

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta aplikovaných věd

Katedra matematiky

## **Bakalářská práce**

# **Digitální záznam obrazu a jeho využití ve fotogrammetrii**

Plzeň 2007

Roman Rychtera

## **Prohlášení**

Předkládám tuto bakalářskou práci jakožto součást procesu dokončení bakalářského studia na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Zároveň tímto prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně. Všechny informační zdroje, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v úplném seznamu použité literatury, který je součástí bakalářské práce.

V Plzni dne \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## **Poděkování**

Velmi rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Radkovi Fialovi a také Ing. Jiřímu Šímovi, CSc., kteří mi poskytli řadu materiálů, informací, kontaktů a odborných rad, které byly velmi užitečné při psaní předkládané bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří přispěli svými názory a v práci mě podporovali.

## Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá záznamem digitálního obrazu a jeho využitím ve fotogrammetrii. Přehledně popisuje jednotlivé procesy, které se na vzniku digitálního obrazu podílejí, a zároveň se zabývá technikou, která tento záznam umožňuje. Práce se rovněž zabývá parametry skenerů a digitálních komor pro pozemní a leteckou fotogrammetrii. Dále srovnává výhody a nevýhody snímkování na film s digitálním záznamem obrazu a seznamuje s možnostmi dalšího využití digitálního záznamu.

## Abstract

This bachelor thesis concerns with methods of capturing digital images and explain how they are used in photogrammetry. It describes important processes participating in capturing digital images and required technical equipment such as photogrammetric scanners, cameras for aerial and terrestrial photogrammetry, including their characteristics. Furthermore, it compares advantages and disadvantages of digital and film photography and shows further opportunities in practical use of digital image.

## Klíčová slova

fotogrammetrie, digitální fotografie, záznam obrazu, klasická fotografie, senzory, skenery, letecké digitální komory

## Key words

photogrammetry, digital photography, image capturing, film photography, sensors, scanners, digital aerial cameras

## Použité zkratky

<b>ADC</b>	<i>Analog to Digital Converter</i> , převaděč spojitého signálu na diskrétní hodnoty
<b>APS-C</b>	<i>Advanced Photo System type-C</i> , typ senzoru určitých rozměrů
<b>ASA</b>	<i>American Standards Organization</i> , americká normalizační organizace
<b>BMP</b>	<i>Bitmap</i> , grafický formát
<b>CCD</b>	<i>Charged Coupled Device</i> , typ obrazového snímače
<b>CF</b>	<i>Compact Flash</i> , typ paměťového média
<b>CMOS</b>	<i>Complementary Metal Oxide Semiconductor</i> , typ obrazového snímače
<b>CRT</b>	<i>Cathode Ray Tube</i> , označení běžné obrazovky s katodovou trubicí
<b>D-SLR</b>	<i>Digital Single-Lens Reflex</i> , označení digitální jednooké zrcadlovky
<b>DIN</b>	<i>Deutsches Institut für Normung</i> , německá normalizační organizace
<b>DPI</b>	<i>Dots per Inch</i> , počet bodů na palec
<b>DPZ</b>	dálkový průzkum země
<b>EVF</b>	<i>Electronic Viewfinder</i> , elektronický hledáček
<b>FMC</b>	<i>Forward Motion Compensation</i> , kompenzace smazu obrazu
<b>GIS</b>	<i>Geographic Information System</i> , geografický informační systém
<b>GPS</b>	<i>Global Positioning System</i> , globální systém určování polohy
<b>IMU</b>	<i>Inertial Measurement Unit</i> , inerciální měřicí jednotka prvků vnější orientace
<b>ISO</b>	<i>International Standards Organization</i> , mezinárodní normalizační organizace
<b>JPEG</b>	<i>Joint Photographic Experts Group</i> , grafický formát
<b>LCD</b>	<i>Liquid Crystal Display</i> , displej s tekutými krystaly
<b>NIR</b>	<i>Near Infrared</i> , vlnové délky blízké infračervené
<b>PC</b>	<i>Personal Computer</i> , osobní počítač
<b>RAW</b>	<i>RAW</i> , grafický formát (v překladu hrubý, surový či nezpracovaný)
<b>RGB</b>	<i>Red Green Blue</i> , základní barevné schéma, červená zelená modrá
<b>RGBG</b>	<i>Red Green Blue Green</i> , Bayerovo barevné schéma
<b>RGBE</b>	<i>Red Green Blue Emerald</i> , modifikované Bayerovo schéma
<b>SLR</b>	<i>Single-Lens Reflex</i> , označení jednooké zrcadlovky
<b>TIFF</b>	<i>Tagged Image File Format</i> , grafický formát
<b>TTL</b>	<i>Through The Lens</i> , typ hledáčku jednooké zrcadlovky
<b>UV</b>	ultrafialové záření

# Obsah

<b>OBSAH.....</b>	<b>6</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>8</b>
<b>1 VZNIK DIGITÁLNÍHO OBRAZU .....</b>	<b>9</b>
1.1 Vznik digitálního obrazu přímým záznamem .....	11
1.2 Vznik digitálního obrazu digitalizací analogové předlohy .....	11
<b>2 PŘÍSTROJOVÁ TECHNIKA UMOŽŇUJÍCÍ VZNIK DIGITÁLNÍHO OBRAZU ....</b>	<b>12</b>
2.1 Fotogrammetrické skenery .....	12
2.2 Senzory digitálních fotoaparátů a digitálních komor .....	15
2.2.1 Úvod k sensorům .....	15
2.2.2 Senzory CCD a CMOS .....	15
2.2.3 Citlivost ISO .....	19
2.2.4 Funkce A/D převodníku .....	19
2.2.5 Bayerova maska .....	19
2.2.6 Interpolace barev .....	20
2.2.7 RGBE.....	21
2.2.8 Uspořádání buněk sensorů .....	21
2.3 Obrazový procesor.....	23
2.4 Základní parametry fotoaparátů.....	24
2.4.1 Typ přístroje .....	24
2.4.2 Hledáček.....	24
2.4.3 Objektiv .....	25
2.4.4 Citlivost ISO .....	26
2.4.5 Měření expozice .....	27
2.4.6 Stabilizátor obrazu .....	28
2.4.7 Sekvenční snímání .....	28
2.5 Parametry digitálních fotoaparátů.....	28
2.5.1 Rozlišení senzoru .....	28
2.5.2 Rozlišení snímku .....	29
2.5.3 Grafický formát snímku .....	29
2.5.4 LCD obrazovka .....	29
2.5.5 Videosekvence a zvuk.....	30
2.5.6 Menu a nastavitelné funkce.....	30

2.6	Parametry digitálních komor pro pozemní fotogrammetrii .....	30
2.7	Parametry digitálních komor pro leteckou a družicovou fotogrammetrii.....	33
2.7.1	Letecké digitální komory .....	33
2.7.2	Družicové digitální komory .....	37
<b>3</b>	<b>VZNIK ANALOGOVÉHO OBRAZU .....</b>	<b>38</b>
3.1	Analogová fotografie .....	38
<b>4</b>	<b>POROVNÁNÍ VÝHOD A NEVÝHOD SNÍMKOVÁNÍ NA FILM A DIGITÁLNÍHO ZÁZNAMU OBRAZU Z HLEDISKA GEOMETRICKÉ PŘESNOSTI.....</b>	<b>41</b>
4.1	Srážka fotografického materiálu .....	41
4.2	Průhyb fotografického materiálu .....	41
4.3	Vliv objektivu .....	42
4.4	Vliv atmosférické refrakce a zakřivení země .....	42
<b>5</b>	<b>PŘÍKLADY VYUŽITÍ DIGITÁLNÍHO ZÁZNAMU OBRAZU V UŽITÉ FOTOGRAFII, POZEMNÍ A LETECKÉ FOTOGRAMMETRII.....</b>	<b>43</b>
5.1	Příklady využití fotografie .....	43
5.2	Příklady využití pozemní fotogrammetrie.....	44
5.3	Příklady využití letecké fotogrammetrie.....	46
<b>ZÁVĚR .....</b>		<b>48</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A INTERNETOVÝCH ZDROJŮ .....</b>		<b>49</b>
<b>PŘÍLOHA A.....</b>		<b>52</b>
<b>PŘÍLOHA B.....</b>		<b>53</b>
<b>PŘÍLOHA C.....</b>		<b>54</b>

# Úvod

Cílem této bakalářské práce bude seznámit čtenáře s možnostmi vzniku digitálního obrazu a nejnovějšími technologiemi, které umožňují jeho přímý záznam. Práce bude zaměřena převážně v duchu oboru letecké a pozemní fotogrammetrie, kde jsou kladeny nejvyšší nároky na přesnost a kvalitu těchto zařízení.

Budeme se zabývat digitálním obrazem, který dnes vzniká dvěma základními způsoby, a to buďto digitalizací analogové předlohy, anebo moderněji, přímým záznamem. K digitalizaci analogové předlohy slouží především fotogrammetrické skenery, které dokáží velice přesně snímat i negativní materiál. Proto zde uvedeme výrobce dnes nejpresnějších skenerů a jejich nejnovější modely, spolu s jejich parametry.

Podrobněji se budeme zabývat principem, na němž funguje elektronický snímač, který se vždy podílí na vzniku digitálního obrazu. Na povrch snímače dopadají fotony světla, které způsobují hromadění náboje, jehož velikost se dále měří a elektronicky zpracovává. Ve finální fázi nakonec získáme digitální obraz.

Uvedeme také možné způsoby konstrukce těchto senzorů, přičemž jednotlivé výrobce nebudeme posuzovat z hlediska kvality jejich výrobků, ale spíše budeme informovat o různých technologických řešeních, jejich výhodách a nevýhodách.

Podrobněji se budeme věnovat jednotlivým parametrům digitálních fotoaparátů, které by měly čtenáře seznámit s touto problematikou, případně tak i umožnit výběr vhodného fotografického zařízení dle svých potřeb. Dále se budeme zabývat parametry komor pro pozemní a leteckou fotogrammetrii, které umožňují přímý záznam digitálního obrazu.

V práci také stručně popíšeme vznik klasické fotografie, způsob jejího zpracování a srovnáváme tak výhody a nevýhody snímání na film s přímým digitálním záznamem. Nakonec uvedeme příklady využití digitálního obrazu v užití fotografii a v pozemní a letecké fotogrammetrii.



# 1 Vznik digitálního obrazu

První teorie ohledně možnosti zpracování digitálního obrazu se objevily spolu s rozvojem elektroniky již v padesátých letech dvacátého století. Výpočetní technika v té době ale ještě nebyla uzpůsobena pro jejich praktické využití. Do konstrukce fotogrammetrických, tehdy ještě analogových, vyhodnocovacích strojů se postupně začaly zavádět elektronické koreláty a další nové prvky. [7]

Teprve v sedmdesátých letech s příchodem mikroprocesoru bylo možno aplikovat teorie zpracování digitálního obrazu v praxi. Tyto nové technologie se prosadily hlavně v dálkovém průzkumu země a v osmdesátých letech, kdy došlo k jejich masovému rozšíření, se prosadily i ve fotogrammetrii. [7]

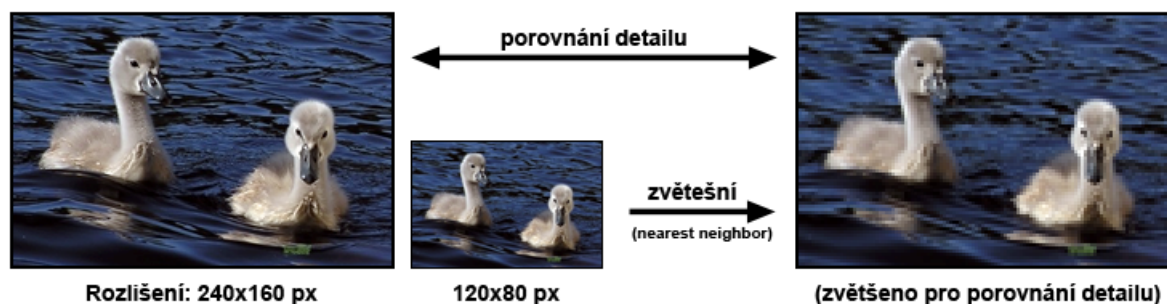
Digitální obraz definujeme jako obrazovou informaci převedenou do číslicové formy. V této formě se obraz snadno přenáší a také lze jednoduše vytvářet bezpočet dokonalých kopií, čímž se otevírají nové možnosti ve zpracování obrazu na počítačích. [7]

Nyní si představme libovolnou scénu, kterou budeme chtít digitálně zaznamenat. V případě analogové fotografie se její obraz pomocí objektivu prosvítí na citlivý film. Ten se musí nejprve vyvolat a následně do digitální formy převést. V případě digitální fotografie používáme místo filmu senzor a s jeho pomocí vznikne obraz přímo v digitální podobě.

Námi zvolená scéna bude teoreticky obsahovat nekonečné množství detailu, což je pro digitální zpracování problém. Proto ji musíme nějakým způsobem omezit. Zpravidla se budeme snažit získat výřez tvaru obdélníka, který dále rozdělíme, například pravidelnou čtvercovou sítí. Čtvercová síť je totiž nejjednodušší a i vhodná pro zobrazení na dnešních monitorech. Tato síť bude realizována na senzoru a každý čtverec bude představovat jeden obrazový bod. Pro obrazový bod budeme používat již zaběhlý název *pixel*, který pochází z anglického *picture element*. Již název napovídá, že pixel je základní stavební jednotkou digitálního obrazu.

Dále bude vhodné zavést pojem rozlišení obrazu. To se udává jako součin počtu pixelů výsledného obrazu v řádce a ve sloupci. Rozlišení můžeme uvádět také přímo jako výsledek tohoto součinu, zpravidla v jednotce megapixel (*mpx*), který je roven milionu pixelů. Stejným způsobem je možné udávat i rozlišení senzoru, který tento obraz zprostředkovává, a je zpravidla o něco větší než rozlišení výsledného obrazu. V případě tisku udáváme rozlišení

v jednotce *dpi*, která říká, kolik obrazových bodů se vytiskne na délku jednoho palce. Důležitost rozlišení vystihuje obrázek 1.1. Hodnoty rozlišení jsou orientačně uvedeny.



**Obrázek 1.1** Ukázka dvou totožných obrázků o různých rozlišeních a jejich porovnání.

Pro uspořádání pixelů bylo nutné definovat souřadný systém a obrazovou funkci, která pro dané  $x$  a  $y$  definuje hodnotu pixelu. Hodnota pixelu zpravidla odpovídá množství světla dopadajícího na pixel. Měřené hodnoty jsou diskrétního charakteru a nelze proto použít funkci spojitou. Více viz [4].

K dosažení barevného digitálního obrazu je potřeba tří základních barevných složek. Jsou to červená, zelená a modrá. Tyto barvy budeme označovat písmeny R, G a B. Jejich aditivním skládáním získáme výslednou barvu, která je zobrazitelná na všech dnešních monitorech.

Na počítači může být na osmi bitech uloženo až 256 možných stavů. Dnes se nejčastěji setkáme s 24-bitovými barvami, kde pro každou základní barevnou složku připadá 8 bitů. Znamená to tedy 256 možných stavů pro červenou, 256 pro zelenou a 256 pro modrou. Dohromady tak získáme přibližně 16 miliónů barev ( $256^3$ ), které jsou pro svoji věrnost nazývány *Truecolor*. [6]

Celkovou velikost obrazového souboru v bajtech (1 bajt = 8 bitů) vypočteme ze vztahu  $M = m \cdot n \cdot e$ , kde  $m$  je počet řádků,  $n$  počet sloupců a  $e$  je velikost jednoho pixelu v bajtech. (Pro 24 bitové barvy: 1 pixel = 24 bitů = 3 bajty.) Tento vzorec platí za předpokladu, že data nebudou komprimována. [7]

Vzhledem k tomu, že grafická data jsou velice obsáhlá, jejich komprese je velice užitečná. Můžeme ji rozdělit z několika hledisek, například na ztrátovou a bezztrátovou. Dnes téměř každý grafický formát nějaký typ komprese využívá. Komprese se liší svoji efektivností pro různé druhy dat, a proto dnes existuje velké množství grafických formátů. Více viz [6].

Pro užitou fotografii je nejefektivnější a nejčastěji používaná ztrátová komprese formátu JPEG. U tohoto formátu lze nastavit míru komprese danou faktorem kvality a je znázorněna

na obrázku 1.2 v porovnání s formátem BMP, který je bezztrátový. V případě fotogrammetrie se nejčastěji používá formát TIFF, jehož komprese se řadí mezi bezztrátové.



