20. století. První z firem, která si vzala za cíl vytvořit takzvaný „bezfilmový fotoaparát“ byla americká společnost Kodak. Ta v roce 1975 světu představila první model fotoaparátu s obrazovým senzorem CCD. Jeho velikost byla podobná topinkovači a váha dosahovala cca 4,5kg. Rozlišení snímku bylo pouhých 0,01 Mpx a jeho záznam na kazetovou pásku trval celých 23 s. Až o 13 let později, v Japonsku, byla vytvořena první plně digitální kamera, která byla schopna uchovat snímky ve formě počítačových dat [6].

Byla to společnost Fujifilm, která představila model Fuji DS-1P. Tento fotoaparát zaznamenával snímky do počítačových souborů, které byly uloženy na výměnné 16 MB flash kartě typu SRAM. Snímačem byl CCD čip s rozlišením 0,4 Mpx. Objektiv měl pev-

nou 16 mm ohniskovou vzdálenost a světelnost f/5.6 nebo f/4. Závěrka tehdy dosahovala rychlosti od 1/2000 s po 1/60 s [7].

Ani Kodak však nezahálel a roku 1991 vydal svou první digitální zrcadlovku s názvem Kodak DCS 100. Ta zaznamenávala snímky pomocí CCD senzoru o velikosti 1,3 Mpx a ukládala je na 200 MB datovou jednotku tvořenou 3,5" pevným diskem, který byl s tělem fotoaparátu propojen kabelem. Data se ukládala pomocí 8bitové konverze. Energetickou jednotku tvořil dobíjecí akumulátor nebo 12 V AC adaptér [8].



Obr. 1: První digitální fotoaparáty *Fuji DS-1P* a *Kodak DSC 100*

Dalšími mezníky ve vývoji digitálních fotoaparátů byl rok 1995, kdy byla vytvořena první digitální kamera s TFT displejem, Casio QV-10. A dále pak rok 1996, ve kterém byl představen první digitální fotoaparát využívající paměťové karty. Model fotoaparátu byl nazván Kodak DC 25 a jako paměťové médium byl použit CompactFlash [6].

Posledním zmíněným významným letopočtem je rok 2003. A to z důvodu uvedení kamery Canon EOS 300D, která byla první cenově dostupnou digitální zrcadlovkou pro běžné amatérské fotografy. Její cena se pohybovala okolo 1000 USD. A na svou dobu obsahovala velmi solidní rozlišení 6 Mpx a rozsah ohniskové vzdálenosti od 28 do 90 mm. Její citlivost se pohybovala v rozmezí ISO 100 až ISO 1600 a uzávěrku bylo možné nastavit od 1/4000 s do 30s [9].

V následujících letech se jednotlivé společnosti předháněly v dosažení co největšího rozlišení, funkceschopné miniaturizace a úprav v designu fotoaparátů. Ty se nestaly jen výsadou znalých fotografů, ale přiblížily se více k obyčejným lidem. Důkazem je sna-

ha společností o pokud možno automatizované snímání s nadbytkem volitelných funkcí. Zvýšila se kapacita paměťových disků a využily se nové přenosy dat jako je Bluetooth nebo Wi-Fi.



Obr. 2: 3D digitální fotoaparát *Fujifilm FinePix REAL 3D W1*

Z hlediska nynější přítomnosti nelze digitálním kamerám ubírat jejich vliv na pokrok. Fotoaparáty se staly nedílnou součástí zařízení, které s nimi doposud neměly nic společného (např. mobilní telefony, tablety) a jejich integrace je tak na samotném počátku. Zde však vývoj nekončí a již dnes je možné se setkat s kamerami, které jsou schopné zachytit obraz třídimenziálního prostoru. Příkladem budiž Fujifilm FinePix REAL 3D W1 využívající dvojici objektivů [10].

1.3 Digitální fotoaparát Canon EOS 550D

Pro veškeré následující snímání, potřebné pro vyhotovení diplomové práce, byla z fondu grantu 2010 FRVŠ „Inovace Laboratoře kartografické polygrafie a reprografie a Laboratoře fotogrammetrie“ (dále jen grantu ILK) pořízena jednooká digitální zrcadlovka Canon EOS 550D.

Fotoaparát Canon EOS 550D je digitální jednooká zrcadlovka obsahující obrazový snímač CMOS s rozměry 22,3 x 14,9 mm (formát APS-C) a efektivním rozlišením přibližně 18 Mpx (celkové rozlišení je 18,7 Mpx). Poměr stran pořízených snímků je 3:2. Rozsah automatické citlivosti je od ISO 100 po ISO 6 400, ovšem lze ji navýšit až na hodnotu ISO 12 800. Zaostřování probíhá pomocí 9 AF bodů. Dále je zde elektronicky řízená šterbinová závěrka s rychlostí od 1/4000 s po 30 s. Pro fotografované snímky lze nastavit barevný prostor (sRGB a Adobe RGB) a vyvážení bílé [11].



Obr. 3: Digitální fotoaparát *Canon EOS 550D*

K tomuto digitálnímu fotoaparátu jsou kompatibilní objektivy Canon typu EF (včetně objektivů EF-S). Součástí balení byly objektivy Canon EF-S 18-55 mm f/3.5-5.6 IS a Canon EF-S 55-250 mm f/4-5.6 IS. Přičemž první dvojice čísel značí rozsah ohniskové vzdálenosti a druhá dvojice světelnost. Z grantu ILK byly dále dokoupeny objektivy s fixní ohniskovou vzdáleností Canon EF 28/2.8 a Canon EF 50/1.8 II [12]. Až na teleobjektiv s rozsahem ohniskové vzdálenosti od 55 do 250 mm byly na vliv distorze testovány všechny zbylé objektivy.

Data se ukládají na 16 GB paměťovou SD kartu ve formátech JPEG a RAW. Rozlišení a velikost souboru je úměrná nastavení komprese (např. u Large JPEG je to 5 184 x 3 456 px). K okamžitému přehrávání snímků slouží 3" barevný LCD displej. Vestavěný blesk je sklopný s automatickým vyklápěním. Bateriový zdroj tvoří nabíjecí lithium-ionová baterie.

Veškeré další doplňující informace o parametrech daného digitálního fotoaparátu, včetně využití více než 12 nabízených uživatelských funkcí, je možné nalézt v příručce k fotoaparátu. Ta se v datové formě nachází volně ke stažení na internetových stránkách výrobce Canon [11].

1.4 Geometrické vady objektivu

Vlivy působící na geometrii zobrazení předlohových dat se nazývají optické vady nebo aberace. Vznikají díky nedodržení ideálního středového promítání. Jejich jednoduché rozdělení je na optické vady jednobarevné, jinak řečeno monochromatické, a vady barevné. Další rozdělení je na vady vznikající při zobrazování bodu a zobrazování předmětu.

Sférická vada

Tato vada je způsobena tím, že paprsky, které procházejí objektivem, se neslučují v jednom bodě, ale vytvářejí kolem optické osy tzv. kaustickou plochu. Při této chybě se proto bod nezobrazí jako bod, ale jako malý rozptylový kroužek. Vadu nelze odstranit, ale je možné ji zmírnit kombinací spojně a rozptylné čočky.

Asférická vada

Asférická vada, neboli koma, vzniká, když na optickou soustavu dopadá šikmý a široký svazek paprsků. Její vliv je poznat z toho, že se místo obrazu bodu vytvoří kaustická plocha s jednou rovinou symetrie. Tato odchylka nabývá vlivu zejména u velkých optických soustav.

Barevná vada čoček

Tato vada vzniká působením paprsků odlišných vlnových délek, tj. pro různé barevné složky, na optickou soustavu. Ty se specificky lámou a místo bodového obrazu se proto zobrazí rozptýlené kroužky, které jsou na okrajích různobarevné. Odchylku lze zmírnit použitím různých druhů skel v soustavě objektivu [1].

Astigmatismus

Astigmatismus, neboli zklenutí pole, je vada vznikající při šikmém dopadu paprsků na optickou soustavu. Je způsobena tím, že hlavní paprsek svazku není rovnoběžný s optickou osou. Danou odchylku je možné zmírnit kombinací dvou složených čočkových systémů se stejným astigmatickým rozdílem, ale opačného znaménka [17].

Distorze objektivu

Předchozí uvedené vady mají pouze druhotný vliv na kvalitu zobrazení a její geometrickou přesnost. Do výpočtů se tyto odchylky pro svou malou velikost často ani nezavádějí. Vady, které výrazně působí na přesnost snímkování, se nazývají distorze. Pro svůj rozsah a důležitost je jim v této práci věnována celá následující kapitola, ve které jsou dále detailně popsány.

2 Distorze objektivu

2.1 Definice

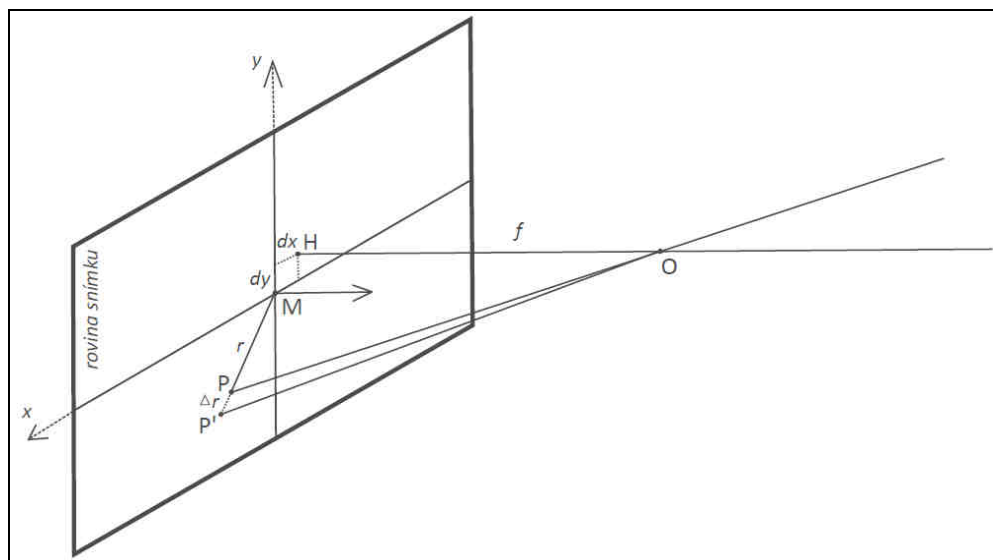
Distorze objektivu je souhrn zbytkových vad objektivu projevující se posunem obrazu bodu od jeho správné polohy v rovině snímku.

Terminologický slovník VÚGTK [18]

Aby byla tato definice snadněji pochopitelná, jsou jednotlivé pojmy, které se vážou k tématu distorze objektivu, dále podrobně vysvětleny. Z důvodu aplikace vlivu chyby, při výpočtech v praktické části práce, je za pomoci vztahů rovněž popsán její charakter.

2.2 Prvky vnitřní orientace

Základním popisem parametrů fotoaparátu jsou tzv. prvky vnitřní orientace. Ty tvoří souřadnice hlavního snímkového bodu $H(x_0, y_0)$, konstanta komory f , střed roviny snímku M a již zmíněná distorze, konkrétně radiální distorze.



Obr. 4: Prvky vnitřní orientace

Rovina, která prochází projekčním centrem, a zároveň je kolmá na osu záběru, se nazývá rovina snímku. Hlavní snímkový bod H je průsečíkem této roviny a paprsku procházejícího středem promítání O . Tento paprsek je kolmý na rovinu snímku.

Konstantou komory f se myslí vzdálenost od hlavního snímkového bodu ke středu promítání. Tato hodnota se často mylně považuje za stejnou jako v případě ohniskové vzdálenosti, avšak v porovnání s ní nabývá pouze přibližné velikosti. Pro negativ pak může nabývat i záporných hodnot.

Střed snímku M je bod, od kterého se určují snímkové souřadnice. V ideálním případě by měl splývat s hlavním snímkovým bodem, ovšem vlivem technického provedení kamery a objektivu jsou od sebe tyto dva body vzdáleny o malou hodnotu souřadnic $[dx, dy]$. Danou odchylku lze určit měřickými nebo laboratorními postupy.

Jak je distorze definována, bylo řečeno na začátku této kapitoly. Nebylo však uvedeno, jak tato vada vzniká, jak se dále dělí a jak ji lze odstranit či zmírnit. Distorze, neboli zkreslení, vzniká při výrobě objektivu. Je způsobena souhrnem geometrických nepřesností, které vznikají při urovnáním všech prvků objektivu do jeho optické osy. Tohoto urovnání však nelze nikdy přesně docílit a proto je nutné její vliv brát v úvahu u kteréhokoliv objektivu. Distorzi lze rozdělit na dva podtypy, radiální a tangenciální.

Radiální distorzí se nazývá posun bodu o vzdálenosti r na snímku o hodnotu Δr . Jako zkreslení má velký vliv na výsledný obraz a je nutné jej odstranit či zmírnit na nejmenší možnou hodnotu. Průběh distorze není naprosto symetrický, ale při jejím odstranění se předpokládá chyba pouze v jednom, tj. radiálním, směru. U dnešních neměřických objektivů běžně nabývá hodnot kolem 200 μm u okraje snímku [1].

Druhým typem zkreslení je distorze tangenciální, která je způsobena nepřesnou centrací jednotlivých čoček. Působí kolmo na radiální distorzi a nelze ji jednoduše kompenzovat. Z tohoto důvodu se běžně ani neuvažuje. Při nynější přesnosti sesazení čoček moderních a kvalitních objektivů, která není nad 0,5 mgon [1], se odstranění tohoto vlivu oprávněně vynechává.

2.3 Určení distorze objektivu

Pod tímto pojmem se skrývá odstranění pouze radiální distorze. Na vliv distorze tangenciální nebude v dalších kapitolách brán zřetel. Pokud je potřeba jakoukoliv odchylku odstranit, je nutné její působení nejprve určit. Pro tento účel se využívá tzv. kalibrace.

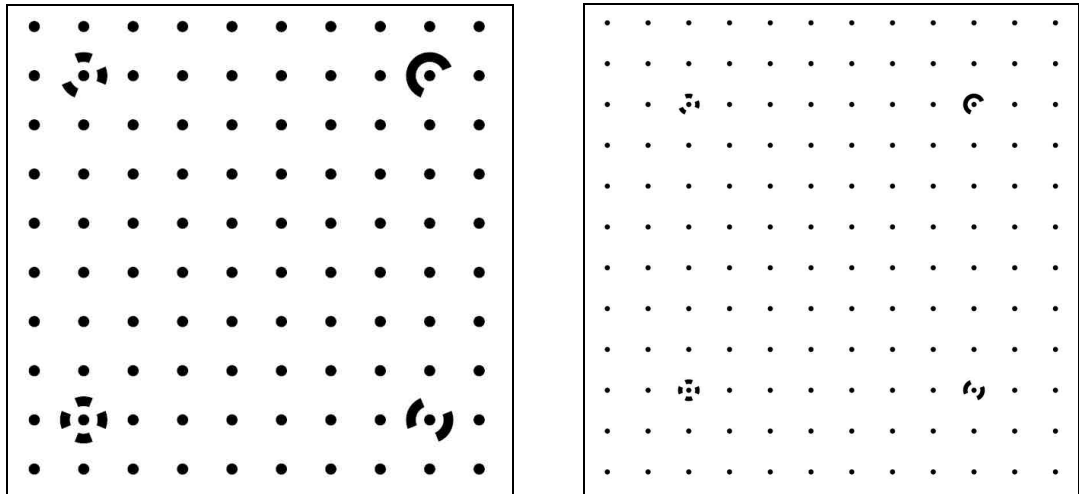
Kalibraci lze rozdělit podle způsobu vyhotovení na tři různé typy, laboratorní kalibraci, simultánní kalibraci a kalibraci pomocí testovacího pole. Laboratorní kalibrace se provádí pouze pro měřické komory, tj. kamery vytvořené s účelem pro měření s vysokou přesností při různých fotogrammetrických činnostech. Prvky vnitřní orientace jsou v ní určovány pomocí goniometru nebo kolimátoru ve specializovaných dílnách.

Kalibrace simultánní v sobě spojuje kalibraci pomocí testovacího pole, více popsáno dále, a vlastní snímkování objektu. Zjednodušeně řečeno, fotografická data, která jsou pořízena pro kalibraci, jsou v ní využita i pro samotné vyhodnocení předmětu práce. Nespornou výhodou při použití této kalibrace je skutečnost, že veškeré snímky jsou získány ve stejný časový okamžik.

Poslední typ, a pro tuto práci využívaná kalibrace, je kalibrace pomocí testovacího pole. Její princip spočívá v nasnímání kalibračního pole z několika různých stanovisek. Potřeba je, aby na tomto poli byly vyznačeny body signalizační a body vlíčovací, jejichž poloha, popř. vzdálenost mezi sebou samými, musí být známá. Po splnění této podmínky jsou poté zadány další doporučení, jako je specifická procentuální potřeba zaplnění snímku kalibračním polem, konfigurace os záběrů, atd. [20]. Několik těchto zavedených doporučení se podařilo v rámci praktické části práce vyvrátit a navrhnout jejich změnu.

2.3.1 Kalibrační pole

Kalibrační pole je nejčastěji tvořeno obdélníkovým či čtvercovým půdorysem s množinou vyplněných kruhových bodů, které jsou kontrastní vůči podkladové barvě pole. Ideální kombinace barev je černá a bílá. Množina bodů, neboli značek, může být uspořádána podélně či diagonálně, je však důležité, aby několik z nich bylo specifických vůči ostatním. Tyto specifické body, tzv. vlíčovací, jsou snadno poznatelné pomocí jejich okolních přidružených značek.



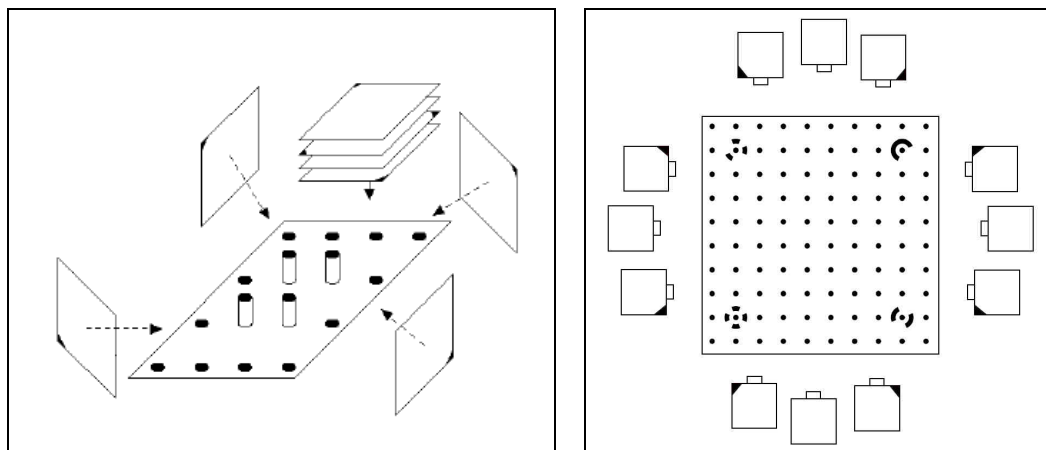
Obr. 5: Kalibrační pole využívané v programu PhotoModeler Scanner verze 6

Pole může být rovinné nebo prostorové a kromě klasické možnosti ho vytisknout na jakýkoliv formát, to je vhodné zejména při změně ohniskové vzdálenosti, je možnost ho promítnout projektorem na zeď. To však sebou nese mnohá úskalí a nutnost splnění dalších podmínek. Při tvorbě této práce bylo kalibrační pole vytištěno na dva různé formáty a vliv jejich velikosti na výsledný výpočet distorze byl podroben bližšímu zkoumání.

2.3.2 Konfigurace snímků

Vhodně zvolené kalibrační pole ovšem netvoří základ úspěšně provedené kalibrace. Stejnou, ne-li vyšší, prioritu má konfigurace pořízených snímků. Ta se obecně liší od různé verze programu PhotoModeler a různé literatury. Je to z důvodu, že výpočet kalibrace je od verze 5 programu PhotoModeler prováděn automaticky, což má podstatný vliv na požadovanou konfiguraci snímků.

V dřívějších postupech [20] bylo nutné vyhotovit dvojici až čtveřici snímků s diagonální osou záběru spolu s jedním až čtveřicí frontálních snímků, jejichž vzdálenost od kalibračního pole měla být známá. Tyto snímky měly být rovněž vzájemně pootočený ve své rovině o 90° .



Obr. 6: Dřívější / nynější doporučená konfigurace snímků v programu PhotoModeler

Nyní je doporučeno, jak je uvedeno v *Tutorial* datech programu PhotoModeler, kalibrační pole nasnímat celkem dvanáctkrát. A to třemi snímky s kolmou osou záběru, pootočenými ve své rovině o 90° na obě strany, u každé ze stran kalibračního pole.

Jak se ovšem dále ukázalo, tato metoda není vždy stoprocentně účinná. Pro bezchybný výpočet kalibrace proto bylo nutné zvolit vlastní konfiguraci snímků. Její opodstatnění, spolu s dalšími nalezenými doporučeními pro přesnější výpočet kalibrace, je podrobněji rozebráno v další kapitole.

2.4 Výpočet distorze objektivu

Jak již bylo zmíněno dříve, radiální distorze je posun bodu o vzdálenosti r na snímku o hodnotu Δr . Při rozepsání této odchylky do souřadnicových složek pro libovolný bod obrazu [19], se získá dvojice vztahů:

$$\begin{aligned}x_c &= x + drx + dpx \\y_c &= y + dry + dpy\end{aligned}$$

Kde: x_c, y_c je opravený obrazový bod
 drx, dry je x-ová a y-ová složka opravy radiální distorze
 dpx, dpy je x-ová a y-ová složka opravy tangenciální distorze

Pokud se vypustí oprava z tangenciální distorze, dostanou se rovnice:

$$\begin{aligned}x_c &= x + drx \\y_c &= y + dry\end{aligned}$$

Dále se předpokládá, že radiální distorze je symetrická okolo hlavního snímkového bodu. Libovolný bod ve vzdálenosti r od hlavního bodu pak lze určit faktorem drb . Použije-li se tento faktor do předchozí rovnice, získají se vztahy:

$$\begin{aligned}x_c &= x.(1 + drb / r) \\y_c &= y.(1 + drb / r)\end{aligned}$$

Při zkrácení předešlého vztahu rovnicí pro výpočet faktoru $dr = drb / r$, se získá:

$$\begin{aligned}x_c &= x.(1 + dr) \\y_c &= y.(1 + dr)\end{aligned}$$

Formule použitá v PhotoModeleru pro výpočet faktoru dr je pak dána vztahem:

$$dr = K_1.r^2 + K_2.r^4 + K_3.r^6$$

Kde r^2 lze vyjádřit jako $r^2 = x^2 + y^2$ a parametry K_1 , K_2 a K_3 jsou vypočteny v dialogovém okně programu PhotoModeler s názvem *Camera Viewer Dialog*. U tohoto vztahu se často berou v úvahu pouze první dva členy a správnou polohu jakéhokoliv bodu na snímku, opravenou o vliv distorze lze vypočítat z dvojice rovnic:

$$\begin{aligned}x_c &= x.(1 + K_1.r^2 + K_2.r^4) \\y_c &= y.(1 + K_1.r^2 + K_2.r^4)\end{aligned}$$

Samotnou odchýlenou hodnotu Δr pro libovolnou délku r je možné vypočítat jako:

$$\begin{aligned}\Delta r &= K_1 \cdot r^3 + K_2 \cdot r^5 \\ \Delta r_x &= x_r \cdot (K_1 \cdot r^2 + K_2 \cdot r^4) \\ \Delta r_x &= y_r \cdot (K_1 \cdot r^2 + K_2 \cdot r^4)\end{aligned}$$

Předchozí vztahy jsou použity ve výpočtech znázornění distorze pro různé ohniskové vzdálenosti.

3 Geometrická kalibrace

3.1 Nastavení fotoaparátu

Před snímkováním kalibračního pole bylo nutné vhodně nastavit parametry digitálního fotoaparátu. Ty byly voleny na základě několika faktorů:

Citlivost byla zvolena s ohledem na co nejpřesnější zaznamenání kalibračních značek. Jako vhodná se jevila citlivost ISO 100. Při vyšší citlivosti, ISO 400 a výše, docházelo k znatelnějšímu šumu a tím pádem i k horšímu automatickému určení značek. Pro zachování kvalitativních světelných podmínek u takto vybrané citlivosti bylo při snímkování povoleno použití blesku.

Clonové číslo bylo zvoleno nejvyšší možné. Ovšem s ohledem na světelné podmínky a skutečnost, že nebude kalibrační pole snímáno ze stativu, nýbrž z rukou fotografa. Kladnou roli, stejně jako i v ostatních zbylých parametrech zde sehrálo použití blesku. Bez jeho vlivu, při clonovém čísle 4.0 byly snímky pro kalibraci nepoužitelné. Při volbě clonového čísla 22 pak byl obraz při vyšších ohniskových vzdálenostech příliš temný. Jako vhodná, nejen při kalibraci, se ukázala volba clonového čísla 8.0.

Expoziční čas byl nastaven s ohledem na předešlé dva parametry a další uvedené skutečnosti, jako byla nedostatečná stabilizace fotoaparátu a použití blesku. Za vhodnou se jevila uzávěrka 1/100 s.

Mezi **dalšími nastavenými parametry** by pak bylo dobré zmínit deaktivování stabilizace obrazu a automatického otáčení snímků. A hlavně pak, jedno z nově zjištěných doporučení, a to nastavení *Picture Style* do režimu *Uživatelsky definovaný*, kde byl

zvolen černobílý obraz bez rozmazání. Toto doporučení o jednobarevnosti bylo, spolu s dalšími radami, uvedeno v help souboru programu PhotoModeler (dále jen PhotoModeler helpu) v kapitole *Positioning Compromises*.

Podrobný popis nastavení parametrů digitálního fotoaparátu při provádění kalibrace je zapsán níže v tabulce. Z důvodů, které jsou vysvětleny v následujících podkapitolách, v této tabulce není uveden seznam posuzovaných ohniskových vzdáleností.

Tab. 1: Nastavení parametrů fotoaparátu při provádění kalibrace

Citlivost	ISO 100
Clona	F 8.0
Závěrka	1/100 s
Vyvážení bílé	automatické
Obrazový styl	uživatelský (ČB + bez rozmazání)
Blesk	povolen
Úroveň expozice	neupravována
Ostření	manuální
Kvalita snímků	Large JPG

Mírná změna parametrů fotoaparátu nastala při kontrolním snímkování výpočtu kalibrace a poté při pořízení snímků pro barevnou kalibraci. Tato změna byla odůvodněna použitím jeřábového stativu, který je dále podrobněji popsán. Mimo jeho využití byla obecně pro lepší světelné podmínky použita dvojice lamp s typem trvalého osvětlení. I tyto lampy jsou dále podrobněji popsány.

3.2 Výpočet kalibrace v programu PhotoModeler

Pro posouzení vlivů vstupujících do výpočtu kalibrace, jako je formát kalibračního pole, konfigurace snímků nebo správně zvolená ohnisková vzdálenost, bylo nutné provést několik cvičných kalibrací spolu s jejich výpočtem. A proto by před samotnou volbou nejvhodnějšího postupu vyhotovení kalibrace bylo dobré zmínit její výpočet v programu PhotoModeler.

Jak již bylo v textu dříve řečeno, od verze 5 programu PhotoModeler je výpočet kalibrace prováděn automaticky. Avšak princip výpočtu zůstává zachován. Zjednodušeně se dá popsat těmito kroky:

1. Načtení snímků
2. Výpočet 1. kalibrace
3. Kontrola a oprava automatického značení bodů
4. Výpočet 2. kalibrace

První krok není nejspíše potřeba blíže vysvětlovat. Druhý krok se skládal z několika dílčích činností, které proběhly zcela automaticky, ovšem bylo u nich možné předem nastavit jejich parametry, popř. dát pokyn k tomu, aby se neprováděly vůbec. První, jednou z vůbec nejdůležitějších činností, bylo automatické označení orientačních a vlíčovacích bodů na snímcích. Zde bylo důležité, aby byly značky bodů zachyceny ostře a s dobrým kontrastem vůči svému podkladu. Dalšími činnostmi byl přepočítání ohniskové vzdálenosti a výpočet orientace. Poté následovala dvojice referenčních a zpracovávacích fází. Na závěr pak proběhla kontrola odchylek a korelací.

Při třetím kroku byla provedena kontrola počtu a polohy automaticky označených bodů na jednotlivých snímcích. Body, které byly označeny navíc, byly odstraněny. Při posledním kroku se přistoupilo k druhému výpočtu kalibrace. S tím rozdílem, že byla deaktivována činnost automatického označení orientačních a vlíčovacích bodů.

3.3 Volba kalibračního pole

Kalibrační pole, jak již bylo zmíněno dříve, nabývá různých podob. Pro kalibraci vyhotovenou v rámci této práce bylo využito pole dodávaného společně s programem PhotoModeler. To bylo vtištěno na papír formátu A1 a A2. Pro zjištění, který z těchto formátů je vhodnější pro následnou kalibraci bylo nutné si nejprve určit podmínky posouzení přesnosti kalibrace.

3.3.1 Sledované parametry

Posouzení přesnosti kalibrace vycházelo z doporučení přibližných hodnot určitých členů výpočtu uvedených v PhotoModeler helpu v podkapitole *Calibration Check*. První z nich bylo *Marking Residual*, neboli tzv. zbytkové označení. To představuje zbytkové chyby vznikající při nesprávném uživatelsky označeném objektu na snímku. Jedná se o rozdíl mezi místem, které uživatel označil a místem, které mělo být označeno. V případě kalibrace bylo doporučeno, aby odchylka *Largest Marking Residual* byla menší než 1.0 pixelu a odchylka *Overall Residual RMS* nabývala co nejmenších hodnot.

Druhým parametrem posouzení kvality bylo *Photo Point Coverage*, což lze přeložit jako bodové pokrytí fotografie, které mělo být v průměru vyšší než 80 % plochy. Takto zjednodušený překlad ovšem v počátcích snímání vedl k mylnému předpokladu, že při kalibraci je důležité, aby kalibrační pole zabíralo co největší plochu snímku. Tuto skutečnost, často uváděnou v jiných vědeckých podkladech, se podařilo v rámci praktické části práce vyloučit. Při prvních výpočtech kalibrací se došlo k závěru, že není důležité samotné zaplnění snímku, jako postupné pokrytí snímače. Toho se dosáhlo pomocí rotace kamery kolem své osy a nasnímání kalibračního pole v různých částech hledáčku.

Rovněž při tomto nově zjištěném doporučení nebylo nutné měnit vzdálenost snímkování od kalibračního pole, a tudíž nebylo potřeba brát ohled na chybu vzniklou při nedokonalém zaostření. Přesto byl i tento návrh o neúplném zaplnění prostoru snímku kalibračním polem podroben zkoumání a je zaznamenán v následující tabulce, která slouží pro porovnání hodnot při volbě formátu kalibračního pole.

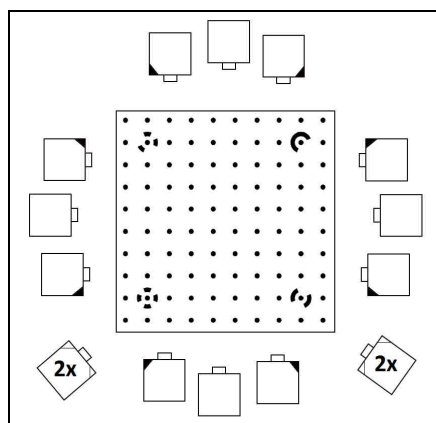
Posledním parametrem pro posouzení výpočtu kalibrace byla hodnota *Total Error*. Tento člen je odůvodněně uváděn jako poslední. Ne, že by na jeho vliv nebyl brán stejný ohled jako na ostatní uváděné parametry, avšak je těžké ho definovat. Ve své podstatě *Total Error* tvoří souhrn různých chyb a nastavení programu PhotoModeler. Jedná se tedy o bezrozměrnou veličinu. Její hodnota by měla být v ideálním případě menší než 1.0 a maximálně do hodnoty 2.0 při provádění prací s vysokou požadovanou přesností. Mimo tyto zvolené přesnosti bylo požadováno, aby protokol o výpočtu kalibrace neobsahoval žádné varovné hlášení, týkající se např. chyby z korelace nebo jiných nedostatků.

3.3.2 Konfigurace snímků

Po určení podmínek pro posouzení přesnosti výpočtu kalibrace bylo možné přistoupit k výběru formátu kalibračního pole. Pro oba formáty byla pořízena stejná, nadbytečná série snímků.

Ta se skládala ze 3 snímků s podélnou osou záběru z každé ze stran kalibračního pole, a to při změně polohy kamery o 90° na obě strany. Dále pak byly pořízeny 4 snímky s diagonální osou záběru na první ze stran kalibračního pole. Otočení kamery bylo v případě těchto snímků o 180° vůči její původní poloze.

Tyto 4 snímky byly pořízeny ze dvou stanovišť, tedy 2 snímky z každého, umístěných poblíž rohů kalibračního pole. Každý z této dvojice snímků obsahoval větší část pole na levé nebo pravé části hledáčku. Bližší podrobnosti o tomto snímkování jsou lépe pochopitelné ze schématu níže a přílohy A.



Obr. 7: Konfigurace nadbytečného snímkování kalibračního pole

3.3.3 Posouzení výsledných hodnot

Tyto veškeré pořízené snímky se poté rozdělily do šesti různých konfigurací, ze kterých byla určována ta nejlepší z nich. V tabulce níže jsou uvedeny výsledky pouze z druhého výpočtu kalibrace. Při níž už byly určeny veškeré orientační a vlíčovací body, byly odstraněny body vzniklé šumem a dalšími obrazovými chybami a přibližně vypočteny kalibrační členy. V příloze A jsou ve formě textových souborů uvedeny výsledky obou kalibrací. Jako vhodný k testování byl zvolen objektiv s fixní ohniskovou vzdáleností 28 mm.

