

Záznam a zobrazování barev

David Červený

Diplomová práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta multimediálních komunikací

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta multimediálních komunikací
Ústav animace a audiovize
akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **BcA. David ČERVENÝ**
Studijní program: **N 8209 Teorie a praxe audiovizuální tvorby**
Studijní obor: **Kamera**

Téma práce: **1. Teoretická část:
Záznam a zobrazování barev**
**2. Praktická část:
Hraný film "Škodovkou" – kamera**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická část práce:

Rozsah práce: 25 – 35 normostran textu bez započítání obsahu, rejstříku a obrazových příloh. Formální podoba 1 ks v pevné vazbě s popisem na hřbetu i horní desce spolu s CD-ROM. Dále 2 ks práce, které mohou být v kroužkové vazbě. Práci je třeba rovněž odeslat do knihovny UTB Zlín v elektronické podobě ve formátu pdf.

Pokyny k vypracování: prostudujte a analyzujte dostupné materiály z profesního hlediska a formulujte závěry a získané vědomosti.

2. Praktická část práce:

Audiovizuální výstup předložte na 3 ks DVD ve formátu DVD-video a 1 ks MiniDV (nosiče řádně popište).

Součástí celé práce budou vyplněné formuláře pro OSA, NFA a Licenční smlouva k audiovizuálnímu dílu.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/umělecké dílo**

Seznam odborné literatury:

Literatura vychází z profesního a tematického zaměření práce.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Mgr. Juraj Fandli
Ústav animace a audiovize

Datum zadání diplomové práce:

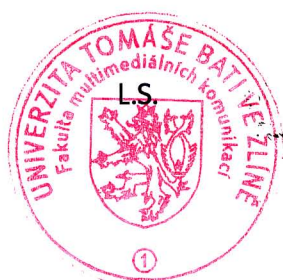
11. ledna 2010

Termín odevzdání diplomové práce:

17. května 2010

Ve Zlíně dne 11. ledna 2010


doc. MgA. Jana Janíková, ArtD.
děkanka



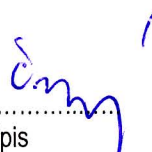

doc. MgA. Jana Janíková, ArtD.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské/diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že bakalářská/diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou/diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou/diplomovou práci - nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské/diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské/diplomové práce využít ke komerčním účelům.

Ve Zlíně 19. 1. 2010

DAVID ČERVENÝ 
.....
Jméno, příjmení, podpis

1) zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47b Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

2) zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

3) zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jim dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídnou k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zaměřuje na technologický vývoj barevného snímání a zobrazování obrazu. Řadí za sebe jednotlivé vývojové etapy systémů od analogových až po digitální.

ABSTRACT

This thesis focuses on the technological development of capturing and displaying color images. It ranks for each individual developmental stages of the systems from analog to digital.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Obsah

Úvod.....	8
1. Teorie vnímání barev.....	9
1.1. Aditivní míchání barev (RGB model).....	9
1.2. Subtraktivní míchání barev (CMY nebo CMYK model).....	11
2. Technologický vývoj záznamu barev.....	12
2.1. Historie.....	12
2.2. První pokusy s barevnou fotografií.....	13
2.3. Autochrom.....	14
3. Barevná kinematografie.....	16
3.1. První dvoubarevné systémy.....	16
3.2. Kinemacolor a jeho následovníci.....	17
3.3. Technicolor.....	21
3.4. Kodachrome.....	26
3.5. Agfacolor.....	28
3.6. Eastman Color.....	28
4. Moderní třívrstvý barevný film.....	29
4.1. Princip vzniku barevného obrazu.....	30
4.2. Filmová podložka.....	31
5. Elektronické snímače.....	32
5.1. Snímací elektronky.....	32
5.2. CCD.....	34
5.3. CMOS.....	37
5.4. Super CCD.....	38
5.5. Foveon X3 sensor.....	39
6. Elektronické monitory a displeje.....	41
6.1. CRT.....	41
6.2. LCD.....	43
6.3. Plazmové displeje.....	45
6.4. OLED.....	46
7. Elektronické projektory.....	46
7.1. CRT projektory.....	46
7.2. LCD projektory.....	47
7.3. DLP projektory.....	48
Závěr.....	50
Bibliografie.....	51