**Obrázek 1.2** Srovnání kvality a velikosti souboru formátu BMP s maximální a minimální mírou komprese formátu JPEG (240x160 pixelů, 24-bitové barvy).

Díky tomu, že digitální obraz je uložen v číslicovém tvaru, můžeme s ním provádět různé matematické operace. Důležité je ale uvážit, jakého rázu tyto operace budou. V případě fotogrammetrie je třeba dbát především na polohovou přesnost. [7]

### **1.1 Vznik digitálního obrazu přímým záznamem**

Vznik digitálního obrazu přímým záznamem znamená, že pomocí snímače zachytíme dopadající světlo, které přímo převedeme do číslicovém tvaru a uložíme na záznamové médium, například na pevný disk či paměťovou kartu. Snímacím čipům a principu, na němž fungují, je podrobněji věnován oddíl 2.2. Jedná se převážně o CCD, případně CMOS snímače, které jsou uspořádány buďto lineárně do řady, anebo plošně do matice. Tyto snímače se využívají v digitálních komorách a rovněž v obrazových skenujících radiometrech, neboli skenerech. V této oblasti je fotogrammetrie úzce spojena s dálkovým průzkumem země, kde se využívá fotogrammetrických metod pro zpracování výsledků družicového měření. [7]

### **1.2 Vznik digitálního obrazu digitalizací analogové předlohy**

Druhým způsobem vzniku digitálního obrazu je digitalizace analogové předlohy. Nejprve tedy pořídíme analogový snímek, jehož negativ pomocí skeneru převedeme do digitální podoby. Ve fotogrammetrii se k tomuto účelu používají velmi přesné pevné laboratorní skenery. Jelikož film nelze kvalitně skenovat pouhým odraženým světlem, je nutný speciální nástavec s výbojkovým homogenním světlem, které film prosvítí. Naopak, neprůsvitné předlohy, kde nedochází k tak velkému rozptylu světla (například již vyvolané fotografie), je možné skenovat pomocí odraženého světla. [7] Skenerům se podrobněji věnuje oddíl 2.1.

## 2 Přístrojová technika umožňující vznik digitálního obrazu

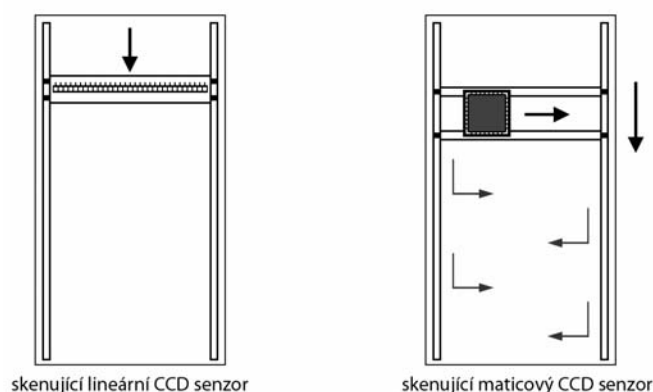
### 2.1 Fotogrammetrické skenery

Skenery jsou zařízení nezbytná pro převod analogové fotografie do digitální podoby a tvoří nedílnou součást oboru fotogrammetrie. Dnes se skenery používají hlavně k digitalizaci leteckých snímků o rozměrech 23×23 cm. Výroba těchto zařízení pomalu ustupuje a vyvíjejí se spíše digitální letecké komory, které jsou schopny pořídit digitální obraz přímo. Přesto ale skenery budou stále potřeba, například k digitalizaci existujících a archivních materiálů a k jejich udržování. [1] Digitální letecké snímky, ať už vzniklé pomocí skenerů anebo přímo, jsou potřeba hlavně pro tvorbu ortofotomap, digitálních modelů terénu a jsou důležité pro vznik prostorových dat.

Skenování je jedním z nejkritičtějších procesů, které se při fotogrammetrickém zpracování vyskytují, a proto analýza přesnosti, samozřejmě spolu s výkonem skeneru, jsou těmi nejdůležitější parametry. Chyby, jako například různé radiometrické artefakty a drobné geometrické nepřesnosti, se mohou vyskytnout zvláště u starších skenerů. [1]

Počet společností vyrábějících fotogrammetrické skenery se stabilizoval kolem roku 1996 a pravděpodobně již žádné nové velké společnosti tento trh neovlivní. [1] Kolem roku 2000 mezi nejpoužívanější fotogrammetrické scannery patřily LH Systems DSW200/300, Vexcel VX 3000+/4000, Wehrli RM-1/2, ISM XL-10 (dříve prodávaný pod názvem OrthoVision od firmy XL-Vision), Zeiss/Intergraph PS1 a Zeiss SCAI. Parametry všech těchto skenerů jsou zobrazeny přílohách A a B.

Ve fotogrammetrických skenerech se používá buďto lineárních nebo plošných CCD senzorů. Skenování těmito senzory ukazuje obrázek 2.1.



**Obrázek 2.1** Ukázka skenování lineárních a plošných CCD senzorů. Upraveno podle [7].

Lineární senzory mají pixely uspořádané v řádce a pro barevné snímání jsou nejvhodnější tzv. trilineární (třířádkové) senzory. Například XL-10 používá třířádkový CCD (3×8000 pixelů) a snímá všechna tři barevná pásma najednou. Dalšími takto vybavenými skenery jsou například Zeiss SCAI a Vexcel UltraScan. [1]

Plošné senzory mají pixely uspořádané do matice s rozlišeními od 512×512 až přibližně do 3000×3000 pixelů. Barevné skenování je zpravidla docíleno pomocí čtyř filtrů. Jsou to červený, zelený, modrý a čirý. Tyto filtry se postupně vyměňují před senzorem. Plošné senzory používají skenery řady DSW od LH Systems a skenery VX od firmy Vexcel. [1]

Geometrickou přesnost vybraných skenerů znázorňuje tabulka 2.1. RMS je zkratkou z *Root Mean Square Error* a udává střední kvadratickou chybu, neboli rozdíl mezi správným a ze skeneru získaným výstupem. Byly použity vždy dva různé skenery stejného modelu a vždy stejné nastavení. Jednotlivé údaje jsou středními hodnotami výsledků až 29 skenování. Z tabulky plynou poměrně značné rozdíly mezi skenery stejného modelu. [1]

Skener	RMS x [ $\mu\text{m}$ ]	RMS y [ $\mu\text{m}$ ]	Max. absolutní chyba x [ $\mu\text{m}$ ]	Max. absolutní chyba y [ $\mu\text{m}$ ]
DSW200	3,4	5,1	9,7	16,6
DSW200	1,8	2,5	6,8	8,7
DSW300	1,8	1,4	7,0	5,3
DSW300	1,3	1,4	5,3	5,2
SCAI	2,2	2,1	6,1	7,4
SCAI	2,3	2,1	8,1	6,6
OrthoVision	7,5	7,0	26,8	17,9
OrthoVision	1,3	2,2	4,1	7,6

**Tabulka 2.1** Geometrická přesnost vybraných skenerů. Zdroj [1].

Model DSW300 společnosti LH Systems byl v roce 1999 nahrazen modelem DSW500. Tento skener používá 10-bitový CCD snímač značky Kodak, který může mít rozlišení 1032×1536, 2029×2044 nebo 2048×3072 pixelů. Umožňuje osvětlení s proměnou intenzitou, větší rychlost skenování a také vyšší clony pro osvětlení větší plochy. Používá optiku značky Schneider ohniskové vzdálenosti 120 mm s minimální distorzí a větší světelností. Rychlost skenování u tohoto modelu dosahuje až 3MB/s. [1] V České Republice tento špičkový skener v roce 2000 zakoupila například společnost GEOREAL.

V roce 2001 se společnost LH Systems spojila s firmou ERDAS Imagine a společně pod značkou Leica vyrobili ještě skener DSW600 a DSW700. DSW700 bude zřejmě posledním v této řadě a je zobrazen na obrázku 2.2. Parametry vybraných značek novějších fotogrammetrických skenerů přehledně ukazuje tabulka 2.2.

Výrobce, Model	Leica, DSW 700	Z/I Imaging, PhotoScan 2002	VXServices, VX4000LH	Vexcel Imaging GmbH, UltraScan 5000	Wehrli & Associates, RM 6 Auto-Scanner
Pohybuje se	nosič s filmem	senzor	senzor	senzor	senzor
Typ senzoru	plošný	trilineární	plošný	trilineární	trilineární
Velikost skenovaného pixelu [ $\mu\text{m}$ ]	4,5 – 22	7 – 224	7 – 120	5 – 2500	8 – 128
Geometrická přesnost [ $\mu\text{m}$ ]	1,5	2	2,5	2	3
Šířka $\times$ hloubka $\times$ výška [cm]	125 $\times$ 100 $\times$ 118	90 $\times$ 90 $\times$ 50	75 $\times$ 59 $\times$ 83	93 $\times$ 63 $\times$ 34	110 $\times$ 100 $\times$ 83
Hmotnost [kg]	290	150	77	68	165
Přibližná cena [USD]	140 000	130 000	80 000	70 000	8 000

**Tabulka 2.2** Přehled parametrů fotogrammetrických skenerů. Zdroj [20], [33].



**Obrázek 2.2** Ukázka skeneru Leica DSW700. Zdroj [33].

Hlavní vývojové změny, kterými skenery dnes prochází, jsou kvalitnější software, vyšší přístupnost dat, lepší funkčnost a mírné zdokonalení radiometrických vlastností. [1] Zajímavým zdokonalením bylo rovněž umožnění skenování celého svitku filmu bez nutnosti zásahu obsluhy a příznivým faktem je i klesající cena těchto zařízení. Další vývoj se zaměřuje hlavně na výrobu senzorů pro přímý digitální záznam.

## 2.2 *Senzory digitálních fotoaparátů a digitálních komor*

### 2.2.1 **Úvod k sensorům**

Za srdce osobního počítače obvykle lidé podvědomě považují procesor. V případě digitálního fotoaparátu je takto vnímán spíše senzor. Toto tvrzení, alespoň dle našeho krátkého průzkumu, odráží mínění většiny z nás, kteří jsme buď někdy podle parametrů digitální fotoaparát vybírali, anebo alespoň máme určitý přehled o jeho součástech. Samotný obrazový procesor je v tomto případě více v pozadí. Způsobené je to zřejmě tím, že když přemýšlíme o fotoaparátu, jsme zpravidla stále ještě ovlivněni analogovou fotografií, kde procesor pro zpracování obrazových dat nebyl zapotřebí.

Senzor (jinými slovy také snímač či snímací čip) dnes tedy neodmyslitelně patří k nejdůležitějším částem digitálního fotoaparátu. Koupíme-li si nový digitální fotoaparát, zpravidla první zvědavá otázka, kterou od svých přátel dostaneme, zní: „A kolik to má pixelů?“, která je právě dotazem na rozlišovací schopnost senzoru. V běžném pojetí je totiž počet megapixelů tím nejdůležitějším měřítkem, ale situace samozřejmě není až tak jednoduchá.

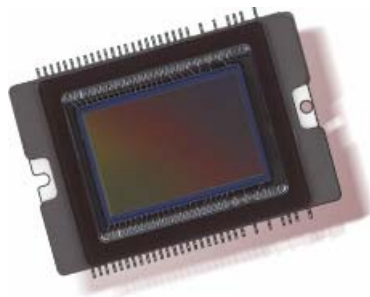
Když jsme prezentovali digitální fotoaparát při reklamní akci, setkávali jsme se také velice často s otázkou, kolik se do daného modelu vejde fotek. Přitom nejčastěji očekávanou odpovědí bylo absolutní číslo. Počet fotografií je ale závislý na více faktorech, například na rozměrech a na kompresi zvoleného grafického formátu. Vhodnější odpovědí na tuto otázku by tedy byla kapacita paměťové karty udaná v počtu megabajtů, ale v očích veřejnosti se zpravidla s úspěchem neshledala. Paměť je v každém případě velmi důležité médium, ale nemá vliv na kvalitu výsledné fotografie.

### 2.2.2 **Senzory CCD a CMOS**

Technologie, která umožnila záznam digitálního obrazu, se vyvíjí zhruba od konce šedesátých let dvacátého století a přišla spolu s rozvojem dálkového průzkumu země. V roce 1970 byla představena první videokamera používající snímač CCD. Tato videokamera byla vyvinuta v Bellových laboratořích v USA a v roce 1975 byla představena další, která již poskytovala dostatečně věrný obraz i pro televizní přenos. [13]

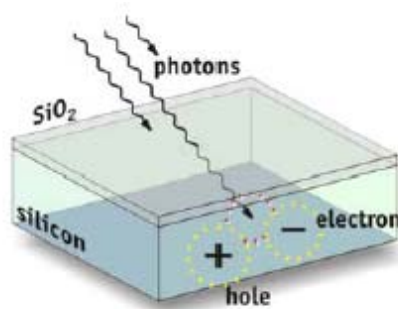
Ve vývoji sensorů spolu již od počátku soupeří především dvě technologie. Je to již zmíněná technologie CCD snímačů a technologie snímačů CMOS. Obě zkratky pochází z angličtiny a

jejich význam naznačuje princip, na němž oba senzory fungují. Na obrázku 2.3 je zobrazen senzor CMOS, ale na pohled se příliš neliší od senzoru CCD.



**Obrázek 2.3** Ukázka senzoru digitálního fotoaparátu. Zdroj [30].

Obecně se jedná se o polovodičový snímač měřící intenzitu světla, které na něj dopadá. Senzory jsou nejčastěji vyráběny z křemíku, který fotoelektrickým efektem převede světlo na elektrickou energii. Dopadající fotony světla zvyšují úroveň energie v křemíkové mřížce, ve které se uvolní elektrony a vznikne tak elektrický náboj, viz obr. 2.4. Měření probíhá tak, že vzniklý náboj je ve formě elektrického napětí zesílen a následně poté pomocí tzv. ADC převodníku převeden na binární číslo. [31]



**Obrázek 2.4** Dopadající fotony světla na povrch buňky senzoru. Zdroj [31].

Protože na senzor nedopadá pouze viditelná část spektra, musíme řešit ještě další nežádoucí vlivy jako je infračervené světlo a UV záření. K tomuto účelu slouží filtry, které jsou zabudované před senzorem. U klasických fotoaparátů se k objektivu občas přidává UV filtr, který plní stejnou funkci. U digitálních fotoaparátů ale není potřeba, protože je již součástí senzoru. Křemík je vhodným materiálem také proto, že sám některé nežádoucí vlnové délky odráží a je citlivý právě k viditelnému světlu.

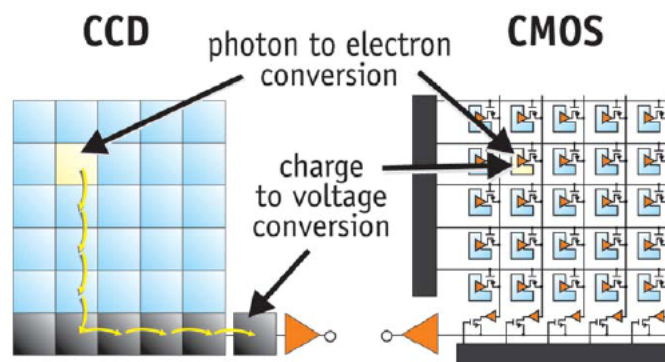
CCD technologie zaznamenala značný vývoj ve výrobních postupech i v konstrukčních materiálech, z nichž jsou senzory dnes vyráběny. Počty pixelů obrazových CCD senzorů se postupně zvětšovaly, a senzory tak zvyšovaly svoji efektivnost. Nutné provozní napětí bylo



postupně snižováno, čímž došlo k důležité úspoře energie. Také se zdokonalilo zacházení se signálem, které umožnilo zmenšování rozměrů celého senzoru při zachování počtu pixelů. [5] CCD senzory dnes vykazují mnohem lepší výsledky ve spotřebě energie a ve velikosti než dříve. Hrají přední roli při použití v mobilních telefonech, videokamerách, skenerech a digitálních fotoaparátech a stejně dobře se uplatňují v nejrůznějších oborech jako například ve strojírenství, zdravotnictví a ve vědeckých a vojenských zařízeních.