Tab. 2: Posouzení přesnosti výpočtu kalibrace vzhledem k formátu kalibračního pole, velikost A1

Typ konfigurace	Vzdálenost od KP	LM Residual [px]	Overall RMS [px]	PP Coverage [%]	Total Error
1	různá	0,898	0,165	91	1,247
2	různá	0,890	0,148	90	1,174
3	různá	0,985	0,163	89	1,262
4	různá	0,665	0,149	89	1,180
5	různá	0,807	0,162	90	1,252
6	různá	0,720	0,150	90	1,191
1	stejná	0,665	0,138	87	1,063
2	stejná	0,841	0,129	87	1,017
3	stejná	0,805	0,148	89	1,141
4	stejná	0,669	0,132	88	1,042
5	stejná	0,789	0,148	87	1,138
6	stejná	0,664	0,134	87	1,06

Tab. 3: Posouzení přesnosti výpočtu kalibrace vzhledem k formátu kalibračního pole, velikost A2

Typ konfigurace	Vzdálenost od KP	LM Residual [px]	Overall RMS [px]	PP Coverage [%]	Total Error
1	různá	0,913	0,169	91	1,306
2	různá	0,904	0,155	89	1,231
3	různá	0,868	0,173	93	1,337
4	různá	1,019	0,161	92	1,278
5	různá	0,886	0,171	90	1,324
6	různá	0,999	0,158	90	1,249
1	stejná	0,766	0,153	91	1,177
2	stejná	0,722	0,144	90	1,140
3	stejná	0,824	0,156	92	1,206
4	stejná	0,688	0,145	91	1,147
5	stejná	0,834	0,156	90	1,203
6	stejná	0,688	0,143	89	1,136

Z tabulek výše je patrné, že mezi formátem A1 a A2 není v případě volby kalibračního pole dle zvolených přesností znatelný rozdíl. Pro toto odůvodnění, a dále pak pro možnost snazšího snímkování při vyšších ohniskových vzdálenostech, bylo jako implicitní zvoleno kalibrační pole formátu A2.

Druhým poznatkem je skutečnost, že obecně vyšší přesnosti lze dosáhnout při stejné vzdálenosti snímkování od kalibračního pole. Jedná se tak o již zmíněné vyvrácené tvrzení, při němž bylo doporučeno, aby kalibrační pole zaujímalo co největší plochu snímku. Což by v případě změny polohy kamery o 90° znamenalo i změnu vzdálenosti od pole. Vzdálenost, která se při snímkování nebude měnit, se nastaví při maximálním zaplnění hledáčku při poloze kolmé ke kalibračnímu poli (2. a 3. poloha při snímání). Z tohoto důvodu při prvním snímku nezabírá kalibrační pole co největší plochu snímku, resp. hledáčku. Bližší podrobnosti o tomto snímkování jsou lépe pochopitelné z přílohy A.

3.4 Volba konfigurace snímků

Volba vhodné konfigurace snímků se ukázala jedním z problémových faktorů práce. Už při samotném zkoumání podkladů vyplynula nejednoznačnost doporučených postupů při zpracování kalibrace v programu PhotoModeler.

3.4.1 Doporučené postupy

V tutorial datech programu, konkrétně ve videu s názvem *Camera Calibration*, byla jako doporučená konfigurace uvedeno 12 snímků s podélnou osou záběru, při nichž se poloha kamery natáčela o 90° na obě strany. Takto zvolená konfigurace ovšem pro různé nastavení fotoaparátu u několika testovaných ohnisek hlásila při výpočtu kalibrace chybu z korelace.

Druhým doporučeným postupem snímkování kalibračního pole, uvedeným v PhotoModeler helpu, bylo 8 snímků s podélnou osou záběru a natočením kamery o 90° ve směru hodinových ručiček. Avšak takto zvolená konfigurace by byla blízko hodnotě minimálního počtu snímků pro výpočet kalibrace a obsahovala menší počet nadbytečných měření. Kvůli této skutečnosti se přistoupilo k volbě vlastního způsobu snímkování.

Jako první byla vyloučena možnost použití snímkování, které je uvedeno v literatuře [20]. Tato konfigurace s převážným počtem snímků s diagonální osou záběru se ukázala jako velmi nevhodná, a to kvůli nemožnosti provést automatický výpočet v programu PhotoModeler. Snímky s diagonální osou záběru však nebyly z výsledné zvolené konfigurace zcela vyloučeny. Právě naopak, jejich nadbytečné použití bylo doporučeno v PhotoModeler helpu v podkapitole *Taking the Calibration Photos*. Otočení kamery bylo v případě těchto záběrů o 180° upraveno vůči své počáteční poloze. Jejich orientace při zaplnění levé či pravé části hledáčku kalibračním polem byla podrobena dalšímu zkoumání.

3.4.2 Volba vlastní konfigurace

Obecně byla zkoumání podrobena dvojice snímkování, kterou tvořilo 10 nebo 14 fotografií. Pro podrobnější posouzení měla poslední, diagonální, dvojice snímků různou orientaci vzhledem ke hledáčku kamery. Bližší popis zvolených konfigurací je níže v tabulce. Veškeré konfigurace byly vybrány z předešlého nadbytečného snímkování pro určení vhodného formátu kalibračního pole.

Tab. 4: Podrobný popis zvolených konfigurací pro snímání kalibračního pole

Typ konfigurace	Počet podélných snímků	Počet diagonálních snímků	Orientace 1. diagonálního snímku	Orientace 2. diagonálního snímku
1	12	2	levá str. hledáčku	pravá str. hledáčku
2	8	2	levá str. hledáčku	pravá str. hledáčku
3	12	2	pravá str. hledáčku	levá str. hledáčku
4	8	2	pravá str. hledáčku	levá str. hledáčku
5	12	2	pravá str. hledáčku	pravá str. hledáčku
6	8	2	pravá str. hledáčku	pravá str. hledáčku

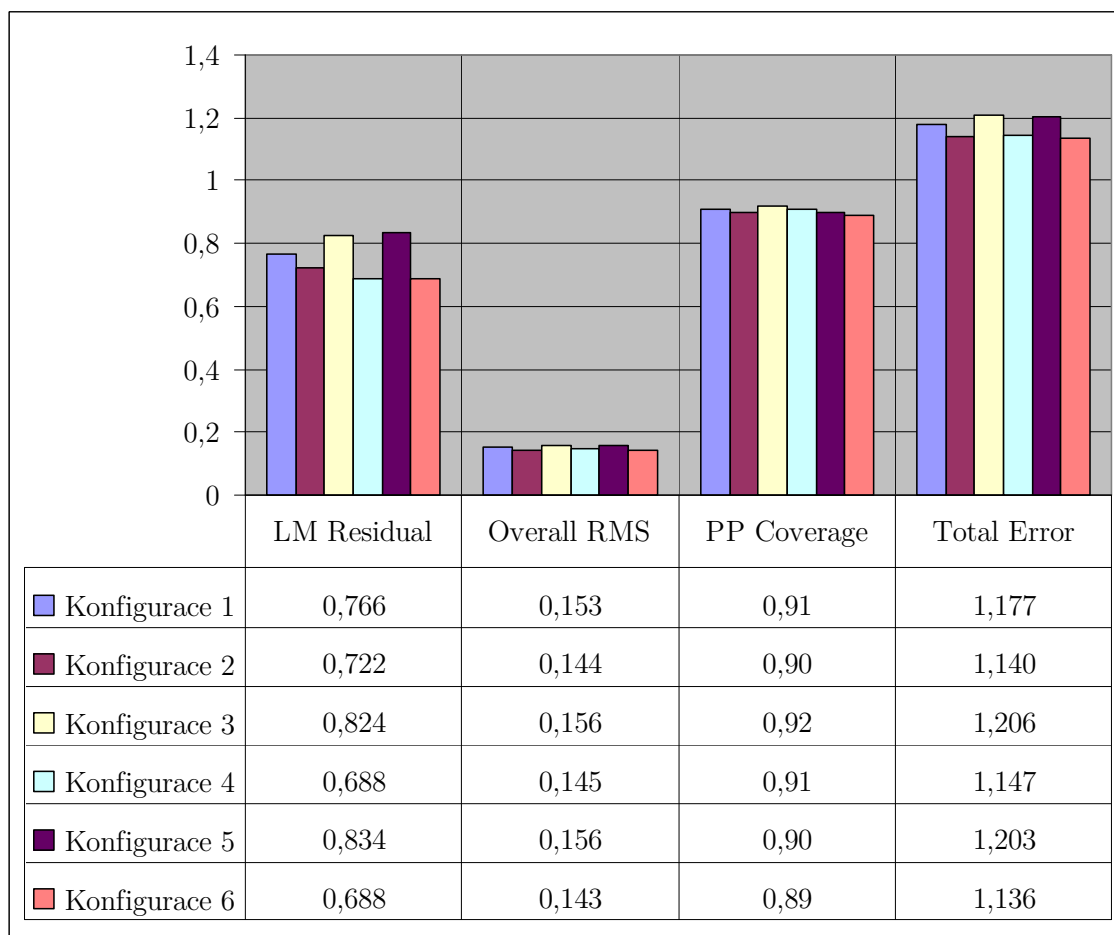
Při použití pouze 8 podélných snímků byla konfigurace sestavena ze 4 snímků s normální, tedy vodorovnou, osou záběru kamery a ze snímků s natočením o 90° ve směru hodinových ručiček. Při této volbě bylo přihlédnuto k doporučené konfiguraci uvedené v PhotoModeler helpu v podkapitole *Taking the Calibration Photos*.

Orientace obou diagonálních snímků na levou stranu hledáčku byla vypuštěna, poněvadž tato strana již byla testována podélnými snímky s kolmou polohou kamery. I proto bylo výhodné za konfiguraci zvolit typ 5 nebo 6. Při její orientaci na zaplnění pravé strany hledáčku kalibračním polem (u polohy o 180° pootočené to logicky znamená opačné, levé, strany), byla testována část snímače, která nebyla plně pokryta při podélném snímání.

3.4.3 Posouzení výsledných hodnot

Výsledky z testování jsou zapsány v tabulce níže. Pro jednotnost zobrazení byla v grafu procenta převedena na decimální hodnotu od 0,01 do 1,00, která je ekvivalentem pro 100 procent. Ostatní jednotky zbylých parametrů zůstaly zachovány.

Tab. 5: Posouzení přesnosti výpočtu kalibrace vzhledem k použité konfiguraci



S ohledem na vypočtené hodnoty kalibrace a skutečnost, že program PhotoModeler pro výpočet doporučoval konfiguraci v rozmezí od 6 do 12 snímků, byla za vhodný typ zvolena konfigurace č. 6. Ta se skládala z 8 podélných snímků a 2 diagonálních snímků s orientací na pravou část hledáčku kamery.

3.5 Volba ohniskové vzdálenosti

Po rozhodnutí o formátu kalibračního pole a typu konfigurace bylo nezbytné přistoupit k volbě vhodné ohniskové vzdálenosti, kterou by byly mapové předlohy snímány. Podmínkou bylo, aby tato ohnisková vzdálenost nabývala co nejmenší chyby z distorze. Proto se přistoupilo k výpočtu kalibrace a posouzení zvolených přesností.

3.5.1 Sledované parametry

Za přesnosti pro posouzení byly vybrány stejné parametry jako v případě hledání vhodné konfigurace snímků, s tím rozdílem, že byl navíc přidán parametr popisující průběh distorze. Ten se vyčetl z grafu vykresleného v XLS souboru, který sloužil pro znázornění této geometrické chyby. Tento soubor byl získán z Laboratoře fotogrammetrie. Před výpočtem průběhu distorze však bylo nejprve nutné upravit použité vztahy v XLS souboru dle podkapitoly *Výpočet distorze objektivu*.

Kontrolní výpočet průběhu distorze byl proveden pomocí hypsometrického grafu, který byl získán z webové aplikace Distorsion page umístěné na stránkách Laboratoře fotogrammetrie u úlohy Kalibrace digitální neměřické komory. Tento graf je součástí protokolů o výpočtu průběhu distorze uvedených pro jednotlivá ohniska v příloze B.

U zoomového objektivu s rozsahem 18 - 55 mm byly voleny ohniskové vzdálenosti: 18 mm, 24 mm, 28 mm, 34 mm a 55 mm. Poslední ohnisková vzdálenost byla podrobená testování při různých konfiguracích snímků, ovšem ani jejich aplikací se nepodařilo odstranit z konečného výpočtu chybu z korelace a nebyla proto do dalšího porovnání začleněna. I přesto jsou snímky spolu s kalibračními protokoly a záznamy průběhu distorze této ohniskové vzdálenosti zaznamenány v přílohách společně s ostatními. Dále byly testovány fixní objektivy s ohniskovými vzdálenostmi 28 mm a 50 mm.

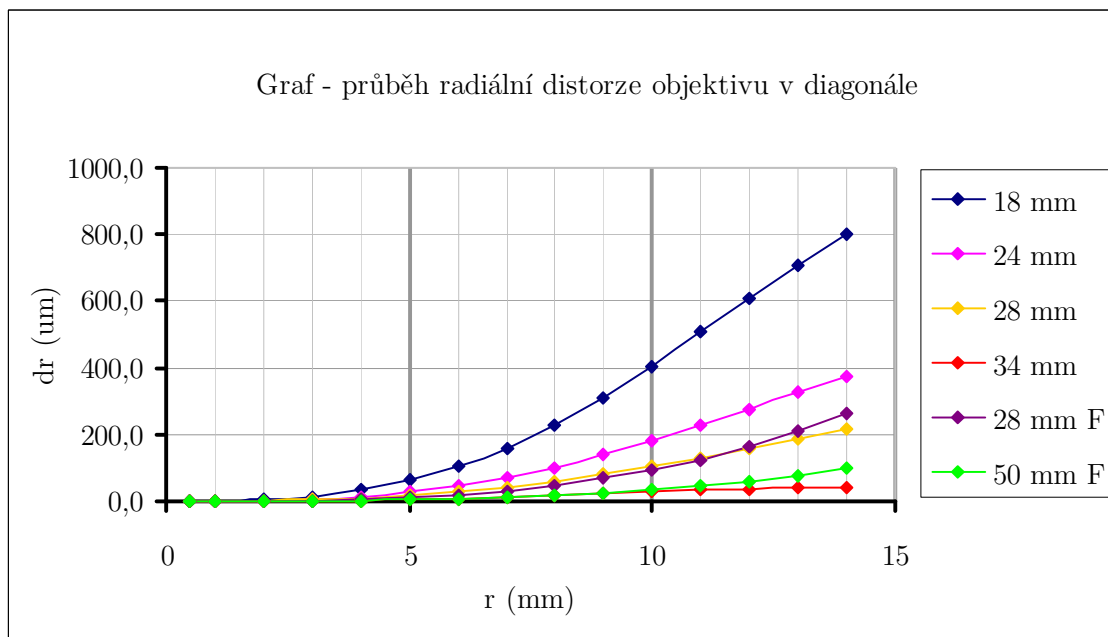
3.5.2 Posouzení výsledných hodnot

Přehled ohniskových vzdáleností spolu s dosaženými přesnostmi je v tabulce níže. Ohniskové vzdálenosti fixních objektů jsou označeny příponou F.

Tab. 6: Posouzení přesnosti výpočtu kalibrace pro různé ohniskové vzdálenosti

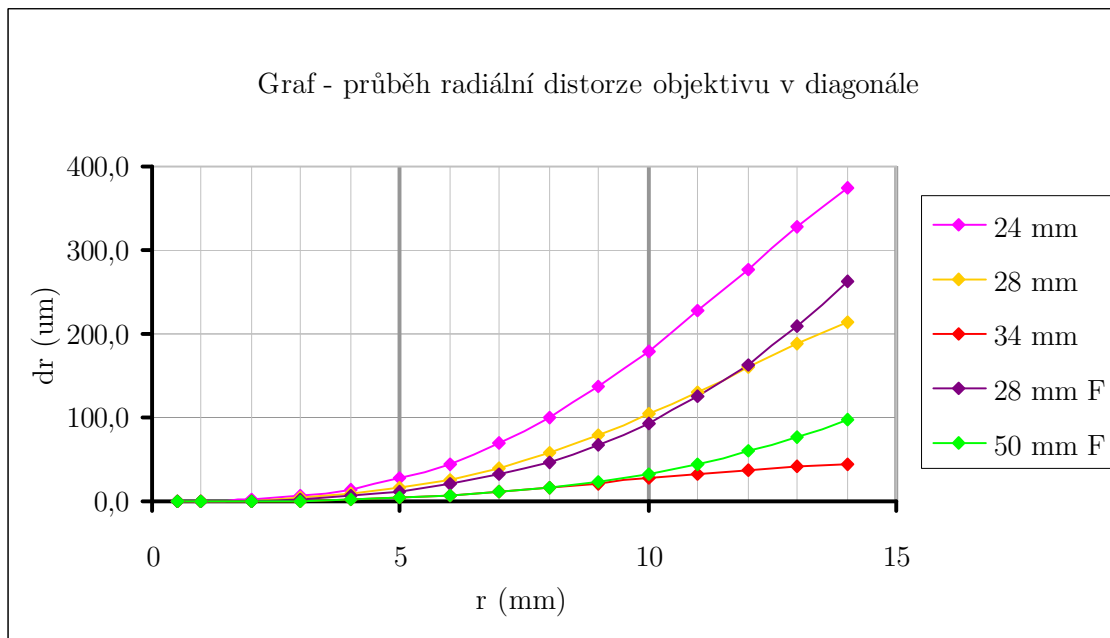
Ohnisková vzdálenost [mm]	LM Residual [px]	Overall RMS [px]	PP Coverage [%]	Total Error	r max [um]
18	0,673	0,181	88	1,466	767,92
24	0,664	0,186	86	1,473	357,88
28	0,943	0,172	88	1,349	204,45
34	0,599	0,153	87	1,197	43,33
28F	0,594	0,130	88	1,028	241,44
50F	0,204	0,062	90	0,486	89,06

Hodnotou r_{max} se rozumí maximální posun bodu, způsobený distorzí, oproti jeho správné poloze na čipu kamery. Průběh distorze pro zvolené ohniskové vzdálenosti je zobrazen samostatně v grafu.



Obr. 8: Grafické znázornění průběhu distorze u testovaných ohniskových vzdáleností

Níže je zobrazen předchozí graf po odstranění nejvíce odlehle ohniskové vzdálenosti, tedy o hodnotě 18 mm.



Obr. 9: Grafické znázornění průběhu distorze u testovaných ohniskových vzdáleností, mimo ohniskovou vzdálenost 18 mm

Z hodnot zobrazených v tabulce výše vyplynula zajímavá skutečnost. A to, že i přes výrazně menší odchylky v případě zvolených přesností, používaných při výběru formátu kalibračního pole a konfigurace snímkování, u ohniskové vzdálenosti rovné 50 mm dosahovala ohnisková vzdálenost rovna 34 mm polovičních chyb v distorzi. Větší rozdíl v průběhu distorze nastával na čipu při poloměru vyšším než 10 mm.

V tabulce a grafech nejsou, již z vysvětlených důvodů, uvedeny hodnoty a průběh distorze pro ohniskovou vzdálenost rovnou 55 mm u zoomového objektivu. Pro letmé posouzení by bylo vhodné konstatovat, že hodnota maximálního posunu bodu, v tabulce výše jako Δr_{max} , pro tuto ohniskovou vzdálenost byla $-68,37 \mu m$. Tato hodnota nabývá záporu z důvodu záporných kalibračních koeficientů K_1 a K_2 .

3.6 Kontrolní snímkování

Po rozboru dosažených přesností tak byla, i přes zbylé nižší dosažené přesnosti, zvolena jako implicitní pro další snímkování hodnota ohniskové vzdálenosti 34 mm. Použit byl zoomový objektiv s rozsahem 18 - 55 mm. Vzhledem k tomu, že už nebylo možné snímat daný mapový podklad s využitím blesku, bylo mírně upraveno nastavení parametrů fotoaparátu. Pro zachování světelnosti byla zvýšena citlivost a prodloužena závěrka. Přesný popis parametrů kamery je v tabulce níže.

Tab. 7: Nastavení parametrů fotoaparátu při kontrolním snímání

Ohnisková vzdálenost	34 mm
Citlivost	ISO 200
Clona	F 8.0
Závěrka	1/25 s
Vyvážení bílé	automatické
Obrazový styl	uživatelský (ČB + bez rozmazání)
Blesk	Zakázán
Úroveň expozice	neupravována
Ostření	manuální
Kvalita snímků	Large JPG

Jako vzorový mapový podklad pro zjištění vlivu distorze objektivu byla zvolena vrstva sídel a popisu Základní mapy ČR v měřítku 1 : 10 000. Jedním z důvodů výběru této mapy byla skutečnost, že je vytištěna na PET fólii a tudíž lze délkám naměřeným na ní z důvodu rovnoměrného povrchu papíru důvěřovat více než u papírových map.

3.6.1 Použité vybavení

Pro dosažení přesnější kolmosti záběru vůči podkladu bylo u tohoto snímání využito již zmíněného studiového stativu MINI SALON 806. Jedná se o celokovový, 190 cm vysoký jeřáb s délkou ramene o rozměru 80 cm. Poměr minimální a maximální pracovní výšky je 55 : 182 cm. Celková váha stativu je přibližně 34 kg a maximální zatížení se pohybuje

v rozmezí 5 – 10 kg. Pro snazší pohyb po místnosti jsou ve spodní části stativu umístěna kolečka spolu se zarážkami [25].



Obr. 10: Studiový stativ MINI SALON 806

Největší výhodou tohoto stativu je možnost uchycení kamery na speciální výsuvné rameno, které je pohyblivé ve všech směrech v prostoru. Při tomto způsobu postavení je snímač fotoaparátu přibližně rovnoběžný s mapovou předlohou a svou polohou se tak blíží ideálnímu středovému promítání.

Další pomůckou byla dvojice lamp s typem trvalého osvětlení, BIG S95821 - Biglamp 501 MegaKit. Výkon těchto lamp je 75 W. Jejich teplota chromatičnosti dosahuje 5000° K. Zdrojem světla je 75 W / E27 žárovka. Lampy nemají možnost manuálního nastavení ani chlazení a jsou napájeny přímo z elektrické sítě [26].



Obr. 11: Dvojice lamp BIG S9582121 – Biglamp 501 MegaKit

3.7 Odstranění distorze

Po výběru vhodné ohniskové vzdálenosti a nasnímání kontrolního souboru dat bylo přistoupeno k pokusu o odstranění, popř. zmírnění, distorze objektivu. V prvním kroku byl demonstrován její vliv odměřením délek na neupravených snímcích. V kroku druhém byly poté stejné vzdálenosti naměřeny i na snímcích opravených. Díky tomu bylo možné usoudit, jaké geometrické přesnosti lze při reprodukci map digitálním fotoaparátem dosáhnout.

3.7.1 Software pro odstranění distorze

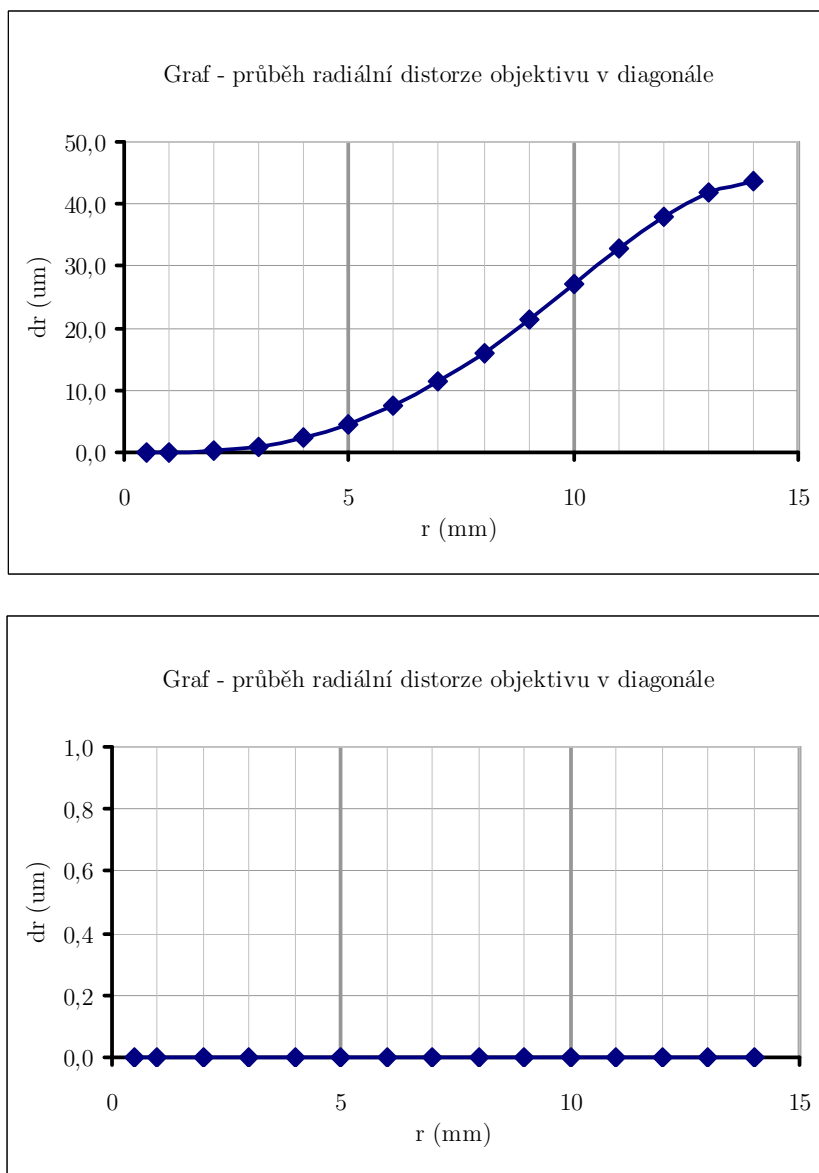
Pro odstranění vlivu distorze byl použit program *DistortionPM*, verze 0.0.5, který byl napsán Ing. Tomášem Dolanským v roce 2003. Tento program umožňuje na základě známých parametrů kamery a distorze odstranit z rastrových souborů ve formátu JPEG nebo BMP geometrické zkreslení způsobené touto vadou. Program byl získán od bývalého studenta, Ing. Tomáše Dolanského, a je šířen jako open source.

Veškeré, dále použité, mapové předlohy byly tímto programem zbaveny vlivu distorze. Za parametry *Camera Info* se dosadily hodnoty vypočtené po druhé kalibraci u ohniskové vzdálenosti rovné 34 mm. V možnostech nastavení *Output Option* bylo důležité potvrdit aktivaci položky *Convolution*. Bez ní by se na opravených snímcích objevily bílé hyperbolické křivky.

3.7.2 Kontrola odstranění distorze

První kontrolou odstranění distorze byl opětovný výpočet kalibrace opravených, již pro tento účel pořízených, snímků v programu *PhotoModeler*. Výsledné hodnoty kalibračních parametrů byly poté aplikovány do XLS souboru s průběhem distorze a webové aplikace *Distorsion Page*. Tento přehled průběhu distorze pro opravné snímky při použití ohniskové vzdálenosti rovné 34 mm je součástí přílohy B.

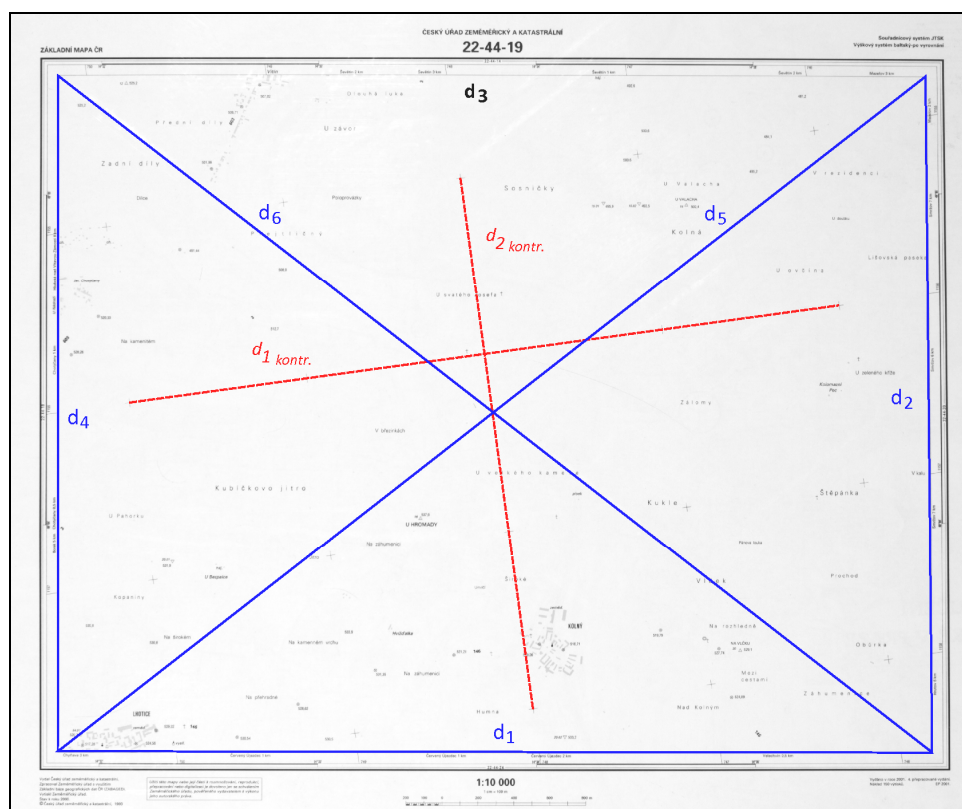
Z grafu níže je patrné, že po opravě distorze by teoreticky na její vliv, vzhledem ke geometrickému zkreslení, nemusel být brát zřetel. K ověření pravdivosti těchto tvrzení bylo přistoupeno k druhé kontrole.



Obr. 12: Průběh distorze na čipu kamery před/po její opravě v programu DistortionPM

Ta spočívala v již zmíněném porovnání délek naměřených na podkladové mapě ve skutečnosti a těchto stejných délek na digitálním obrazu mapy. Pro co nejpřesnější naměření délek bylo využito velké vynášecí soupravy. Za kontrolní délky byla zvolena dvojice úseček ohraničená křížky sítě. Z důvodu transformace snímku na skutečnou velikost byly poté naměřeny další tři délky na rámu mapového listu a dvojice vzdáleností vedoucí po

jeho úhlopříčce. Přehlednější popis naměřených délek je patrný ze schématu níže. Hodnoty naměřených délek jsou zaznamenány v příloze C.



Obr. 13: Schéma zaměření kontrolních a transformačních délek

Transformace rastrové předlohy na skutečnou velikost byla vyhotovena v geodetickém programu Kokeš, verze 9.64. Prvním krokem byla volba pomocné souřadnicové soustavy. Ta měla počátek v pravém dolním rohu mapového rámu (dále jen roh) a její kladná část osy y splývala s úsečkou d_1 .

Po zvolení dvojice známých souřadnic bylo možné dopočítat pomocí protínání z délek i zbylé souřadnice rohů. Tuto funkci lze v programu Kokeš nalézt v záložce *Výpočty > Další geodetické > Protínání z délek*. Konfigurace stran v trojúhelnících byla následující: strany d_1 , d_2 a d_5 sloužily k výpočtu pravého horního rohu a strany d_1 , d_4 a d_6 k výpočtu levého horního rohu. Nově získané souřadnice všech rohů byly využity k transformaci snímku. Tato funkce se v programu Kokeš nachází v záložce *Výpočty > Klíč a transformace*. Za typ transformace byla zvolena *Projektivní transformace*.

Tento typ transformace je matematicky velmi složitý. A to z důvodu, že geometrický význam jejích parametrů není jednoduše definovatelný, protože transformace nemá jen lineární a absolutní členy. Musí zde platit podmínka, že při projekci čtverce pomocí projektivní transformace se získá čtyřúhelník s omezením, že žádný vnitřní úhel nesmí přesáhnout hodnotu 180° . Pro lepší představu lze tuto transformaci popsat jako projekci v kině, kde rovina promítacího plátna není kolmo k paprskům, ale zcela libovolně [41].

Snímek podkladové mapy byl poté natransformován na již vypočtené rohy mapového rámu. Jako kontrola výpočtu transformace sloužilo porovnání délky úsečky d_3 naměřené ve skutečnosti a na nově natransformované mapě.

3.8 Určení geometrické přesnosti zaznamenání mapy

V dalším kroku byly porovnány i zbylé kontrolní délky, které sloužily k určení dosažené geometrické přesnosti. Jejich soupis je zaznamenán v tabulce níže. Protokoly o výpočtech, zahrnující protínání z délek a transformaci pro všechny typy rastrových dat, jsou součástí přílohy C.

Tab. 8: Porovnání kontrolních délek při transformaci rastrových dat

Typ délky	Typ rastru	Délka – rastr [m]	Délka – podklad [m]	Délky – rozdíl [m]
d_3	s distorzí	4872,9	4873,0	0,1
	bez distorze – celek	4872,9		0,1
	bez distorze – spojení	4872,9		0,1
$d_{1\text{kontr.}}$	s distorzí	4006,2	3999,3	6,9
	bez distorze – celek	4001,3		2,0
	bez distorze – spojení	4008,5		9,2
$d_{2\text{kontr.}}$	s distorzí	3008,7	2998,7	10,0
	bez distorze – celek	3005,5		6,8
	bez distorze – spojení	3003,0		4,3

V tabulce výše je kromě již zmíněných dvou typů rastrové mapové předlohy pod pojmem *Typ rastru: bez distorze – spojení* uveden i další, nový, natransformovaný podklad. Ten byl vytvořen ze dvou souvislých částí dané mapové předlohy pomocí programu Hugin, verze 2010.4.0. Podrobný postup spojení rastrových dat v programu Hugin, pro tyto a podobné případy, je uveden v příloze D.