Úvod

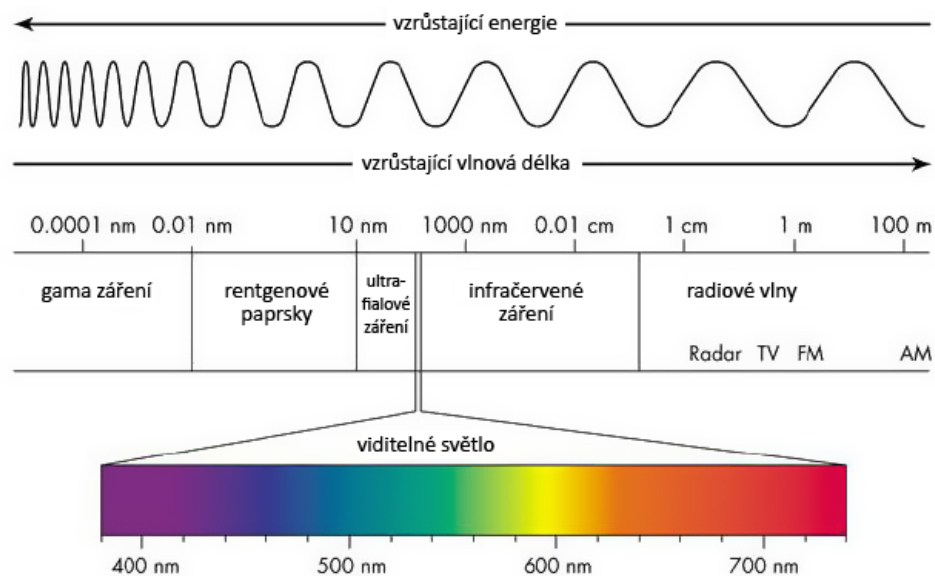
V této práci se věnuji historickému vývoji snímání a zobrazování barevného obrazu. Popisuji především nejzásadnější systémy a technologie, které svým vznikem významně ovlivnily další směr ubírání toho technického odvětví, protože vývoj s sebou nesl i řadu slepých uliček.

Zabývám se jak statickou fotografií, tak i filmovým průmyslem, kde poukazuji na komerčně nejúspěšnější technologie, jejichž principy se v jisté formě přenesly až do dnešní doby.

Srovnávám film, jakožto analogový nosič obrazu a moderní elektronické systémy pracující výhradně s digitálními informacemi. I když se filmový a elektronický způsob snímání obrazu značně technologicky liší, existuje mezi nimi jistá paralela. Tato práce je tak i dokladem toho, že si při svém vývoji prošly obě technologie velmi podobnou cestu. Od černobílého obrazu, přes snímání na 3 čipy/filmové pásy až po sloučení do jednoho čipu/třívrstvého materiálu.

1. Teorie vnímání barev

Světlem se nazývá část elektromagnetického spektra mezi ultrafialovým a infračerveným zářením, v rozmezí vlnových délek přibližně od 390 do 720 nm. Každá frekvence z tohoto rozsahu je lidským okem vnímána jako barva, počínaje fialovou, dále přes modrou, zelenou, žlutou až po červenou. Celé barevné spektrum dohromady vnímáme jako bílé světlo. Tohoto principu je využito ve dvou základních systémech míchání barev.