Po dlouhou dobu převládala, a stále ještě převládá, technologie senzorů CCD. Výroba těchto senzorů o větší velikosti je ale stále obtížnější a finančně náročnější. CCD senzor se oproti senzoru CMOS vyznačuje vyšší spotřebou energie, která do jisté míry omezuje jeho využití. Toto jsou asi hlavní důvody, proč se dnes pomalu do popředí dostávají senzory CMOS.

Rozdílný princip technologií CCD a CMOS spočívá v tom, že senzory CCD přesouvají vzniklý náboj z pixelu na pixel a převádějí jej na napětí až na výstupním uzlu, kdežto senzory CMOS převádějí náboj na napětí uvnitř každého pixelu, viz obrázek 2.5.

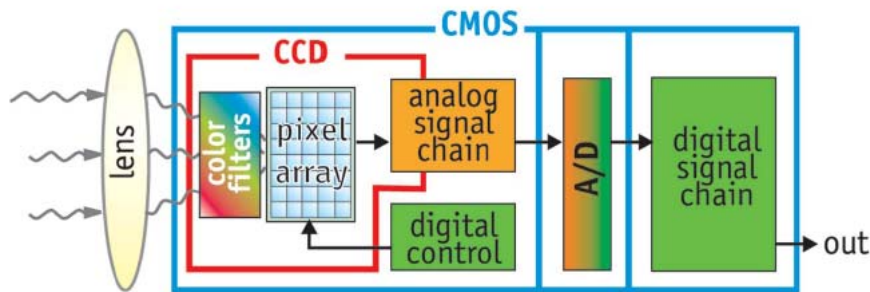


**Obrázek 2.5** Rozdílný princip senzorů CCD a senzorů CMOS. Zdroj [5].

Vzestup technologie CMOS nebyl zdaleka tak přímý jako v případě CCD, avšak za posledních několik let značně pokročil. Nejprve byl zlepšen poměr velikosti světlocitlivé fotodiody vůči ostatnímu povrchu pixelu. U senzorů CMOS byl tento poměr velice malý, protože kolem fotodiody byla potřebná ještě další elektronika. CMOS senzory obecně požadují větší počet opticky necitlivých tranzistorů na každém pixelu, a tak se odehrává soutěž o každý mikron na ploše senzoru. [5]

Koncem devadesátých let byla minimální hodnota velikosti pixelu kolem 0,5  $\mu\text{m}$  a výrobní proces postupoval přes velikosti 0,35  $\mu\text{m}$ , 0,25  $\mu\text{m}$  a 0,18  $\mu\text{m}$ . Dnes jsou tyto hodnoty dokonce i ještě menší. Protože menší tranzistory snižují spotřebu energie, zvýšila se možnost digitální integrace dalších součástí přímo na čipu. Tato integrace zvýšila designovou

komplexnost senzoru (viz obr. 2.6), ale bohužel zvýšila i náklady potřebné na vývoj a stejně tak i cenu výsledného produktu. Integrace na čipu rovněž přinesla problémy spojené se šumem, takže do určité doby byla v konfliktu s kvalitou obrazu. [5]



**Obrázek 2.6** Integrace na senzoru CMOS. Zdroj [5].

Již samo zmenšování pixelů značně zvyšuje náklady, protože změna se týká každého z mnoha milionů pixelů a analogové obvody tímto zmenšováním obvykle trpí. Pro  $0,35\ \mu\text{m}$  a menší pixely dodávané napětí obvykle klesá, což omezuje dynamický rozsah a linearita výkonu tranzistoru se zmenšuje. Se zmenšováním velikosti jsou také spojeny další analogové komplikace, jako například unikající proud a drobné problémy s jeho kolísáním. [5]

Trvalo řadu let, než byla vytvořena digitálně podporovaná analogová architektura, která byla schopna vypořádat se se všemi nežádoucími jevy, stojícími proti takto výhodnému designu. V této oblasti jsou senzory digitálních kamer vlastně průkopníky, jelikož neexistoval žádný použitelný předchůdce vysokovýkonného a digitálně podporovaného obvodu z jiných odvětví. Design senzoru CMOS a jeho výrobní technologie jsou dnes pro dosažení vysokého výkonu schůdnější než senzory CCD, což nikdo předtím nepředpokládal. Integrace a spotřeba energie jsou dnes rozhodujícími výhodami technologie CMOS. [5]

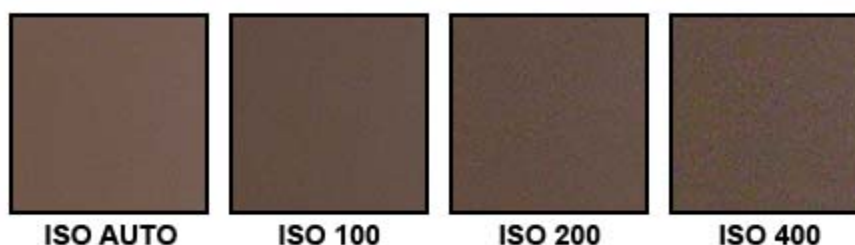
Nižší spotřeba energie je daná také tím, že senzor CMOS pracuje pouze na jedné napěťové úrovni, kdežto CCD musí pracovat na dvou. Možností zmenšování rozměrů senzorů CMOS je také možno efektivně využít například v mobilních telefonech, kde se zařízení pro digitální záznam obrazu již stalo standardem. [11] Výhodou technologie CCD je například to, že není pro svůj výkon tolik závislá na zmenšování pixelů, jako je technologie CMOS.

CCD i CMOS technologie mají každá svoje pro a proti a v blízké budoucnosti budou hrát významnou roli zřejmě obě. Záležet bude pravděpodobně na tom, která ze stran dokáže svůj produkt lépe přizpůsobit, prosadit a podporovat.

### 2.2.3 Citlivost ISO

Citlivost ISO se týká schopnosti jednotlivých pixelů senzoru reagovat na světlo. Je závislá na velikosti a tvaru pixelu a sama o sobě je neměnná. Můžeme ji ale zvýšit zesílením signálu pomocí tzv. ISO zesilovače. Její zesílení je vhodné zejména při úbytku světla, kdy nechceme prodlužovat čas uzávěrky a chceme tak zachovat expoziční hodnoty. Více viz oddíl 2.4.

Obrázek 2.7 ukazuje zvýšení šumu při zvýšení citlivosti senzoru kompaktního digitálního fotoaparátu Olympus C-740 UZ. Na obrázku jsou vidět hodnoty ISO AUTO (automatické nastavení fotoaparátu) a ISO 100, kde hodnoty šumu jsou poměrně nízké a dále již zhoršující se výsledky při hodnotách ISO 200 a ISO 400. Obrázky byly uloženy ve formátu TIFF, proto nejsou ovlivněny kompresí obrazu. Vyšší hodnoty ISO již zmíněný model neposkytuje.



Obrázek 2.7 Ukázka zvýšení šumu při zesílení signálu.

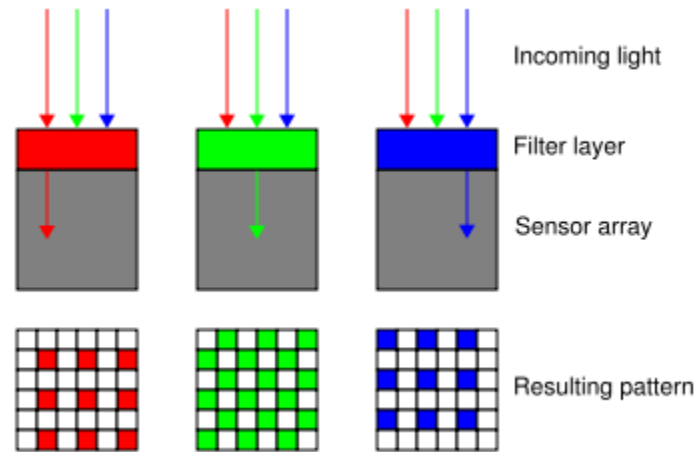
### 2.2.4 Funkce A/D převodníku

Písmena A/D pocházejí z angličtiny a znamenají *Analog to Digital*, neboli převod spojitého analogového signálu na diskrétní digitální hodnoty. Převodník je rovněž známý pod názvem ADC, neboli *Analog to Digital Converter*. Proces digitalizace můžeme zapsat jako zobrazení  $f(x, y) \xrightarrow{D} g(j, k)$ , kde  $x, y \in R$ ;  $j, k \in N$  a  $f(x, y)$  je spojitá dvojrozměrná obrazová funkce. Ta představuje rozložení určité fotometrické veličiny (např. jasů) na ploše. U této funkce mohou jak funkční hodnoty  $f$ , tak souřadnice  $x, y$  nabývat libovolných hodnot z oboru reálných čísel. Oproti tomu  $g(j, k)$  je obrazová matice, u níž funkční hodnoty a indexy mohou nabývat pouze diskrétních hodnot. Převod se skládá ze dvou částí, a to vzorkování a kvantování. Bližší informace k oběma procesům viz [4].

### 2.2.5 Bayerova maska

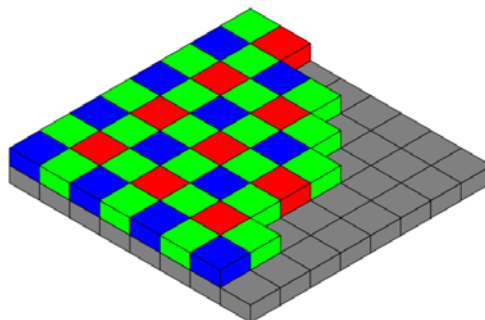
Bayerova maska je soubor barevných filtrů umístěných před senzorem. Masku vytvořil Dr. Bryce E. Bayer, pracovník firmy Eastman Kodak, a patentoval ji v roce 1976. Z obrázku 2.8 je patrné, že senzor se skládá z buněk citlivých vždy pouze na jedinou složku světla. Samotný senzor (*sensor array*), který je vidět pod vrstvou těchto barevných filtrů (*filter*

layer), není citlivý na barvu. Světlo dopadající na povrch senzoru (*incoming light*) obsahuje všechny 3 základní barevné složky. Každá buňka tedy propustí vždy buď jen červenou, nebo jen zelenou, anebo jen modrou barvu. Na obrázku je dále znázorněn výsledný vzor (*resulting pattern*), který ukazuje zvlášť rozložení červené, zelené a modré na povrchu senzoru.



**Obrázek 2.8** Uspořádání buněk senzoru podle citlivosti na jednotlivé barvy. Zdroj [24].

Na obrázku 2.9 je schematicky zobrazeno výsledné rozmístění barevných filtrů. Maska je uspořádána tak, že zelená barva, na kterou je oko většiny lidí nejcitlivější, se vyskytuje nejčastěji. Zvýšená citlivost lidí na zelenou barvu je závislá na životních podmínkách a je tak pro nás optimální. Pokud bychom uvažovali například obyvatele žijící v pouštních oblastech, zjistíme, že jejich oči jsou mnohem citlivější na oranžovou a teoreticky vhodnější by pro ně byl častější výskyt červené. Výsledný rozdíl však není nikterak dramatický.

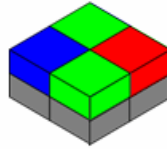


**Obrázek 2.9** Bayerova maska. Zdroj [24].

## 2.2.6 Interpolace barev

Protože žádná z buněk neobsahuje úplnou informaci o barvě, musí se hodnoty pro zbývající barevné složky dopočítat. Proces získání barvy z okolních pixelů se nazývá interpolací obrazu. Opakující se vzor na čtyřech buňkách tedy vypadá například jako na obrázku 2.10. Z této čtveřice pixelů se vypočítá kompletní RGB jednoho pixelu. Pro výpočet barvy dalšího

pixelu vybereme čtveřici o jeden pixel vpravo a takto pokračujeme až na konec řádky. Dále se posuneme na nový řádek (opět o jeden pixel) a postup opakujeme. Tímto způsobem je tedy každý barevný pixel ve výsledku použit čtyřikrát. Díky rozložení barev podle Bayerovy masky vychází zelený kanál nejostřeji a obsahuje i nejméně šumu.

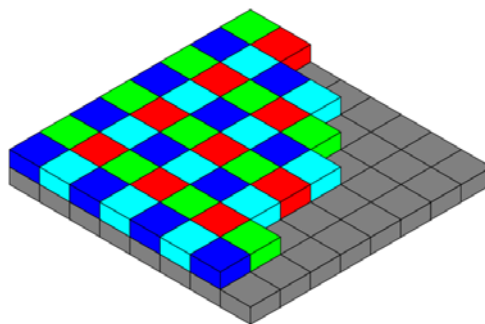


**Obrázek 2.10** Čtveřice barev, z nichž se vypočítá výsledná barva.

Uvažujeme-li například klasický CMOS či CCD senzor s rozlišením 10 megapixelů, pak obsahuje 5 milionů pixelů citlivých na zelenou, 2,5 milionu pixelů citlivých na červenou a 2,5 milionu pixelů citlivých na modrou barvu. [17]

### 2.2.7 RGBE

Bayerova maska se někdy také označuje jako RGBG ale existují i různé modifikace. Například firma Sony pro některé své senzory používá model RGBE, neboli Red Green Blue Emerald. Tento čtyřbarevný model firma oznámila v roce 2003. Výsledkem by mělo být zvýšení gamutu a zlepšení reprodukce barev. Barva, kterou firma Sony nazvala jako *emerald*, je vlastně světlým odstínem modrozelené barvy. Při převedení na stupně šedi dopadne emeraldový pixel podobně jako zelený. [37] Ukázka rozložení barev je vidět na obrázku 2.11. Dalo by se říci, že ve výsledku působí barvy z takového senzoru o něco realističtěji a podle našeho názoru obraz mírně ochladí (v porovnání s RGBG).

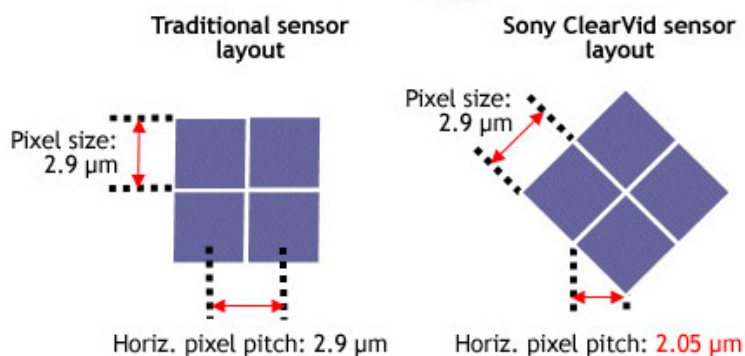


**Obrázek 2.11** Ukázka RGBE. Zdroj [35].

### 2.2.8 Uspořádání buněk senzorů

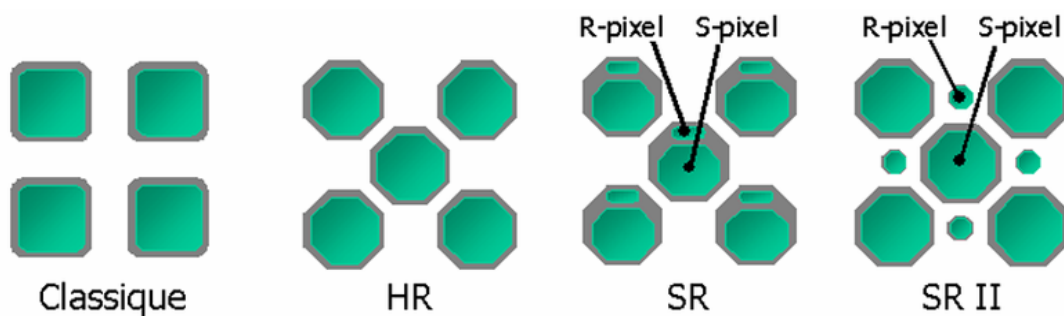
Zatím jsme uvažovali klasické uspořádání buněk senzoru ve čtvercové mozaice. Tento způsob ale není jediným možným, přestože výsledný obraz takový je vždy. V roce 2006 firma Sony

oznámila ClearVid CMOS senzor, který má jednotlivé pixely uspořádány tak, že jsou natočené o úhel 45 stupňů, viz obrázek 2.12 vpravo.



**Obrázek 2.12** Ukázka natočení senzoru ClearVivid. Zdroj [25].

Senzory Fuji Super CCD mají strukturu poněkud odlišnou. Nejedná se o klasické čtvercové uspořádání v mřížce, ale jde o oktagonální uspořádání. Tento typ senzoru vyvíjí firma Fuji již od roku 1999. [38] Na obrázku 2.13 jsou znázorněny jednotlivé generace vývoje takového senzoru. Na modelu SR a SR II jsou označeny velké pixely písmenem S a kromě nich se na senzoru nachází ještě malé, označené písmenem R. Díky oktagonálnímu uspořádání pro ně na povrchu senzoru totiž vzniká volné místo.