Využívaná dvojice fotografií byla získána se stejnými parametry, se kterými bylo provedeno předešlé snímkování. Jediným rozdílem byla vzdálenost kamery od předlohy a tím pádem i rozsah zorného pole objektivu.

3.8.1 Maximální geometrická přesnost zaznamenání mapy

Toto snímkování, resp. spojení, bylo provedeno z důvodu zvýšení maximální geometrické přesnosti zaznamenání mapy. K jejímu určení bylo potřeba znát skutečnou velikost pixelu po transformaci rastru v programu Kokeš. Při známém měřítku podkladové mapy poté bylo možné tuto přesnost jednoduše vypočítat. A to z odůvodnění, že velikost pixelu na mapě je rovna jedné ze složek maximální možné geometrické přesnosti zaznamenání prvku. Výsledky výpočtů přesností pro různá rastrová data jsou v tabulce níže.

Tab. 9: Porovnání přesností geometrického zkreslení při transformaci rastrových dat

Typ rastru	Velikost pixelu		Max PPZP [mm]	avg CHzP [mm]
	skutečnost [m]	Mapa [mm]		
s distorzí	1,4	0,14	0,20	1,215
Bez distorze – celek	1,4	0,14	0,20	0,709
bez distorze – spojení	1,0	0,10	0,14	1,016

Výpočet maximální polohové přesnosti zaznamenání prvku, v tabulce výše jako *max PPZP*, byl odvozen ze známého vztahu pro určování polohových přesností pomocí dvou souřadných složek. Popis vztahu byl následující:

$$\text{max PPZP} = \sqrt{vp_m^2 + vp_m^2}$$

Kde vp_m je velikost pixelu na mapě. Podobným výpočtem, který byl vhodný vzhledem k pozici kontrolních délek, byla určena průměrná chyba v poloze, v tabulce jako *avg CHzP*. Za zdrojová data pro její výpočet byly použity hodnoty rozdílu kontrolních délek vypočtené při porovnání přesnosti transformace rastrových dat. Vztah pro výpočet této chyby je tedy následující

$$avgCHzP = \sqrt{(d_{1kontr.rastr} - d_{1kontr.podklad})^2 + (d_{2kontr.rastr} - d_{2kontr.podklad})^2}$$

Z přehledu vypočtených hodnot přesností lze konstatovat, že pro daný typ mapové předlohy bylo nejvhodnější použití transformace rastru v podobě celku, tedy jednoho snímku. Při formátech větších než A2 by ovšem už tato skutečnost nemusela platit a bylo by vhodné zvážit spojování snímků. U jehož postupu je chyba z distorze v příčném směru nižší než u snímku celku, ovšem je nutné počítat s odchylkou vzniklou při spojování rastrových dat.

3.9 Shrnutí geometrické kalibrace

Po shrnutí veškerých dat získaných v předešlých podkapitolách je možné určit nejlepší podmínky potřebné pro reprodukci mapové předlohy z hlediska geometrické přesnosti.

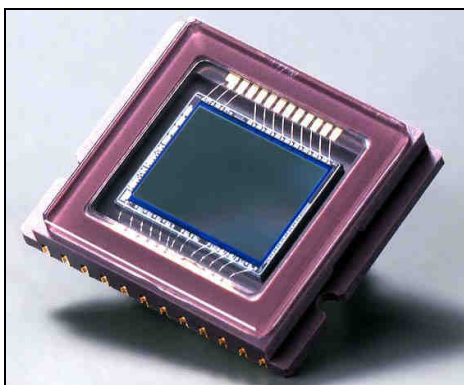
V prvním kroku, kalibraci, se vzhledem k různým ohniskovým vzdálenostem objektivu doporučuje použití kalibračního pole formátu A2, a to z důvodu, že mezi ním a formátem A1 není v případě přesnosti výpočtu kalibrace značný rozdíl. U konfigurace snímkování pro účely kalibrace je vhodné pořízení 8 snímků s podélnou osou záběru, kde u poloviny z nich je kamera pootočena o $+90^\circ$, a 2 snímků s diagonální osou záběru a otočením kamery o 180° se zaplněním pravé strany hledáčku.

Z hlediska nejmenšího vlivu distorze objektivu je pak doporučováno snímání podkladů s ohniskovou vzdáleností 34 mm u zoomového objektivu. A to, při velikosti předloh do formátu A2 a menších, metodou jednoho snímku. Při větších formátech je vhodné zvážit spojování rastrů podrobně popsané v příloze D.

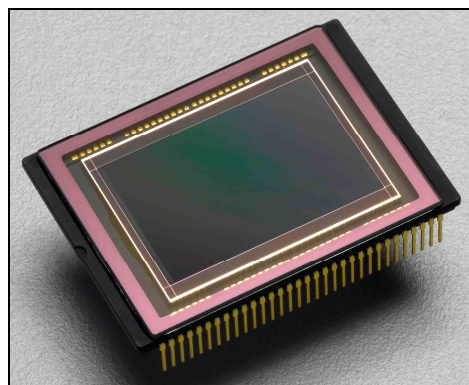
4 Reprodukce barev

4.1 Vznik digitálního obrazu

Předtím, než bude popsán samotný princip vytváření barevného obrazu, bylo by dobré zmínit, jak se z předlohy, vytištěné například na papíře, stane soubor elektronických dat. Digitální snímkování se od klasického, analogového, odlišuje tím, že snímkování není prováděno na fotografický film, ale na elektronické zařízení zabudované do daného přístroje [29]. Těmito zařízeními jsou nejčastěji CCD snímač a CMOS snímač, který je umístěn v digitálním fotoaparátu použitým v rámci této práce.

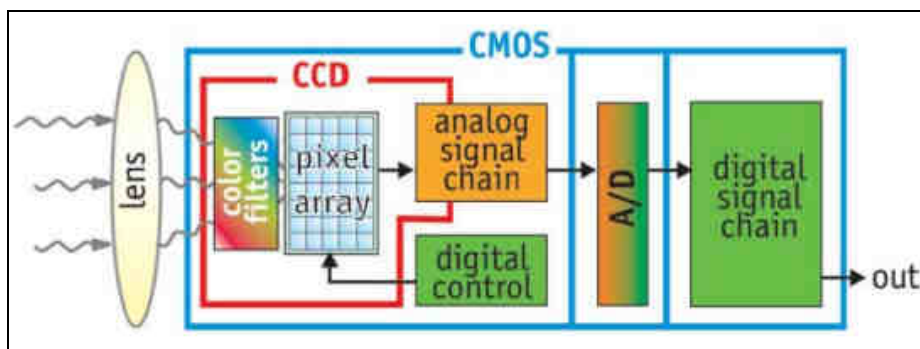


Obr. 14: CCD detektor



Obr. 15: CMOS detektor

Obecně lze jakýkoliv snímač, jinak řečeno detektor, popsat jako polovodičovou součástku, nejčastěji vyráběnou z křemíku, která zpracovává intenzitu dopadajícího světla. Tyto paprsky, resp. fotony, světla zvyšují úroveň energie v mřížce snímače, ve které tak dojde k vytvoření elektrického náboje. Nově vzniklý elektrický náboj je ve formě elektrického napětí zesílen a poté pomocí A/D převodníku převeden na binární hodnotu. Protože na detektor nedopadá pouze viditelná část světelného spektra, je potřeba zamezit působení vlivů jako je infračervené a UV záření. Tento účel splňují filtry, které jsou umístěny před snímačem.

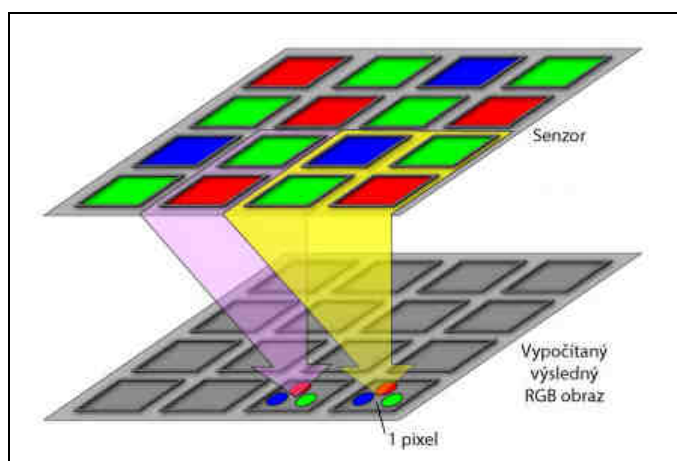


Obr. 16: Princip detektoru

Dnes je většina digitálních fotoaparátů osazena CMOS snímači, a to z důvodu nižší spotřeby energie a nižších výrobních nákladů na jeho výrobu. Tyto výhody jsou ovšem vyváženy horším barevným podáním a nižší či nestejnou citlivostí [1].

4.2 Vytváření barevného obrazu

Poněvadž detektor pracuje v šedé škále, tedy rozsahu 256 úrovní mezi černou a bílou, je nutno pomocí již zmíněných filtrů přiřadit každé buňce správnou barvu. Tyto filtry fungují na principu aditivního nebo subtraktivního skládání barev skrze barevné modely RGB a CMYK, které budou popsány dále.



Obr. 17: Princip interpolace barevných složek

Pro tento účel jsou nejvíce využívány barevné filtry typu RGBG, které se skládají z trojice barev: červená, zelená a modrá, přičemž zelená barva je použita dvakrát. Z celkového počtu prvků, tedy pixelů, snímač zachytí $\frac{1}{4}$ červené, $\frac{1}{4}$ modré a $\frac{1}{2}$ zelené škály. Aby nedocházelo k nadměrnému zabarvení obrazu dozelená, má tato barva poloviční váhu. Tato data jsou z A/D převodníku poslána internímu software, který pomocí interpolace získaných dat vytvoří konečný barevný obraz.

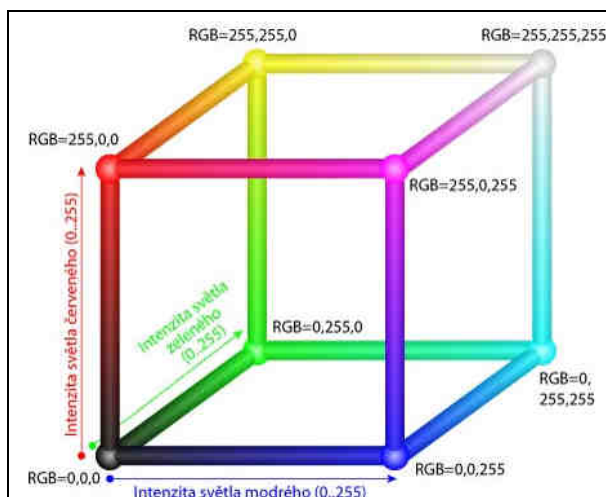
Druhý, méně používaný, typ filtru je CMYK. Ten se skládá ze čtyř barev: azurová, purpurová, žlutá a černá. Výhodou tohoto typu filtru by měla být zvýšená odolnost vůči digitálnímu šumu [1].

4.3 Zobrazování barev

Jako první je nezbytné si uvědomit, že každé zařízení, které pracuje s fotografickými, ale i dalšími typy obrazových dat, vnímá a zobrazuje barvy odlišně. Ať už se jedná o digitální kameru, monitor nebo tiskárnu, u všech těchto zařízení jsou barvy vyjadřovány pomocí barevných modelů. Ty představují matematický model, který prezentuje barvy pomocí rozsahu čísel. Nejznámější z nich jsou modely RGB a CMYK [33].

4.3.1 Model RGB

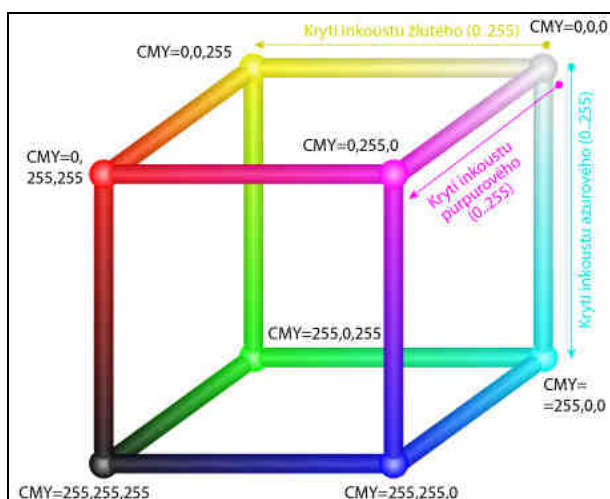
Barevný model RGB je nejpřirozenější způsob vyjádření, jakým vnímá barvy lidské oko. Nejlépe ho lze popsat pomocí barevné krychle, u které osy: x, y, z odpovídají modrému, červenému a zelenému světlu. Rozsah hodnot těchto barev je od 0 do 255. Jako aditivní model je založený na přidávání jednotlivých světél na tmavou podložku, obvykle klasický monitor nebo televizi. Pokud se všechny složky modelu RGB přidají najednou, vytvoří se barva bílá.



Obr. 18: Prezentace modelu RGB pomocí barevné krychle

4.3.2 Model CMYK

Oproti tomu barevný model CMYK je vhodný pro přenesení barevného obrazu na papír. Ve své podstatě se jedná o inverzní model RGB, čemuž nasvědčuje i konfigurace hodnot barev na barevné krychli. Zatímco na monitorech se barvy vytvářejí postupným přidáváním složek RGB, v případě subtraktivního modelu CMYK vznikají na bílém papíře nové barvy odečítáním od maximálního barevného spektra, tedy jeho omezením.



Obr. 19: Prezentace modelu CMYK pomocí barevné krychle

V ideálním případě by tomuto modelu postačily barvy azurová, purpurová a žlutá, ovšem z důvodu snazší prezentace a ekonomického hlediska je přidávána barva černá, která by jinak vznikla odečtením všech tří předchozích barev.

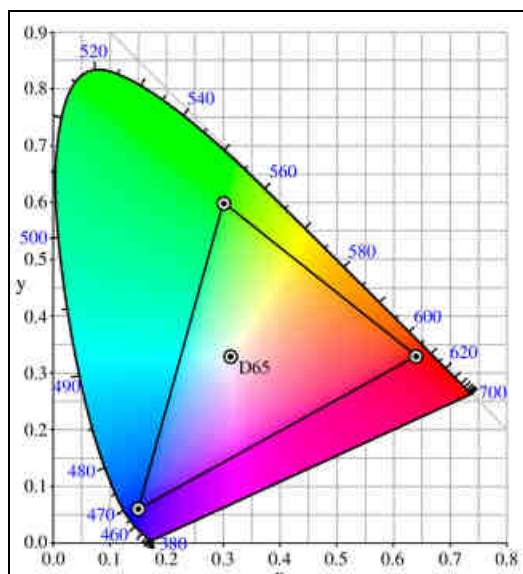
Avšak i zobrazování barev má svoje omezení. Žádné dosud vynalezené technické zařízení nedokáže zachytit nebo interpretovat takové množství barev, kolik jich vidí lidské oko. K zobrazení souhrnu všech rozpoznatelných barev daného zařízení slouží tzv. barevný gamut. Barvy, které leží mimo něj, jsou nahrazovány jejími nejbližšími barvami [35]. Aby bylo možné jednoznačně definovat gamut pro jednotlivé zařízení, bylo navrženo vytvoření směrodatného RGB prostoru.

4.3.3 Prostor sRGB

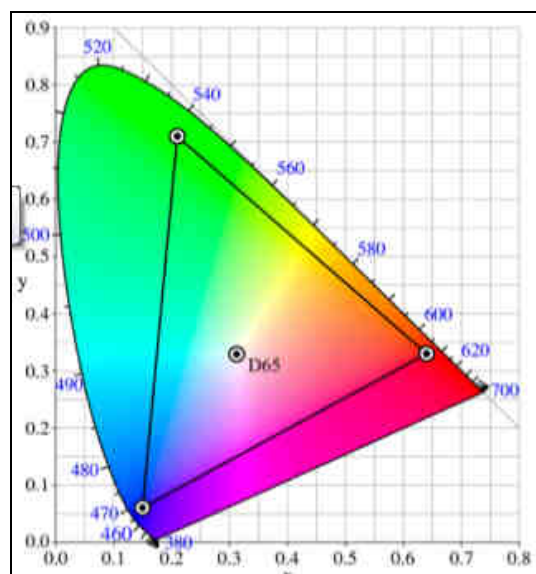
Z tohoto důvodu byl společným úsilím firem Hewlett Packard a Microsoft v roce 1996 založen standardní RGB prostor, častěji uváděný ve zkratce sRGB [36]. Ten měl sloužit pro stejné zobrazení barev na monitoru, tiskárnách a pro použití na internetu. K tomuto standardu se později připojilo i konsorcium W3C a dále pak společnosti Intel, Pantone, Corel a Free software. Dnes se tímto prostorem řídí prakticky všichni výrobci, kteří vytvářejí zařízení pracující s barevným obrazem [37].

4.3.4 Prostor Adobe RGB

Barevný gamut prostoru sRGB má ovšem svá hraniční omezení, a proto v roce 1998 společnost Adobe Systems přišla s konceptem nového, rozšířeného, barevného prostoru s názvem Adobe RGB. Cílem společnosti bylo vyvinout takový barevný prostor, který by obsahoval většinu barev reprodukovatelných na CMYK tiskárnách. A to při použití RGB modelu na výstupních zařízeních jako jsou např. LCD monitory. Z obrázků níže je tak patrné, že barevný prostor Adobe RGB má větší rozsah hlavně v oblastech žluté a zelené [33].



Obr. 20: Barevný gamut sRGB



Obr. 21: Barevný gamut Adobe RGB

Neznamená to však, že by byl barevný prostor Adobe RGB pro svůj větší rozsah barev automaticky vhodnější pro další použití. Například, jakmile snímek získaný v systému Adobe RGB zobrazíme na zařízení používající prostor sRGB, bude výsledný obraz barevně hůře prezentovaný. K tisku podkladů získaných v systému Adobe RGB je tedy potřeba vždy použít takové zařízení, které dokáže ICC profil v systému Adobe RGB zpracovat a správně interpretovat [33].

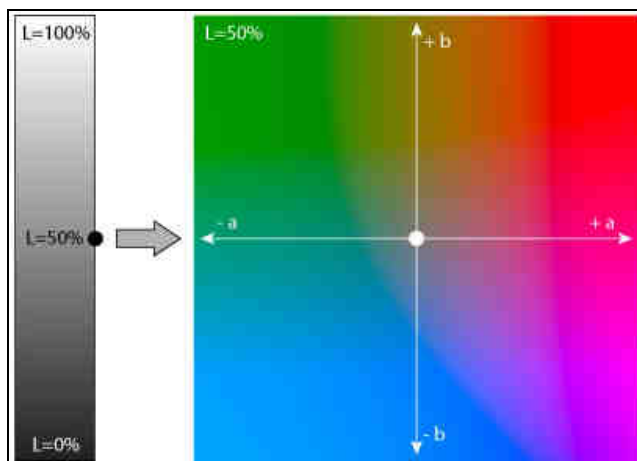
4.4 ICC profily

Správa barev má na starosti zpracování každé informace o barvě. Pro toto zpracování potřebuje znát parametry prostoru barev, které jsou datově vyjádřeny pomocí ICC profilu. ICC profily tedy určují barevnost pomocí popisu vztahu obrazových dat mezi systémy RGB či CMYK a prostorem barev, který je nezávislý na daném typu zařízení.

4.4.1 Prostor CIE L^*a^*b

Takovýmto prostorem je i barevný model CIE 1976 L^*a^*b , který se využívá jako referenční model při převodu z jednoho barevného systému do druhého. Tento model používá pro popis barevnosti trojici prvků: světelnost (L), složku barvy a , složku barvy b .

Světelnost popisuje v rozsahu od 0 do 100, kde 0 značí černý bod a 100 bod bílý. Složka barvy a slouží pro popis barvy, od zeleno-modré, která je v záporných hodnotách, po barvy přecházející do červeno-purpurové, kterým jsou přiřazovány kladné hodnoty. Podobně popisuje barvy i složka barvy b . Ta nabývá záporných hodnot pro barvu modro-purpurovou a pokračuje do zeleno-žluto-červené barvy pro kladné hodnoty [34].



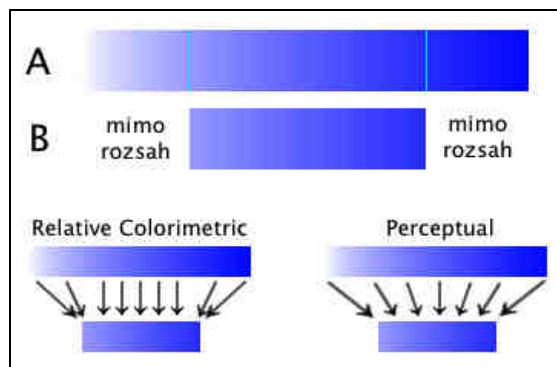
Obr. 22: Popis složek modelu CIE 1976 L^*a^*b

Většina společností se snaží ICC profily dodávat spolu s zařízeními. Takto získané profily jsou však často určovány jen pro pár kusů výrobků v specifické sérii [39]. Nelze jim proto stoprocentně důvěřovat. Pro zpřesnění, nebo vytvoření nového ICC profilu se využívá barevné kalibrace, která je podrobně rozebrána v další kapitole.

4.5 Převody mezi barevnými prostory

Velmi často nastává situace, při které dvě zařízení, schopná pracovat s barvami, neukládají obrazová data v témže barevném prostoru. Je tedy nezbytné tato data převést do daného pracovního barevné prostoru za pomoci různých obrazových transformací, které jsou níže podrobněji popsány. Stejný proces je nutné aplikovat i při přenosu dat mezi různými ICC profily, resp. různými zařízeními. Ukázkovým příkladem těchto transformací a jejich vlivu na výsledná data může být změna prostoru Adobe RGB na sRGB. Barevný prostor Adobe RGB, na obrázku označený jako A, má větší rozsah gamutu než barevný prostor sRGB, na obrázku jako B.

Při konverzi mezi různými prostory nabízí většina programů tři způsoby transformace: *Relativní kolorimetrickou*, *Perceptuální* a *Absolutní kolorimetrickou*. Tyto tři ještě doplňuje transformace, resp. přepočítání, *Sytostní*. Ta se však v předtiskové přípravě nepoužívá [44], a proto není níže s ostatními více rozepsána.



Obr. 23: Možnosti převodu mezi barevnými prostory

Relativní kolorimetrický převod je nejjednodušší a nejpoužívanější [44] možnost transformace barev obrazu do jiného barevného prostoru. Barvy, které jsou dostupné v obou prostorech, zůstávají zachovány, ostatní barvy jsou převedeny na nejbližší známé barvy v novém prostoru. Mění tedy pouze barvy mimo cílový prostor. Bílá na obrázku tak nezůstane bílou, ale převede se na známou světle modrou.

Možnost Perceptual je výpočetně složitější a neexistuje žádný standard, který by její použití podrobně popisoval. Je tedy na každém programu, jak přesně ji aplikuje. Ve své podstatě funguje na principu, že při konverzi prostoru se mění všechny barvy v obrázku. Ovšem s cílem, aby byly zachovány jejich vzájemné vztahy [33]. Je tak vhodná pro fotografické obrazy s barvami mimo gamut.

Poslední způsob přepočtu, Absolutní kolorimetrický, je podobný Relativnímu kolorimetrickému, s tím rozdílem, že se neprovádí přizpůsobení barev podle cílového bílého bodu. Pro tuto vlastnost je vhodný pro kontrolní náhledy, které simulují výstup na tiskovém zařízení.

5 Barevná kalibrace

5.1 Spektrofotometrický systém Eye-One XTreme

Jak již bylo zmíněno v minulé kapitole, každé zařízení, které pracuje se složkami barev, využívá pro jejich správné zobrazení, popř. pořízení, ICC či jiný barevný profil. Aby byly dané barvy podávány co nejděleji, měla by tato zařízení využívat vlastní profily, vytvořené při jejich barevné kalibraci.



Obr. 24 Systém Eye-One XTreme

Pro provádění barevné kalibrace v rámci této diplomové práce bylo využito nástrojů systému Eye-One XTreme (dále jako systém Eye-One) od společnosti X-Rite. Tato několikadílná sada, mimo jiné, obsahuje ruční Eye-One Pro spektrofotometr (dále jako spektrofotometr) držák na monitor a podložku pro kalibraci tiskového pole. Příložená CD obsahují výukový program s tutorial postupy pro správné vyhotovení kalibrací jednotlivých zařízení a software pro správu barev.

Díky všem těmto prvkům a dodávanému programu Eye-One Match je tak možné zkalibrovat monitor, tiskárnu nebo skener. V dalším příloženém programu, Eye-One Share, lze poté snadno zjistit polohu specifické barvy v různém barevném prostoru, porovnat ji s podobnou barvou, či si vytvořit vlastní barevnou paletu [42]. A to vše ve velmi přehledném a intuitivním prostředí programu.

5.2 Kalibrace výstupního zařízení – monitor

Zařízení, která jsou používána pro zachycení nebo zobrazení barevného obrazu, lze rozdělit do dvou kategorií, a to na vstupní a výstupní. Stejný popis je použit i pro jejich ICC profily. Výstupními zařízeními jsou nejčastěji monitor a tiskárna. Za vstupní se pak považuje fotoaparát a skener. Většinu těchto zařízení je možné se správným vybavením přesně zkalibrovat a vytvořit jim vlastní ICC profil.

5.2.1 Popis zařízení



Obr. 25: LCD monitor Eizo FlexScan SX2262W

Prvním kalibrovaným zařízením byl LCD monitor Eizo FlexScan SX2262W (dále jako monitor) který byl zakoupen společně s DTP sestavou, resp. stolním počítačem od společnosti HP. Tento 22" monitor má oproti předchozím modelům, jako je např. Eizo FlexScan EV2333W, rozšířený gamut, vysoké rozlišení 1920 x 1200 pixelů, a to s poměrem stran 16:10 a nadstandardním počtem vstupů.

Hodnoty barevného gamutu monitoru se pohybují okolo 95 procent prostoru Adobe RGB. Další výhodou je možnost použití jednoho ze šesti přednastavených profilů, mezi nimiž je i profil sRGB, který dokáže téměř přesně upravit gamut monitoru na tento známý barevný prostor [43]. Při kalibraci, resp. vytváření ICC profilu, byl na monitoru nastaven režim *Uživatelský*.

5.2.2 Postup kalibrace

Kalibrace byla prováděna systémem Eye-One, a to konkrétně spektrofotometrem za pomoci držáku na monitor. Pro samokalibraci spektrofotometru byla použita podložka se známou a přesnou hodnotou bílé barvy. Postup kalibrace vycházel z výukového CD přiloženého k systému Eye-One. Pro svou jednoduchost a intuitivnost je popsán pouze zjednodušeně:

1. Připojení spektrofotometru
2. Spuštění aplikace Eye-One Match, volba: kalibrace monitoru
3. Volba typu monitoru: LCD
4. Kalibrace spektrofotometru
5. Umístění spektrofotometru pomocí držáku do středu monitoru
6. Snímání barevných obrazů
7. Vyhodnocení kalibrace
8. Vytvoření a uložení nového ICC profilu
9. Grafický výpis vlastností nového profilu

U kroku č. 6 se v případě použití *Advanced* kalibrace využívá i ruční úpravy Jasu a barevných složek R, G, B. Tyto vlastnosti jsou na monitoru upravovány tak, aby byly co nejbližší známým hodnotám. Po jejich úpravě dojde k novému snímání barevných obrazů a vyhodnocení těchto vlastností. Při případném nesouladu jsou tyto složky iterativně upravovány a kontrolovány.

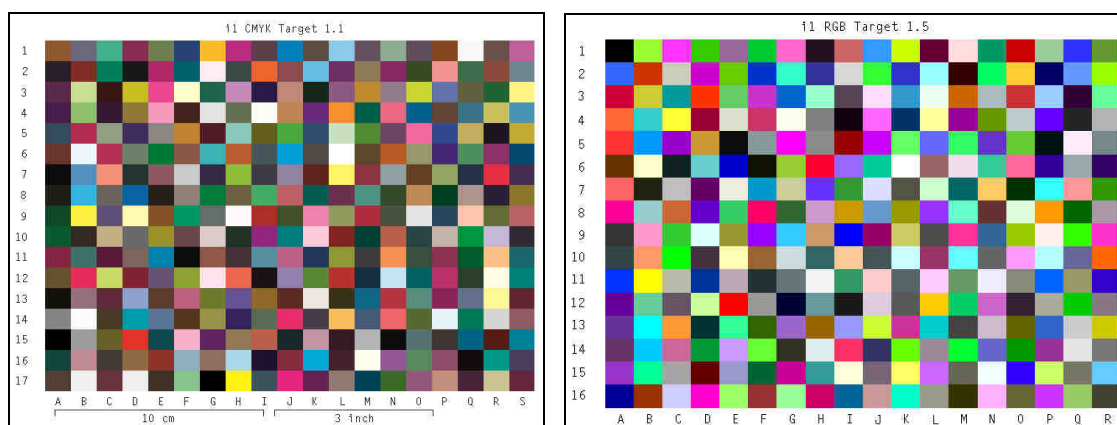
Obecný princip kalibrace a vytvoření ICC profilu monitoru je založen na stimulu a měření reakcí. Do zařízení je odeslán stimul ve formě předem známých RGB hodnot.

Ten se na zařízení zobrazí jako specifická barva, kterou spektrofotometr zaznamená. Měření je zpracováváno v prostoru CIE L^*a^*b . V dalším kroku je vytvořen profil, v němž jsou porovnávány hodnoty RGB a k nim odpovídající hodnoty v CIE L^*a^*b . Díky tomu může profil systému pro správu barev zhodnotit jaká skutečná barva je zobrazena pro určité hodnoty RGB a stejně tak je zpětně možné zjistit, jaké hodnoty RGB jsou nutné pro požadované skutečné barvy. Vytvoření tohoto profilu je obvykle až při druhé sadě naměřených dat. Sada první se většinou využívá ke kalibraci, při níž se nastaví chování barev na zařízení [45].

Při provádění kalibrace se doporučuje mít nižší osvětlení v místnosti, dále mít monitor zapnutý déle než půl hodiny, a v neposlední řadě mít deaktivovány veškeré úsporné akce, jako je spořič obrazovky apod.

5.3 Kalibrace výstupního zařízení – tiskárna

V případě kalibrace a tvorby ICC profilu druhého výstupního zařízení, tiskárny, se opět určují barvy polí, vytisknutých podle známých hodnot RGB nebo CMYK, na specifickém kalibračním terči. Ten je různý podle typu tiskárny. Příklad barevného kalibračního terče od společnosti X-Rite pro RGB a CMYK tiskárny je na obrázku níže. Princip vytváření profilu a porovnávání dat naměřených a skutečných se aplikuje a funguje stejně jako v předchozím případě.



Obr. 26: Barevný kalibrační terč i1 X-Rite pro RGB a CMYK tiskárny

5.3.1 Postup kalibrace

Rozdíl oproti kalibraci a vytváření ICC profilu monitoru je v tom, že namísto držáku na monitor se využívá podložka pro kalibraci tiskového pole, resp. barevného kalibračního terče, která je ručně snímána daným spektrofotometrem. Což vyžaduje určitou manuální zručnost a míru trpělivosti. Celkový postup kalibrace a tvorby ICC profilu je, stejně jako v předchozím případě, z důvodu podrobného návodu v programu Eye-One Match, popsán níže pouze zjednodušeně:

- 1. Připojení spektrofotometru**
- 2. Spuštění aplikace Eye-One Match, volba: kalibrace tiskárny**
- 3. Volba tiskárny**
- 4. Tisk barevného kalibračního terče**
- 5. Nasnímání všech polí kalibračního terče**
- 6. Vyhodnocení kalibrace**
- 7. Vytvoření a uložení nového ICC profilu**
- 8. Přiřazení ICC profilu jako implicitního pro danou tiskárnu**

U kroku č. 4 je nezbytné v předvolbách tiskárny vypnout úpravy pomocí správy barev, které jsou implicitně nabízeny. Tato a další doplňující nastavení musí být totožně zachována i při tisku kontrolních vzorků. Stejně tak je potřeba provádět novou kalibraci při změně tiskového média.

5.3.2 Popis zařízení

Pro pokusné výtisky, sloužící k tvorbě metodiky, bylo využito barevné laserové tiskárny Xerox Phaser 6280N. Rozlišení této tiskárny je až 600 x 600 DPI. Rychlost tisku dosahuje až 25 stran za minutu. Maximální podporovaný formát výstupu je A4. Uvnitř tiskárny běží 400 MHz procesor s pamětí 256 MB. Připojení k počítači je možné pomocí USB 2.0 a Ethernet 10/100 MG síť [46].