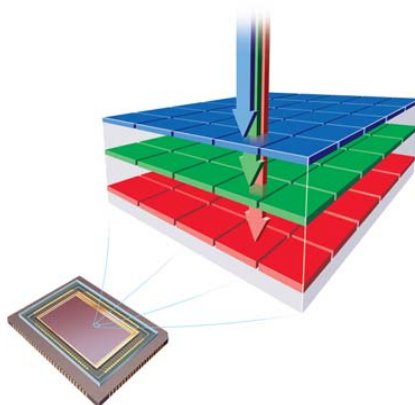


**Obrázek 2.13** Vývoj senzorů Fuji. Zdroj [38]

Velké S-pixely jsou v podstatě obdobné jako na jiných CCD senzorech a liší se pouze tvarem. Pokud na ně dopadá příliš jasné světlo, zobrazí ho čistě bílou barvou, což způsobuje takzvané vypálená bílá místa na fotografii. Právě z tohoto důvodu jsou zde malé R-pixely, které, také díky své menší velikosti, mají přibližně 4× nižší citlivost na světlo. Díky nim je tedy senzor schopen vykreslit detaily i v těchto přesvětlených místech. [15]

Podle firmy Fuji tyto takzvané včelí plástve Super CCD senzoru zvyšují jeho citlivost, snižují hladinu šumu a mají širší dynamický rozsah, přibližně o 2 EV (viz pododíl 2.4.5). To znamená, že senzor by měl umožňovat pořízení obrázků s bohatšími a skutečnějšími barvami.

Další a zcela odlišnou technologii představuje senzor typu Foveon. Jedná se vlastně o modifikovaný CMOS snímač, který byl prvně uveden na veletrhu Photokina v roce 2000. V roce 2002 se objevil Foveon X3 ve fotoaparátu Sigma SD9. U tohoto senzoru není interpolace barev nutná, protože každá buňka senzoru obsahuje všechny tři barevné filtry, tj. podává úplnou barevnou informaci. Rozložení ukazuje obrázek 2.14. Co se barev týče, senzor tedy funguje na podobném principu jako klasický film s využitím výhod digitální fotografie.



**Obrázek 2.14** Schéma rozložení vrstev u senzoru typu Foveon X3. Zdroj [28].

### 2.3 Obrazový procesor

Kvalita senzoru se dnes zkoumá spíše až na výsledných fotografiích, do kterých se ale bohužel promítá i kvalita dalších součástí přístroje, a proto je třeba brát tyto údaje s rezervou. [16] Pro dosažení co nejvyšší kvality a čistoty obrazu jsou údaje ze senzoru, po převodu do číslicové podoby, modifikovány různými algoritmy, které se snaží obraz vylepšit, zpravidla zbavit nežádoucího šumu a docílit optimálního barevného podání. Pro realizaci těchto algoritmů a zpracování binárních dat slouží obrazový procesor, viz obrázek 2.15. Obecně platí, že čím chceme větší rozlišení, tím potřebujeme rychlejší obrazový procesor, abychom mohli údaje v reálném čase zpracovat a uložit. Algoritmy se odlišují pro senzory CCD i senzory CMOS a každý větší výrobce tyto problémy řeší po svém. Podrobnosti o těchto algoritmech nejsou bohužel zpravidla přístupné veřejnosti.



**Obrázek 2.15** Ukázka obrazového procesoru. Zdroj [30].

## 2.4 Základní parametry fotoaparátů

V tomto oddíle se věnujeme základním parametrům všech dnešních fotoaparátů. Následující oddíl 2.5 je zaměřen na parametry pouze digitálních fotoaparátů.

### 2.4.1 Typ přístroje

Dnes se prakticky setkáme se dvěma typy přístrojů, a to buďto se zrcadlovkou, anebo s kompaktním fotoaparátem (zjednodušeně kompaktem). Kompakt je od slova kompaktní, tj. vyznačuje se malými rozměry, má zpravidla nerozebíratelné tělo, je vhodný pro cestování a pro potřebu většiny běžných uživatelů. Větší problémy nastávají za zhoršeného světla či v místnostech. To je však spíše obecnější problém, se kterým si zrcadlovky poradí o něco lépe. Zrcadlovky se liší v konstrukci těla a hledáčku, zpravidla mají vyměnitelné a kvalitnější objektivy, větší senzory a více nastavitelných funkcí. Za základní rozdíl mezi oběma typy je obecně považována konstrukce hledáčku, viz pododdíl 2.4.2.

### 2.4.2 Hledáček

U kompaktu je většinou použit optický průhledový hledáček. To znamená, že nad objektivem je samostatně otvor, kterým pozorujeme scénu. Dnes některé digitální kompakty ani tento hledáček nemají a scénu sledujeme zprostředkovaně pomocí integrované LCD obrazovky. Výhoda průhledového hledáčku spočívá v jeho jednoduchosti a poskytování poměrně čistého obrazu. Jeho hlavní nevýhodou je, že není umístěn na ose objektivu a tak nemíří úplně přesně na stejnou scénu jako objektiv. O kolik bude výsledná fotografie mimo osu hledáčku závisí na vzdálenosti fotografovaného předmětu.

U zrcadlovky je řešení hledáčku mnohem elegantnější, protože pomocí soustavy zrcadel se díváme na scénu takzvaně *through the lens*, neboli přímo přes objektiv. Odtud pochází zkratka TTL, která označuje tento typ hledáčku. Za objektivem se nachází zrcátko, které se po stisku spouště sklopí, čímž v případě digitální zrcadlovky odkryje senzor a umožní tak záznam obrazu. U klasické zrcadlovky se odkryje políčko s filmem, jinak je princip stejný. Výhodu tohoto hledáčku je, že v něm vidíme přesně, čistě a jasně to, co fotíme. Většinou kolem 95–100% zabírané scény.

U digitálních kompaktů ještě existuje elektronický hledáček, označovaný jako EVF. V tomto případě na kompaktu sice hledáček máme, ale není průhledový, tj. nenajdeme otvor z druhé strany. Některé uživatele tento fakt mate natolik, že se domnívají, že se jedná o zrcadlovku.



Obraz v tomto hledáčku je ale řešen digitálně, podobně jako u LCD obrazovky. Elektronický hledáček zpravidla není vhodný za špatných světelných podmínek, protože se snadno může stát, že v něm neuvidíme nic. Většina fotografů, kteří jsou zvyklí na optický hledáček, zpravidla automaticky odsuzují hledáček elektronický. Podle našeho názoru má ale i nekvalitní elektronický hledáček své výhody. V tomto hledáčku máme totiž lepší přehled o tom, jak fotografie po vyfocení dopadne, protože pozorujeme vlastně již digitálně zprostředkovanou scénu. Mezi nevýhody patří pomalejší odezva, například na pohybující se předmět před objektivem.

### **2.4.3 Objektiv**

Objektiv je tvořen soustavou čoček, kterou prochází světlo na film či obrazový snímač. U zrcadlovky je většinou vyměnitelný, u kompaktu je vždy pevnou součástí těla. Vybraný typ objektivu značně ovlivňuje výslednou kvalitu fotografie. Kvalita objektivu se odráží především na ostrosti, různých typech zkreslení (distorzi), na tmavnoucích rozích fotografie (vinětaci), dále na chromatické vadě (aberaci), která se projevuje zpravidla fialovou konturou v místech extrémního rozdílu jasu, a na dalších typech vad.

#### **2.4.3.1 Ohnisková vzdálenost**

Ohnisková vzdálenost je vzdálenost čočky od jejího ohniska. Protože zvětšení je závislé ještě na velikosti filmu či senzoru, v konkrétních případech budeme hodnoty ohniskové vzdálenosti udávat vždy přepočtené na velikost políčka běžného 35 mm širokého filmu. Tím docílíme stejného zvětšení při dané ohniskové vzdálenosti na všech přístrojích.

U kompakťů se ohnisková vzdálenost pohybuje většinou od 24 mm až maximálně do 420 mm. Pomocí ohniskové vzdálenosti je definován tzv. *zoom*, který je dán podílem nejvyšší a nejnižší hodnoty ohniskové vzdálenosti daného objektivu. Největší rozsah zoomu dnes poskytuje Samsung 815 Pro, kde ohnisko začíná na 28 mm a končí až na 420 mm. Zoom je tedy patnáctinásobný. Mnohem běžnější ale v této kategorii je ohnisková vzdálenost začínající na 36 mm a končící na 108 mm, poskytující trojnásobný zoom. Zrcadlovky, díky možnosti výměny objektivu, mají mnohem širší možnosti. Profesionální objektivy začínají na 8 mm a ty, které přibližují nejvíce, končí na hodnotě až 800mm. Obecně platí, že čím menší rozsah zoomu, tím je výrobce schopen udělat kvalitnější objektiv. Nejlepších výsledků dosahují objektivy s pevným ohniskem, které je pro daný objektiv neměnné.

### 2.4.3.2 Světelnost

Světelnost je bezrozměrné číslo vyjadřující poměr osvětlení citlivé vrstvy filmu k jasů snímaného objektu. [36] Čím má objektiv větší průměr, tím zpravidla do objektivu proniká více světla a tím, spolu s cenou, roste i jeho světelnost. Značný vliv na světelnost má ale také ohnisková vzdálenost. Čím je ohnisková vzdálenost delší, tím je světelnost menší. Dále záleží na konstrukci objektivu a na počtu optických členů, na nichž je při průchodu paprsků světla vždy určitá ztráta. V ideálním případě je hodnota světelnosti rovna 1. Zapiše se jako  $f/1$ . Nejlepší světelnosti dosahují objektivy s pevným ohniskem, a to například  $f/1.4$ ,  $f/1.8$ ,  $f/2.8$ . Je možné rovněž použít zápis  $1:2.8$ , který znamená totéž jako  $f/2.8$ . Spolu s tímto údajem bude na objektivu uvedena ještě ohnisková vzdálenost. V případě objektivu s proměnnou ohniskovou vzdáleností bude celý zápis vypadat například jako na obrázku 2.16, neboli 18-55 mm 1:3.5-5.6. Tento zápis říká, že při ohnisku 18mm objektiv dosahuje světelnosti  $f/3.5$  a při ohniskové vzdálenosti 55mm světelnosti  $f/5.6$ . [19]



**Obrázek 2.16** Ukázka zápisu ohniskové vzdálenosti a světelnosti na objektivu.

### 2.4.3.3 Clona a clonové číslo

Protože není vždy žádoucí, aby objektivem prošlo tolik světla, kolik jeho světelnost dovolí, existuje clona. Je tvořena z tenkých kovových lamel, které je možno plynule uzavírat či otevírat a regulovat tak průchod světla objektivem. Clonové číslo se značí písmenem F a charakterizuje velikost tohoto otvoru. Jeho hodnota je převrácenou hodnotou světelnosti.

### 2.4.4 Citlivost ISO

Základní informace o citlivosti byly zmíněny již v pododdíle 2.2.3. Mezi nejčastější hodnoty citlivosti u zrcadlovek patří ISO 100, 200, 400, 800, 1600 a 3200. Některé fotoaparáty ale umožňují měnit citlivost i po menších krocích. Toto jsou hodnoty uvedené v aritmetickém tvaru, který je v praxi nejvýhodnější, protože dvojnásobná hodnota znamená dvojnásobně větší citlivost. Můžeme se setkat ještě s logaritmickým tvarem  $ISO 21^\circ$ , který odpovídá ISO 100. Dvojnásobku u logaritmické stupnice odpovídá vždy hodnota o tři jednotky větší. Je

možný například i zápis ISO 200/24°. U kompaktních fotoaparátů jsou, až na výjimky, hodnoty ISO do 400, ale mnohdy začínají i níže než na ISO 100. ISO je mezinárodní norma, ale existuje mnoho dalších, například americká norma ASA a německá norma DIN. [14]

V případě filmu citlivost ovlivňuje velikost zrna. Obecně platí, obdobně jako u velikosti pixelu na senzoru, že čím je zrno větší, tím je film citlivější. Citlivost se opět udává v jednotkách ISO a je ekvivalentní s citlivostí na digitálních zařízeních. U digitálních fotoaparátů se namísto většího zrna při zvyšování citlivosti zvyšuje šum. Obrovskou výhodou digitálních zařízeních je okamžitá změna citlivosti jednoduše v nastavení přístroje. V případě analogové fotografie pro změnu citlivosti nezbude než vyměnit celý film.

### 2.4.5 Měření expozice

Expozice se měří v jednotkách EV (*exposure value*) a je ovlivněna především expozičním časem (udává dobu, po kterou je senzor vystaven účinkům světla), citlivostí ISO a velikostí clony. Vzájemnou závislost těchto hodnot přehledně ukazuje tabulka 2.3.

Expoziční čas [s]	Přírůstek EV		Clonové číslo	Přírůstek EV		Citlivost ISO	Přírůstek EV
1	0		1,0	0		50	1
1/2	1		1,4	1		100	0
1/4	2		2,0	2		200	-1
1/8	3	+	2,8	3	+	400	-2
1/15	4		4,0	4		800	-3
1/30	5		5,6	5		1600	-4
1/60	6		8	6		3200	-5
1/125	7		11	7			
1/250	8		16	8			
1/500	9		22	9			
1/1000	10		32,0	10			
1/2000	11		45,0	11			

**Tabulka 2.3** Výpočet hodnot EV pro různé expoziční časy, clonová čísla a ISO citlivosti. Zdroj [17].

Expoziční hodnoty EV je rovněž možné vyjádřit vzorcem  $EV = \log_2(F^2 / t) - \log_2(ISO / 100)$ , kde *ISO* představuje hodnotu citlivosti, *F* clonové číslo a *t* expoziční čas v sekundách. [17]

Jeden bod je jasnější o 1 EV než druhý, pokud je jeho jas dvojnásobný. Rozdíl EV nejsvětějšího a nejtmašího místa obrazu je nazýván dynamickým rozsahem.

#### **2.4.6 Stabilizátor obrazu**

Stabilizace obrazu vyrovnává rozetřesení ruky při pořizování snímku, a zabraňuje tak rozmazání fotografie. Existují dva základní typy stabilizace obrazu. Buď je stabilizován přímo senzor, nebo celá optická soustava. Obecně se stabilizace objektivu považuje za účinnější, ale opticky stabilizovaný objektiv stojí také o něco více, a hlavně objektivy jsou u zrcadlovek vyměnitelné, a tak se optická stabilizace musí zaplatit za každý objektiv zvlášť. Pokud budeme mít stabilizovaný senzor, můžeme efektivně používat klasické objektivy. Stabilizace nám umožní prodloužit expozici obrazu až o několik kroků. V případě letecké fotogrammetrie jsou komory vybaveny zařízením typu FMC, které pohybem nosiče s filmem (či senzorem) ve směru pohybu letadla zabraňuje rozmazání fotografie. Výsledkem je ostřejší snímek.

#### **2.4.7 Sekvenční snímání**

Sekvenční snímání se zpravidla udává ve snímcích za sekundu a znamená, kolik snímků dokáže daný fotoaparát pořídít za dobu jedné sekundy. S tímto údajem je u digitálních fotoaparátů spojena řada operací (jako například rychlost obrazového procesoru, velikost vyrovnávací paměti a rychlost zápisu na paměťové médium), které mohou sekvenci značně brzdit. Čím větší rozlišení fotografie požadujeme, tím jsou větší nároky na rychlost zařízení. U nejkvalitnějších zrcadlovek jsou dnes maximální hodnoty pro 10,1-megapixelový senzor Canonu EOS 1D Mark III při nejvyšší kvalitě JPEG formátu až deset snímků za sekundu. Protože data jsou velmi objemná a jejich zpracování je samo o sobě náročný proces, odkládají se některé operace na pozdější zpracování do vyrovnávací paměti, neboli *bufferu*. Tím umožňují snímání více snímků za sekundu. Samozřejmě jsme tak limitováni velikostí vyrovnávací paměti, a tak po jejím zaplnění nezbude než počkat, než se data zpracují.