Obr. 27: Tiskárna Xerox Phaser 6280N



Obr. 28: Tiskárna Epson Stylus Pro 7700

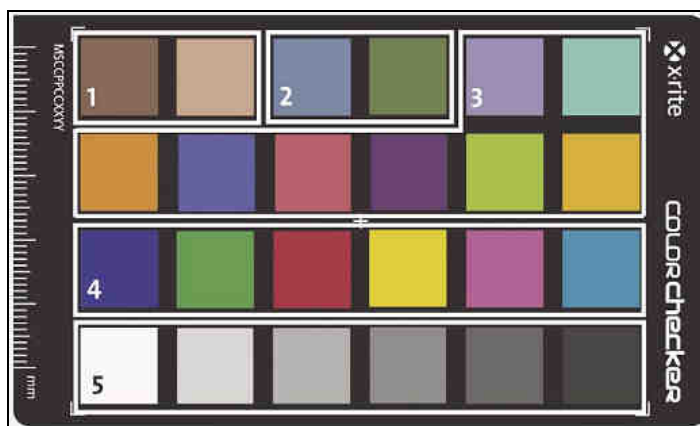
Druhou tiskárnou, na které byla reprodukována závěrečná mapová předloha, byl velkoformátový barevný plotr Epson Stylus Pro 7700. Maximální dosažitelné rozlišení této tiskárny je 1440 x 1440 DPI a to při velikosti předlohy do formátu A1. Tisknout lze kromě klasických rolí papíru i na 1,5 mm karton. Rozhraní tiskárny je stejné jako u předchozí, tedy USB 2.0 a Ethernet 10/100 MB síť [48].

5.4 Kalibrace digitálního fotoaparátu

Systém Eye-One, v sadě, která byla použita v rámci této práce, neumožňoval vytvořit digitálnímu fotoaparátu jeho vlastní ICC profil. Ovšem díky nástrojům barevné tabulky ColorChecker Passport (dále jako tabulka ColorChecker) taktéž od společnosti X-Rite, bylo možné základní nabízené profily v aplikaci Camera Raw upravit.

5.4.1 Použité vybavení

Jednu ze stran tabulky ColorChecker pokrývá 24 barevných vzorků pro nejdůležitější odstíny barev. Ty se skládají z odstínů pleťových barev (1), nebeské modře a listové zeleně (2), dále pak běžných přírodních odstínů a druhotných barev (3), barev reprezentujících známé systémy RGB a CMY (4) a šestistupňové šedé škály. Na příloženém CD je obsažen program ColorChecker Passport pro tvorbu profilů.



Obr. 29: Barevná tabulka ColorChecker Passport

Úprava profilu, tedy zobrazovaných barev, fotoaparátu probíhala v aplikaci Camera Raw, která je pluginem do známého bitmapového editoru Adobe Photoshop CS5 (dále jako program Photoshop). V tomto pluginu byl obraz tabulky ColorChecker exportován do formátu DNG, se kterým je schopna pracovat aplikace ColorChecker Passport, a poté v něm byl přiřazen nově vytvořený barevný profil fotoaparátu.

5.4.2 DNG profil

DNG, neboli digitální negativ, je veřejně dostupný formát pro archivaci RAW dat z digitálního fotoaparátu. Jeho výhoda spočívá ve volně dostupné specifikaci, která není obecně známá u všech ostatních RAW datových souborů vytvářejících se v daném typu kamery, např. u fotoaparátu Canon EOS 550D se jedná o formát CR2. Jejich neznalost pak vede k nemožnosti načtení souboru v různých bitmapových aplikacích. Kromě této známé specifikace poskytuje společnost Adobe i freeware aplikaci Adobe DNG, která slouží k snadnému převodu z jednotlivých RAW dat do formátu DNG [49]. Tato aplikace je částí pluginu Camera Raw.

5.4.3 Postup kalibrace

Pro úpravu barev fotoaparátu pomocí DNG profilu bylo jako první zvoleno prostředí, ve kterém bylo snímáno. A to tak, aby odpovídalo světelnosti situaci, za které budou snímány mapové podklady. Při jakékoliv změně nastavení osvitů bylo nutné DNG profil

generovat znovu. Postup vytvoření DNG profilu a jeho přiřazení zvolenému snímku je zkráceně rozepsán níže. Jeho podrobnější popis, který obsahuje i dialogová okna jednotlivých použitých programů, je obsažen v příloze F.

- 1. Příprava prostředí**
- 2. Nasnímání mapového pokladu, tabulky ColorChecker**
- 3. Převod snímku tabulky ColorChecker ve formátu CR2 do formátu DNG**
- 4. Import snímku ve formátu DNG do aplikace ColorChecker Passport**
- 5. Tvorba DNG profilu**
- 6. Import snímku mapového podkladu do aplikace Camera Raw**
- 7. Přiřazení DNG profilu, volba barevného prostoru**
- 8. Otevření snímku mapového podkladu v bitmapovém editoru**

Třetí krok postupu lze provést vícero způsoby. V případě této práce byly snímky tabulky ColorChecker převáděny v aplikaci Camera Raw, se kterou se již dříve pracovalo. Jiným možným způsobem by bylo vytvoření kopie snímku a jeho uložení do formátu DNG v programu Adobe Lightroom. I přes skutečnost, že takto vygenerovaný soubor neměl stejnou velikost jako tento typ souboru z aplikace Camera Raw, byl výsledný DNG profil ve formátu DCP, vypočtený z obou aplikací, velikostně i binárně totožný.

5.5 Volba barevného prostoru

Předposledním krokem při vytváření a aplikaci DNG profilu byla mimo jiné i volba barevného prostoru. Ta měla mít podstatný vliv na další práci s pořízenými snímky. Dva nejznámější barevné prostory, obecně popsány jako Adobe RGB a sRGB, byly teoreticky rozebrány již v předchozí kapitole. Program Photoshop, spolu s jeho pluginem Camera Raw, však nabízí více prostorů, než jen tyto dva. Výběr jednoho specifického pro daný případ bylo proto nutné zohlednit.

Volba barevného prostoru proběhla v aplikaci Camera Raw, kde byla nabízena tato čtveřice prostorů: sRGB IEC61966-2.1 (dále jako sRGB), Adobe RGB (1988) (dále jako Adobe RGB), ColorMatch RGB a ProPhoto RGB. Z této čtveřice pak byly pro posouzení vybrány prostory sRGB, Adobe RGB a ProPhoto RGB, který je interně používaným prostorem software Adobe Lightroom [33].

5.5.1 Postup určení vhodného prostoru

Pro výběr vhodného barevného prostoru byly v přednastaveném prostředí pořízeny snímky tabulky ColorChecker. Těmto snímkům byly poté v aplikaci Camera Raw za *Profil fotoaparátu* nastaveny možnosti *Adobe Standard* a *Canon EOS 550D*, což byl nově vytvořený DNG profil. V rámci testování tak bylo taktéž zjištěno, jak velký vliv má použití tabulky ColorChecker, resp. tvorba DNG profilu, na přesnost přisouzení jednotlivých barev. A zdali je vhodné ji dále využívat.

Proměřovány byly, stejně jako v literatuře [13], hodnoty všech 24 barevných polí tabulky, a to na pěti různých místech, tedy ve všech rozích a jejích středu. V programu Photoshop byly tyto hodnoty pomocí nástroje *Kapátko* určeny v prostoru L^*a^*b .



Obr. 30: Barevná tabulka ColorChecker Passport, popis polí

Zaznamenání hodnot polí v tomto prostoru bylo výhodné vzhledem ke známým hodnotám tabulky ColorChecker nalezených na webových stránkách společnosti X-Rite [51] a skutečnosti, že systém L^*a^*b je nezávislý na výstupním zařízení.

5.5.2 Kontrola vstupních dat

Pro zamezení chyb, které by mohly vzniknout při nesouladu známých hodnot polí s hodnotami skutečnými, byly všechny pole tabulky ručně proměřeny spektrofotometrem a porovnány s uvedenými, známými hodnotami. Souhrn tohoto porovnání je v tabulce níže. Celé měření je zaznamenáno v příloze E.

Tab. 10: Porovnání známých a kontrolně naměřených hodnot polí tabulky ColorChecker

Typ rozdílu	Hodnota ΔE	Pole tabulky
avg E	1,623	-
min E	0,208	3
max E	3,346	16

Jako kvalitativní srovnávací parametr při tomto a dalších porovnání je použita hodnota odchylky ΔE , která je trojdimenzionální vzdáleností rozdílů prvků dvou barev v prostoru L^*a^*b . Vztah pro její výpočet je následující:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

Kde ΔL je rozdíl světelnosti dvou barev v prostoru L^*a^*b

Δa je rozdíl složky a dvou barev v prostoru L^*a^*b

Δb je rozdíl složky b dvou barev v prostoru L^*a^*b

Pro tuto odchylku platí meze, které popisují, s jakou přesností je zobrazena, popř. vytvořena, kopie stávající barvy. Tyto meze se pro každou literaturu mírně liší. V tomto případě bylo vhodné použití podmínky, která se využívá pro kontrolu tisku výstupního zařízení. Jedná se o naměření hodnot barev dvou stejných, tj. obrazově a vytištěných ze stejného zařízení, kalibračních terčů [45]. Pro tuto podmínku musí platit:

$$avg \Delta E < 2$$

Což bylo splněno. Nalezeným, resp. známým hodnotám tabulky ColorChecker lze tedy důvěřovat a je možné je využít i při následujících výpočtech.

5.5.3 Porovnání výsledných dat

Mezi tyto další výpočty se řadí již zmíněné porovnání různých typů barevných prostorů programu Camera Raw. A to pro snímky bez, tedy s implicitně nabízeným, a s použitým DNG profilem fotoaparátu.

Tab. 11: Volba vhodného barevného prostoru, hodnoty polí tabulky ColorChecker

Barevný prostor	DNG profil	avg ΔE	min ΔE /pole	max ΔE /pole
Adobe RGB	ANO	13,27	1,87/19	25,37/15
ProPhoto RGB	ANO	13,09	1,85/19	25,22/15
sRGB	ANO	12,65	1,88/19	25,45/15
Adobe RGB	NE	18,22	1,96/19	44,64/13
ProPhoto RGB	NE	20,02	2,10/19	45,41/12
sRGB	NE	17,47	2,72/19	44,04/13

V tabulce výše je pouze souhrn vypočtených středních hodnot a odchylek. Celé měření je zaznamenáno v datové formě v příloze E. Z dat výše však zatím vyplývá, že při použití DNG profilu dochází k mírnému zvýšení přesnosti v přiřazení jednotlivých barev. Tuto skutečnost je ovšem potřeba dále testovat i při tisku z výstupního zařízení. Primárně tak bylo zjištěno, že rozdíl při výběru různého barevného prostoru není až tak výrazný. Vzhledem k další práci s pořízenými daty byl z důvodu kompatibility a nejmenších odchylek zvolen jako pracovní barevný prostor možnost sRGB.

5.6 Volba zbylých parametrů barevné kalibrace

Po vytvoření ICC profilů výstupních zařízení a volbě použití barevného prostoru sRGB bylo možné přistoupit k praktickému testování dosud provedených kroků a jejich závislosti na zbylých volených parametrech barevné kalibrace. Ty zahrnovaly použití DNG profilu, přiřazení specifického barevného prostoru nebo vyvážení bílé.

5.6.1 Testovací subjekty

Jako testovací subjekt byly použity barevné terče sloužící pro kalibraci tiskárny. Ty byly vhodné zejména z toho důvodu, že jejich hodnoty barev bylo možné znovu reprodukovat se stejným rozsahem, s jakým byly vytvořeny. Tudíž nemělo docházet k tomu, že by výstupní zařízení nebylo schopno pořízené barvy vytisknout v požadovaném rozsahu, jako tomu mohlo být u tabulky ColorChecker.

5.6.2 Volba vhodné časové uzávěrky

Z důvodu snížení hodnot odchylek dosažených při testování různých barevných prostorů byl zvážen výběr vhodné časové expozice. Ta byla volena v rozmezí od 1/10 do 1/30 s. S těmito uzávěrkami byla nasnímána podkladová mapa spolu s tabulkou ColorChecker. Kvalitativním popisným parametrem pro rozhodnutí o výběru vhodné časové uzávěrky byla hodnota specifického šedého pole.

Toto specifické, v pořadí čtvrté z šestistupňové šedé škály, pole mělo správně nabývat hodnot, které jsou známy u šedých expozičních tabulek. Tyto hodnoty se měly pohybovat v rozmezí od 120 do cca 128 pro všechny tři složky RGB. Jako vhodná se pro snímkování zvolené předlohy jevila uzávěrka 1/10 s. Soupis zbylých nastavených parametrů je v tabulce níže.

Tab. 12: Nastavení parametrů fotoaparátu pro vytvoření DNG profilu

Ohnisková vzdálenost	34 mm
Citlivost	ISO 200
Clona	F 8.0
Závěrka	1/10 s
Obrazový styl	věrný
Blesk	zakázán
Úroveň expozice	neupravována
Ostření	manuální
Kvalita snímků	RAW

Vzhledem k tak nízké uzávěrce nebylo možné provádět snímání přes spoušť na fotoaparátu, ale bylo využito propojení kamery s počítačem, popř. byla využita dálková spoušť. K tomuto účely sloužil program EOS Utility, který byl součástí softwaru dodávaného k digitálnímu fotoaparátu.

5.6.3 Postup testování

Prvotní testování bylo prováděno na laserové tiskárně Xerox Phaser 6280N při použití terče i1 CMYK Target 1.1 (dále jako terče). Ten obsahoval 323 různých barevných polí, které byly již dříve při kalibraci tohoto zařízení zaměřeny. Cílem bylo, aby se při pořízení snímku terče a jeho následné barevné reprodukci, barvy co nejvíce blížily originálnímu podkladu. Postup práce je vzhledem k opakujícím se činnostem níže popsán pouze stručně.

1. Příprava prostředí, nasnímání terče a tabulky ColorChecker
2. Tvorba DNG profilu, jeho přiřazení snímku terče
3. Volba barevného prostoru
4. Otevření snímku v programu Photoshop
5. Přiřazení ICC profilu výstupního zařízení, tisk
6. Proměření hodnot barevných polí vytištěného snímku
7. Porovnání hodnot naměřených a použitých při kalibraci

U kroku č. 6 byly hodnoty barevných polí terče naměřeny za pomoci spektrofotometru. Pro tento účel bylo využito postupu kalibrace tiskárny v programu Eye-One Match, kde byla po řádcích nasnímaná barevná data uložena ve formě textového souboru. Mírnou nevýhodou tohoto postupu bylo, že nově získaná data neobsahovala hodnoty v prostoru L^*a^*b , ale každé z polí bylo vyjádřeno 36 hodnotami pro různou vlnovou délku světla. Bylo proto nutné nalézt převod mezi těmito spektrálními daty a hodnotami CIE L^*a^*b .

5.6.4 Popis převodu mezi spektrálními daty a prostorem CIE L*a*b

Naštěstí byla na internetu nalezena a také na konkrétním případě vyzkoušena dvojice XLS souborů, která tento převod prováděla. Poté, co bylo ověřeno, že je výpočet prováděn totožně a tudíž správně, byl jeden z těchto XLS souborů dále upraven tak, aby byl použitelný pro danou situaci. Tento soubor je pro různé typy porovnání součástí příloh E. Obecný výpočet převodu je následující:

Hodnoty pro různé spektrální délky světla, dále označeny jako $\Delta\lambda_i$, jsou převedeny do systému CIE X*Y*Z odkud jsou transformovány do systému CIE L*a*b. Schematicky lze tento převod zapsat jako:

$$\Delta\lambda_i \rightarrow CIE XYZ \rightarrow CIE Lab$$

Pro každou z hodnot $\Delta\lambda_i$ v rozsahu od 380 do 730 nm, kde nejmenším krokem je 10 nm, existují známé konstanty prvků x_i , y_i , z_i a hodnota *svítivosti* I_i pro typ osvětlení D50. Tyto charakteristiky jsou uvedeny až do hodnoty 770 nm.

$$\Delta\lambda(x, y, z, I_{D50})_{380-730(770)}$$

Dalšími známými hodnotami je *definice bílé* pro výpočet v systému CIE L*a*b. Ta je rovněž zadána v souřadných složkách:

$$X_n = 96,42; \quad Y_n = 100; \quad Z_n = 82,52$$

Jako první jsou převedeny hodnoty $\Delta\lambda_i$ do prostoru CIE X*Y*Z za pomoci vztahů:

$$\begin{aligned} X &= \left(\sum x_{380-770} \times \sum I_{D50(380-770)} \times \sum \Delta\lambda_i \right) / K \\ Y &= \left(\sum y_{380-770} \times \sum I_{D50(380-770)} \times \sum \Delta\lambda_i \right) / K \\ Z &= \left(\sum z_{380-770} \times \sum I_{D50(380-770)} \times \sum \Delta\lambda_i \right) / K \end{aligned}$$

Kde neznámý člen K je normalizovaná konstanta vypočtená ze vztahu:

$$K = 100 / \left(\sum y_{380-770} \cdot \sum I_{D50(380-770)} \right)$$

Při známých hodnotách CIE X*Y*Z je transformace do systému CIE L*a*b prováděna za pomoci následujících podmínkových vztahů. Ty jsou rozepsány pro jednotlivé členy:

Světelnost L se vypočte z podmínky:

$$(Y_i / Y_n) > 0,008856 \rightarrow L = 116 \cdot \sqrt[3]{(Y_i / Y_n)} - 16$$

$$(Y_i / Y_n) \leq 0,008856 \rightarrow L = 3 \cdot (Y_i / Y_n)$$

Složka barvy a se vypočte z podmínky:

$$(Y_i / Y_n) \vee (X_i / X_n) \vee (Z_i / Z_n) \leq 0,008856 \rightarrow$$

$$a = 500 \cdot [\{7,787 \cdot (X_i / X_n) + 16 / 116\} - \{7,787 \cdot (Y_i / Y_n) + 16 / 116\}]$$

$$(Y_i / Y_n) \vee (X_i / X_n) \vee (Z_i / Z_n) > 0,008856 \rightarrow$$

$$a = 500 \cdot \left\{ \sqrt[3]{(X_i / X_n)} - \sqrt[3]{(Y_i / Y_n)} \right\}$$

Složka barvy b se vypočte z podmínky:

$$(Y_i / Y_n) \vee (X_i / X_n) \vee (Z_i / Z_n) \leq 0,008856 \rightarrow$$

$$b = 200 \cdot [\{7,787 \cdot (Y_i / Y_n) + 16 / 116\} - \{7,787 \cdot (Z_i / Z_n) + 16 / 116\}]$$

$$(Y_i / Y_n) \vee (X_i / X_n) \vee (Z_i / Z_n) > 0,008856 \rightarrow$$

$$b = 200 \cdot \left\{ \sqrt[3]{(Y_i / Y_n)} - \sqrt[3]{(Z_i / Z_n)} \right\}$$

Všechny tyto vztahy jsou automaticky aplikovány v příloženém XLS souboru.

5.6.5 Kontrola výstupního zařízení

Před samotným porovnáním odchylek reprodukováného CMYK terče s originálními daty byla provedena kontrola tisku výstupního zařízení. Použité přesnosti byly stejné jako u kontroly známých hodnot polí tabulky ColorChecker. Zdrojovými daty v tomto případě byl CMYK terč použitý při kalibraci tiskárny a druhý, stejný terč, vytištěný s totožnými parametry z téže tiskárny.

Průměrná odchylka při porovnání hodnot barevných polí těchto terčů byla: $avg\Delta E = 1,886$, tudíž byla dodržena podmínka: $avg\Delta E < 2$. Čímž se ověřila schopnost totožné reprodukce laserové tiskárny Xerox Phaser 6280N. Celé porovnání je spolu s převodem do systému L*a*b datově zaznamenáno v příloze E.

5.6.6 Porovnání výsledných dat

I přesto, že bylo v předchozí podkapitole při hledání vhodného barevného prostoru odůvodněno použití tabulky ColorChecker a s ní související tvorba DNG profilu, byl dále zkoumán i snímek terče, jemuž byla v aplikaci Camera Raw za profil fotoaparátu přiřazena implicitní možnost Adobe Standard. Tím bylo testováno, zda je skutečně nezbytné a z hlediska barev vhodnější přiřazovat DNG profil zařízení.

Dalším porovnávacím subjektem byl snímek, u něhož bylo v aplikaci Camera Raw provedeno vyvážení bílé, a to pro druhé pole z šestistupňové šedé škály tabulky ColorChecker. Tato činnost měla za následek změnu *Teploty* a *Odstínu* barev. Samotné vyvážení bylo provedeno ručně pouze pro snímek s CMYK terčem. Nejprve bylo proto nutné *Nástrojem vyvážení bílé* zjistit hodnoty teploty a odstínu barev u snímku s tabulkou ColorChecker a následně je aplikovat do testovacího snímku. Tato změna byla znatelnější u snímků s mapovým podkladem a bylo tedy nutné ji zohlednit. Souhrn odchylek dosažených při testování je v tabulce níže. Celé měření, spolu s porovnáním a převodem do systému L*a*b je datově zaznamenáno v příloze E.

Tab. 13: Porovnání odchylek reprodukováného CMYK terče s originálními daty,
vyvážení bílé, DNG profil

Barevný prostor	Vyvážení bílé	DNG profil	Avg ΔE	min ΔE	max ΔE
sRGB	NE	ANO	6,796	0,359	21,515
sRGB	NE	NE	6,955	0,739	22,329
sRGB	ANO	ANO	8,905	0,675	25,556

Z porovnání výše je patrné a mírně překvapující, že aplikace DNG profilu s sebou nepřináší výrazné zlepšení v přiřazení barev. Vzhledem k dalšímu postupu, který zahrnuje export snímku, jeho transformaci, přerastování a nové přiřazení barevného prostoru, nebude DNG profil dále používán. Předchozí zmíněné činnosti jsou více rozepsány v následující kapitole využívající dosud nalezených postupů u praktického příkladu.

Na závěr tohoto testování bylo provedeno ověření volby správného barevného prostoru. Použity byly stejné snímky jako v předchozích porovnáních. Za profil fotoaparátu bylo v aplikaci Camera Raw zvolena možnost Adobe Standard. Jediným rozdílem mezi vytištěnými snímky byl různý barevný prostor. Ten se volil ve dvou nejběžnějších variantách: Adobe RGB a sRGB. Hodnoty odchylek mezi těmito dvěma prostory jsou zaznamenány v tabulce níže.

Tab. 14: Porovnání odchylek reprodukováného CMYK terče,
barevné prostory

Barevný prostor	sRGB – Adobe RGB
Avg ΔE	1,880
min ΔE	0,160
max ΔE	14,152

Z dat výše vyplývá, že přiřazení různého barevného prostoru nemá vliv na přesnost barevné kalibrace. Potvrdilo se tedy, že lze i nadále pracovat v prostoru sRGB, který byl doposud používán.

5.7 Testování přesnosti při použití barevné kalibrace

Aby bylo možné nějakým způsobem zhodnotit do této chvíle volené metody postupu barevné kalibrace, byla provedena opětovná reprodukce CMYK terče. A to za pomoci různých vstupních zařízení. V prvním případě bylo využito stolního skeneru, u kterého byla obrazová data pořízena před a po jeho kalibraci a určení ICC profilu.

Druhým zařízením byl do této chvíle používaný digitální fotoaparát. Rozdíl oproti předešlému snímání u něj spočíval v tom, že v tomto případě nebyla vůbec zohledněna správa barev. Tím bylo možné zjistit, jak znatelné zlepšení nastává při aplikaci dosud volených metod.

5.7.1 Použité vybavení



Obr. 31: Stolní skener Contex FLEX50i

Pro skenování terče bylo využito deskového stolního skeneru Contex FLEX50i (dále jen skeneru). Ten nabízí skenování obrazových předloh až do formát A2, při rozsahu rozlišení od 400 dpi do 9600 dpi. Snímání je prováděno pomocí 4 lineárních CCD senzorů s přesností 0,1% na +/- 1 pixel. Skener pracuje v barevném prostoru sRGB a je schopen zaznamenat data s maximální barevnou hloubkou 48bitů. Připojení k počítači je možné pomocí USB 2.0 nebo 10/100 MB síť Ethernet [52]. Spolu se skenerem byl dodán i terč pro jeho barevnou a geometrickou kalibraci. Ten však nebyl kompatibilní se spektrofotometrickým systémem od společnosti X-Rite.

Při první reprodukci, formou skeneru, byla provedena kalibrace pouze za pomoci terče dodávaného v příslušenství ke skeneru. Ta byla spouštěna přímo v aplikaci WIDE-system, která obecně slouží pro volbu parametrů skenování. Při této kalibraci tak nebyl vytvořen žádný ICC profil.

5.7.2 Kalibrace skeneru

Před druhou reprodukcí terče za pomoci skeneru byla provedena barevná kalibrace a vytvoření ICC profilu tohoto vstupního zařízení. Použitým vybavením při tomto úkonu byl spektrofotometr spolu s podložkou pro nasnímání barevných hodnot polí a kalibrační terč Eye-One Scan Target 1.4 (dále jako terč skeneru).

Tento terč je svou konstrukcí velmi podobný CMYK a RGB terčům, využívaných při barevné kalibraci tiskových zařízení. Je tvořen 288 různobarevnými políčky reprodukovány s velkou přesností na lesklý papírový podklad. Byl dodán jako příslušenství systému Eye-One. I tato kalibrace byla prováděna v programu Eye-One Match. Její postup je níže zjednodušeně uveden:

- 1. Připojení spektrofotometru**
- 2. Spuštění aplikace Eye-One Match, volba: kalibrace skeneru**
- 3. Kalibrace spektrofotometru, nasnímání všech polí terče skeneru**
- 4. Naskenování terče skeneru profilovaným zařízením**
- 5. Načtení naskenovaných dat terče, určení hranic požadovaného obrazu**
- 6. Přibližné porovnání známých a pořízených dat terče skeneru**
- 7. Vytvoření a uložení nového ICC profilu**

K druhé části druhého kroku by bylo vhodné dodat, že nasnímání všech polí terče skeneru je nutné pouze poprvé. Tyto data lze poté uložit do formátu TXT a zpětně načíst při další kalibraci. U třetího kroku je pak doporučeno, aby byl terč naskenovaný s rozlišením 300 dpi, a to do formátu TIFF.

5.7.3 Aplikace profilu skeneru

Nově vytvořený ICC profil se aplikoval do rastrového souboru v programu Photoshop. Zde bylo využito funkce *Úpravy > Přiřadit profil*. Za možnost *Profil* se zvolil ICC profil skeneru. Tento profil se přiřadil do obrazu testovaného CMYK terče, který byl naskenován na témže skeneru. Poté byl upravený obraz terče vytištěn a po naměření hodnot jeho barevných polí porovnán s originálními daty.

Postup kalibrace skeneru bylo možné jistým způsobem aplikovat i na digitální fotoaparát. Čímž se získal ICC profil kamery pro specifické prostředí, který měl narozdíl od DNG profilu schopnost být využit také u jiného formátu, než je RAW soubor. Jedinou změnou v postupu kalibrace tak bylo, že u čtvrtého kroku nebyl terč skeneru naskenován daným profilovaným zařízením, ale byla pořízena jeho fotografie ve specifickém světelném prostředí pro snímání dalších podkladů.

5.7.4 Porovnání výsledných dat

Takto vytvořený ICC profil fotoaparátu byl nakonec přiřazen snímku CMYK terče, který byl také vytisknut, proměřen a porovnán s originálem. Všechny tyto měření, společně s porovnáním reprodukováného CMYK terče bez správy barev, jsou součástí přílohy E. Souhrn jejich odchylek je v tabulce níže. Pro větší přehled jsou v této tabulce tučně uvedeny i hodnoty odchylek dosažených při předešlé zvolené nejlepší metodě.

Tab. 15: Porovnání odchylek reprodukováného CMYK terče s originálními daty, různé vstupní zařízení

Způsob pořízení	ICC profil tisku	ICC profil zařízení	Avg ΔE	min ΔE	max ΔE
skener	ANO	NE	9,703	1,002	26,330
skener	ANO	ANO	5,704	0,909	24,082
fotoaparát	ANO	ANO	6,331	0,918	22,495
fotoaparát	NE	NE	17,839	1,232	49,424
fotoaparát	ANO	NE	6,955	0,739	22,329

Z tabulky výše vyplývá, že nejlepší přesnosti při použití digitálního fotoaparátu lze dosáhnout vytvořením ICC profilu pro dané prostředí, a to za pomoci terče skeneru. Vzhledem k již zmíněnému převodu mezi různými formáty rastrových dat se tento způsob využil jako hlavní v praktickém příkladě popsaném v následující kapitole.

5.8 Shrnutí barevné kalibrace

Po shrnutí veškerých dat získaných v předešlých podkapitolách je možné určit nejlepší podmínky potřebné pro reprodukci mapové předlohy z hlediska barevné věrnosti.

První zjištěnou skutečností je, že u výše popsaných a využívaných zařízení, není nutné brát v úvahu volbu barevného prostoru. Pravdivost tohoto tvrzení byla testována dvojicí odlišných postupů. U obou byly hodnoty rozdílů odchylek ΔE při použití různých barevných prostorů minimální. Za implicitní barevný prostor je tak doporučován sRGB.

Složitější situace nastala u přiřazování profilu fotoaparátu. Při prvním testování bylo zjištěno, že použití DNG profilu má kladný vliv na přiřazení jednotlivých barev. Avšak u tohoto postupu nebylo využito tisku a hodnoty odchylek tak byly vypočteny pouze na základě výstupu na monitoru. Navíc byla testována tabulka ColorChecker, která svým rozsahem barev může převyšovat barevný gamut fotoaparátu. Proto byla tato skutečnost testována i druhým, typově podobným případem. Při němž bylo zjištěno, že aplikace DNG profilu nemá podstatný vliv na přiřazení barev a je možné ji vypustit.

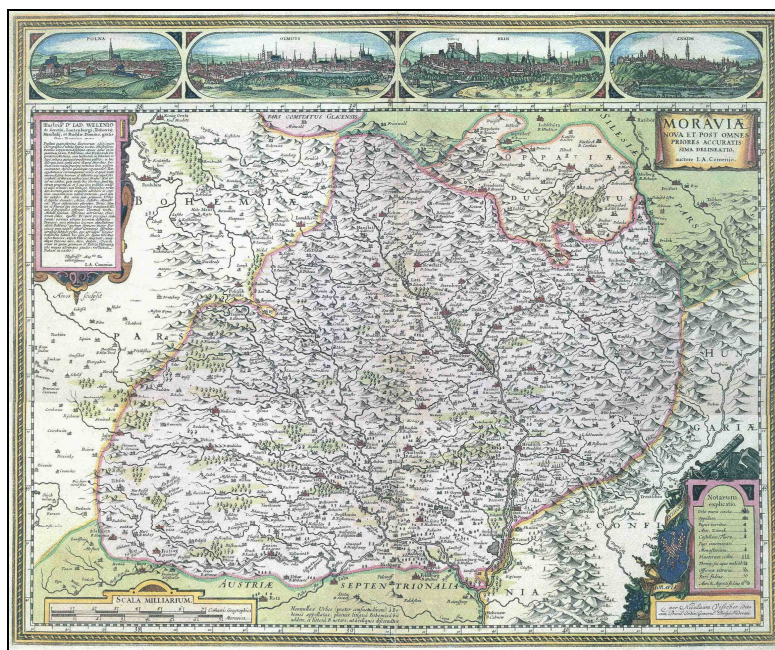
U posledního testování, při použití jiného vstupního zařízení, byla objevena a vyzkoušena možnost vytvoření ICC profilu fotoaparátu, a to za pomoci terče a metody pro kalibraci skenerů. I když tento postup nebyl tvořen oficiálními kroky, jevil se vzhledem k dosaženým odchylkám jako nejúčinnější. Jeho použití bylo z hlediska dosažení odpovídající barevné věrnosti přibližně trojnásobně účinnější než nevyužití správy barev a relativně na stejné úrovni jako reprodukce podkladu za pomoci kalibrovaného skeneru.

Z těchto důvodů se proto doporučuje aplikovat ICC profil, vytvořený při postupu podobném kalibraci skenerů. S rozdílem pořízení snímku terče skeneru v daném, pro snímání podkladových dat připraveném prostředí.

6 Praktické využití postupu

6.1 Mapová předloha

V předchozích kapitolách byly hledány nevhodnější postupy, jejichž cílem bylo napomoci pořízení co nejvěrnější kopie zvolené mapové předlohy. Zkoumána byla dvojice hledisek: geometrická přesnost a barevná věrnost. Aby byly tyto zvolené metody nějakým způsobem ověřeny, bylo přistoupeno k praktickému testování, které s sebou přinášelo kontrolu obou těchto hledisek.



Obr. 32: Komenského mapa Moravy z roku 1680

Za obrazovou předlohu byla zvolena barevná kopie Komenského mapy Moravy z roku 1680. Ta byla vtištěna na papírovém podkladě o přibližné velikosti formátu A2. Na této mapě byly již znatelné známky použití a stáří. Cílem bylo reprodukovat tuto mapu co nejvěrněji, tedy i s těmito nedostatky. Postup jednotlivých částí práce je níže v textu rozepsán. Opakující se kroky jsou popsány pouze zkráceně.

6.2 Postup práce

Pro práci s obrazovou předlohou (dále jako mapou) bylo využito stejných zařízení, se kterými bylo doposud pracováno. Vzhledem k nejmenší chybě z distorze byl jako vhodný zvolen zoomový objektiv s rozsahem 18 – 55 mm. Za ohniskovou vzdálenost byla vybrána hodnota 34 mm. Zbylé parametry jsou v tabulce níže.