### **2.5 Parametry digitálních fotoaparátů**

#### **2.5.1 Rozlišení senzoru**

U kompaktních se rozlišení senzoru pohybuje zpravidla do 8 megapixelů a u zrcadlovek až do 17 megapixelů. Tyto údaje se ale každým rokem o něco zvýší a tak jejich hodnoty jsou pouze orientační. Kompakty používají mnohem menší senzory než zrcadlovky, což se negativně podepisuje na kvalitě výsledné fotografie. Dnes již senzory některých zrcadlovek dosahují

tzv. *full frame* velikosti, která odpovídá velikosti políčka klasického 35 mm filmu. Konkrétní rozměr takového senzoru je 36×24 mm. U levnějších zrcadlovek se používá senzor o velikosti APS-C. Tato velikost se nepatrně liší u každé značky, ale pohybuje se kolem hodnot 23×15 mm. V závislosti na velikosti senzoru se udává tzv. *crop factor*, neboli faktor ořezu. Jedná se o konstantu, kterou je nutné vynásobit ohniskovou vzdálenost pro přepočítání na ekvivalentní ohniskovou vzdálenost 35 mm filmu. Pro full frame senzor je tato konstanta rovna 1. Pro velikost senzoru APS-C značky Canon vychází 1,6 a pro velikost APS-C značky Nikon 1,5. Z uvedených hodnot vyplývá, že rozměr senzoru firmy Nikon je nepatrně větší.

### **2.5.2 Rozlišení snímku**

Údaj o rozlišení snímku říká, kolik pixelů obsahuje výsledný obraz. Samotný senzor jich zpravidla obsahuje o něco více než výsledná fotografie, ale ty slouží pouze pro technické účely fotoaparátu. Z tohoto důvodu rozlišujeme celkový počet pixelů a počet efektivních pixelů, kde počet efektivních pixelů na senzoru je roven počtu pixelů na výsledném snímku. Dnes jsou pro digitální fotografii běžné hodnoty kolem deseti miliónů pixelů. Například senzor jednobarevné digitální zrcadlovky Canon 400D (na trh uveden 2006), dosahuje rozlišení 10,1 miliónů efektivních pixelů, což v tomto případě znamená obraz s rozlišením 3888×2592 pixelů. Celkový počet pixelů na senzoru je tedy 10,5 miliónu. Tyto body se v případě zmíněného Canonu musejí vměstnat na senzor o velikosti APS-C rozměrů 22,2×14,8 mm.

### **2.5.3 Grafický formát snímku**

Nejčastějším a nejběžnějším výstupem je formát JPEG. Některé kompaktní fotoaparáty umožňují snímek uložit i do formátu TIFF. Zrcadlovky umožňují navíc ještě uložit takzvaná surová obrazová data ve formátu RAW. Tato data běžné prohlížeče nedokáží zobrazit, protože jsou to binárně uložené signály ze senzoru, ze kterých se obraz teprve musí vytvořit. K tomu poslouží PC s příslušným softwarem ke zpracování RAW obrazu. Zpravidla je tento software ke každé zrcadlovce poskytnut a jeho kvalita se liší u každého výrobce. Nepříjemným faktem je, že ne všechny firmy ukládají formát RAW zcela stejně, a proto je obvykle nutné použít přímo dodávaný software od konkrétního výrobce.

### **2.5.4 LCD obrazovka**

Dnes se každý digitální fotoaparát vyrábí spolu s malou LCD obrazovkou. U kompaktních fotoaparátů její důležitost dokonce předstihuje i samotný hledáček. U digitálních zrcadlovek

slouží zatím spíše orientačně k prohlížení fotografií, případně zobrazuje nastavení fotoaparátu. Zobrazování aktuální scény na LCD obrazovce se u D-SLR prvně objevilo v roce 2004 na zrcadlovce značky Olympus E-300 EVOLT, pod názvem *Live view*. Tato realizace byla vzhledem ke konstrukci hledáčku značně komplikovanější než v případě kompaktních fotoaparátů. Velikost LCD obrazovek se zpravidla pohybuje od 1,8 do 2,5 palce, ale vyrábějí se již i větší, dokonce třípalcové obrazovky. Některé kompaktní fotoaparáty mají LCD displej vyklápěcí, či dokonce otočný. U zrcadlovek byl displej zatím vždy pevnou součástí, právě z toho důvodu, že většinou nezobrazuje aktuální scénu, a tak jeho vyklopení není potřeba. Navíc vyklápěcí displej vždy představuje určité riziko.

### **2.5.5 Videosekvence a zvuk**

Většina kompaktních fotoaparátů dokáže, narozdíl od zrcadlovek, zaznamenávat videosekvence. Digitální fotoaparát pro souvislý záznam obrazu není přímo určen, ale v omezené kvalitě umožňuje i tento záznam. Dále některé fotoaparáty podporují tzv. zvukové poznámky. Slouží k tomu, aby si fotograf mohl k fotografii nahrát poznámku (například kde fotografii pořídil), aby později, až bude na PC fotografie třídit, věděl, ke kterému místu se daná fotografie vztahovala.

### **2.5.6 Menu a nastavitelné funkce**

U většiny digitálních fotoaparátů lze v menu nastavit parametry snímaného obrazu. Mezi základní nastavení patří nastavení kontrastu, ostrosti, saturace a tónu barev. Důležité je také vyvážení bílé, pro kterou existují přednastavené režimy pro různé typy osvětlení. Standardně bývá nastaveno automatické vyvážení, ale možné je i manuální nastavení podle konkrétní potřeby. Dále již jen výčtem uvedeme další nastavitelné možnosti na digitálním fotoaparátu. Jsou to redukce červených očí, redukce šumu, možnost zobrazení histogramu, nastavení samospouště, zoomování při prohlížení, možnost přímého tisku z fotoaparátu, nastavení expozice prioritně podle času, clony, či plně manuálně, používání přednastavených scén (scénické režimy), například pro portrét, makro, pohyb či krajinu a další.

## **2.6 Parametry digitálních komor pro pozemní fotogrammetrii**

Jako měřickou digitální komoru pro pozemní fotogrammetrii je s určitým omezením dnes možné použít prakticky libovolný digitální fotoaparát. Důležité je, aby bylo možné opravit distorzi objektivu a dále musíme znát pozici středu projekce relativně k obrazovému

souřadnicovému systému. [18] Jednotlivé parametry fotoaparátů byly blíže popsány v předchozích oddílech 2.3 a 2.4.

Pro přesné práce je lepší použít kvalitní fotogrammetrickou komoru. Klasické komory vyráběla například firma Carl Zeiss Jena, firma Wild, která je dnes součástí koncernu Leica, a dále například RolleiMetric. Digitální fotoaparáty upravené pro využití ve fotogrammetrii začala nabízet jako první právě firma RolleiMetric, jejíž současné výrobky zobrazuje obrázek 2.17 a jejich parametry tabulka 2.4. [8]



**Obrázek 2.17** Měřické digitální komory značky Rollei. V pořadí zleva Rollei d7 metric5, Rollei d30 metric5 a Rollei d507 metric. Zdroj [34].

Model	Rollei d7 metric <sup>5</sup>	Rollei d30 metric <sup>5</sup>	Rollei d507 metric
Typ	D-SLR s pevným objektivem a 2,5" barevnou obrazovkou	D-SLR s pevným objektivem a 2,5" barevnou obrazovkou	D-SLR s pevným objektivem a 2,5" barevnou obrazovkou
CCD čip	2552 × 1920 Pixelů	2552 × 1920 Pixelů	2552 × 1920 Pixelů
Paměť	SmartMedia, CF (max 2GB), PCMCIA Type I, II, II, PCMCIA hard disk	SmartMedia, CF (max 2GB), PCMCIA Type I, II, II, PCMCIA hard disk	SmartMedia, CF (max 2GB), PCMCIA Type I, II, II, PCMCIA hard disk
Formát	RAW (6,4 MB každá fotka)	RAW (6,4 MB každá fotka)	RAW (6,4 MB každá fotka)
Uzávěrka	1/1000 až 1 vteřina	1/1000 až 1 vteřina	1/1000 až 1 vteřina
ISO	100	100	100
Objektiv	Rolley D-Apogon f'=7 mm (ekviv. 28 mm pro 35 mm film)	Rolley D-Apogon f'=10–30 mm (ekviv. 40–120 mm pro 35 mm film)	Rolley D-Apogon f'=7 mm, s konvertorem Sony 0,7× f'=5 mm (ekviv. 19 mm pro 35 mm film)
Kalibrace	metrická při standardním zaostření	metrická na dvou elektronicky fixovaných zaostřeních	metrická při standardním zaostření a bez konvertoru
Váha	650g bez baterií a záznamového média	650g bez baterií a záznamového média	1130g bez baterií a záznamového média
Rozměry	151 × 102 × 106 mm	151 × 102 × 106 mm	156 × 117 × 117 mm

**Tabulka 2.4** Parametry měřických komor značky Rollei. Zdroj [34].

Dále ještě uvedeme digitální komoru Rolleiflex 6008digital metric, která je následovníkem slavné analogové komory Rolleiflex 6006. Rolleiflex 6008digital metric je vysoce kvalitní digitální komora s vysokým rozlišením, určená pro pozemní fotogrammetrii. K tomuto přístroji si uživatelé mohou vybrat z velkého výběru objektivů značky Rollei Systému 6000 s integrovanou listovou clonou. [34] Digitální komora je zobrazena na obrázku 2.18 a technická data ohledně této komory jsou uvedena v tabulce 2.5.



**Obrázek 2.18** Rolleiflex 6008digital metric, digitální kamera pro pozemní fotogrammetrii. Zdroj [34].

Model	Rolleiflex 6008digital metric		
Počet senzorů	3		
Celkový počet pixelů na senzoru	16 Mpixel	22 Mpixel	39 Mpixel
Počty pixelů [x,y]	4080 × 4076 pixelu	5440 × 4080 pixelu	7228 × 5428 pixelu
Rozměry senzoru	36,9 mm × 36,9 mm	48,9 mm × 36,9 mm	48,1mm × 36,9mm
Velikost pixelu	9μm	9μm	6,8μm
Barevná hloubka	16 bitů každá barevná složka		
Citlivost ISO	50, 100, 200, 400		
Objektiv	PQ – ohnisková vzdálenost mezi 40 až 350 mm (nejkratší uzávěrka 1/500)		
	PQS – 50 mm až 500 mm (nejkratší uzávěrka 1/1000)		
Clona	závisí na volbě objektivu		
Kalibrace	metrická pro každý objektiv		
Rychlost zápisu na CF kartu	16MB/sec (závisí také na rychlosti zakoupené CF karty)		
Rozměry	143 × 139 × 177 mm		
Váha	přibližně 2000g pouze tělo		

**Tabulka 2.5** Technická data komory Rolleiflex 6008digital metric. Zdroj [34]



## 2.7 Parametry digitálních komor pro leteckou a družicovou fotogrammetrii

### 2.7.1 Letecké digitální komory

Digitální letecké měřické komory jsou novinkou v oboru letecké fotogrammetrie a patrně začnou velice brzy odsouvat doposud používané analogové komory na film. Mezi analogové komory patří například komory značky Carl Zeiss, které se úspěšně používají po celém světě. V roce 1999 se tato firma sloučila s firmou Intergraph a tradice výroby leteckých komor pokračuje, ale již pod názvem Z/I Imaging. [3] Významným produktem této firmy a zástupcem digitálních fotogrammetrických komor je DMC 2001, viz obrázek 2.19.



**Obrázek 2.19** Z/I Imaging DMC 2001. Zdroj [2].

Tato komora skládá obraz ze čtyř panchromatických kamer a doplňuje barevnou informaci pomocí tří přidružených, které snímají území v menším rozlišení. Výsledný obraz se vzorkováním převede do podoby, jako kdyby byl pořízen komorou s jedním objektivem. Kamera obsahuje systém FMC (*forward motion compensation*) pro kompenzaci smazu obrazu a využívá technologii TDI (*time delayed integration*). [7]

Podobně jako i některé analogové komory používá měřicí jednotky GPS/IMU pro zjišťování hodnot prvků vnější orientace během letu. S každým snímkem se tak uloží souřadnice  $x$ ,  $y$ ,  $z$  středu promítání složeného panchromatického snímku a úhlové prvky  $\varphi$ ,  $\omega$ ,  $\kappa$  vztažené k osám referenčního souřadnicového systému.

Obrázek 2.20 ukazuje DMC 2001 bez ochranného krytu a jsou na něm dobře vidět dva ze čtyř objektivů, které slouží ke snímání panchromatického obrazu.



**Obrázek 2.20** *Z/I Imaging DMC 2001. Upraveno z [3].*

V následující tabulce 2.6 je uveden objem dat v megabajtech, který vznikne pořízením komorou DMC 2001. Hodnoty se vztahují k nekomprimovaným datům.

	10–16 bitů	8 bitů
<b>Barevný obraz</b>	36MB	18MB
<b>Virtuální obraz</b>	224MB	112MB
<b>Virtuální + barevný</b>	260MB	130MB
<b>Virtuální se 3 barevnými kanály</b>	672MB	336MB

**Tabulka 2.6** *Objem dat pořízených komorou DMC2001. Zdroj [2].*

Jedněmi z posledních vyrobených leteckých komor jsou digitální komory UltraCam<sub>D</sub> a UltraCam<sub>X</sub> od firmy Vexcel. Tyto komory disponují vynikající radiometrickou kvalitou obrazových záznamů a vysokou prostorovou rozlišovací schopností a umožňují i snímkování za zhoršených atmosférických podmínek. Snímky pořízené těmito kamerami jsou lépe čitelné ve stínech a během jediného letu je možné současně vyhotovovat snímky černobílé, barevně-infračervené a v přirozených barvách. [9] Model UltraCam<sub>D</sub> zobrazuje obrázek 2.21.



**Obrázek 2.21** *Ukázka digitální komory UltraCam<sub>D</sub>. Zdroj [39].*

Protože dnes stále nebyl vyroben senzor takové velikosti, aby plně pokryl plochu snímku 23×23 cm, Vexcel UltraCam používá skládání výsledného obrazu z devíti dílčích podobrazů.

Spojení obrazových dat je zajištěno softwarově, podobně jako u digitální komory DMC 2001. Vexcel UltraCam<sub>D</sub> obsahuje 4 systémy s objektivy  $f = 101,4$  mm (model UltraCam<sub>X</sub>  $f = 100$  mm) a rovnoběžnými osami záběru, v jejichž ohniskových rovinách jsou v různé konfiguraci (celkem na 9 místech) osazeny menší, dnes již rutinně vyráběné maticové senzory CCD. Kamera je vybavena ještě dalšími čtyřmi systémy, které jsou vybaveny objektivy o  $f = 28$  mm (model UltraCam<sub>X</sub>  $f = 33$  mm). Tyto objektivy jsou dobře vidět na obrázku 2.21 a slouží pro záznam obrazových dat v barevných složkách R, G, B a NIR. [9]

Abychom získali obraz v přirozených barvách, používá se panchromatické zostření multispektrálního obrazového záznamu, zvané též *pansharpening*. Funguje tak, že k panchromatickému záznamu doplní barevnou informaci, která má ale v porovnání s panchromatickým obrazem menší měřítko. [9]

Paměť kamery UltraCam<sub>D</sub> dosahuje 1,5 TB, což umožňuje pořídit až 2700 obrazových záznamů během jediného letu. Komora UltraCam<sub>X</sub> obsahuje vyměnitelné dvojice kazet, kde každá z dvojice pojme až 2000 snímků, přičemž počet snímků je při vyměňování kazet prakticky neomezený. Používání měřicí jednotky GPS/IMU je již samozřejmostí. [9]

Při leteckém měřickém snímkování na území ČR na film se běžně vyhotovují barevné letecké měřické snímky o formátu 23×23 cm v měřítku 1:23 000. Vzhledem k menšímu rozměru digitálního snímku pořízeného kamerou UltraCam nebylo možné provést digitální letecké měřické snímkování tak, aby byl dodržen požadovaný příčný překryt 25% a stejné měřítko. Z tabulky 2.7 je patrné, že prakticky stejného rozlišení snímků jako v případě snímkování na film v měřítku 1:23 000 bylo dosaženo digitálním snímkováním v měřítku přibližně 1:55 556. [9]

Měřítko snímku $1 : M_s$	$p$ %	Kamera	$P$ v území	Počet snímků	Radiometrické rozlišení	Objem dat RGB	Poměr
1:23 000	60	Zeiss 150	0,46 m	65	8 bitů	<b>25,789 GB</b>	-
1:27 778	65	UltraCamD	0,25 m	400	16 bitů	<b>202,080 GB</b>	7,8×
1:27 778	90	UltraCamD	0,25 m	1350	16 bitů	<b>682,020 GB</b>	26,4×
1:55 556	65	UltraCamD	0,30 m	110	16 bitů	<b>55,572 GB</b>	2,1×

**Tabulka 2.7** Objem digitálních dat na srovnatelném území listu fiktivní SM50. Zdroj [9].

Nevýhodu většího počtu snímků, které pokrývají stejnou plochu, nahradí fakt, že prostorové rozlišení v měřítku 1:27 778 bude přibližně 2× větší než v případě snímkování v měřítku 1:23 000 analogovou kamerou, a to 25 cm, čímž dosáhneme téměř dvakrát vyšší přesnosti v určení rovinných souřadnic vyhodnocovaných bodů. [9]

Tabulka 2.6 ukazuje vlastnosti digitálních kamer Z/I Imaging DMC 2001, Vexcel UltraCAM<sub>D</sub> a UltraCAM<sub>X</sub> v porovnání s dosud užívanými analogovými leteckými měřickými kamerami na film značek Leica a Zeiss.

Kamera	Leica / Zeiss	Z/I Imaging DMC 2001	Vexcel UltraCAM <sub>D</sub>	Vexcel UltraCAM <sub>X</sub>
Typ	analogová na film	digitální	digitální	digitální
f	152 mm (305 mm)	4 × PAN 120 mm 4 × COL 25 mm	4 × PAN 101,4 mm 4 × COL 28 mm	4 × PAN 100 mm 4 × COL 33 mm
Formát snímku	230 × 230 mm	PAN 95 × 168 mm	PAN 103,5 × 67,5 mm 4 × COL 36 × 24 mm	PAN 104 × 68,4 mm 4 × COL 36 × 24 mm
Zorný úhel	74° × 74° (41,3° × 41,3°)	74° × 44°	54° × 36,8°	55° × 37°
Objektiv	širokoúhlý (normální)	normální	normální	normální
Počet pixelů	11 500 × 11 500	PAN 13 824 × 7 680 COL 4 × (3000 × 2000)	PAN 11 500 × 7 500 COL 4 × (4008 × 2672)	PAN 14 430 × 9 420 COL 4 × (4992 × 3328)
Rozměr pixelu	20 μm (skenováním)	12 μm	9 μm	7,2 μm
Radiometrické rozlišení	8 bitů	12 bitů	12 bitů	13 bitů

**Tabulka 2.8** Analogové vs. digitální komory. Zdroj [9], [3], [27].

Výhody digitálních komor jsou tedy následující: Nepotřebují film, není tedy nutné ani jeho vyvolání ve fotolaboratoři, ani následné skenování negativů. Jednotlivé procesy jsou lépe automatizované a méněkrát dojde k jejich přerušení, což šetří čas i peníze. Snímky dosahují vyšší radiometrické kvality, geometrické i radiometrické přesnosti, jejich barvy jsou lépe reprodukovatelné a je možné kontrolovat obraz už během letu. Přináší rovněž nový druh multispektrálních informací a výsledky snímkování jsou k dispozici během kratší doby. [2]

## 2.7.2 Družicové digitální komory

Digitální komory pro družicovou fotogrammetrii byly vyvinuty paradoxně dříve, než digitální komory pro fotogrammetrii leteckou. Nejednalo se sice o přímý digitální záznam, ale tyto družice již od poloviny osmdesátých let úspěšně využívají lineární CCD skener a poskytují tak digitální data. Jedna z prvních těchto družic se jmenovala SPOT a byla vypuštěna v rámci projektu francouzského dálkového průzkumu země.

Lineární skener bylo možno v družicové fotogrammetrii, resp. v dálkovém průzkumu země, efektivně využít také díky tomu, že narozdíl od letadla se družice pohybuje bez větších výkyvů a mnohem stabilněji. [7]

Mezi významné družice snímající zemský povrch patří také družice LANDSAT 7, která byla vynesena na oběžnou dráhu v roce 1999. Družici LANDSAT 7 společně s družicí LANDSAT 5 by mělo vystačit palivo až do roku 2010, kdy by měla být vypuštěna družice LANDSAT 8. Ta by měla nahradit tyto stávající družice. [10]

LANDSAT 7 poskytuje rozlišení, v němž 1 pixel odpovídá 15 m zemského povrchu. V roce 2002 byla vypuštěna družice s označením SPOT 5, která v panchromatickém módu pořizuje snímky s rozlišením až 2,5 metru. Dále ještě zmíníme družici QuickBird, která od roku 2001 poskytuje data, kde velikost pixelu odpovídá 61–72 cm zemského povrchu. [29]

Družice mohou pořizovat stereoskopické záběry například tím, že snímají území ve dvou po sobě následujících drahách, nebo náklonem skeneru ve směru letu vpřed a zpět. Rovněž by bylo možné využít překrytu území ze sousedních drah, ale ten se většinou nepoužívá. [7]

Díky družicovým snímkům je možné získat infračervená pásma, pomocí nichž můžeme analyzovat jevy, jako je například stav vegetace. Využitelné jsou tedy pro zemědělství, lesnictví a ekologii, dále pro řešení geologických aplikací, sledování využití půdy, sledování urbanizace a v mnoha dalších aplikacích. [26]

Největší výhodou družicové fotogrammetrie (DPZ) je získání aktuálních dat obrovského území během velmi krátké doby. Tím se stává nepostradatelnou například při řešení přírodních katastrof jako jsou povodně, či lesní požáry. Se zmenšováním velikosti pixelu, jako například v případě družice QuickBird, tak družicová fotogrammetrie pomalu začíná konkurovat fotogrammetrii letecké.

### 3 Vznik analogového obrazu

Po více než sto let byl klasický film považován za základ pro každou fotografii a snímkování na film ani dnes nepatří mezi dávno překonané technologie. Digitální fotografie je poměrně mladým oborem a rozhodně nenahradila klasickou fotografii takovým tempem, jak se původně očekávalo.

Cílem této kapitoly bude stručně přiblížit a popsat vznik analogového obrazu. Klasický fotografický snímek je středovým průmětem fotografovaného předmětu a jeho průměrná rozlišovací schopnost se udává na 50–150 čar/mm. [8] Ukázkou běžného analogového filmu zobrazuje obrázek 3.1.



**Obrázek 3.1** *Analogový 35 mm široký film.* Upraveno z [32].

#### 3.1 Analogová fotografie

Analogová fotografie je založena na citlivosti některých halogenidů stříbra na světlo. Tyto materiály se i přes vývoj digitálních technologií během posledních 20 let poměrně zlepšily a výborný barevný detail filmové fotografie, který se postupem času stal standardem, poněkud zneprůjemnil počáteční přijetí výsledků digitálních technologií. [8]

Dopadající elektromagnetické záření způsobuje v analogové fotografii černání fotografické emulze na povrchu filmu. Ta bývá tvořena nejčastěji bromidem stříbrným (AgBr), případně chloridem stříbrným (AgCl), či jiným na světlo citlivým materiálem. Dále bývá doplněna speciálními barvivými a stabilizátory. [8]

Černání je na každém místě závislé na intenzitě dopadajícího záření. To způsobuje štěpení bromidu stříbrného na stříbro a brom. Další zpracování probíhá již ve vývojce, kde se tento proces znásobí a urychlí. Nakonec se nerozštěpený bromid stříbrný v ustalovači odplaví, aby snímek dále nereagoval na světlo. [8]

Přidáním speciálních barviv do citlivé vrstvy černobílého filmu vznikne ortochromatický materiál. Ten je citlivý na žlutou a zelenou barvu a jeho propustnost končí u vlnové délky kolem 0,6  $\mu\text{m}$ . Přidáním ještě dalších barviv vznikne panchromatický materiál. Vhodný je zejména pro leteckou fotogrammetrii, protože je citlivější na delší vlnové délky, které lépe pronikají ovzduším. Tento materiál je citlivý i na červenou složku viditelného záření. [8]

Určitou výhodou těchto materiálů je, že nereagují na dlouhovlnné červené světlo, což usnadňuje jejich zpracování v temné komoře. Pro lepší přehled a orientaci ve vlnových délkách je zde připravena tabulka 3.1.

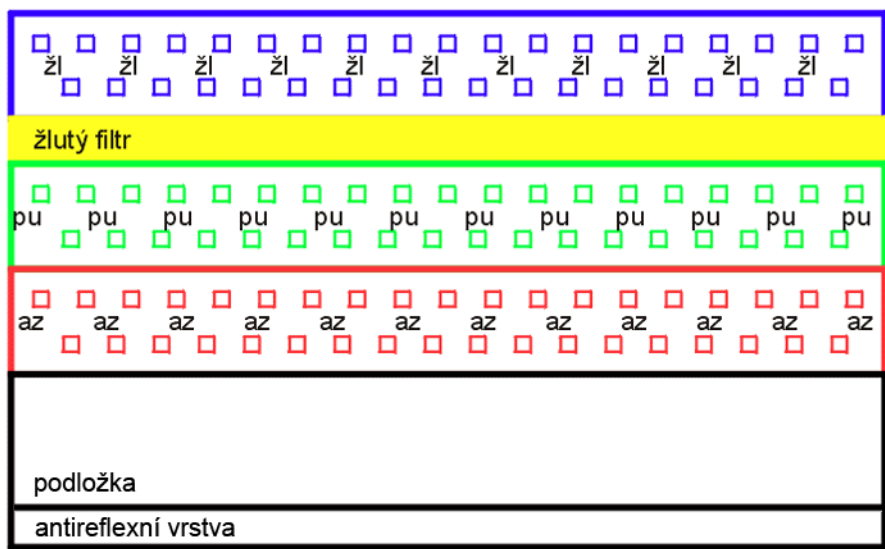
Barva	Přibližná vlnová délka
červená	0,650 až 0,800 $\mu\text{m}$
oranžová	0,590 až 0,640 $\mu\text{m}$
žlutá	0,550 až 0,580 $\mu\text{m}$
zelená	0,490 až 0,530 $\mu\text{m}$
azurová	0,460 až 0,480 $\mu\text{m}$
modrá	0,440 až 0,450 $\mu\text{m}$
fialová	0,390 až 0,430 $\mu\text{m}$

**Tabulka 3.1** Přibližné hodnoty vlnových délek viditelné části spektra. Zdroj [17].

Fotografický materiál lze rozdělit dvěma způsoby. Jednak na pozitivní, negativní a diapozitivní materiál, dále na černobílý a barevný a nakonec na spektrozónální a inframateriál. Černobílá fotografie se dnes používá prakticky jen pro umělecké či technické účely, jinak byla nahrazena fotografií barevnou. Přidáním barevné složky se zvýší informativní hodnota, takže v letecké fotogrammetrii se černobílý film už nepoužívá vůbec.

V každém místě filmu jsou naneseny tři vrstvy s barevnými pigmenty, sloužícími k zachycení plných barev. Každá z těchto složek je, podobně jako u digitálního senzoru typu Foveon, citlivá pouze na jednu barevnou složku. V případě negativního filmu jeho kopírováním na pozitivní materiál získáme správné barevné podání.

Zkratky žl, pu a az na obrázku 3.2 představují žluté, purpurové a azurové barvivo obsažené v jednotlivých vrstvách negativu filmu. Barevné čtverečky představují halogenidy citlivé k příslušné barvě. [12] Podložka je vyrobena z polyesteru a antireflexní vrstva slouží k tomu, aby se paprsky, které projdou všemi vrstvami, neodrážely zpátky.



**Obrázek 3.2** Ukázka řezu negativu filmu. Upraveno podle [12].

Klasický postup zpracování fotografického materiálu zahrnuje exponování materiálu, vyvolání materiálu (5–15 min ve vývojce), přerušovací lázeň, ustálení v kyselém ustalovači (5–10 min), praní (10–20 min), sušení. Po získání fotografie probíhá proces skenování a zálohování získaných dat, zpravidla na CD. [8] Díky přímému digitálnímu záznamu se vyhneme celému tomuto procesu.



## 4 Porovnání výhod a nevýhod snímkování na film a digitálního záznamu obrazu z hlediska geometrické přesnosti

Při digitálním zpracování dat, na rozdíl od snímkování na film, není nutné řešit otázku srážky a průhybu fotogrammetrického materiálu. Data jsou totiž uchována v číselné podobě a jsou tak neměnná. Díky tomu je můžeme dokonale kopírovat a provádět geometrické a radiometrické korekce. Faktory, které ale ovlivňují jak analogovou, tak digitální fotografii, je například vliv objektivu, vliv atmosférické refrakce a vliv zakřivení země. Všechny tyto faktory jsou popsány v následujících oddílech.

### 4.1 Srážka fotografického materiálu

Stálost rozměrů fotografického materiálu je ve fotogrammetrii jedním z rozhodujících faktorů. Závisí zejména na podložce, na které je citlivá vrstva filmu nanесena. Ideální jsou skleněné desky, ale i film je vhodným materiálem a díky své ohebnosti, pružnosti a nízké hmotnosti je velmi dobře využitelný. [8] Nejčastěji se vyrábí z polyesteru, neboli PET. Velikost srážky pro různý materiál zobrazuje tabulka 3.1.

Materiál	Velikost srážky [ $\mu\text{m}$ ]
Skleněná deska	3 – 5 (maximální srážka)
PET podložka	4,5 (pro snímek 13×18cm)
Acetátová podložka	7 (pro snímek 13×18cm)

**Tabulka 4.1** Srážka fotografického materiálu. Zdroj [8].

Srážka podložky se může vyskytnout buďto pravidelná po celé ploše snímku, která je při porovnání skutečných vzdáleností snadno odstranitelná, dále diferenční, která je opět pravidelná, ale odlišná ve směru osy  $x$  a osy  $y$ . Dále se může vyskytnout ještě nepravidelná srážka, která může způsobit lokální nepřesnosti a její odstranění je značně obtížné. Srážka filmového materiálu dnes zpravidla není problémem, ale v případě zpracování archivních snímků je s ní nutné počítat. [8]

### 4.2 Průhyb fotografického materiálu

Nedokonale rovný povrch filmu může způsobit změnu polohy určitých bodů na snímku. Tato deformace je způsobena typem materiálu a nelze ji odstranit, viz tabulka 3.2. [8].

Podložka	Tloušťka [mm]	Rovinnost [ $\mu\text{m}$ ]
Plochá skleněná deska	1,3–3,0	30–50
Ultraplochá skleněná deska	1,3–3,0	25
Broušené sklo	6,0	5–10
Film PET	0,06÷0,003 až 0,18÷0,005	5–20

**Tabulka 4.2** Parametry fotogrammetrického materiálu. Zdroj [8].

### 4.3 Vliv objektivu

Na kvalitě a přesnosti výsledného obrazu se podílí mnoho faktorů. Velmi důležité jsou vlastnosti objektivu. Protože bez něj ale nelze prakticky žádný kvalitní obraz vytvořit, neznamená výhodu či nevýhodu ani pro snímkování na film, ani pro digitální záznam obrazu. Objektiv je tedy nedílnou součástí obou metod a v obou případech se jedná o středové promítání. Konstrukce objektivu se snaží maximálně snížit především distorzi objektivu, která nejvíce ovlivňuje přesnost měření. Distorze se periodicky přeměňuje a její hodnoty se uvádí měřením v osmi radiálních směrech. Tyto hodnoty jsou uvedeny v kalibračním protokolu. Známe-li hodnoty distorze, můžeme ji pomocí moderního fotogrammetrického softwaru kompenzovat. Další vady objektivu, kterými jsou například sférická, asférická a barevná vada čoček, mají vliv spíše na kvalitu, než na geometrii zobrazení, avšak i tyto vady je třeba minimalizovat.