Tab. 15: Nastavení parametrů fotoaparátu při snímkování mapové předlohy, Komenského mapa Moravy

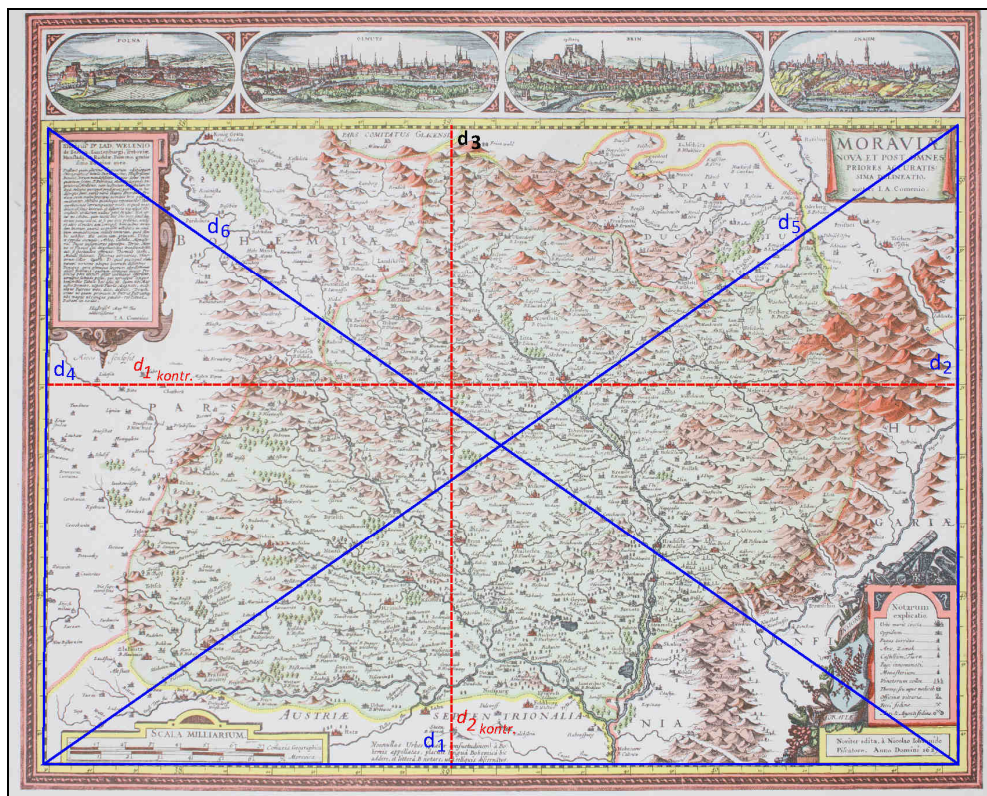
Ohnisková vzdálenost	34 mm
Citlivost	ISO 200
Clona	F 8.0
Závěrka	1/10 s
Obrazový styl	věrný
Blesk	zakázán
Úroveň expozice	neupravována
Ostření	manuální
Kvalita snímků	RAW

Časová uzávěrka byla zvolena po odměření RGB hodnot pro specifické šedé pole tabulky ColorChecker. To bylo zkoumáno na pěti snímcích mapové předlohy s rozsahem expozičních časů od 1/10 – 1/30 s. Jako vhodná se jevila hodnota 1/10 s. Se stejnou uzávěrkou pak byla nasnímána samotná mapa. Vzhledem k tomu, že od minulého snímkování nedošlo ke změně osvitů, nebylo potřeba zaznamenat i terč skeneru.

Před otevřením snímku pouze samotné mapy (dále jako snímku mapy) v aplikaci Camera Raw bylo potřeba v programu Photoshop zkontrolovat, zda je při importu dat nastaven dotaz na správu barev, nabízející se při nesourodosti barevných prostorů. Tato volba se nachází v liště *Úpravy > Nastavení barev*. Při importu snímku z aplikace Camera Raw do programu Photoshop pak byla navolena možnost *Vypustit vložený profil (bez správy barev)*. Otevřený snímek mapy byl uložen do formátu TIFF.

Vzhledem k nekompatibilitě přímo exportovaného snímku mapy z programu Photoshop do formátu BMP a programu DistortionPM, bylo nutné provést ještě jeden mezikrok. Tím bylo nahrání snímku mapy ve formátu TIFF do programu GIMP, verze 2.6.11, ve kterém byl snímek mapy exportován do souboru ve formátu BMP. U takto vytvořeného souboru byla v programu DistortionPM odstraněna distorze.

Poté byl snímek mapy ve formátu BMP nahrán do Kokeše. V něm byla provedena jeho transformace na skutečnou velikost. Pro tuto transformaci bylo potřeba naměřit délky mapového rámu ve skutečnosti, jako tomu bylo při kontrole odstranění distorze. K měření byla využita velká vynášecí souprava. Záznam naměřených délek, spolu s jejich schématem je součástí přílohy G.



Obr. 33: Schéma naměřených délek mapové předlohy,

Komenského mapa Moravy

Po výpočtu všech rohů mapového rámu byla provedena kontrola strany d_3 . Poněvadž byl rozdíl délek hodnoty naměřené a vypočtené pouze 0,1 mm na mapě, bylo možné pokračovat v dalším postupu zahrnující Projektivní transformaci. Postup v tomto bodě

byl stejný jako u kontroly odstranění distorze. Vlivem transformace došlo k relativnímu zvětšení velikosti pixelu snímku mapy. Relativnímu proto, že toto zvětšení lze aplikovat pouze v programech s možností načtení externí informace o souborech, často přiložených ve formě textového souboru.

Program Photoshop však tuto možnost nenabízí, a proto bylo nutné postupovat jinou cestou. Nejlepší z nich byla zjistit skutečnou hodnotu velikosti pixelu po transformaci a vynásobit ji počtem pixelů v jednom z rozměrů: šířka, výška. Tato hodnota byla nalezena v dialogovém okně programu Kokeš u funkce *Rastr > Přerastrování*. Vzhledem k požadované přesnosti stačilo tuto hodnotu znát na tisíce milimetru. Numerická hodnota pixelu v metech pro nové natransformovaný snímek mapy byla:

$$px_{vel} = 0,000134m$$

Ve stejném okně byl snímek mapy přeuložen do formátu BMP. Jako počet barev byla zvolena možnost true color, tedy 24 bitů.

Nově vytvořenému snímku byla nastavena skutečná velikost v programu Photoshop. Do funkce *Obraz > Velikost obrazu*, možnosti *Velikost dokumentu* se v milimetrech zadala skutečná *Šířka* a *Výška* mapy, vypočtená jako:

$$šířka_{skut.} = počet\ px\ šířka \cdot px_{vel}; \quad výška_{skut.} = počet\ px\ výška \cdot px_{vel}$$

Při tomto úkonu bylo nutné mít zakázanou možnost *Převzorkovat obraz*. Po nastavení jednoho z parametrů se automaticky vypočetl i druhý, což bylo výhodné jako příbližná kontrola postupu. Souhrn známých a vypočtených hodnot velikosti mapy je zaznamenán v tabulce níže.

Tab. 16: Velikost snímku Komenského mapy Moravy

Rozměr	Počet px	Velikost px	Skut. velikost
Šířka	5204	0,134 mm	697,33 mm
Výška	3477		465,92 mm

Pakliže byla snímku mapy nastavena skutečná velikost, přistoupilo se k přiřazení barev. Ty byly nastaveny formou ICC profilu, již dříve vytvořeného pro dané světelné prostředí pomocí terče skeneru. Zde byl postup stejný jako u aplikace profilu skeneru zmíněného v předešlé kapitole.

Před vytištěním snímku mapy na velkoformátovém barevném plotru Epson Stylus Pro 7700 bylo potřeba ověřit schopnost totožné reprodukce tohoto zařízení. Použit byl známý způsob proměření po sobě dvou tištěných stejných terčů, tentokrát ale RGB. Odchylka mezi těmito měřeními byla: $avg\Delta E = 1,079$, čímž bylo splněno $avg\Delta E < 2$ a lze tak tiskárnu využít k dalšímu postupu. Celé měření, spolu s převodem a porovnáním, je v datové formě uloženo v příloze G. Nově vytvořený ICC profil, vzniklý při porovnání, byl použit pro správu barev řízenou programem Photoshop v dialogovém okně tisku.

6.3 Porovnání výsledných dat

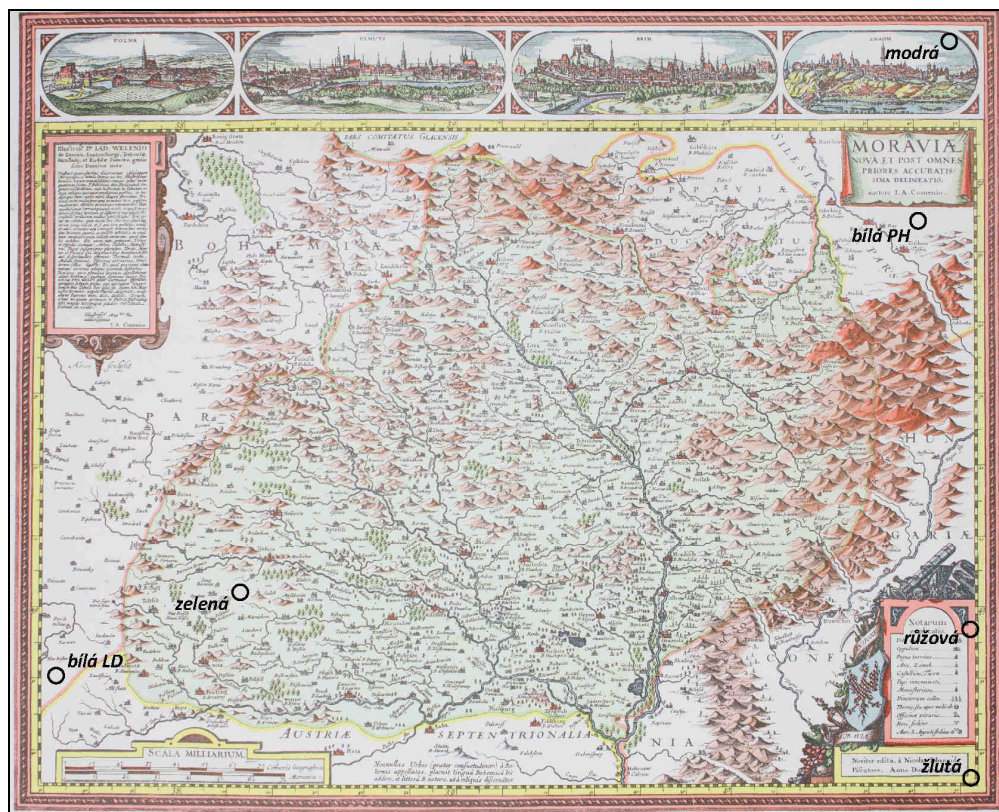
Na vytištěné mapě byly naměřeny kontrolní vzdálenosti $d_{1kontr.}$ a $d_{2kontr.}$. Jejich porovnání s délkami naměřenými na originálu je v tabulce níže.

Tab. 17: Porovnání kontrolních délek u Komenského mapy Moravy

Délka	Originál [m]	Reprodukce [m]		Rozdíl [mm]
		Měření	Průměr	
$d_{1kontr.}$	0,5188	0.5185	0.5185	0.3
		0.5186		
		0.5185		
$d_{2kontr.}$	0.3656	0.3661	0.3661	-0.5
		0.3662		
		0.3660		

Kromě geometrické přesnosti byla testována i barevná věrnost výsledných dat. Ta se skládala z cvičného naměření několika barevně souvislých plošek na nově vytištěné mapě a originálu. Pro měření bylo využito spektrofotometru a aplikace Eye-One Share. Vzhledem ke komplexnosti úlohy byly hodnoty těchto barevných plošek, pomocí funkce

Kapátko, naměřeny také v programu Photoshop u finální podoby snímku mapy. Porovnání jednotlivých barev, společně se zákresem, kde se tyto plošky nacházejí, je zapsáno v tabulce, resp. schématu, níže.



Obr. 34: Schéma pozic kontrolních barev Komenského mapy Moravy

Tab. 18: Porovnání kontrolních barev u Komenského mapy Moravy

Barva	Hodnoty barevných polí v systému L*a*b									Rozdíl O-R	Rozdíl O-Sm
	Originál			Reprodukce			Snímek-monitor				
	L	a	b	L	a	b	L	a	b	ΔE	ΔE
žlutá	87,6	-4,0	35,9	84,6	-1,5	23,3	83	-3	30	13,19	7,55
růžová	64,7	19,4	13,7	71,8	22,7	2,1	71	24	12	13,99	7,98
zelená	89,6	-3,3	5,1	87,5	0,6	-8,1	90	-2	0	13,92	5,28
modrá	82,4	-6,9	-2,1	80,3	-5,0	-15,2	79	-8	-7	13,40	6,06
bílá LD	92,5	0,9	1,6	88,3	4,8	-12,4	90	2	-5	15,13	7,14
bílá PH	92,4	0,9	0,8	87,1	4,1	-13,2	89	1	-4	15,31	5,88
Průměr										14,16	6,65

Shrnutí dosud vypočtených odchylek je společně s dalšími poznámkami a návrhy na zlepšení součástí poslední, závěrečné kapitoly.

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zjistit, s jakou přesností lze využívat současnou střední třídu jednookých digitálních zrcadlovek, konkrétně fotoaparát Canon EOS 550D, při úkonech dnešní kartografické reprodukce. Testovány byly dvě základní hlediska: geometrická přesnost a barevná věrnost. Jako podklad byly použity objekty, jejichž vyhotovené kopie měly být v těchto faktorech co nejvěrnější.

První charakteristika, geometrická přesnost, byla zkoumána pomocí kalibrace s využitím testovacího pole. Její výpočet byl proveden pro vybrané ohniskové vzdálenosti trojice různých objektivů. Nejprve však bylo nutné zvolit její parametry, kterými byly: formát kalibračního pole a konfigurace snímků. Pro porovnání vhodnosti těchto parametrů byly určeny členy výpočtu kalibrace, které byly sledovány.

Při volbě formátu kalibračního testovacího pole se ukázalo, že tento faktor nemá velký vliv na výpočet kalibrace. A tak byl z důvodu snazšího snímání u vyšších ohniskových vzdáleností a vzhledem k velikosti podkladových dat zvolen jako výchozí formát kalibračního pole o rozměrech A2. Konfigurace snímků byla problémovějším prvkem. Správný počet snímků a natočení kamery byl hledán pro šest různých konfigurací. Jako nejlepší se nakonec ukázala volba s osmi snímky s kolmou osou záběru vůči testovacímu poli a dvojicí diagonálních snímků s orientací na zaplnění pravé strany hledáčku.

Po výpočtu kalibrace pro šest různých ohniskových vzdáleností byl určen průběh jejich distorze v rovině snímku. Nejmenších odchylek zcela překvapivě dosahovala ohnisková vzdálenost o hodnotě 34 mm. Pro tuto hodnotu byla nasnímána kontrolní mapová předloha, na které bylo testováno, jakých chyb se dosahuje při záznamu tímto ohniskem bez a s opravou distorze v programu DistortionPM. Dále byl testován i postup zahrnující snímání dvojice přibližně polovičních částí podkladu a jejich spojení v programu Hugin. Z této trojice vyšla geometricky nejpresněji metoda jednoho snímku opraveného o vliv distorze v programu DistortionPM.

Ve druhém parametru, barevné věrnosti, byla zahrnuta tvorba ICC profilu několika vstupních a výstupních zařízení. Největší vliv na přiřazení barev pak mělo vytvoření ICC profilu tiskárny a profilu fotoaparátu. Profil výstupního tiskového zařízení byl vyhotoven pro dvojici přístrojů: laserovou A4 tiskárnu Xerox Phaser a velkoformátový plotr Epson Stylus. Na prvním jmenovaném se prováděly pokusné testování, na druhém pak závěrečný tisk zvoleného mapového podkladu. Pro vytváření ICC profilů byl využit spektrofotometrický systém Eye-One XTreme.

Vstupnímu zařízení, fotoaparátu Canon EOS 550D, byl nejprve pomocí tabulky ColorChecker Passport vytvořen DNG profil, který šlo však aplikovat pouze u RAW dat. Z tohoto důvodu byly odchylky u nasnímaných dat testovány při použití a nepoužití tohoto profilu. Stejně tak byl testován vliv vyvážení bílé. Dalším faktorem pro porovnání byl různě zvolený barevný prostor, jehož volba se ukázala jako nepodstatná pro další postup. Pro zhodnocení dosažených výsledků byla provedena reprodukce stejných předloh i pomocí skeneru, a to s a bez vytvořeného ICC profilu, a pracovního postupu bez použití správy barev. Právě kalibrace skeneru Contex FLEX50i ukázala další z možností, jak vytvořit ICC profil také digitálnímu fotoaparátu. Tento postup, pomocí terče pro kalibraci skeneru, se nakonec ukázal jako nejúčinnější.

Při porovnání veškerých dosažených odchylek lze konstatovat, že z hlediska geometrické přesnosti bylo dosaženo skutečně dobrých výsledků. Ty se pohybovaly u odchylek mezi délkami naměřenými na reprodukci a originálu v rámci od 0,3 do 0,5 mm při předloze o přibližném formátu A2. Vzhledem k velikosti čipu kamery, nerovnosti mapové předlohy a způsobu určení délek lze hovořit o úspěchu.

Ne zcela přesnými slovy je možné popsat i přesnost u barevné věrnosti. Při reprodukci předlohy velikosti A4 na laserové tiskárně Xerox se podařilo dosáhnout odchylek srovnatelnými s chybami naměřenými při tisku naskenovaného podkladu, a to u skeneru s nově vytvořeným ICC profilem. Při porovnání s odchylkami vypočtenými u výsledného tisku bez použití správy barev pak lze hovořit o trojnásobném zlepšení. Avšak u mapové předlohy formátu A2 se zachování barev ukázalo jako problémové. Z datového hlediska byla pořízená a upravená data rozdílná oproti originálu o hodnotu odchylky ΔE rovnou cca 6. Bohužel při tisku tato chyba zvětšila svou hodnotu skoro o dvojnásobek.

Není možné přesně říci, v čem tkví problém přiřazení barev u tisku libovolného podkladu na testovaném velkoformátovém plotru. Už při výstupu RGB kalibračního terče se ukázaly barvy méně syté, než byly ve skutečnosti. Tato chyba se zmírnila vytvořením ICC profilu, nešlo ji však zcela odstranit.

Co se týče navrhovaných zlepšení při použití těchto postupů, stálo by za zvážení dokoupení následujících zařízení: barevného terče ColorChecker SG, polarizačních filtrů a fólií a expozimetru. První jmenovaný, barevný terč ColorChecker SG slouží přímo pro vytváření ICC profilů digitálních fotoaparátů a nebylo by tak potřeba využívat terče pro kalibraci skeneru. Polarizační filtry a fólie by byly vhodné pro odstranění odlesku u nematných předloh. Tato chyba byla zmírněna vhodnou konfigurací a nastavením lamp, nešlo ji však opět zcela odstranit.

Při práci se softwarovým vybavením pak lze doporučit k dalšímu zkoumání použití i jiných programů pro odstranění distorze než je DistortionPM. Stejný návrh by bylo možné aplikovat také na software pro transformaci snímku na skutečnou velikost. Program Kokeš byl pro svůj účel dostačující, ale jeho neschopnost práce se správou barev měla negativní vliv na další kroky postupu.

Poslední výtka tak bude směřována na skutečnost, že během celé práce byl vytvářen postup, který spojoval dva nesouvisející celky. Už z nabízené literatury byl problém digitální fotografie pokaždé řešen v rovině barevnosti nebo geometrického rozměru. Spojení těchto hledisek tak s sebou neslo spoustu neočekávaných situací. Nejen tyto nedostatky však bylo nutné řešit. Byly zde i další činnosti, které neproběhly vždy podle oficiálních návodů a doporučení. Jedním z těchto příkladů je i volba konfigurace snímku pro výpočet kalibrace. Ta byla použita vlastní, poněvadž nabízené, známé metody se pro dané objektivy ukázaly jako nevhodné.

Při obecném shrnutí je postup práce, podrobně popsany v předešlých kapitolách, pro svůj účel relativně dostačující. Nelze očekávat, že se při jeho použití bude dosahovat totožných výsledků jako u reprodukce za pomoci skenerů. Svým nízkonákladovým faktorem, možností bezkontaktního snímání a mobilitou snad nalezne využití, a to nejenom při reprodukci analogových předloh, ale i dalších prvků související s kartografickou nebo památkářskou činností.

Slovníček zkratek

A/D *Analog to Digital*

V případě tohoto pojmu je možné se setkat ještě se zkratkou ADC, která značí *Analog to Digital Converter*. Obecně se jedná se o převodník analogového signálu na diskrétní digitální hodnoty. Tento proces digitalizace se dá vyjádřit formou dvourozměrné obrazové funkce [30].

AC *Alternate Current*

Typ elektrického proudu, jehož směr se periodicky střídá, tzv. střídavý proud.

AF *Autofocus*

Jiný výraz pro automatické ostření. Dnes jej najdeme již v každé digitální kameře [15].

APS-C *Advanced Photo System type-C*

Označení pro formát obrazového senzoru. Velikostně se liší pro jednotlivé výrobce digitálních fotoaparátů.

BMP *BitMaP*

Beztrátový formát schopný uložit grafické informace v kvalitě shodné s předlohou. A to do barevné hloubky 24 bitů. Jeho nevýhodou je vyšší objem dat, který je přímo úměrný jeho velikosti na disku [28].

CCD *Charge-Coupled Device*

Typ elektronického detektoru pro snímání obrazových informací. Jeho uplatnění je ve videokamerách, digitálních fotoaparátech, faxech, skenerech, čtečkách čárových kódů a dalších vědeckých přístrojích, např. astronomických dalekohledech [31].

CIE *Commission Internationale de l'Eclairage*

Francouzský název pro Mezinárodní organizaci pro osvětlení [40]. Tato organizace je známa ve spojení s pojmem pro barevný prostor CIE L*a*b.

CMOS *Complementary Metal Oxide Semiconductor*

Typ elektronického detektoru pro snímání obrazových informací. Jeho uplatnění pro záznam obrazu je výhodné z důvodu malých rozměrů a ekonomické výroby, zejména v mobilních telefonech.

CMYK *Cyan-Magenta-Yellow-blacK*

Barevný model založený na subtraktivním míchání čtyř barev: Cyan = azurové, Magenta = purpurové, Yellow = žluté, blacK = černé [33].

CR2 *Canon photo RAW*

RAW, tedy ničím neupravovaný formát dat, které ukládají a generují specifické modely digitálních fotoaparátů značky Canon. Mezi něž patří i kamera Canon EOS 550D použitá v rámci této práce.

DCP *Digital Camera Protokol*

Binární soubor, který slouží ke korekci barev a tonality [50] pro dané prostředí snímání. Vzhledem k původu dat je často nazýván jako DNG profil.

DCS *Digital Camera System*

Označení společnosti Kodak pro první neanalogovou, tedy digitální kameru [8].

DNG *Digital Negative*

Datový formát snímku s veřejně dostupnou specifikací. Slouží pro archivaci RAW souborů, které se generují v digitálním fotoaparátu. Výhodou tohoto formátu je jeho použití ve velké škále bitmapových aplikací [49].

DPI *Dots per inch*

Hodnota udávající počet bodů, resp. pixelů, na délku jednoho palce. Čím je tato hodnota vyšší, tím je u tiskáren geometricky věrnější výstup.

E27 *Edison screw 27 mm*

Označení typu, resp. velikosti závitu žárovky. Tento typ je uzpůsoben pro elektrické napětí o hodnotě 240 V. Jeho jiné pojmenování je [Medium] Edison Screw (ES) a řídí se IEC (International Electrotechnical Commission) 60061-1 (7004-21) [27].

EF *Electro-Focus*

Označení typu nasazovacích objektivů typických pro digitální fotoaparáty řady Canon EOS. První část zkratky označuje elektrický motor zabudovaný do objektivu.

EF-S *Electro-Focus Short*

Rovněž označení typu nasazovacích objektivů typických pro digitální fotoaparáty řady Canon EOS s obrazovým snímačem APS-C.

ICC *International Color Consortium*

Zkratka popisující organizaci International Color Consortium, jejímž cílem je definice a sjednocení systému pro správu barev. Ten se provádí pomocí tzv. ICC profilů, které matematicky popisují barevné vlastnosti jednotlivých zařízení [13].

ILK *Inovace Laboratoře Kartografie*

Vlastní zkrácení pro název grantu 2010 FRVŠ „Inovace Laboratoře kartografické polygrafie a reprografie a Laboratoře fotogrammetrie“.

IS *Image Stabilization*

Termín popisující použití technologie stabilizace obrazu. Ta je představována opticko-mechanickým nebo elektronickým systémem zmírňujícím vliv roztřesení fotoaparátu při použití vyšší ohniskové vzdálenosti nebo delšího expozičního času [16].

ISO *International Organisation for Standardization*

Česky přeloženo jako Mezinárodní organizace pro standardizaci norem [2]. U digitálních kamer se tato zkratka používá ve spojení s vlastností: citlivost fotoaparátu.

JPEG *Joint Photographic Experts Group*

Formát rastrových dat využívající ztrátovou kompresi. Podporuje 24bitovou grafiku a může obsahovat až 16,8 miliónů barev. Je nejčastějším využívaným formátem v případě ukládání dat u digitálních fotoaparátů.

PET *Polyethylentereftalát*

Nejvýznamnější z termoplastických polyesterů. Polykondenzát kyseliny tereftalové a ethylengykolů. Dnes se s ním setkáváme ve formě láhví [24].

RGB *Red-Green-Blue*

Barevný model založený na aditivním míchání tří barevných složek: Red = červené, Green = zelené, Blue = modré.

RMS *Root Mean Square*

Označení pro chybu, která je vypočítávána z množiny hodnot pomocí kvadratických vztahů [21]. V rámci práce je tato zkratka používána ve spojení s Overall Residual RMS, v překladu tedy jako Průměrná střední kvadratická zbytková chyba.

SD *Secure Digital*

Označení typu paměťové flash karty používané v nejrůznějších digitálních zařízeních.

SRAM *Static Access Random Memory*

Typ paměti, která není schopna po přerušení přísunu elektrické energie uchovávat svá data. Pro jejich zajištění se u starších digitálních fotoaparátů používalo integrované baterie [7].

TIFF *Target Image File Format*

Známý rastrový formát pro tiskovou grafiku. Vytvořen firmou Aldus, roku 1986, za účelem získání jednotného formátu pro tehdejší stolní skenery. Jeho barevná hloubka může nabývat od 1 do 24 bitů [28].

TFT *Thin Film Transistor*

Zkratka pro tenkofilmový tranzistor. Dále pak uveden jako tenkofilmový tranzistorový displej, neboli TFT displej. Je tvořen drobnými tranzistory, z nichž každý zpracovává jediný obrazový bod. Toto zpracování umožňuje vysoce kvalitní obraz a rychlé animace [14].

TXT *TEXT*

Označení pro typ datového souboru obsahujícího textové informace. Soubory uložené v tomto formátu mohou být snadno čteny a upravovány.

USB *Universal Serial Bus*

Česky přeloženo jako univerzální sériová sběrnice, slouží jako univerzální rozhraní pro vícenásobné připojení různých periferních zařízení. Verze USB 2.0 vznikla v roce 2000 jako náhrada za stávající a pomalou verzi USB 1.1 z roku 1998 [47].

USD *United States Dollar*

Základní měnová jednotka Spojených států amerických. Její dnešní (platí k 23. 1. 2011) přepočít na české koruny je 1 USD = 17,870 Kč.

UV *UltraViolet*

Českým ekvivalentem této zkratky je tzv. Ultrafialové záření, neboli UV záření. Toto elektromagnetického vlnění má rozsah vlnových délek od 100 do 400 nm. Jsou tedy kratší než viditelné světlo. Jeho další dělení je na dlouhovlnné UVA záření, středovlnné UVB záření a krátkovlnné UVC záření [32].

W3C *World Wide Web Consortium*

Jedná se o mezinárodní konsorcium, jehož členské organizace, zaměstnanci a široká veřejnost společně vyvíjejí webové standardy. Tento spolek řídí webový zakladatel Tim Berners-Lee a výkonný ředitel Jeffrey Jaffe [38].

XLS *Microsoft Excel file extension*

Jedná se o příponu tabulkových souborů vytvořených v aplikaci Microsoft Excel. Po vydání verze Microsoft Excel 2007 byla tato přípona změněna na XLSX [22].

Použitá literatura

- [1] PAVELKA, Karel. *Fotogrammetrie 10*. 2. přepr. Praha : ČVUT, 2003. 194 s. ISBN 80-01-02649-3.
- [2] *Photography Basics* [online]. 2007 [cit. 2011-06-13]. What is ISO?. Dostupné z WWW: <<http://www.photography-basics.com/2007/02/what-is-iso/>>.
- [3] *JakTak.cz : rady, návody a postupy* [online]. 24.11.2010 [cit. 2011-01-23]. Jak nastavit rychlost závěrky a clonu na fotoaparátu. Dostupné z WWW: <<http://www.jaktak.cz/jak-nastavit-rychlost-zaverky-clonu-na-fotoaparatu.html>>.
- [4] PIHAN, Roman. *Digimanie* [online]. 3.4.2006 [cit. 2011-01-23]. Fotoškola - 4.díl: Clona a vše kolem ní. Dostupné z WWW: <http://www.digimanie.cz/art_doc-73C2184FD265A7C1C1257144003195D8.html>.
- [5] *Megapixel.cz : Centrum digitální fotografie* [online]. 2008 [cit. 2011-01-23]. Ohnisková vzdálenost. Dostupné z WWW: <<http://www.megapixel.cz/ohniskova-vzdalenost>>.
- [6] ŠEVELOVÁ, Irena. *Digimanie* [online]. 29.1.2007 [cit. 2011-01-18]. Historie fotoaparátu. Dostupné z WWW: <http://www.digimanie.cz/art_doc-9E1D0C7F56FF004FC12572690039A9F6.html>.
- [7] SCHACHINGER, Roman. *Fotografovani.cz* [online]. 20.11.2007 [cit. 2011-01-18]. Okénko do historie 6. - Fujifilm. Dostupné z WWW: <http://www.fotografovani.cz/art/df_trendy/okenko-do-historie-historie-6-fujifilm.html>.

- [8] SCHACHINGER, Roman. *Fotografovani.cz* [online]. 22.08.2007 [cit. 2011-01-18].
Okénko do historie 5. - Kodak. Dostupné z WWW:
<http://www.fotografovani.cz/art/df_trendy/historie-kodak.html>.
- [9] NEFF, Ondřej. *Digineff* [online]. 30.1.2004 [cit. 2011-01-18]. Canon EOS 300D.
Dostupné z WWW:
<http://www.digineff.cz/fotaky/03/canon_300d/canon_300d1.html>.
- [10] UČEŇ, Michal. *Digimanie* [online]. 11.11.2008 [cit. 2011-01-18]. Postupný vývoj
kompaktů. Dostupné z WWW: <http://www.digimanie.cz/art_doc-EBC9D203BD6A7D5AC12574F8006058E5.html>.
- [11] *NÁVOD K POUŽITÍ : Canon EOS 550D* [online]. Praha : CANON CZ s.r.o., 2010
[cit. 2010-12-05]. Dostupné z WWW:
<http://canoneos550d.cz/wp-content/uploads/CanonEOS550D_navod_cz1.pdf>.
- [12] *Megapixel.cz : Centrum digitální fotografie* [online]. 2011 [cit. 2011-01-14]. Canon
EOS 550D + 18-55 mm IS. Dostupné z WWW:
<<http://www.megapixel.cz/canon-eos-550d-18-55-mm#>>.
- [13] HORÁKOVÁ, Pavla. *Reprodukce grafických předloh pomocí digitálního fotoaparátu*.
Praha, 2009. 77 s. Diplomová práce. ČVUT v Praze. Dostupné z WWW:
<<http://geo3.fsv.cvut.cz/~soukup/dip/horakova/horakova.pdf>>.
- [14] *O2 O nás : Slovník pojmů z telekomunikací* [online]. O2 O nás. 2011 [cit. 2011-01-23].
Displej TFT (Thin Film Transistor). Dostupné z WWW:
<[http://www.o2.cz/osobni/3062-slovník_pojmu_z_telekomunikaci/index\\$122871.html?dict=122786&word=18](http://www.o2.cz/osobni/3062-slovník_pojmu_z_telekomunikaci/index$122871.html?dict=122786&word=18)>.

- [15] *Megapixel.cz : Centrum digitální fotografie* [online]. 2011 [cit. 2011-01-23]. AF - autofocus. Dostupné z WWW: <<http://www.megapixel.cz/af-autofocus>>.
- [16] *Megapixel.cz : Centrum digitální fotografie* [online]. 2011 [cit. 2011-01-23]. Image stabiliser – stabilizátor obrazu. Dostupné z WWW: <<http://www.megapixel.cz/image-stabiliser>>.
- [17] *FyzWeb* [online]. 3.3.2008 [cit. 2011-01-23]. Jak funguje fotoaparát. Dostupné z WWW: <http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=107&id_casti=50>.
- [18] *Slovník VÚGTK : distorze objektivu* [online]. 2005-2011 [cit. 2011-01-31]. VÚGTK. Dostupné z WWW: <http://www.vugtk.cz/slovník/5208_distorze-objektivu>.
- [19] *PhotoModeler 6 Help File*. [s.l.] : [s.n.], 20.10.2009 [cit. 2011-01-31]. Lens Distortion Formulation
- [20] KALIBRACE DIGITÁLNÍCH FOTOAPARÁTŮ. In *Určení prvků vnitřní orientace pozemní měřické komory* [online]. Praha : ČVUT, 2008 [cit. 2011-02-06]. Dostupné z WWW: <http://lfgm.fsv.cvut.cz/data/download/m_PhotoModeler_kalibrace.pdf>.
- [21] *Yahoo! UK & Ireland Answers* [online]. 2011 [cit. 2011-02-20]. What is an RMS residual?. Dostupné z WWW: <<http://uk.answers.yahoo.com/question/index?qid=20101024084541AAbVX7q>>.
- [22] *InternetSlang.com* [online]. 2002-2011 [cit. 2011-03-01]. What does XLS mean?. Dostupné z WWW: <<http://www.internetslang.com/XLS.asp>>.
- [23] *Lfgm.fsv.cvut.cz - photogrammetry web site* [online]. 2010 [cit. 2011-03-01]. Distorsion page. Dostupné z WWW: <<http://lfgm.fsv.cvut.cz/distorsion/>>.