### 4.4 Vliv atmosférické refrakce a zakřivení země

Mezi další faktory patří vliv atmosféry (atmosférická refrakce) a vliv zakřivení Země. Tyto vlivy jsou přímo úměrné vzdálenostem a proto se uvažují zvláště v případě letecké fotogrammetrie. Vliv zakřivení na výškový rozdíl je dán vztahem:

$$\Delta h_z = \frac{s^2}{2R},$$

kde  $s$  je vzdálenost mezi dvěma danými body a  $R$  je poloměr země. Vliv zakřivení je částečně kompenzován chybou z refrakce, která působí proti tomuto vlivu. Vliv refrakce je dán vztahem:

$$\Delta h_z = k \cdot \frac{s^2}{2R},$$

kde  $k \cong 0,13$ . [8]

## **5 Příklady využití digitálního záznamu obrazu v užitě fotografii, pozemní a letecké fotogrammetrii**

### *5.1 Příklady využití fotografie*

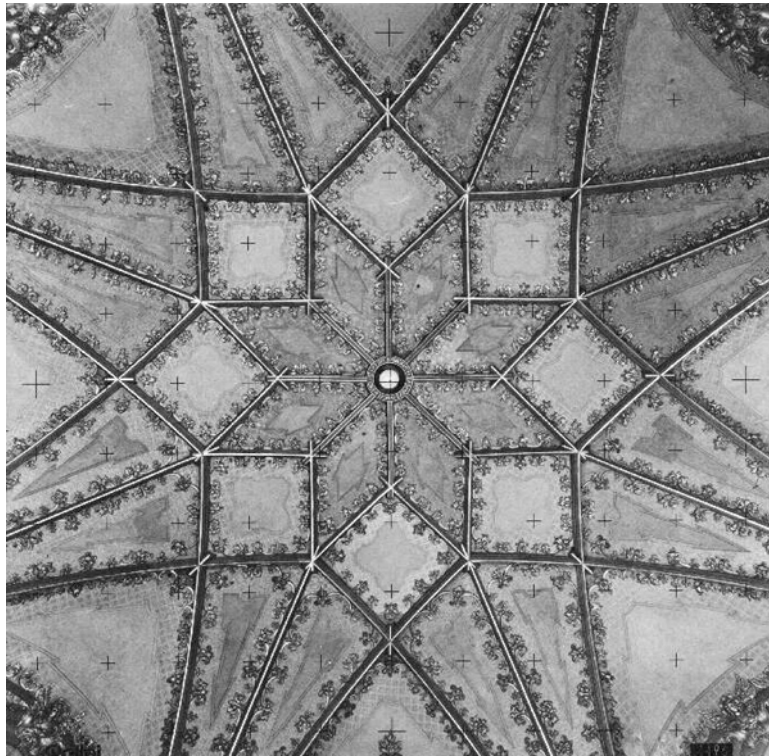
Digitální fotografie je jedním z nejlepších a nejrychlejších dokumentačních nástrojů. Poskytuje dvourozměrné snímky dokumentované scény s mnoha detaily. Ty jsou omezeny pouze několika faktory. Hlavní omezení spočívá v rozlišení senzoru, ale důležitou roli hraje také kvalita objektivu a dalších součástí. I přes tato omezení můžeme obecně říci, že fotografie poskytuje věrný obraz skutečnosti, a proto se za účelem dokumentace velice často využívá.

Užitá fotografie se od fotogrammetrie liší vlastně tím, že na výsledných fotografiích se neprovádí měření rozměrů a nedbá tolik na polohovou přesnost. Je dokonce možné z určitých důvodů obraz zcela změnit, protože fotografie a její zpracování je především uměleckou záležitostí.

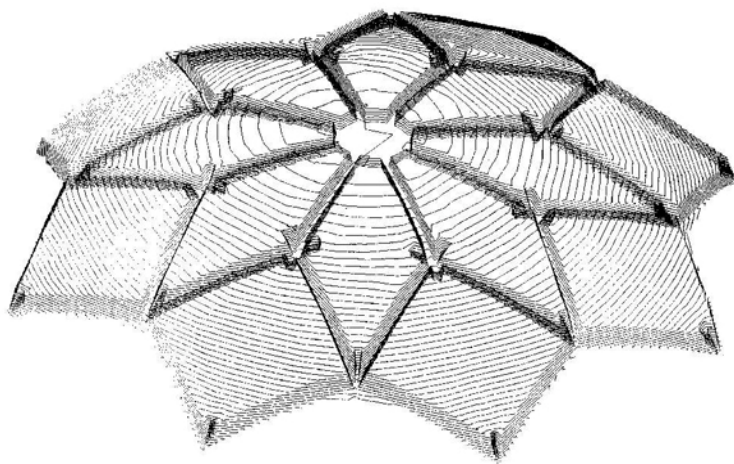
Úkolem fotografie je především přitahovat lidskou pozornost, a proto se hojně využívá v reklamě, v novinách i na internetu. Fotografování je rovněž koníčkem mnoha lidí a krása výsledných produktů stojí za podstupování nejrůznějších rizik, která se při snaze o získání toho nejlepšího záběru často vyskytnou.

## 5.2 Příklady využití pozemní fotogrammetrie

Jedním z největších a nejzáslužnějších využití digitální pozemní fotogrammetrie je dokumentace památkových objektů. Následující ukázky byly vytvořeny v laboratoři fotogrammetrie na ČVUT v Praze. Na obrázku 5.1 se nachází fotogrammetrické zaměření kostela Panny Marie Na Karlově a na obrázku 5.2. následuje fotogrammetrické vyhodnocení vrstevnicového plánu.



**Obrázek 5.1** Černobilá fotografie klenby kostela Panny Marie. Zdroj [21].

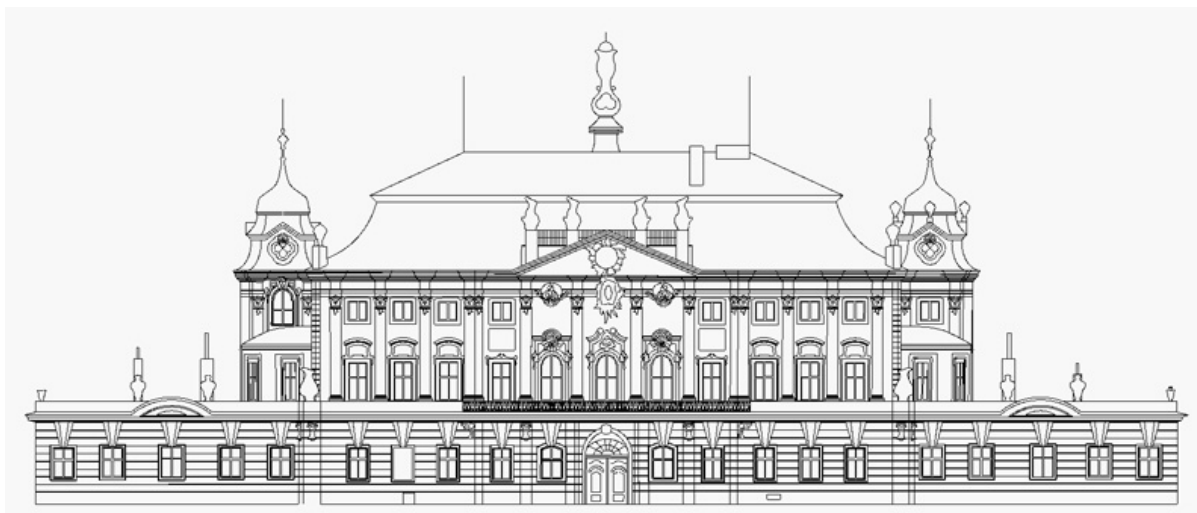


**Obrázek 5.2** Vyhodnocení vrstevnicového plánu klenby s žebry (izometrický pohled). Zdroj [21].

Další ukázka pochází opět z laboratoře fotogrammetrie na ČVUT v Praze. Cílem tohoto projektu bylo zaměřit fasádu budovy barokního záměčku v Jabloném v Podještědí za účelem její rekonstrukce. Na obrázku 5.3 se nachází pohled na jižní stěnu tohoto záměčku a na obrázku 5.4 již její fotogrammetrické vyhodnocení.



**Obrázek 5.3** Záměček v Jabloném v Podještědí. Zdroj [22].



**Obrázek 5.4** Fotogrammetrické vyhodnocení záměčku v Jabloném. Zdroj [22].

Mezi další využití pozemní fotogrammetrie by tedy kromě zaměřování fasád a při případném zjišťování jejich nerovností patřilo například zaměření podzemních prostor, využití v archeologii či (podobně jako u letecké fotogrammetrie) pro výpočet kubatury vytěžené horniny v povrchových dolech.

### 5.3 Příklady využití letecké fotogrammetrie

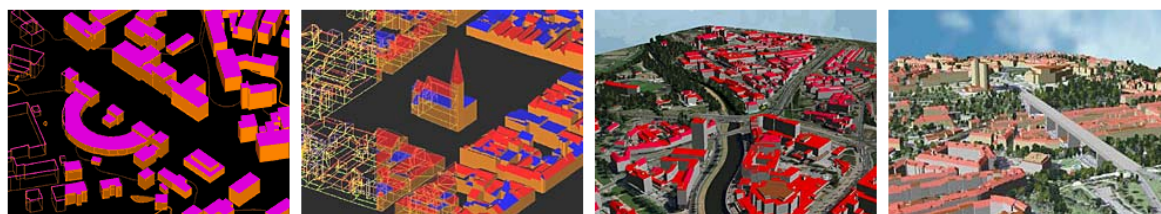
Fotogrammetrie dokáže pořizovat a aktualizovat dostatečně přesná data při mnohem nižších nákladech, než v případě použití geodetických metod. Slouží k pořizování fotoplánů a ortofotomap, ze kterých dále mohou vznikat například digitální mapy měst a obcí. Důležitá je také tvorba digitálních modelů terénu, kterých se využívá například ve stavebnictví při plánování silnic, v zemědělství a lesnictví pro odhad půdní eroze a dále také pro prevenci při přírodních katastrofách, například k vyhotovení modelu záplavové oblasti, nebo slouží jako vizualizace výsledků fotogrammetrických činností a je nenahraditelná zvláště v nepřístupných oblastech.



**Obrázek 5.5** Ukázka barevné letecké ortofotomapy. Zdroj [23].

Jedním z nejdůležitějších výstupů letecké fotogrammetrie je barevná ortofotomapa zobrazující skutečný a nezkreslený stav terénu. Její ukázka se nachází na obrázku 5.5. Data digitálních ortofotomap jsou žádána v informačních systémech, pro přípravu a schvalování projektů projekčními firmami, pro evidenci a správu objektů a pro mnohé další účely. Ortofotomapa se díky rychlé a kapacitně silné výpočetní technice stává základní vrstvou každého moderního GIS. [23]

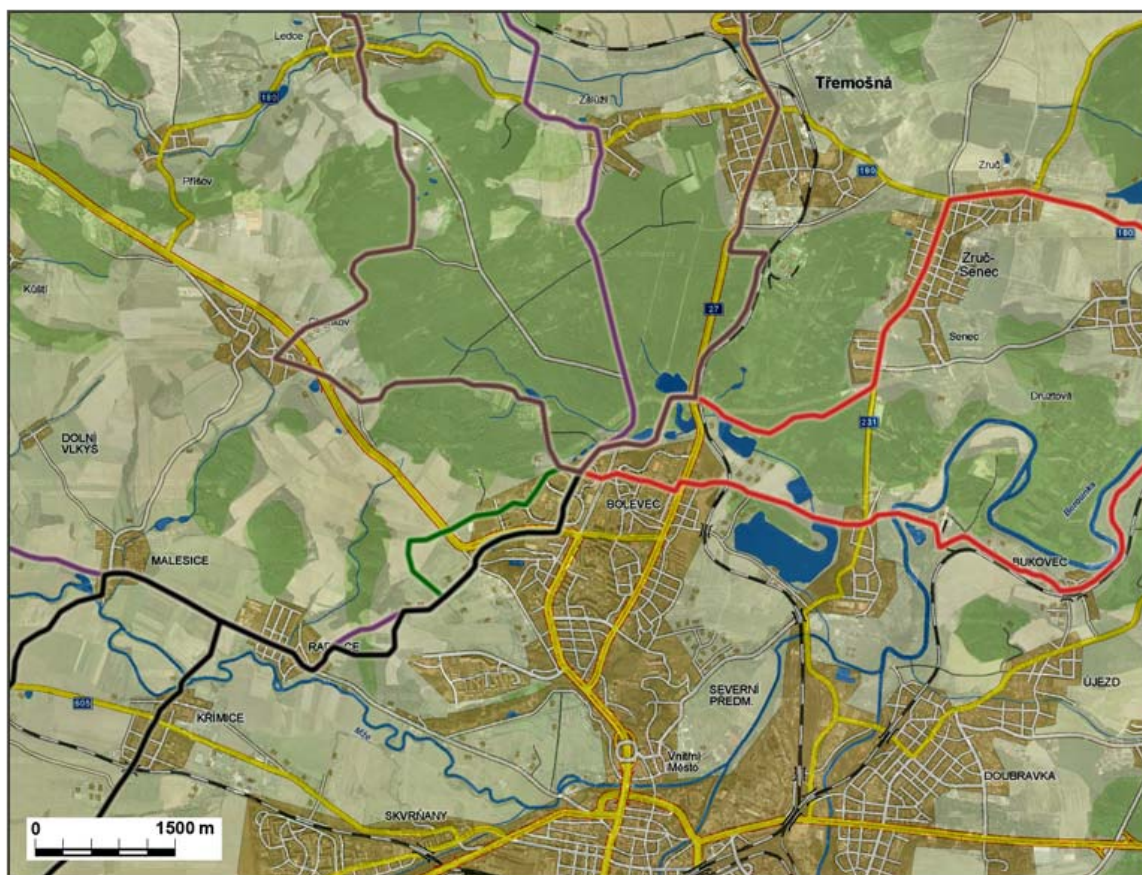
Na obrázku 5.6 jsou znázorněny 3D modely zástavby města, které byly vyhotoveny na základě leteckého snímkování. Jedná se o modely vyhotovené firmou Geodis.



**Obrázek 5.6** Na obrázku v pořadí zleva je znázorněn blokový model, následují dva obrázky urbanistického modelu a na posledním obrázku se nachází podrobný model zástavby města. Zdroj [23].

Dále bychom rádi prezentovali vlastní příklad využití dat získaných pomocí letecké fotogrammetrie. Vytvořili jsme mapu severozápadu Plzeňska na podkladě materiálů ze serveru [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz), kterou používáme k zakreslování cyklistických stezek, vedoucích od místa našeho bydliště. Protože bydlíme na severním předměstí a cesta na kole přes město není příliš vhodná, mapa je situována tak, že Plzeň je umístěna téměř v jihovýchodním rohu. Hlavní prostor mapy se vzhledem k místnímu reliéfu nachází mezi řekami Mží a Berouňkou.

Mapa byla vytvořena prolnutím letecké a základní vrstvy a seskládána z jednotlivých částí získaných ze zmíněného serveru. Dále byla barevně upravena tak, aby vynikly cesty, vodní plochy a místní názvy. Zároveň byla příliš výrazná ortofotomapa barevně potlačena, ale byl kladen důraz na zachování jejích detailů. Výřez této mapy je vidět na obrázku 5.7. Plná verze mapy má rozlišení celých 6000×4600 pixelů a je součástí přiloženého CD. Na mapě je velmi dobře patrný rozdíl mezi skutečným stavem terénu a základní mapou.



**Obrázek 5.7** Ukázka využití letecké fotogrammetrie pro vyhotovení mapy dle vlastních potřeb.

## Závěr

V práci jsme shrnuli možné způsoby získávání digitální obrazových dat, které se dále zpracovávají a využívají, například pro tvorbu ortofotomap a digitálních modelů terénu. K tomuto zpracování je dnes nutné mít data v digitální podobě, a proto je také výhodné, aby data přímo v digitální podobě vznikla. Metodou přímého záznamu totiž obejdemě nutnost vyvolání fotografie a celý proces skenování analogové předlohy.

Přímý digitální záznam, který by plnohodnotně nahradil snímek, nebyl v případě letecké fotogrammetrie po dlouhou dobu možný, především z důvodů výroby dostatečně velkého senzoru s naprosto přesně sesazenými pixely. V letecké fotogrammetrii se totiž potřebujeme dostat na výslednou velikost snímku 23×23 cm. Dodnes nebyl dostatečně velký senzor vyroben, avšak, jak bylo ukázáno v práci, byly vyvinuty digitální komory, které používají více senzorů a výsledný obraz skládají, například z devíti podobrazů. Dalším z důvodů bylo také uložení obrovského množství dat v reálném čase.

V práci bylo rovněž ukázáno, že díky zrychlení toku dat, zvětšení obrazových senzorů, zlepšení barevného podání a snížení hladin šumu se digitální obraz svými kvalitami vyrovnal dlouho používanému filmu, a že výhody přímého digitálního záznamu obrazu dnes již nelze popřít.

Vzhledem k tomu, že tato technologie je poměrně nová a její vývoj není zcela zaplacen, jsou bohužel i tato zařízení, zvláště v případě digitální letecké fotogrammetrie, velice drahá. Cena je natolik významným faktorem, že především menší firmy musí zvážit, zdali zakoupení kvalitní digitální komory pro přímý záznam bude dostatečným přínosem, nebo jestli se vyplatí počkat, než ceny těchto komor klesnou na přijatelnou mez.

Příznivější je stav v užití fotografii, kde již cena digitálních fotoaparátů poměrně klesla. Kvalitní digitální zrcadlovka se dnes pohybuje v rozmezí 20–30 tisíc korun. Tělo profesionální zrcadlovky se senzorem o velikosti filmového políčka lze zakoupit již od 70 tisíc korun a včetně objektivu se vejde do 100 tisíc korun. Pro srovnání, v případě digitální letecké fotogrammetrie se cena těchto zařízení pohybuje v desítkách milionů korun.

Protože odborná literatura, která se těmito technologiemi zabývá, se v českém jazyce vyskytuje velice zřídka, práce byla z velké části vytvořena ze zdrojů zahraničních firem. Vzhledem k obsáhlosti tématu této práce by bylo vhodné na ni navázat (například v rámci diplomové práce) a zabývat se jednotlivými částmi podrobněji.



## Seznam použité literatury a internetových zdrojů

### Literatura

- [1] BALTSAVIAS, E. P.: *On the Performance of Photogrammetric Scanners*. Zurich, 1999. 19 s. (anglicky)
- [2] HEIER, H.: Deploying DMC in today's workflow. In *Photogrammetric Week 2001*. Heidelberg, 2001. s 35 – 45. (anglicky)
- [3] HINZ, A.: DMC – The Digital Sensor Technology of Z/I-Imaging. In *Photogrammetric Week 2001*. Heidelberg, 2001. s 93 – 103. (anglicky)
- [4] KLÍMA, M. – BERNAS, M. – HOZMAN, J. – DVOŘÁK, P.: *Zpracování obrazové informace*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996.
- [5] LITWILLER, D.: CCD vs. CMOS: Maturing Technologies, Maturing Markets. *Photonics Spektra*. Laurin Publishing Co. Inc, 2005. 5 s. (anglicky)
- [6] MURRAY, J. D. – vanRYPNER, W.: *Encyklopedie grafických formátů*. 1. vydání. Praha: Computer Press, 1997. ISBN 80-7226-033-2
- [7] PAVELKA, K. – DOLANSKÝ, T. - HODAČ, J. - VALENTOVÁ, M.: *Fotogrammetrie 30 – Digitální metody*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001.
- [8] PAVELKA, K.: *Fotogrammetrie*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2003. 247 s. ISBN 80-7082-972-9
- [9] ŠÍMA, J.: Na počátku éry digitálního fotogrammetrického snímání území české republiky. In *GEOS*, 2007. 10s.

### Internetové zdroje

- [10] BERGER, B. *U.S. Readies 'Landsat 8' Acquisition* [online]. *Space News*. Publikováno 27.02.2006 [cit. 2007-05-14]. (anglicky)  
Dostupné z [http://www.space.com/spacenews/archive06/Landsat\\_022706.html](http://www.space.com/spacenews/archive06/Landsat_022706.html)
- [11] BŘEZINA, J. *CMOS vs. CCD snímače - změny na obzoru (fotografovani.cz)* [online]. Vystaveno 14.01.2005. [cit. 2007-03-21]. Dostupné z [http://www.fotografovani.cz/art/df\\_trendy/cmos-vs-ccd.html](http://www.fotografovani.cz/art/df_trendy/cmos-vs-ccd.html)
- [12] DZIK, P. *Barevný negativ II. - Jak funguje barevný negativ* [online]. *PALADIX foto-on-line*. Vystaveno 08.07.2001. [cit. 2007-05-09]. Dostupné z <http://www.paladix.cz/clanky/barevny-negativ-ii-jak-funguje-barevny-negativ.html>
- [13] FILIPI, D. *Vynález CCD snímačů sbírá ceny i po 37 letech (fotografovani.cz)* [online]. Vystaveno 01.02.2006. [cit. 2007-03-21]. Dostupné z [http://www.fotografovani.cz/art/fotech\\_df/ccd-bell-labs.html](http://www.fotografovani.cz/art/fotech_df/ccd-bell-labs.html)

- [14] HRUBÝ, J. *Mýty a fámy o značení citlivosti filmů, aneb co říká norma* [online]. PALADIX foto-on-line. Vystaveno 23.4.2003. [cit. 2007-05-09]. Dostupné z <http://www.paladix.cz/clanky/myty-a-famy-o-znaceni-citlivosti-filmu-aneb-co-rika-norma.html>
- [15] PIHAN, R. *Jak vybrat fotoaparát* [online]. Poslední úpravy: 17.6.2005. [cit. 2007-04-13]. Dostupné z [http://www.fotoroman.cz/techniques2/camera\\_basic.htm#Fuji Super CCD SR](http://www.fotoroman.cz/techniques2/camera_basic.htm#Fuji%20Super%20CCD%20SR)
- [16] PIHAN, R. *Rozumíme DSLR - 1. Základní konstrukce, hledáček a senzor (fotografovani.cz)* [online]. Vystaveno 16.08.2006. [cit. 2007-03-21]. Dostupné z [http://www.fotografovani.cz/art/fotech\\_df/rom\\_dslr1.html](http://www.fotografovani.cz/art/fotech_df/rom_dslr1.html)
- [17] PIHAN, R. *Vše o světle (fotografovani.cz)* [online]. Vystaveno 26.01.2007. [cit. 2007-04-15]. Dostupné z [http://www.fotografovani.cz/art/fozak\\_df/rom\\_1\\_09\\_sensor.html](http://www.fotografovani.cz/art/fozak_df/rom_1_09_sensor.html)
- [18] POMASKA, G. *Image acquisition for digital photogrammetry using „of the shelf“ and metric cameras* [online]. [cit. 2007-05-14]. (anglicky) Dostupné z <http://www.imagefact.de/pdf/cipa2001.pdf>
- [19] SÝKORA, M. *Světelnost objektivu* [online]. PALADIX foto-on-line. Publikováno 17.10.1999. [cit. 2007-05-09]. Dostupné z <http://www.paladix.cz/clanky/svetelnost-objektivu.html>
- [20] ŠANDA, L. *Skenování leteckých snímků* [online]. *Geodis news*. [cit. 2007-05-14]. Dostupné z [http://www.geodis.cz/www/download/pdf/gdn12005/05\\_Skenovani-leteckych-snimku.pdf](http://www.geodis.cz/www/download/pdf/gdn12005/05_Skenovani-leteckych-snimku.pdf)
- [21] VALENTOVÁ, M: *Fotogrammetrické zaměření části klenby kostela Panny Marie Na Karlově* [online]. ČVUT, Laboratoř fotogrammetrie. [cit. 2007-05-15]. Dostupné z [http://lfgm.fsv.cvut.cz/lfgm\\_old/karlov/](http://lfgm.fsv.cvut.cz/lfgm_old/karlov/)
- [22] VALENTOVÁ, M: *Fotogrammetrické zaměření barokního zámečku v Jablonném v Podještědí* [online]. ČVUT, Laboratoř fotogrammetrie. [cit. 2007-05-15]. Dostupné z [http://lfgm.fsv.cvut.cz/lfgm\\_old/jablonne/](http://lfgm.fsv.cvut.cz/lfgm_old/jablonne/)
- [23] *3D modely měst* [online]. *Geodis*. [cit. 2007-05-14]. Dostupné z [http://www.geodis.cz/www/www\\_data/index.php?page=3d\\_modely\\_mest.html](http://www.geodis.cz/www/www_data/index.php?page=3d_modely_mest.html)
- [24] *Bayer filter - Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. Poslední úpravy 03.04.2007. [cit. 2007-04-10]. (anglicky) Dostupné z <http://en.wikipedia.org/wiki/RGBG>
- [25] *ClearVid, Sony's SuperCCD?: Digital Photography Review* [online]. Vydáno: 24.01.2006. [cit. 2007-04-13]. (anglicky) Dostupné z <http://www.dpreview.com/news/0601/06012401sonyclearvidcmos.asp>

- [26] *Dálkový průzkum země a fotogrammetrie* [online]. Military portál SPECIALISTA. [cit. 2007-05-14]. Dostupné z <http://www.specialista.info/view.php?cislocclanku=2005090124>
- [27] *Digital Mapping Camera* [online]. Z/I Imaging. [cit. 2007-05-14]. Dostupné z <http://foto.hut.fi/opetus/350/k03/luento7/DMC.pdf>
- [28] *Direct Image Sensors* [online]. Foveon. [cit. 2007-05-14]. (anglicky) Dostupné z <http://www.foveon.com/article.php?a=67>
- [29] *Družicová data* [online]. ARCDATA PRAHA. [cit. 2007-05-14]. Dostupné z <http://www.arcdata.cz/data/druzicova>
- [30] *High quality images* [online]. Canon. [cit. 2007-05-14]. Dostupné z <http://web.canon.jp/Imaging/eosdigital3/quality.html#cmos>
- [31] *Image Sensor Architectures for Digital Cinematography* [online]. Dalsa corp. [cit. 2007-04-10]. (anglicky) Dostupné z: [http://www.dalsa.com/dc/documents/Image\\_Sensor\\_Architecture\\_Whitepaper\\_Digital\\_Cinema\\_00218-00\\_03-70.pdf](http://www.dalsa.com/dc/documents/Image_Sensor_Architecture_Whitepaper_Digital_Cinema_00218-00_03-70.pdf)
- [32] *Image: Fuji Film.jpg - Wikimedia Commons* [online]. [cit. 2007-05-12]. Dostupné z [http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Fuji\\_Film.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Fuji_Film.jpg)
- [33] *Leica Geosystems Geospatial Imaging: DSW700* [online]. Leica. [cit. 2007-05-14]. Dostupné z <http://gi.leica-geosystems.com/LGISub1x4x0.aspx>
- [34] *Metric* [online]. Rollei GmbH. [cit. 2007-05-14]. (anglicky) Dostupné z [http://www.rollei.com/dt/produkte/index\\_metric.html](http://www.rollei.com/dt/produkte/index_metric.html)
- [35] *RGBE - Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. Poslední úpravy 27.03.2007. [cit. 2007-04-10] (anglicky) Dostupné z <http://en.wikipedia.org/wiki/RGBE>
- [36] *Slovníček - Poradna - [3Dpano]* [online]. [cit. 2007-04-13]. Dostupné z <http://3dpano.cz/poradna/slovník>
- [37] *Sony announce new RGBE CCD: Digital Photography Review* [online]. Vydáno: 15.07.2003. [cit. 2007-04-10]. (anglicky) Dostupné z <http://www.dpreview.com/news/0307/03071601sonyrgbeccd.asp>
- [38] *Super CCD - Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. Poslední úpravy 10.04.2007. [cit. 2007-04-13]. (anglicky) Dostupné z [http://en.wikipedia.org/wiki/Super\\_CCD](http://en.wikipedia.org/wiki/Super_CCD)
- [39] *UltraCam<sub>D</sub><sup>TM</sup> Digital Aerial Camera* [online]. Vexcel. [cit. 2007-05-14]. (anglicky) Dostupné z <http://www.vexcel.com/products/photogram/ultracam>

## Příloha A

Výrobce, model	LH Systems, DSW 300	Zeiss, SCAI	ISM, XL-10
<b>Mechanický pohyb</b>	vodorovná, pohyblivá konstrukce	vodorovná, statická konstrukce	vodorovná, v jednom směru pohyblivá konstrukce
<b>Typ senzoru</b>	digital Kodak Megaplug 4. II 2029 × 2044 CCD (960 <sup>2</sup> – 1984 <sup>2</sup> aktivních)	Kodak trilineární barevný CCD, 10200 pixelů (5632 aktivních)	Kodak trilineární barevný CCD, 3 opticky spojené 3 × 8000 pixelů
<b>Formát skenování x/y (mm)</b>	265 / 265	275 / 250	254 / 254
<b>Šířka / délka filmové role (mm/m), posun</b>	35 – 241 / 152 manuálně i automaticky	245 / 150 manuálně i automaticky	241 manuálně i automaticky
<b>Velikost pixelu v μm</b>	4 – 20 základní rozlišení (a dále násobky dvou)	7 – 224 (v násobcích dvou a 21 μm)	10 – 320 (v násobcích dvou)
<b>Radiometrické rozlišení (bit)</b>	10 / 8 nebo 10	10 / 8	10 / 8
<b>Osvětlení</b>	xenonová výbojka, liquid pipe optika, kulový integrátor	chlazený větrákem, halogen, 250 W, difúzní, vláknová optika	denní světlo, fluorescenční lampa
<b>Simultánní snímání RGB</b>	1 ano	1 ano	1 ano
<b>Dynamický rozsah</b>	3D	0 – 3D	0.1 – 2.4D
<b>Geometrická přesnost (μm)</b>	2	2	< 3
<b>Radiometrická přesnost (DN)</b>	1 – 2	± 1,5	
<b>Rychlost skenování</b>	1,7 MB/s (12,5 μm, barevná) 1,3 MB/s (12,5 μm, černobílá) max. 100 mm/s	max. 4 MB/s (7 μm, barevná) 0,45 MB/s (14 μm, černobílá) max. 38 mm/s	0,73 MB/s (20 μm, barevná) 0,37 MB/s (20 μm, černobílá) max. 35 mm/s
<b>Hlavní počítač / Počítačové rozhraní</b>	Sun Ultra 10, 30, 60 / fast 32-bit wide SCSI-2	UNIX SGI / fast SCSI-2, Pentium II, Windows NT/SCSI	Dual Pentium, Windows NT
<b>Přibližná cena (USD)</b>	145 000 / 125 000 s / bez filmové role	138 000 včetně filmové role	95 000 včetně filmové role

Zdroj [1].

## Příloha B

Výrobce, model	Vexcel Imaging Corp., VX 4000HT	Wehrli and Assoc. Inc., RM-2 Rastermaster	Zeiss, Intergraph PhotoScan 1
<b>Mechanický pohyb</b>	svislá konstrukce, pohyblivý senzor, neviditelný réseau	vodorovná, pohyblivá konstrukce	vodorovná, pohyblivá konstrukce
<b>Typ senzoru</b>	plošný CCD 1024 × 1024 pixelů	Dalsa TDI lineární CCD, 96 × 2048 pixelů (1024 aktivních)	lineární CCD Fairchild, 2048 pixelů
<b>Formát skenování x/y (mm)</b>	508 / 254	250 / 250	260 / 260
<b>Šířka / délka filmové role (mm/m), posun</b>	70 – 241 / 305 manuálně i automaticky	není	není
<b>Velikost pixelu v <math>\mu\text{m}</math></b>	7,5 – 210, průběžně proměnné	10 – 80 nebo 12 – 96 (v násobcích dvou)	7,5 – 120 (v násobcích dvou) možnost 4 $\mu\text{m}$ základního rozlišení
<b>Radiometrické rozlišení (bit)</b>	8 / 8	12 / 8	10 / 8
<b>Osvětlení</b>	studené katodové, proměnná intenzita	pevné, vysokofrekvenční, fluorescenční, s proměnnou intenzitou	halogen, 100W, vláknová optika
<b>Simultánní snímání RGB</b>	1 ne	3 ne	3 Ne
<b>Dynamický rozsah</b>	0,2 – 2D	0,2 – 2D	0 – 2,7D
<b>Geometrická přesnost (<math>\mu\text{m}</math>)</b>		< 4	< 2
<b>Radiometrická přesnost (DN)</b>	$\pm 2$		$\pm 2$
<b>Rychlost skenování</b>	0,35 MB/s	0,5 MB/s (barevná) 1,2 MB/s (černobílá)	proměnná, 2 MB/s (7,5 $\mu\text{m}$ ) 1 MB/s (15 $\mu\text{m}$ )
<b>Hlavní počítač / Počítačové rozhraní</b>	Windows NT a X- Windows PC / RS 232 a 422	Pentium PC, Windows NT, PCI bus / SCSI	pracovní stanice Intergraph UNIX / běžné rozhraní
<b>Přibližná cena (USD)</b>	60 000 (pro VX4000DT) bez filmové role	55 000	147 000

Zdroj [1].

## **Příloha C**

CD s následujícím obsahem:

- Rychtera\_BP.pdf
- Plzen\_SZ.jpg
- Plzen\_SZ\_tracks.jpg