- [24] DUCHÁČEK, V.. *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití* [online].
2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze : Praha, 2006 [cit. 2011-03-10].
Dostupné z WWW: <http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-617-6/pages-pdf/088.html>. ISBN 80-7080-617-6.
- [25] HAMA spol. s r.o. *Manfrotto* [online]. 2006 [cit. 2011-03-15]. Studiový stativ SALON 809. Dostupné z WWW:
<<http://www.manfrotto-foto.cz/manfrotto-katalog/studiovy-stativ-salon-809/>>.
- [26] *Centrum FotoŠkoda* [online]. 2007 [cit. 2011-03-15]. BIG S95821 - Biglamp 501 MegaKit. Dostupné z WWW:
<<http://www.fotoskoda.cz/eobchod/p1015295-cz-big-s95821-biglamp-501-megakit>>.
- [27] E27. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) :
Wikipedia Foundation, 16.9.2009, last modified on 22.2.2011 [cit. 2011-03-13].
Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/E27>>.
- [28] KŘÍKAVOVÁ, Linda, VALA, Ondřej. *Formáty pro rastrovou grafiku*. Praha, 2009.
6 s. Semestrální práce. ČVUT v Praze.
- [29] ZMEŠKAL, Oldřich; BUCHNÍČEK, Miroslav; SEDLÁK, Ondřej. *Principy digitálního záznamu* [online]. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 10/2001 [cit. 2011-04-03]. Dostupné z WWW:
<http://www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci/download/stud02_hrakra01.pdf>.

- [30] RYCHTERA, Roman. *Digitální záznam obrazu a jeho využití ve fotogrametrii* [online]. Plzeň, 2007. 54 s. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Dostupné z WWW: <http://www.kma.zcu.cz/main.php?KMAfile=./STRUCTURE/05_ebooks/04_Zaverecne_prace/zav_prace.php&DRC=./STRUCTURE/05_ebooks/04_Zaverecne_prace/&DRL=CZ&DROF=0&osCislo=A04411>.
- [31] *Megapixel.cz : Centrum digitální fotografie* [online]. 2011 [cit. 2011-04-03]. CCD. Dostupné z WWW: <<http://www.megapixel.cz/ccd>>.
- [32] *STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV* [online]. 2007-2008 [cit. 2011-04-03]. UV záření. Dostupné z WWW: <<http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/koupani-ve-volne-prirode/uv-zareni>>.
- [33] VOJTA, Robert. *NikonClub Česká republika a Slovensko* [online]. 1.3.2010 [cit. 2011-04-03]. Správa barev při zpracování fotografie. Dostupné z WWW: <<http://nikonclub.cz/sprava-barev-pri-zpracovani-fotografie>>.
- [34] PIHAN, Roman. Barevné modely. *Vše o světle* [online]. 23.2.2007, 5., [cit. 2011-04-05]. Dostupný z WWW: <http://www.fotografvani.cz/art/fozak_df/rom_1_05_colormodels.html>.
- [35] SOUKUP, Petr. *Teorie barev*. Praha, 2011. 40 s. Prezentace. ČVUT v Praze.
- [36] STOKES, Michael, et al. *International Color Consortium* [online]. November 5, 1996 [cit. 2011-04-10]. A Standard Default Color Space for the Internet: sRGB. Dostupné z WWW: <<http://www.color.org/sRGB.xalter>>.

- [37] NEFF, Ondřej. *Digineff - webová stránka o digitální fotografii* [online]. 07.08.2008 [cit. 2011-04-10]. Mýtus o Adobe RGB. Dostupné z WWW: <http://www.digineff.cz/art/titulka/080807adobe_rgb.html>.
- [38] W3C. *W3C* [online]. 2009 [cit. 2011-04-10]. About W3C. Dostupné z WWW: <<http://www.w3.org/Consortium/>>.
- [39] JANÁK, Robert. *Interval.cz* [online]. 25.06.2004 [cit. 2011-04-10]. Správa barev - Color Management System (CMS). Dostupné z WWW: <<http://interval.cz/clanky/sprava-barev-color-management-system-cms/>>.
- [40] ČERBA, Otakar. *Barvy v počítači a kartografii* [online]. Fakulta aplikovaných věd, Plzeň : Katedra matematiky, oddělení geomatiky, 6.10.2006 [cit. 2011-04-10]. Barevné modely. Dostupné z WWW: <<http://gis.zcu.cz/studium/pok/Materialy/Book/ar03s01.html>>.
- [41] GEPRO spol. s r.o. *Gepro spol. s r.o.* [online]. 2007 [cit. 2011-05-31]. Rastry v programu Kokeš. Dostupné z WWW: <<http://www.gepro.cz/geodezie-a-projektovani/tipy-a-triky/rastry/rastry-v-programu-kokes/>>.
- [42] Uniware s.r.o. *X-rite* [online]. 2005-2007 [cit. 2011-04-20]. Eye-One XTreme. Dostupné z WWW: <<http://www.xrite.cz/eyeone-xtreme-p-1097.html>>.
- [43] BÁBÍČEK, Radek. *ExtraHardware* [online]. 19. duben 2010 [cit. 2011-04-25]. Eizo Flexscan SX2262W: Na fotky a video profesionálně. Dostupné z WWW: <<http://extrahardware.cnews.cz/eizo-flexscan-sx>>.

- [44] MIKŠOVSKÝ, Miroslav; SOUKUP, Petr. *Reprodukce barev* [online]. 2011 [cit. 2011-05-01]. Kartografická polygrafie a reprografie. Dostupné z WWW: <http://geo3.fsv.cvut.cz/~soukup/kapr/prednasky2011/reprodukce_barev/reprodukce_barev.pdf>.
- [45] FRASER, Bruce; MURPHY, Chris; BUNTING, Fred. *Správa barev : Průvodce profesionála v grafice a pre-pressu*. Vydání první. Brno : Computer Press, 2003. 521 s. ISBN 80-722-6943-7.
- [46] Alza.cz a.s. *Alza.cz* [online]. 2000-2011 [cit. 2011-05-01]. XEROX Phaser 6280N. Dostupné z WWW: <<http://www.alza.cz/xerox-phaser-6280n-d105336.htm>>.
- [47] *Intel Technology* [online]. 16.9.2007 [cit. 2011-05-01]. Universal Serial Bus. Dostupné z WWW: <<http://www.intel.com/technology/usb/>>.
- [48] *DTPobchod - internetový obchod s produkty Apple, vybavením pro polygrafii a předtiskovou přípravu* [online]. 2000-2007 [cit. 2011-05-01]. Epson Stylus Pro 7700. Dostupné z WWW: <http://www.dtpobchod.cz/epson-stylus-pro-7700_d28967.html>.
- [49] Adobe Systems. *Adobe Photoshop CS5* [online]. 2011 [cit. 2011-05-08]. Rozšíření: Digitální negativ (DNG). Dostupné z WWW: <<http://www.adobe.com/cz/products/photoshop/extend.displayTab2.html>>.
- [50] *Wiki.zoner.cz* [online]. 18.6.2010 [cit. 2011-05-08]. Profily ve formátu DCP. Dostupné z WWW: <http://wiki.zoner.com/software:camera_profiles>.

- [51] X-Rite. *X-rite photo* [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. X-Rite: Colorimetric values for ColorChecker Family of Targets. Dostupné z WWW:
<http://xritephoto.com/ph_product_overview.aspx?ID=1257&Action=Support&SupportID=5159&catid=28>.
- [52] Contex Holding A/S. *Contex Large Format Scanners and Software* [online]. 2011 [cit. 2011-05-29]. Contex FLEX 50i Specifications. Dostupné z WWW:
<http://www.contex.com/english/scanners/hd_series_scanners/flex_50i/specifications.aspx>.

Obsah přiloženého DVD

Typografická konvence:

Názvy složek umístěných v kořenovém adresáři, jsou označeny **tučně**.

Názvy dalších podsložek jsou zapsány obyčejným řezem.

Názvy souborů jsou zvýrazněny *tučně s použitím kurzívy*.

Ostatní, doplňující, text je zapsán pouze kurzívou.

Obsah DVD:

priloha_A_kalibrace_PhotoModeler

+ volba_formatu_pole

+ format_A1

+ A1_konf1_RV - A1_konf6_RV,

+ A1_konf1_SV - A1_konf6_SV

(konf = konfigurace, RV/SV = různá/stejná vzd. snímání)

+ snímky,

IMG_.jpg*

+ vypocty

1kalibrace.pmr

- projektový soubor programu PhotoModeler

1kalibrace.txt

- textový soubor s vypočt. kalibračními hodnotami

2kalibrace.pmr

2kalibrace.txt

- + format_A2
 - + A2_konf1_RV - A2_konf6_RV,
 - + A2_konf1_SV - A2_konf6_SV
 - + snímky,
 - + vypocty
- + volba_konfigurace_snimku
 - + konf1 – konf6
 - + snímky,
 - + vypocty
- + volba_ohniskove_vzdalenosti
 - + f_18mmZ
 - (*f = ohnisková vzdálenost, Z = zoomový objektiv*)
 - + snímky,
 - + vypocty
 - + f_24mmZ
 - + f_28mmF
 - (*F = objektiv s fixní ohniskovou vzdáleností*)
 - + f_28mmZ
 - + f_34mmZ
 - + f_34mmZ_bezD
 - (*bezD = ze snímků odstraněn vliv distorze*)
 - + snímky,
 - D_IMG_*.jpg***
 - + vypocty
 - + f_50mmF
 - + f_55mmZ

priloha_B_prubeh_distorze

+ protokoly

f_18mmZ - f_55mmZ.xls

 - MS Excel soubory se zaznamenáním průběhu distorze k poloměru r

+ vizualizace

f_18mmZ - f_55mmZ.maff

- kompr. webové stránky se zaznamenáním průběhu distorze na snímači

priloha_C_kontrola_distorze

+ data

+ snímky

IMG_1914.jpg, IMG_1923.jpg, IMG_1924.jpg
namerene_delky.pdf

+ vypočty

+ rastr_bezD_celek

D_IMG_1914.jpg
D_IMG_1914.roh

- textový soubor se souřadnicemi rohů transformovaného rastru

vyp02_transformace.txt

- textový soubor s výpočtem transformace rastru

+ rastr_bezD_spojeni

spojeni.jpg, spojeni.roh, vyp02_transformace.txt

+ rastr_sD

 ($sD = s$ distorzí, resp. nezbařený vlivu distorze)

IMG_1914.jpg, IMG_1914.roh, vyp02_transformace.txt
rohy.ss

- textový soubor s vypočtenými souřadnicemi rohů mapového listu

vyp01_protinani.txt

- textový soubor s výpočtem rohů mapového listu

priloha_D_spojenci_rastru

+ snimky

D_IMG_1923.jpg, D_IMG_1924.jpg

+ vypočty

spojeni.jpg

- výsledný spojitý rastr

spojeni.pto, spojeni.pto.mk

- projektové soubory programu Hugin

spojeni_postup.pdf

priloha_E_barevna_kalibrace

+ volba_barevneho_prostoru

+ kontrola_vstupnich_dat

cchp_porovnaní.xls

(*cchp_** = soubory s tabulkou ColorChecker Passport)

+ snimky

IMG_2365.cr2

+ vypočty

IMG_2365.dng, Canon EOS 550D cchp.dcp

- soubory potřebné pro vytvoření DNG profilu

barevne_prostory_porovnaní.xls

+ volba_ostatnich_parametru_kalibrace

+ kontrola_barevneho_prostoru

CMYK_kontrola_prostoru.xls

(*CMYK_** = soubory s CMYK terčem)

CMYK_AdbRGB.txt, CMYK_sRGB.txt

(*AdbRGB_** = prostor Adobe RGB, *sRGB_** = prostor sRGB)

- naměřené hodnoty polí CMYK terče

+ kontrola_vystupniho_zarizeni

CMYK_kontrola_tisku.xls

Xerox_Phaser_6280N_13.5.2011_2 + _28.4.2011_2.txt

+ volba_DNG_profilu

+ snimky

IMG_2502.cr2 IMG_2508.cr2

+ vypocty

IMG_2508.dng, Canon EOS 550D CMYK.dcp,

CMYK_bezDNG.xls, CMYK_bezDNG.txt

CMYK_sDNG.xls, CMYK_sDNG.txt

CMYK_sDNG_vyvazena_bila.xls + .txt,

(bezDNG/sDNG_ = nepoužit/použit DNG profil)*

+ volba_postupu_jine_zarizeni

+ fotoaparát

+ snimky

IMG_2502.cr2, IMG_2508.cr2

+ vypocty

IMG_2508.DNG, Canon EOS 550D CMYK.dcp,

CMYK_bez_spravy_barev.xls + .txt

CMYK_sDNG.xls + .txt

CMYK_sICCsken.xls + .txt

(sICCsken = ICC profil vytvořený terčem skeneru)*

+ skener

+ snimky

CMYK.tif, sken.tif

- naskenovaný CMYK terč a terč pro kalibraci skeneru

+ vypocty

CMYK_bez_vlastnihoICCprofilu.xls + .txt

CMYK_vlastniICCprofil.xls + .txt

Contex_FLEX50i_30.5.2011_1.icc + .txt

priloha_F_profily_zarizeni

+ fotoaparát

+ DNG

Canon EOS 550D cchp.dcp

Canon EOS 550D CMYK.dcp

DNG_profil_postup.pdf

+ ICC

Canon_EOS_550D_30.5.2011_2.icc

+ monitor

Eizo_FlexScan_SX2262W_28.4.2011_2.icc

+ skener

Contex_FLEX50i_30.5.2011_1.icc

+ tiskárny

+ Xerox

Xerox_Phaser_6280N_28.4.2011_2.icc

+ Epson

Epson_Stylus_Pro_7700_30.5.2011_1.icc

priloha_G_prakticky_priklad

+ snímky

IMG_2514.cr2, IMG_2520.cr2

namerene_delky2.pdf

+ výpočty

vyp01_2_protinani.txt, vyp02_2_transformace.txt, rohy_2.ss

+ rastry

D_mapa_gimp.bmp, D_mapa_gimp.roh

D_mapa_kokes.bmp, D_mapa_kokes.roh

D_mapa_kokes.tif

- zbavený distorze a oříznutý výsledný rastrový soubor s mapou

mapa_gimp.bmp, mapa_photoshop.tif

Seznam příloh

- 1) Příloha B: Protokoly o průběhu distorze pro dané ohniskové vzdálenosti
- 2) Příloha C: Hodnoty naměřených kontrolních a transformačních délek;
Geometrická kalibrace
- 3) Příloha D: Postup spojení rastrových dat v programu Hugin
- 4) Příloha E: Kontrola vstupních dat – ColorChecker Passport
- 5) Příloha F: Tvorba a přiřazení DNG profilu snímku
- 6) Příloha G: Hodnoty naměřených kontrolních a transformačních délek;
Praktické využití postupu

Příloha B

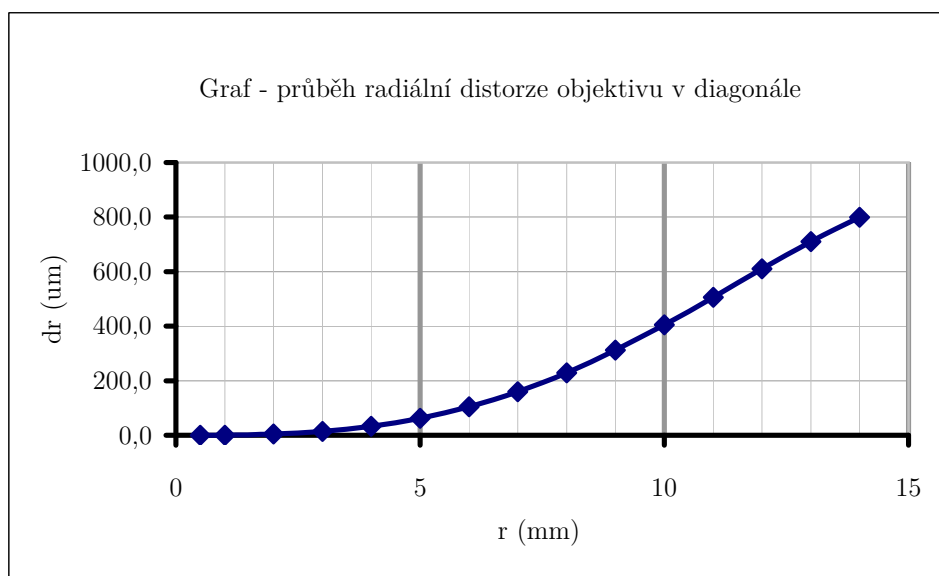
Protokol o průběhu distorze dané ohniskové vzdálenosti; Geometrická kalibrace

kamera - typ	Canon EOS 550D
objektiv - typ	Canon EF-S 18-55mm f/3.5-5.6
konstanta komory (mm)	18
kalibrační pole	A2
konfigurace	10 snímků
<i>pozn.:</i>	image quality - Large JPG
kalibraci provedl/a	Ondřej Vala
dne	19.12.2010

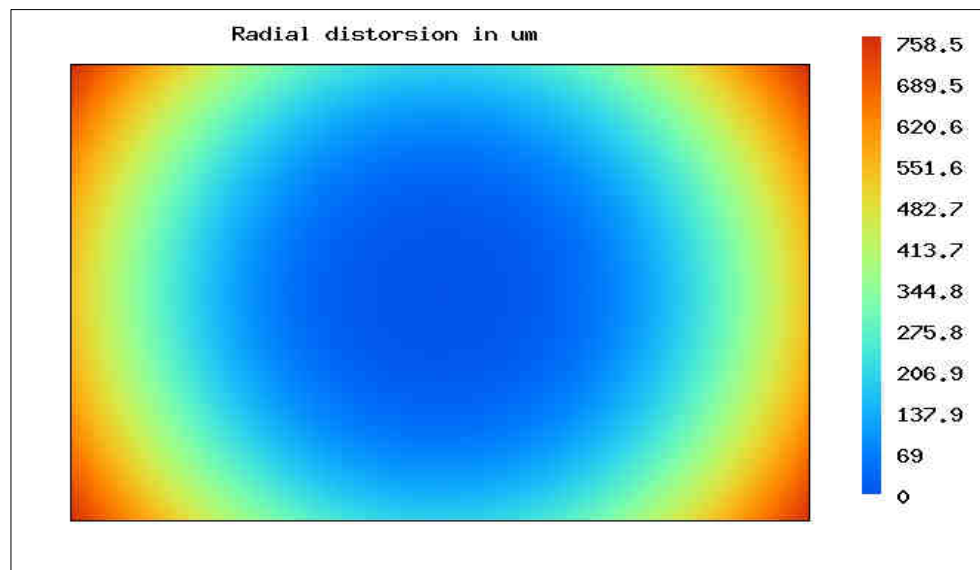
výsledky

parametry kalibrace			úhel záběru		
f	18,900	mm	horizontální	61,9	stupně
W	22,673	mm	vertikální	43,6	stupně
H	15,113	mm			
x₀	11,529	mm	dx	0,024	mm
y₀	7,533	mm	dy	5,764	mm
K1	0,00052380				
K2	-0,00000119		distorze		
P1	0,00003997		r max	13,62	mm
P2	0,00007785		Δr max	767,92	um

průběh distorze:
vzhledem k poloměru r



průběh distorze:
vzhledem k ploše snímače



velikost distorze pro různé hodnoty poloměru r

r	Δr
0,5 mm	0,07 um
1 mm	0,52 um
2 mm	4,15 um
3 mm	13,85 um
4 mm	32,31 um
5 mm	61,77 um
6 mm	103,92 um
7 mm	159,73 um
8 mm	229,32 um
9 mm	311,82 um
10 mm	405,20 um
11 mm	506,17 um
12 mm	610,01 um
13 mm	710,44 um
14 mm	799,45 um
13,62 mm	767,92 um

vysvětlivky

W x H	šířka x výška snímacího čipu
x_0, y_0	souřadnice hl. bodu snímku v souř. soustavě PhotoModeleru
dx, dy	souřadnice hl. bodu snímku v souř. soustavě snímkové
K1, K2	koeficienty radiální distorze objektivu
P1, P2	koeficienty tangenciální distorze objektivu
r max	maximální rozměr snímku měřený z jeho středu
dr	velikost radiální distorze pro jednotlivé hodnoty r

Příloha č. B

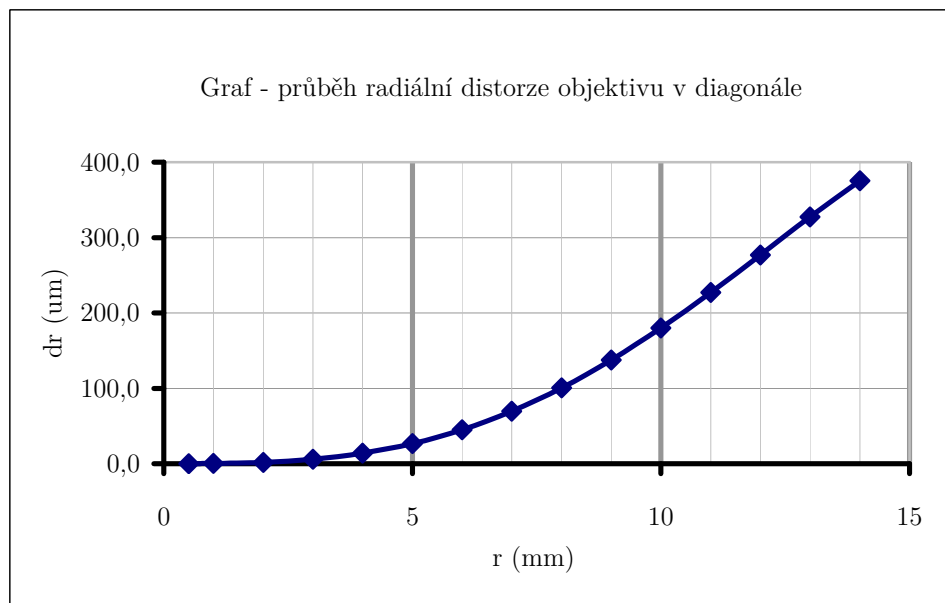
Protokol o průběhu distorze dané ohniskové vzdálenosti; Geometrická kalibrace

kamera - typ	Canon EOS 550D
objektiv - typ	Canon EF-S 18-55mm f/3.5-5.6
konstanta komory (mm)	24
kalibrační pole	A2
konfigurace	10 snímků
<i>pozn.:</i>	image quality - Large JPG
kalibraci provedl/a	Ondřej Vala
dne	19.12.2010

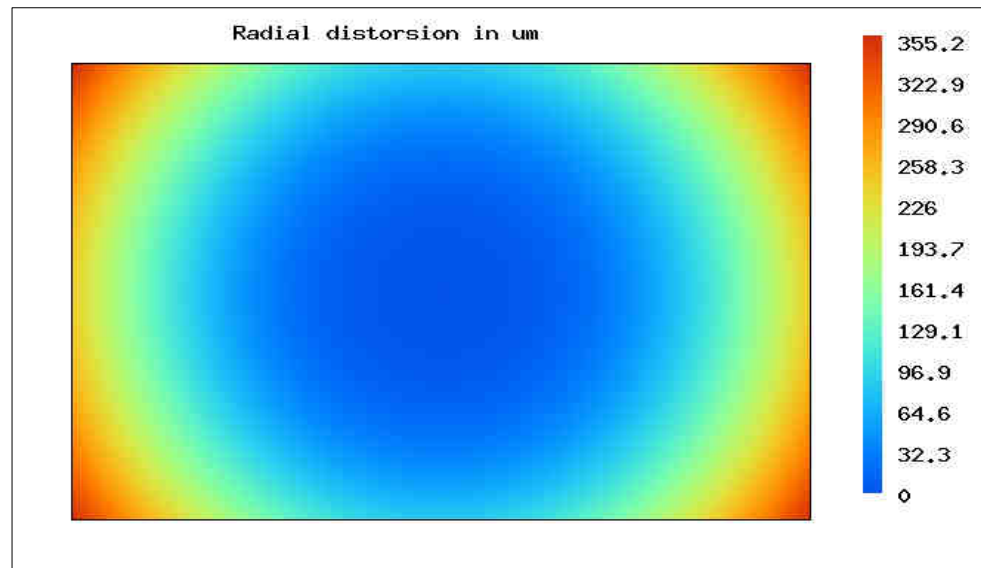
výsledky

parametry kalibrace			úhel záběru		
f	24,422	mm	horizontální	49,8	stupně
W	22,670	mm	vertikální	34,4	stupně
H	15,113	mm			
x₀	11,600	mm	dx	0,005	mm
y₀	7,551	mm	dy	5,800	mm
K1	0,00022540				
K2	-0,00000045		distorze		
P1	0,00000684		r max	13,62	mm
P2	0,00008751		Δr max	357,88	um

průběh distorze:
vzhledem k poloměru r



průběh distorze:
vzhledem k ploše snímače



velikost distorze pro různé hodnoty poloměru r

r		Δr	
0,5	mm	0,03	μm
1	mm	0,22	μm
2	mm	1,79	μm
3	mm	5,98	μm
4	mm	13,96	μm
5	mm	26,76	μm
6	mm	45,17	μm
7	mm	69,72	μm
8	mm	100,60	μm
9	mm	137,64	μm
10	mm	180,22	μm
11	mm	227,24	μm
12	mm	277,07	μm
13	mm	327,45	μm
14	mm	375,51	μm
13,62	mm	357,88	μm

vysvětlivky

W x H	šířka x výška snímacího čipu
x_0, y_0	souřadnice hl. bodu snímku v souř. soustavě PhotoModeleru
dx, dy	souřadnice hl. bodu snímku v souř. soustavě snímkové
K1, K2	koeficienty radiální distorze objektivu
P1, P2	koeficienty tangenciální distorze objektivu
r max	maximální rozměr snímku měřený z jeho středu
dr	velikost radiální distorze pro jednotlivé hodnoty r

Příloha B

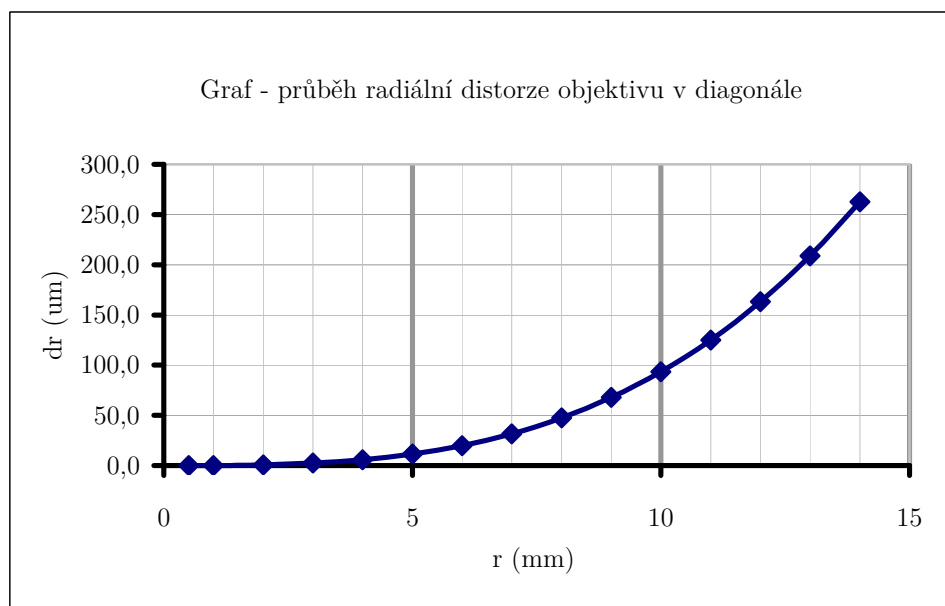
Protokol o průběhu distorze dané ohniskové vzdálenosti; Geometrická kalibrace

kamera - typ	Canon EOS 550D
objektiv - typ	Canon EF 28/2.8
konstanta komory (mm)	28
kalibrační pole	A2
konfigurace	10 snímků
<i>pozn.:</i>	image quality - Large JPG
kalibraci provedl/a	Ondřej Vala
dne	16.12.2010

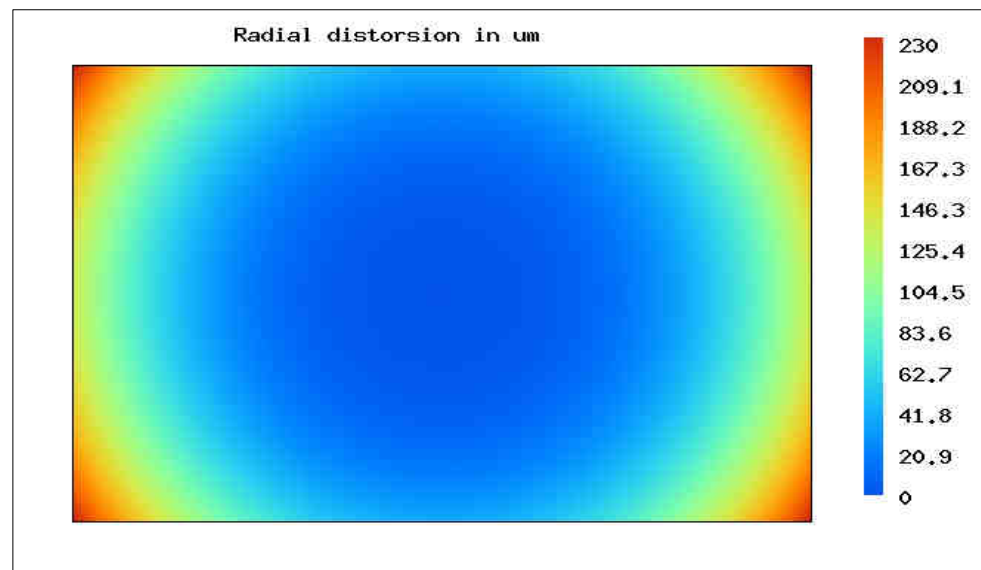
výsledky

parametry kalibrace			úhel záběru		
f	29,483	mm	horizontální	42,1	stupně
W	22,674	mm	vertikální	28,8	stupně
H	15,113	mm			
x_0	11,400	mm	dx	-0,061	mm
y_0	7,617	mm	dy	5,700	mm
K1	0,00009100				
K2	0,00000002		distorze		
P1	0,00000967		r max	13,62	mm
P2	0,00001588		Δr max	241,44	um

průběh distorze:
vzhledem k poloměru r



průběh distorze:
vzhledem k ploše snímače



velikost distorze pro různé hodnoty poloměru r

r	Δr
0,5 mm	0,01 um
1 mm	0,09 um
2 mm	0,73 um
3 mm	2,46 um
4 mm	5,85 um
5 mm	11,45 um
6 mm	19,84 um
7 mm	31,62 um
8 mm	47,38 um
9 mm	67,76 um
10 mm	93,40 um
11 mm	124,99 um
12 mm	163,23 um
13 mm	208,85 um
14 mm	262,63 um
13,62 mm	241,44 um

vysvětlivky

W x H	šířka x výška snímacího čipu
x_0, y_0	souřadnice hl. bodu snímku v souř. soustavě PhotoModeleru
dx, dy	souřadnice hl. bodu snímku v souř. soustavě snímkové
K1, K2	koeficienty radiální distorze objektivu
P1, P2	koeficienty tangenciální distorze objektivu
r max	maximální rozměr snímku měřený z jeho středu
dr	velikost radiální distorze pro jednotlivé hodnoty r

Příloha B

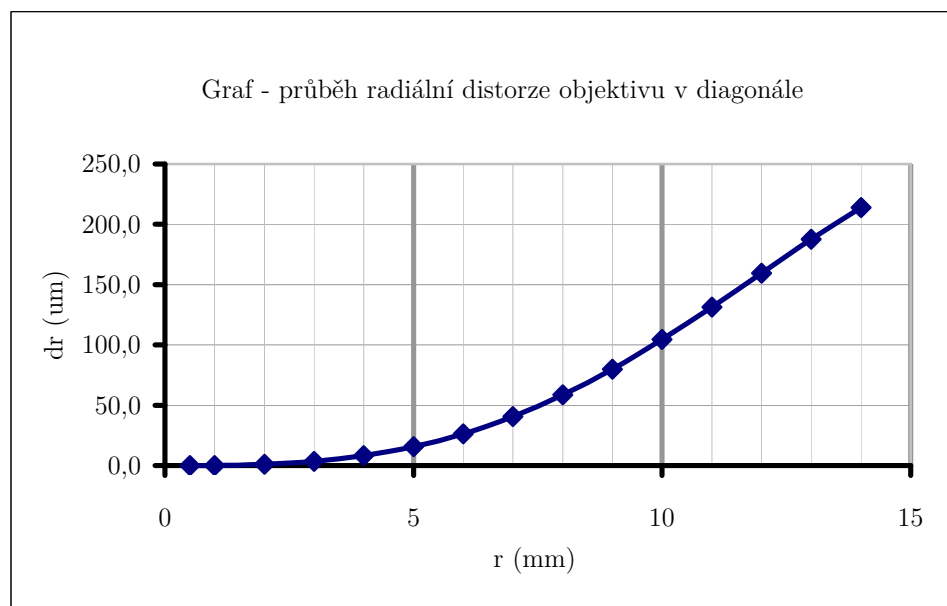
Protokol o průběhu distorze dané ohniskové vzdálenosti; Geometrická kalibrace

kamera - typ	Canon EOS 550D
objektiv - typ	Canon EF-S 18-55mm f/3.5-5.6
konstanta komory (mm)	28
kalibrační pole	A2
konfigurace	10 snímků
<i>pozn.:</i>	image quality - Large JPG
kalibraci provedl/a	Ondřej Vala
dne	19.12.2010

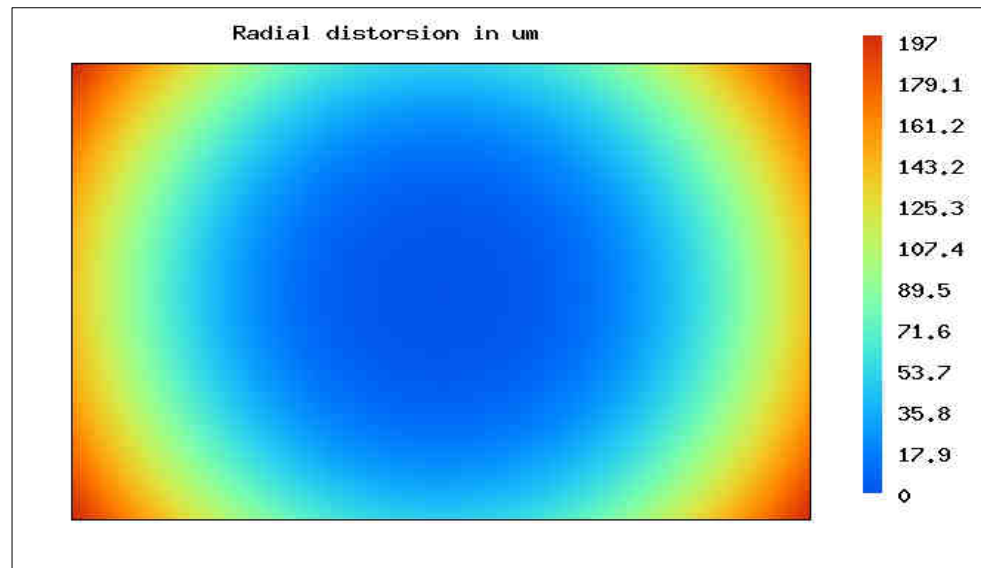
výsledky

parametry kalibrace			úhel záběru		
f	27,756	mm	horizontální	44,4	stupně
W	22,674	mm	vertikální	30,5	stupně
H	15,113	mm			
x_0	11,558	mm	dx	-0,102	mm
y_0	7,659	mm	dy	5,779	mm
K1	0,00013200				
K2	-0,00000028		distorze		
P1	0,00003402		r max	13,62	mm
P2	0,00009030		Δr max	204,45	um

průběh distorze:
vzhledem k poloměru r



průběh distorze:
vzhledem k ploše snímače



velikost distorze pro různé hodnoty poloměru r

r	Δr
0,5 mm	0,02 um
1 mm	0,13 um
2 mm	1,05 um
3 mm	3,50 um
4 mm	8,17 um
5 mm	15,64 um
6 mm	26,37 um
7 mm	40,64 um
8 mm	58,55 um
9 mm	79,95 um
10 mm	104,44 um
11 mm	131,31 um
12 mm	159,52 um
13 mm	187,68 um
14 mm	213,98 um
13,62 mm	204,45 um

vysvětlivky

W x H	šířka x výška snímacího čipu
x_0, y_0	souřadnice hl. bodu snímku v souř. soustavě PhotoModeleru
dx, dy	souřadnice hl. bodu snímku v souř. soustavě snímkové
K1, K2	koeficienty radiální distorze objektivu
P1, P2	koeficienty tangenciální distorze objektivu
r max	maximální rozměr snímku měřený z jeho středu
dr	velikost radiální distorze pro jednotlivé hodnoty r

Příloha B

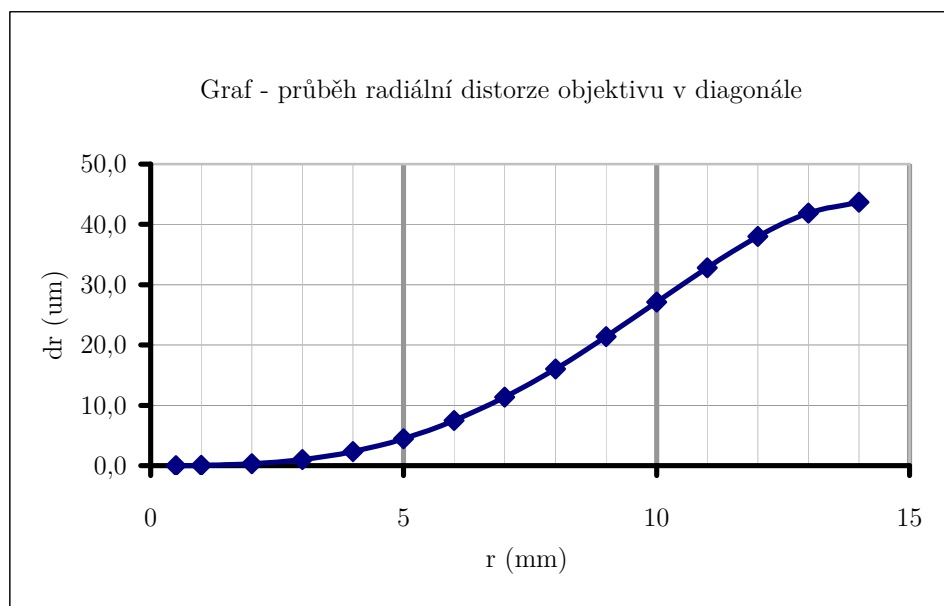
Protokol o průběhu distorze dané ohniskové vzdálenosti; Geometrická kalibrace

kamera - typ	Canon EOS 550D
objektiv - typ	Canon EF-S 18-55mm f/3.5-5.6
konstanta komory (mm)	34
kalibrační pole	A2
konfigurace	10 snímků
<i>pozn.:</i>	image quality - Large JPG
kalibraci provedl/a	Ondřej Vala
dne	5.1.2011

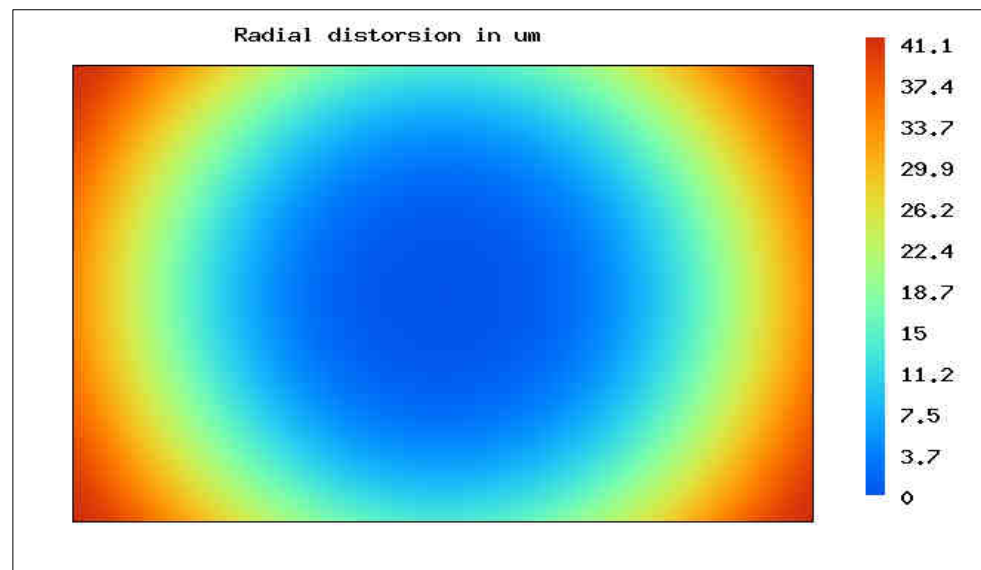
výsledky

parametry kalibrace			úhel záběru		
f	34,671	mm	horizontální	36,2	stupně
W	22,675	mm	vertikální	24,6	stupně
H	15,113	mm			
x_0	11,556	mm	dx	-0,171	mm
y_0	7,727	mm	dy	5,778	mm
K1	0,00003876				
K2	-0,00000012		distorze		
P1	0,00003144		r max	13,62	mm
P2	0,00008878		Δr max	43,33	um

průběh distorze:
vzhledem k poloměru r



průběh distorze:
vzhledem k ploše snímače



velikost distorze pro různé hodnoty poloměru r

r		Δr	
0,5	mm	0,00	um
1	mm	0,04	um
2	mm	0,31	um
3	mm	1,02	um
4	mm	2,36	um
5	mm	4,48	um
6	mm	7,47	um
7	mm	11,34	um
8	mm	16,03	um
9	mm	21,38	um
10	mm	27,11	um
11	mm	32,83	um
12	mm	37,99	um
13	mm	41,90	um
14	mm	43,70	um
13,62	mm	43,33	um

vysvětlivky

W x H	šířka x výška snímacího čipu
x_0, y_0	souřadnice hl. bodu snímku v souř. soustavě PhotoModeleru
dx, dy	souřadnice hl. bodu snímku v souř. soustavě snímkové
K1, K2	koeficienty radiální distorze objektivu
P1, P2	koeficienty tangenciální distorze objektivu
r max	maximální rozměr snímku měřený z jeho středu
dr	velikost radiální distorze pro jednotlivé hodnoty r

Příloha B

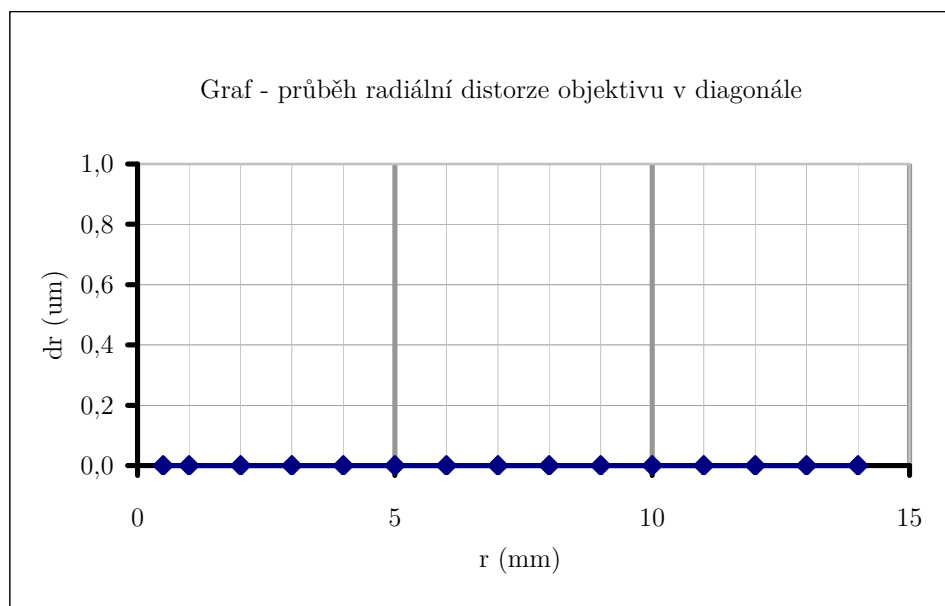
Protokol o průběhu distorze dané ohniskové vzdálenosti; Geometrická kalibrace

kamera - typ	Canon EOS 550D
objektiv - typ	Canon EF-S 18-55mm f/3.5-5.6
konstanta komory (mm)	34
kalibrační pole	A2
konfigurace	10 snímků
<i>pozn.:</i>	image quality - Large JPG
kalibraci provedl/a	Ondřej Vala
dne	5.1.2011

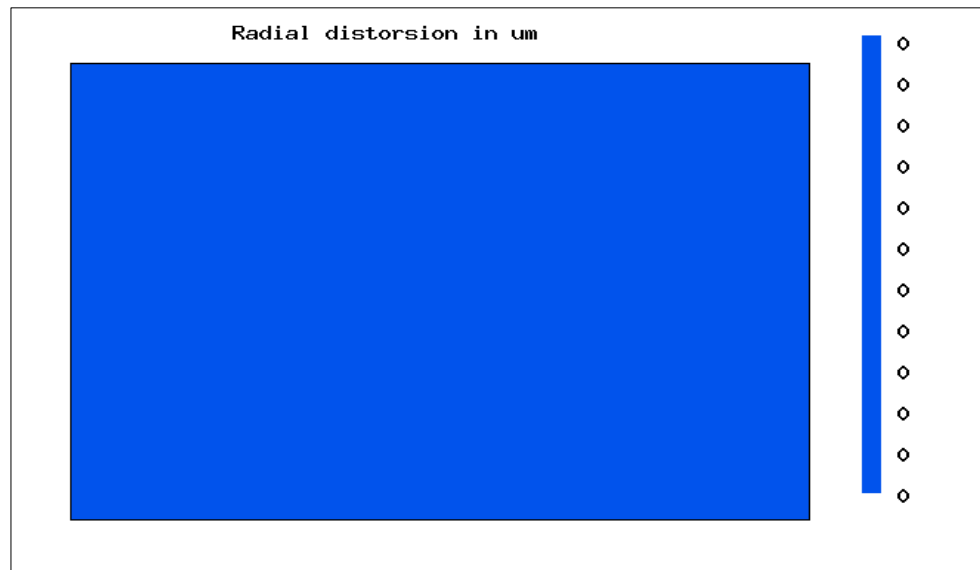
výsledky

parametry kalibrace			úhel záběru		
f	9,178	mm	horizontální	36,2	stupně
W	6,003	mm	vertikální	24,6	stupně
H	4,000	mm			
x_0	3,008	mm	dx	-0,006	mm
y_0	2,006	mm	dy	1,504	mm
K1	0,00000000				
K2	0,00000000		distorze		
P1	-0,00002938		r max	3,61	mm
P2	0,00068730		Δr max	0,00	um

průběh distorze:
vzhledem k poloměru r



průběh distorze:
vzhledem k ploše snímače



velikost distorze pro různé hodnoty poloměru r

r		Δr	
0,5	mm	0,00	um
1	mm	0,00	um
2	mm	0,00	um
3	mm	0,00	um
4	mm	0,00	um
5	mm	0,00	um
6	mm	0,00	um
7	mm	0,00	um
8	mm	0,00	um
9	mm	0,00	um
10	mm	0,00	um
11	mm	0,00	um
12	mm	0,00	um
13	mm	0,00	um
14	mm	0,00	um
3,61	mm	0,00	um

vysvětlivky

W x H	šířka x výška snímacího čipu
x_0, y_0	souřadnice hl. bodu snímku v souř. soustavě PhotoModeleru
dx, dy	souřadnice hl. bodu snímku v souř. soustavě snímkové
K1, K2	koeficienty radiální distorze objektivu
P1, P2	koeficienty tangenciální distorze objektivu
r max	maximální rozměr snímku měřený z jeho středu
dr	velikost radiální distorze pro jednotlivé hodnoty r

Příloha B

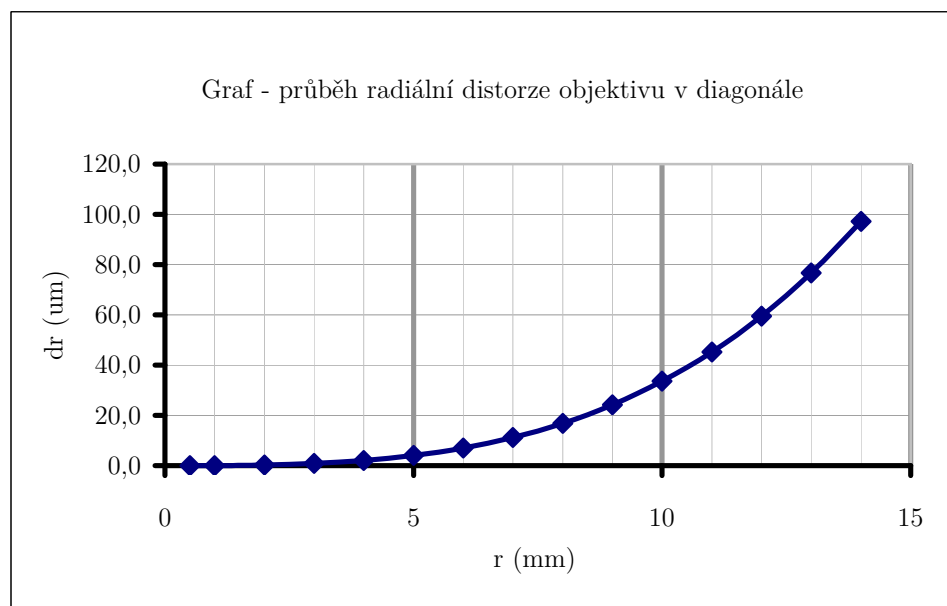
Protokol o průběhu distorze dané ohniskové vzdálenosti; Geometrická kalibrace

kamera - typ	Canon EOS 550D
objektiv - typ	Canon EF 50/1.8 II
konstanta komory (mm)	50
kalibrační pole	A2
konfigurace	10 snímků
<i>pozn.:</i>	image quality - Large JPG
kalibraci provedl/a	Ondřej Vala
dne	16.12.2010

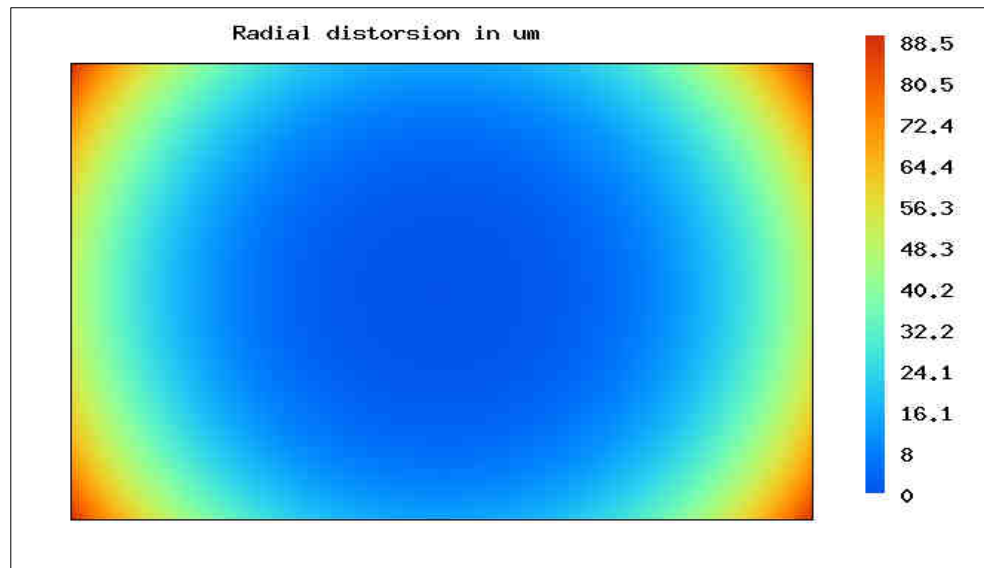
výsledky

parametry kalibrace			úhel záběru		
f	54,374	mm	horizontální	23,6	stupně
W	22,670	mm	vertikální	15,8	stupně
H	15,113	mm			
x_0	11,426	mm	dx	0,010	mm
y_0	7,547	mm	dy	5,713	mm
K1	0,00003166				
K2	0,00000002		distorze		
P1	0,00000456		r max	13,62	mm
P2	-0,00000059		Δr max	89,06	um

průběh distorze:
vzhledem k poloměru r



průběh distorze:
vzhledem k ploše snímače



velikost distorze pro různé hodnoty poloměru r

r		Δr	
0,5	mm	0,00	um
1	mm	0,03	um
2	mm	0,25	um
3	mm	0,86	um
4	mm	2,05	um
5	mm	4,02	um
6	mm	6,99	um
7	mm	11,18	um
8	mm	16,84	um
9	mm	24,22	um
10	mm	33,58	um
11	mm	45,24	um
12	mm	59,49	um
13	mm	76,70	um
14	mm	97,22	um
13,62	mm	89,06	um

vysvětlivky

W x H	šířka x výška snímacího čipu
x_0, y_0	souřadnice hl. bodu snímku v souř. soustavě PhotoModeleru
dx, dy	souřadnice hl. bodu snímku v souř. soustavě snímkové
K1, K2	koeficienty radiální distorze objektivu
P1, P2	koeficienty tangenciální distorze objektivu
r max	maximální rozměr snímku měřený z jeho středu
dr	velikost radiální distorze pro jednotlivé hodnoty r

Příloha B

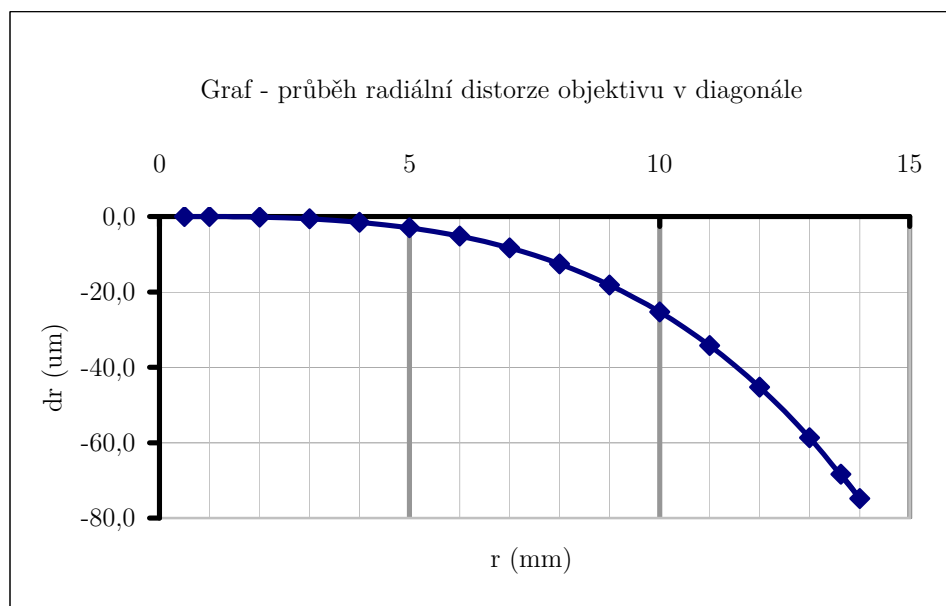
Protokol o průběhu distorze dané ohniskové vzdálenosti; Geometrická kalibrace

kamera - typ	Canon EOS 550D
objektiv - typ	Canon EF-S 18-55mm f/3.5-5.6
konstanta komory (mm)	55
kalibrační pole	A2
konfigurace	10 snímků
<i>pozn.:</i>	image quality - Large JPG
kalibraci provedl/a	Ondřej Vala
dne	20.12.2010

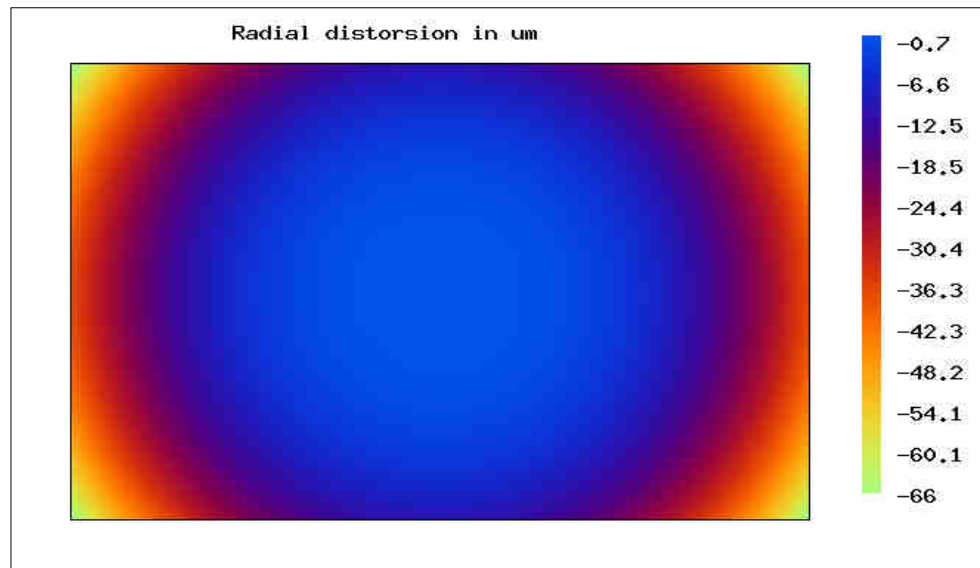
výsledky

parametry kalibrace			úhel záběru		
f	53,740	mm	horizontální	23,8	stupně
W	22,667	mm	vertikální	16,0	stupně
H	15,113	mm			
x_0	11,490	mm	dx	-0,176	mm
y_0	7,733	mm	dy	5,745	mm
K1	-0,00002328				
K2	-0,00000002		distorze		
P1	0,00003482		r max	13,62	mm
P2	0,00006672		Δr max	-68,37	um

průběh distorze:
vzhledem k poloměru r



průběh distorze:
vzhledem k ploše snímače



velikost distorze pro různé hodnoty poloměru r

r	Δr
0,5 mm	0,00 um
1 mm	-0,02 um
2 mm	-0,19 um
3 mm	-0,63 um
4 mm	-1,51 um
5 mm	-2,97 um
6 mm	-5,19 um
7 mm	-8,33 um
8 mm	-12,59 um
9 mm	-18,17 um
10 mm	-25,31 um
11 mm	-34,26 um
12 mm	-45,28 um
13 mm	-58,69 um
14 mm	-74,81 um
13,62 mm	-68,37 um

vysvětlivky

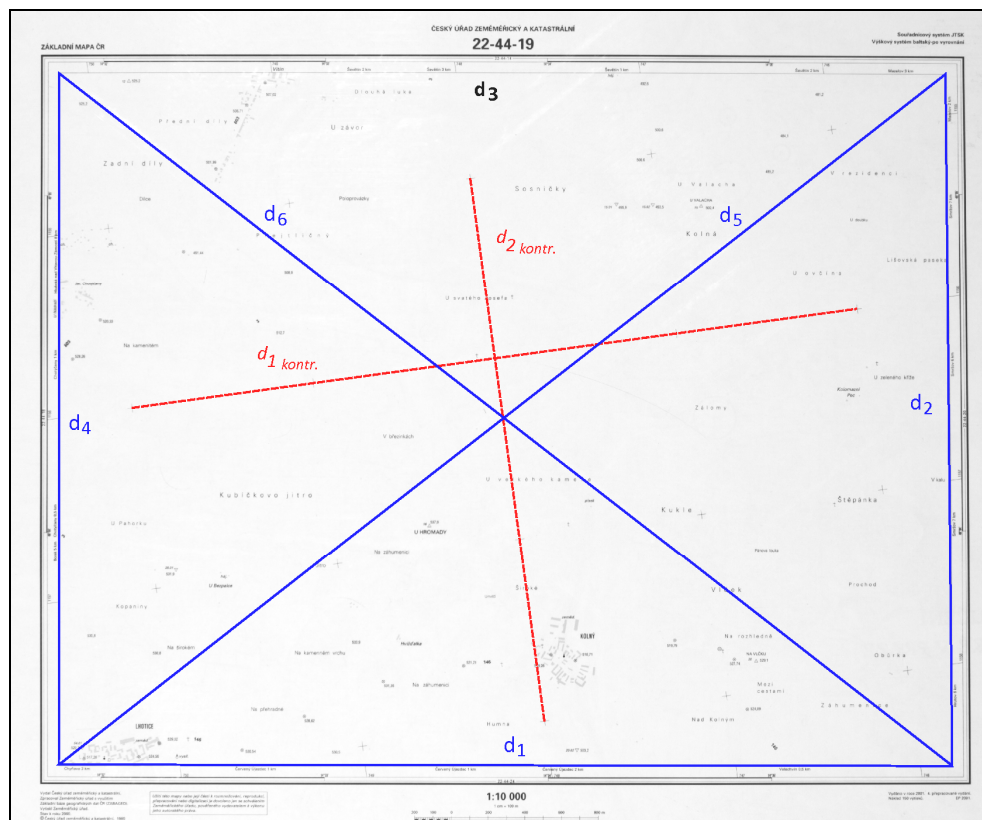
W x H	šířka x výška snímacího čipu
x_0, y_0	souřadnice hl. bodu snímku v souř. soustavě PhotoModeleru
dx, dy	souřadnice hl. bodu snímku v souř. soustavě snímkové
K1, K2	koeficienty radiální distorze objektivu
P1, P2	koeficienty tangenciální distorze objektivu
r max	maximální rozměr snímku měřený z jeho středu
dr	velikost radiální distorze pro jednotlivé hodnoty r

Příloha C

Hodnoty naměřených kontrolních a transformačních délek;

Geometrická kalibrace

Schéma:



Naměřené hodnoty:

Kontrolní délky

Délka	1. bod	2. bod	rozdíl	průměr
$d_{1kontr.}$	3017	7017	4000	3999,3 m
	3131	7130	3999	
	3256	7255	3999	
$d_{2kontr.}$	2035	5034	2999	2998,7 m
	2005	5004	2999	
	1956	4954	2998	

Transformační délky

Délka [m]	1. bod	2. bod	rozdíl	průměr
d ₁	2878	7755	4877	4875,7 m
	3239	8114	4875	
	3317	8192	3799	
d ₂	5040	8839	3800	3799,7 m
	4786	8586	3800	
	4516	8316	3800	
d ₃	3422	8295	4873	4873,0 m
	2970	7844	4874	
	3073	7945	4872	
d ₄	4092	7891	3799	3800,3 m
	4475	8276	3801	
	4739	8540	3801	
d ₅	2769	8930	6161	6160,7 m
	2238	8399	6161	
	1988	8148	6160	
d ₆	2816	9017	6201	6200,3 m
	3088	9289	6201	
	3353	9552	6199	

Příloha D

Postup spojení dvojice rastrových dat v programu Hugin;

Geometrická kalibrace

Postup:

Následující postup byl prováděn v programu Hugin, verze 2010.4.0. Skládal se z těchto dílčích kroků:

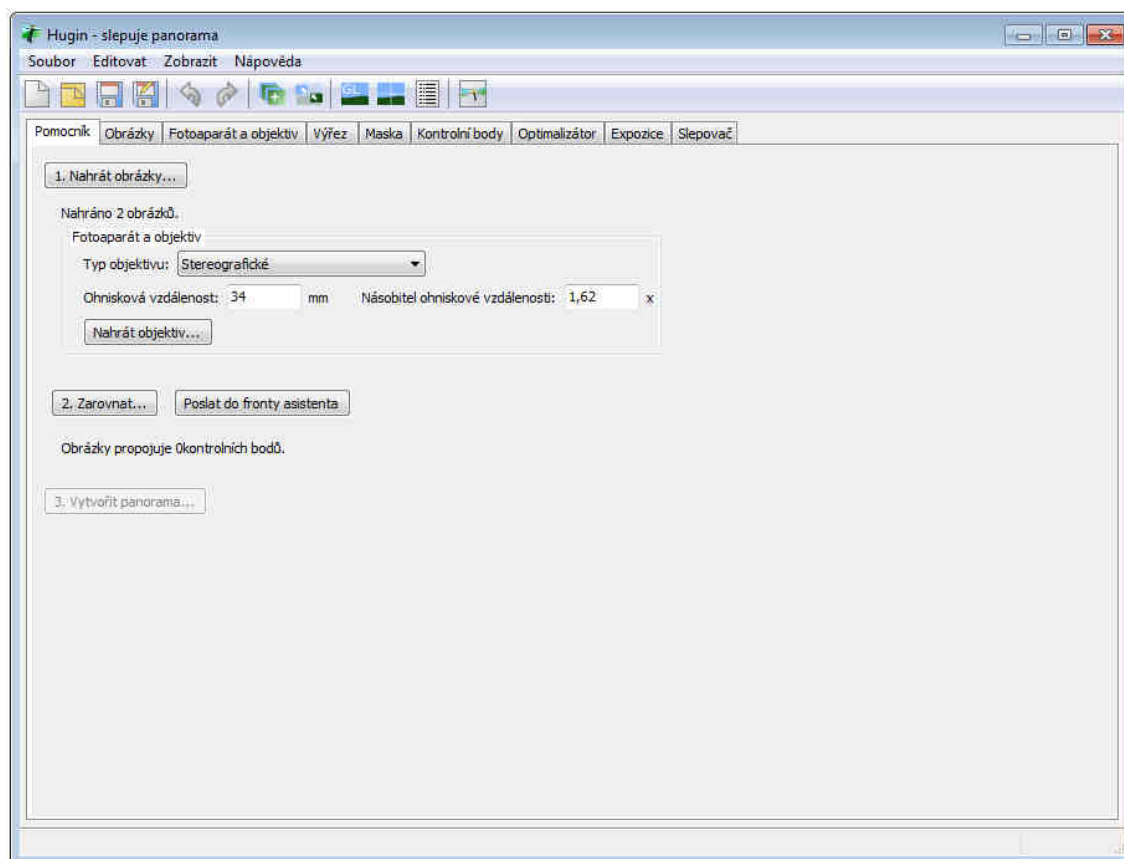
- 1) Import snímků
- 2) Volba kontrolních bodů
- 3) Nastavení a výpočet optimalizace
- 4) Nastavení spojení
- 5) Spojení snímků

Jednotlivé kroky jsou dále podrobně popsány. Pro lepší pochopení textu je u některých částí přiložen výřez daného dialogového okna programu.

1) Import snímků

Jako propojovací snímky se použily dvě části *Základní mapy ČR 1 : 10 000*. Tyto snímky byly před spojením zbaveny vlivu z distorze v programu DistortionPM. Poté byly otočeny tak, aby jejich spojením vznikl vodorovný mapový klad.

Import snímků byl zadáván a nastaven v záložce *Pomocník*. Zde byla za *Typ objektivu* zvolena možnost *Stereografické*. Po *Nahrání obrázků...* by měl program sám určit parametry objektivu při snímání. V tomto případě tomu tak, z důvodu opravy distorze v programu DistortionPM nebylo, a proto byla *Ohnisková vzdálenost* zadána hodnotou 34 mm a *Násobitel ohniskové vzdálenosti* jako 1,62 x. Záložky *Obrázky*, *Fotoaparát a objektiv*, *Výřez* a *Maska* byly ponechány beze změny.

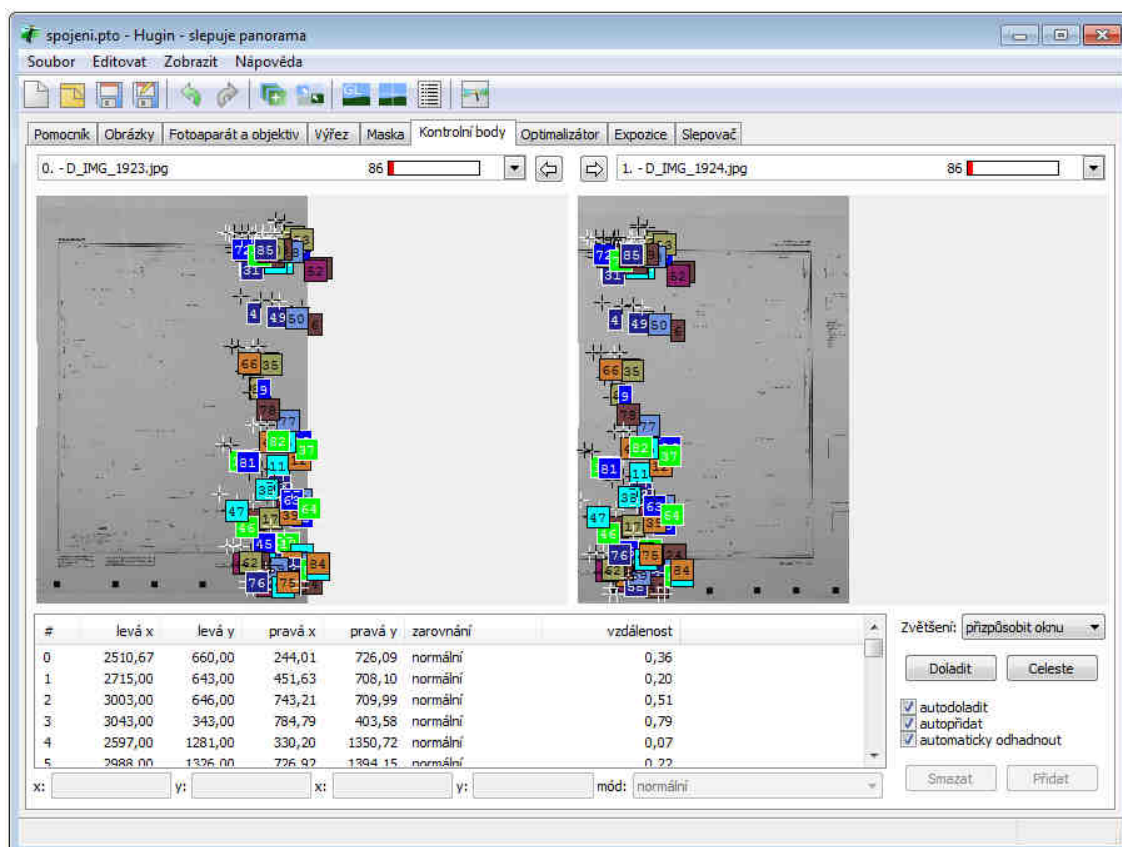


Obr. 1: Nastavení *Fotoaparátu a objektivu*, záložka *Pomocník*

2) Volba kontrolních bodů

Volba kontrolních, resp. propojovacích bodů probíhala v záložce *Kontrolní body*. Tyto body mohly být zadány zcela automaticky, poloautomaticky a ručně. Nastavení bylo možné kdykoliv změnit. Z důvodu dosažení co nejvyšší přesnosti byly kontrolní body určeny poloautomaticky.

Princip zadání spočíval v určení dobře viditelného a rozpoznatelného bodu na snímku levém a po jeho zadání myší, automatickém označení na snímku pravém. První bod však musel být pro správné nastavení funkce vyhledán a potvrzen ručně na obou snímcích. Při špatném automatickém určení na pravém snímku bylo možné bod odstranit ze seznamu níže. Za propojovací body byly nejčastěji voleny bodové značky nebo ostře rozpoznatelné konce linií různých objektů. Celkem bylo zadáno 86 kontrolních bodů. Z důvodu zamezení ztráty dat byl projekt uložen.

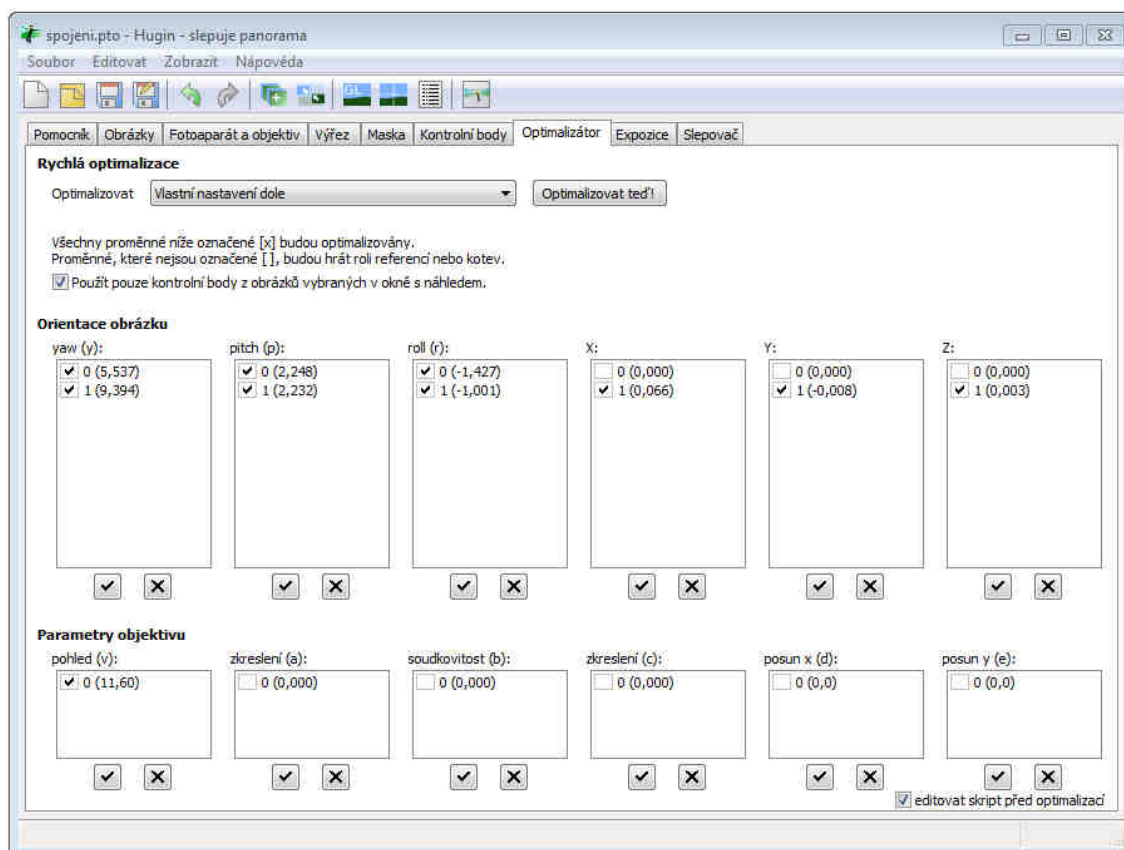


Obr. 2: Volba propojovacích bodů, záložka *Kontrolní body*

3) Nastavení a výpočet optimalizace

Nastavení prvků optimalizace bylo provedeno v záložce *Optimalizátor*. Volba správného nastavení byla volena po testování různých kombinací prvků *Orientace obrázku* a *Parametry objektivu*. Pro úpravu těchto parametrů byla jako možnost *Optimalizovat* zvoleno *Vlastní nastavení dole* (s níže zvolenou kombinací). Totožných výsledků bylo rovněž dosaženo metodou *Pozice, posun, pohled* (y, p, r, x, y, z, v).

Po volbě zadaných parametrů byl ve stejné záložce spuštěn výpočet 1. optimalizace pomocí tlačítka *Optimalizovat teď!*. Ihned po jeho dokončení si bylo možné prohlédnout dosažené odchylky. Pro jejich snížení byly ze seznamu propojovacích bodů odebrány body, které měly *vzdálenost* výrazně větší než zbylé ostatní propojovací body. Zde bylo důležité brát v úvahu, že menší odchylka nutně neznamená kvalitnější spojení snímků. Proto bylo smazáno jen minimum bodů. Po jejich odstranění byla provedena 2. optimalizace.



Obr. 3: Volba parametrů optimalizace, záložka *Optimalizátor*

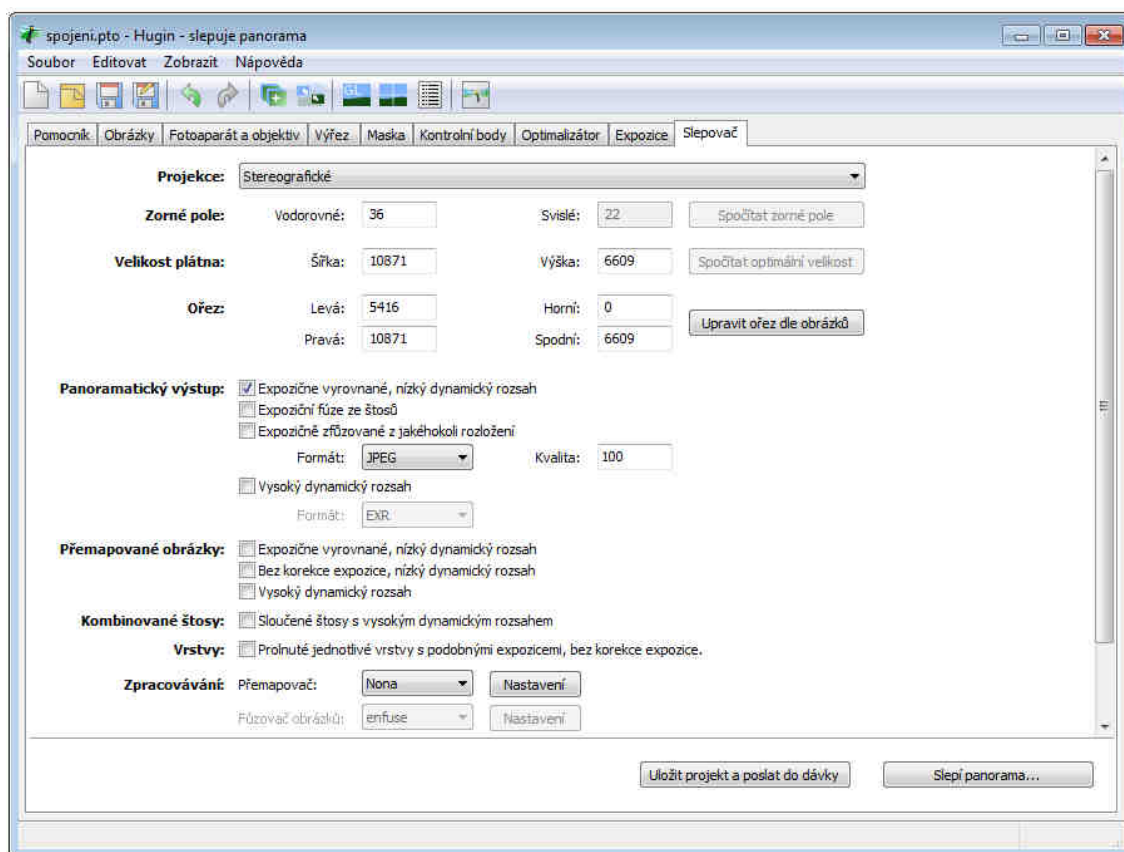
4) Nastavení spojení

Tato činnost byla, stejně jako poslední krok provedena v záložce *Slepovač*. Prvním krokem bylo nastavení *Projekce*, a to na možnost *Stereografické*. Rastrový výstup byl zvolen do *Formátu JPEG*. Hodnoty *Zorného pole* byly zčásti upravovány pomocí funkce *Náhledu panoramatu* a zčásti pomocí odhadu.

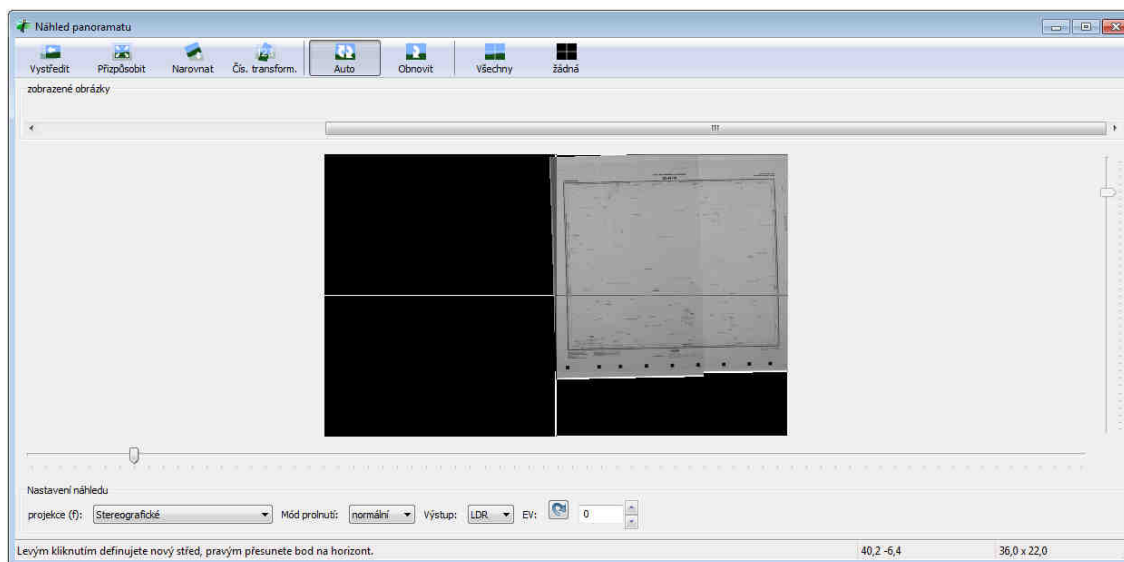
Důležité však bylo, aby rozdíl hodnot *Levá-Pravá* a *Horní-Spodní* parametru *Ořez* byl roven přibližně velikosti souvislé dvojice daných částí podkladové mapy. Souběžně s tím byla upravována *Velikost plátna*.

5) Spojení rastrů

Posledním krokem bylo spojení části mapy pomocí tlačítka *Slepí panorama...* ve stejné záložce. Před tímto zadáním bylo nutné zkontrolovat, zda cesta k datovým souborům neobsahuje mezery. Pokud by tomu tak bylo, nemusel by se výpočet a vytvoření nového rastru provést. Veškerá zdrojová a výsledná data jsou součástí přílohy C.



Obr. 4: Nastavení spojení, záložka *Slepovač*



Obr. 4: Nastavení *Zorného pole*, funkce *Náhled panoramatu*

Příloha E

Tvorba a přiřazení DNG profilu snímku;

Barevná kalibrace

Postup:

Následující postup byl prováděn v programech Camera Raw, verze 6.4 a ColorChecker Passport, verze 1.0.0. Skládal se z těchto dílčích kroků:

- 1) **Příprava prostředí**
- 2) **Nasnímání kalibrační tabulky ColorChecker ve formátu RAW**
- 3) **Převod snímku tabulky do formátu DNG**
- 4) **Import snímku tabulky ve formátu DNG, tvorba DNG profilu**
- 5) **Přiřazení DNG profilu libovolnému snímku**
- 6) **Volba barevného prostoru a dalších nastavení**

Jednotlivé kroky jsou dále podrobně popsány. Pro lepší pochopení textu je u některých částí přiložen výřez daného dialogového okna programu.

1) **Příprava prostředí**

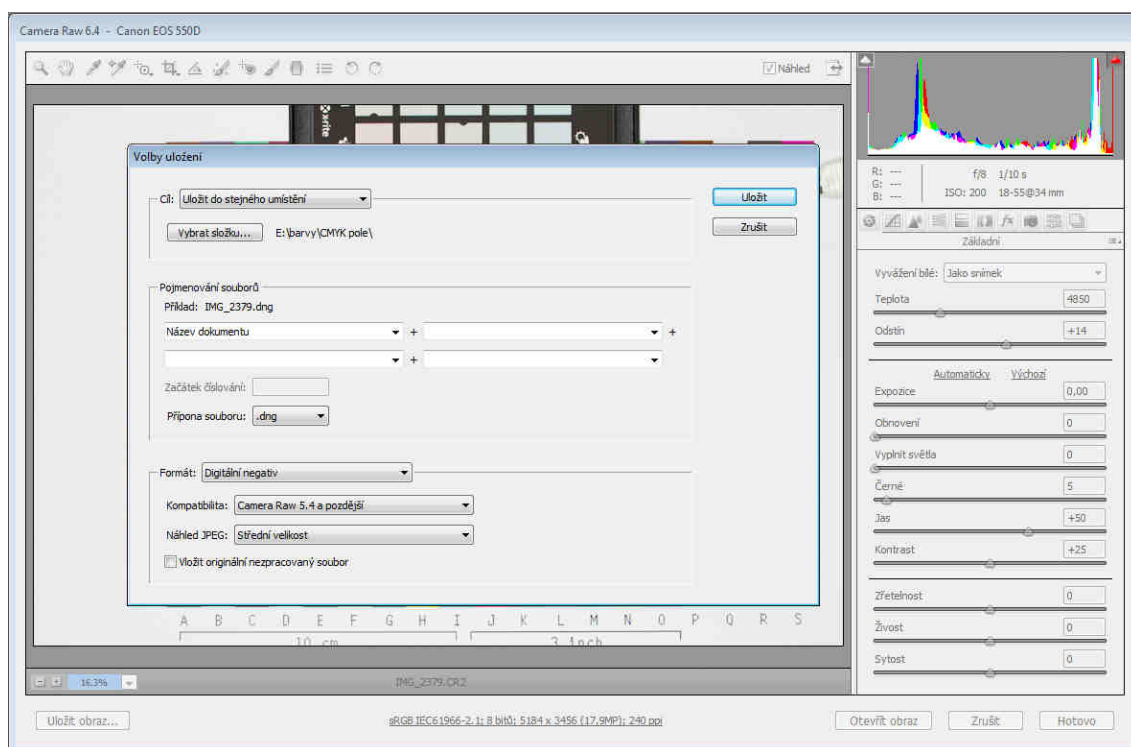
V prvním kroku bylo připraveno prostředí, ve kterém byly snímány mapové či další kartografické podklady. Největší důraz byl kladen na jejich rovnoměrný a dostatečný osvit. Při změně těchto podmínek bylo nutné provést nový výpočet DNG profilu.

2) **Nasnímání kalibrační tabulky ColorChecker ve formátu RAW**

Poté byla nasnímána kalibrační tabulka ColorChecker Passport a vybraná předloha, u níž se prováděla barevná kalibrace. Vzhledem k ukládání dat do formátu RAW nebylo nutné zadávat vyvážení bílé. Oba snímky byly staženy ve formátu CR2, tj. specifickém RAW formátu kamery Canon EOS 550D, na disk počítače.

3) Převod snímku tabulky do formátu DNG

Snímek s barevnou kalibrační tabulkou byl nahrán do software Adobe Photoshop CS5 verze 12.0, kde byl jako první načten v programu Camera Raw. V tomto programu byl bez jakýchkoliv úprav pomocí možnosti *Uložit obraz...* exportován do formátu DNG. Volby uložení se ponechaly nezměněné.

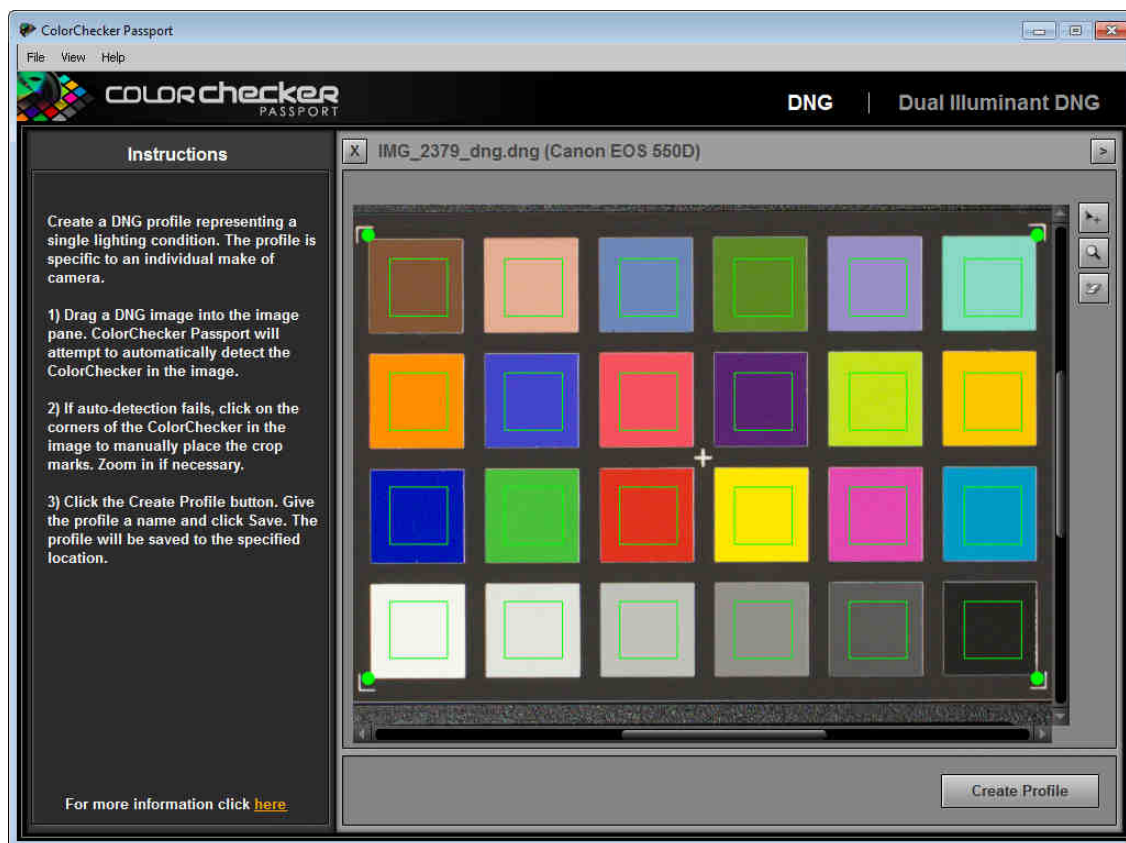


Obr. 1: Nastavení exportu do formátu DNG, program Camera Raw

4) Import snímku tabulky ve formátu DNG, tvorba DNG profilu

Nově vytvořený DNG soubor s kalibrační tabulkou byl přetažen, resp. importován do programu ColorChecker Passport. V něm byla tabulka automaticky nalezena a vycentrována pomocí značek umístěných v jejích rozích. Dále byl pro každé pole vymezen prostor ohraničující danou barvu.

DNG profil ve formátu DCP byl vytvořen po stisku tlačítka *Create Profile*. V horní části dialogového okna bylo možné zvolit, zda má být vypočten pro klasický osvit (D50 či D65) či možnost *Dual Illuminant*. Poté se zadal název nového profilu a datová cesta k němu. Ta byla implicitně zadána do složky s ostatními kalibračními profily fotoaparátů programu Camera Raw.



Obr. 2: Centrace barevné kalibrační tabulky, program ColorChecker Passport

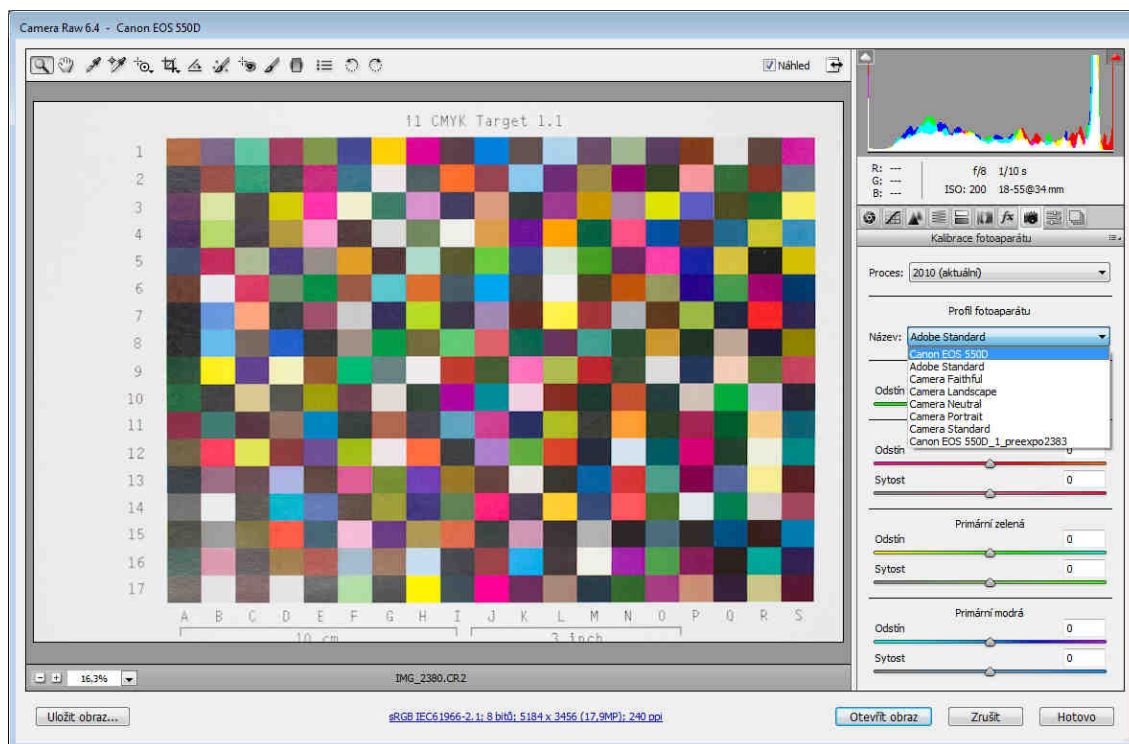
5) Přiřazení DNG profilu libovolnému snímku

Pod pojem libovolný snímek si lze představit jakýkoliv snímek pořízený v nastaveném a nezměněném prostředí, pro které byl vytvářen DNG profil, resp. snímána barevná kalibrační tabulka. V případě této práce se jednalo o snímky barevných terčů pro kalibraci tiskárny a zvolenou mapovou předlohu.

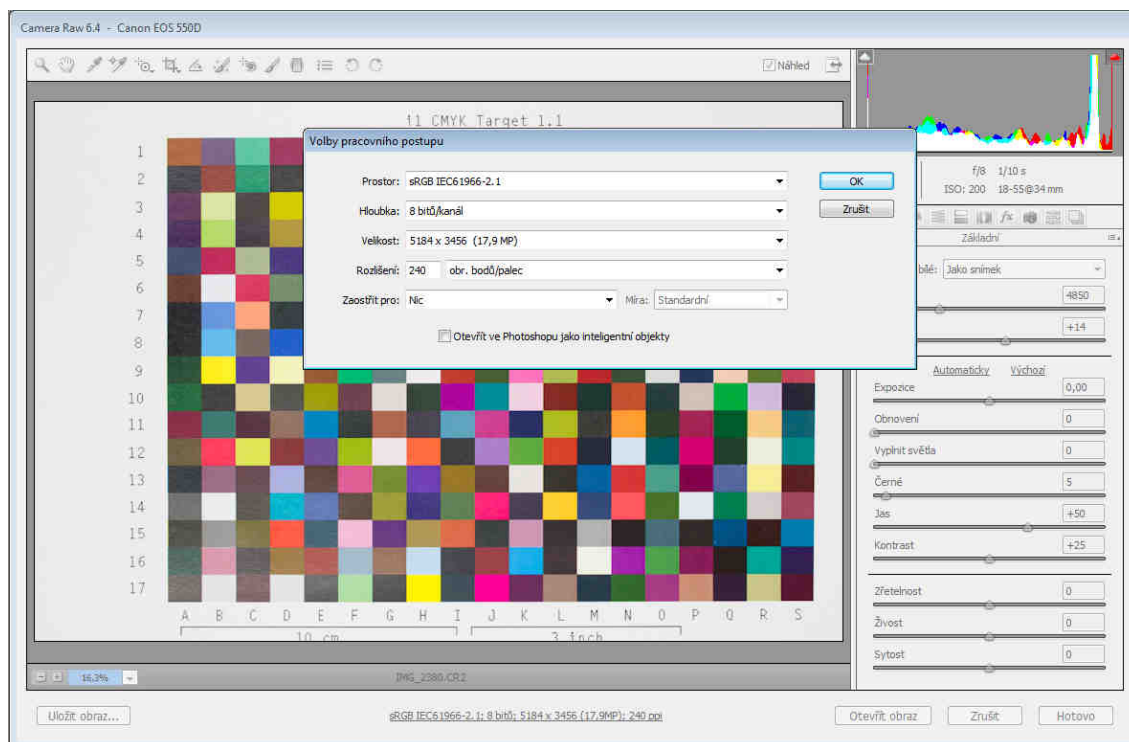
Tento snímek ve formátu CR2 byl nahrán do softwaru Adobe Photoshop CS5, kde se implicitně otevřel v programu Camera Raw. DNG profil, který byl vytvořen v předešlých krocích, mu byl přiřazen v záložce *Kalibrace fotoaparátu*, možnosti *Profil fotoaparátu*, a to z rozbalovací lišty.

6) Volba barevného prostoru a dalších nastavení

Dříve, než byl takto upravený snímek mapové předlohy otevřen pro následné zpracování v programu Adobe Photoshop CS5, bylo možné v nastavení *Volby pracovního postupu* zvolit barevný prostor, hloubku, velikost obrázku a další parametry.



Obr. 3: Volba profilu fotoaparátu, program Camera Raw



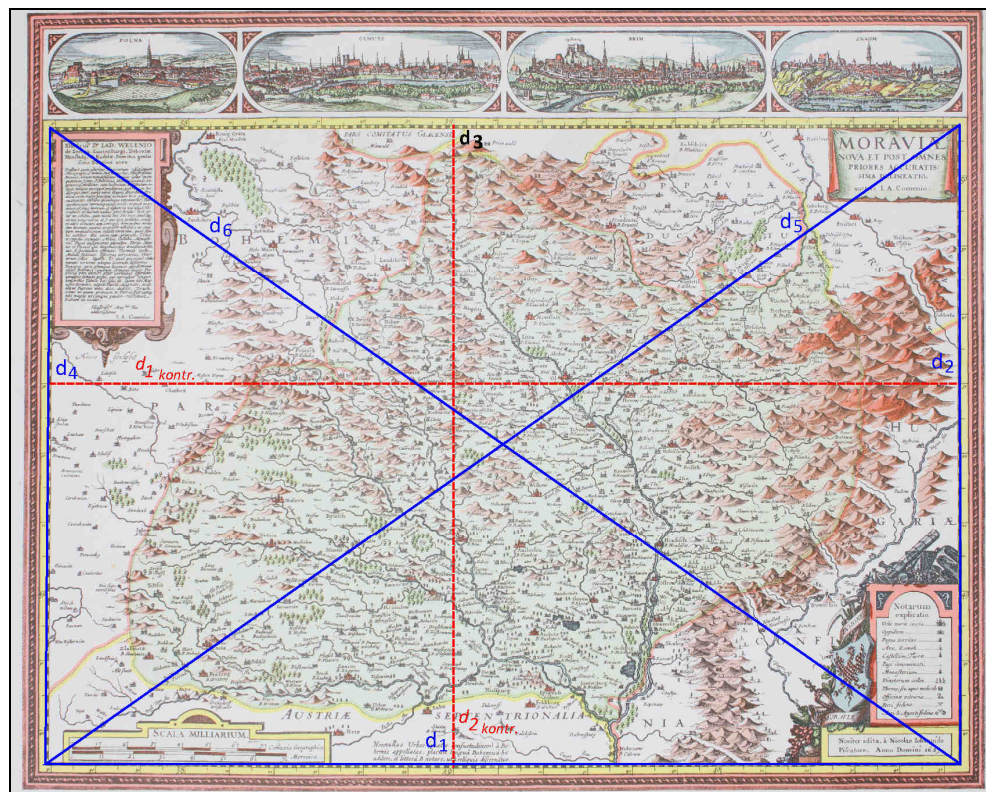
Obr. 4: Volba zbylých nastavení snímku, program Camera Raw

Příloha G

Hodnoty naměřených kontrolních a transformačních délek;

Praktické využití postupu

Schéma:



Naměřené hodnoty:

Kontrolní délky

Délka	1. bod	2. bod	rozdíl	průměr
d _{1kontr.}	2150	7337	5187	0,51877 m
	2372	7561	5189	
	2477	7664	5187	
d _{2kontr.}	3770	7425	3655	0,36560 m
	3478	7134	3656	
	3228	6885	3657	

Transformační délky

Délka [m]	1. bod	2. bod	rozdíl	průměr
d ₁	3446	8633	5187	0,51873 m
	3290	8478	5188	
	3445	8632	5187	
d ₂	4082	7723	3641	0,36413 m
	3686	7327	3641	
	3377	7019	3642	
d ₃	2763	7924	5161	0,51593 mm
	2372	7534	5162	
	2076	7237	5161	
d ₄	3333	6961	3628	0,36283 mm
	3079	6707	3628	
	2988	6617	3629	
d ₅	3357	9687	6330	0,63317 mm
	3335	9667	6332	
	3335	9668	6333	
d ₆	3007	9319	6312	0,63107 mm
	2777	9087	6310	
	2678	8988	6310	