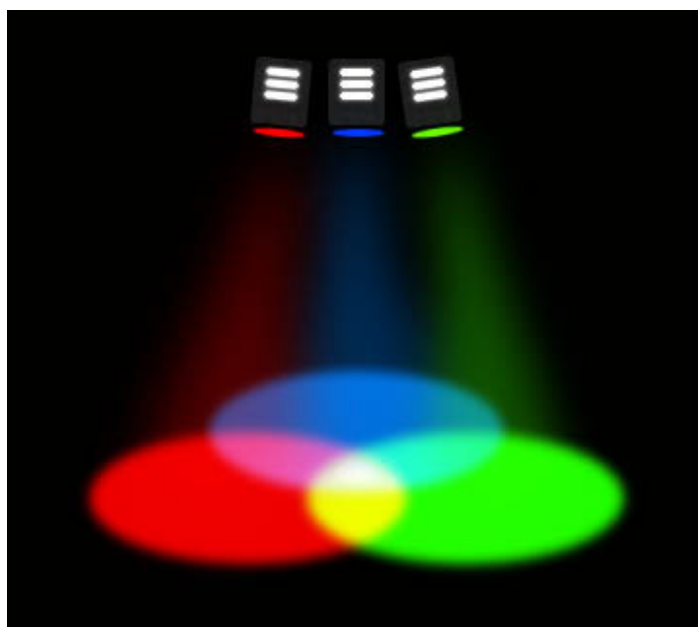
1. Viditelná část elektromagnetického spektra

1.1. Aditivní míchání barev (RGB model)

Proces, při kterém se barvy míchají pomocí světla se nazývá aditivní míchání. Tato teorie byla představena Sirem Thomasem Youngem počátkem 19. století a stala se základem všech moderních filmových a elektronických video systémů. Young objevil, že mícháním červeného (Red), zeleného (Green) a modrého (Blue) světla v různých poměrech vzniká většina ostatních barev celého viditelného spektra. Zjistil, že tyto tři barvy jsou ideálními základními barvami, protože jsou od sebe ve spektru nejvíce vzdáleny. Právě díky rozmístění je jimi možné vytvořit nejširší barevný rozsah a dohromady, tedy po

jejich sečtení (odtud označení „aditivní“), dávají za správných podmínek bílé světlo. Platí tedy, že čím intenzivnější barevná světla sečteme, tím světlejší dostaneme výsledek.

Kombinací libovolných dvou primárních barev získáme barvu sekundární, která je současně komplementární ke třetí primární barvě. Například smícháním červené a modré získáme purpurovou (a další barvy v rozsahu od fialové po růžovou nazývané magenta). Kombinací zelené a modré vytvoříme tyrkysové barvy (cyan) a nakonec červenou a zelenou vygenerujeme žlutou (yellow) a barvy v oranžovém rozsahu.



2. Aditivní RGB model vytváří barvy pomocí sčítání světel dopadajících na bílou podložku

Komplementární barvy jsou také nazývány sekundárními barvami. Purpurová je komplementární barva k primární zelené, protože obsahuje červenou a modrou. Žlutá je komplementární k primární modré, protože obsahuje červenou a zelenou.

1.2. Subtraktivní míchání barev (CMY nebo CMYK model)

Subtraktivní systém s předchozím aditivním úzce souvisí. Jako primární barvy totiž používá právě sekundární barvy aditivního modelu, tedy azurovou (Cyan), purpurovou (Magenta) a žlutou (Yellow).



3. Subtraktivní CMY (nebo CMYK) model tvoří barvy odečtením pohlcené části spektra

Princip míchání je v tomto případě založen naopak na odčítání barev z celého spektra. Nejlépe si tuto skutečnost představíme na příkladu barevných filtrů. Každý filtr propouští z celého bílého světelného spektra jen určitou část. Vezmeme-li si třeba žlutý a tyrkysový filtr a položíme je přes sebe, dostaneme zelenou. Tyrkysový filtr totiž propouští pouze zelenou a modrou část spektra a žlutý filtr zase jen zelenou a červenou. Výsledná barva je tedy průnikem těchto složek, což je v našem případě právě zelená. Ostatní barvy jsou ze spektra oběma filtry pohlceny neboli odečteny (odtud označení „subtraktivní“).

Tento model se používá převážně při tisku, kde se navíc přidává ještě čtvrtá složka - černá (black), protože používané tiskové barvy nemají ideální vlastnosti na to, aby při smíchání dokázaly pohltit všechno dopadající světlo. Výsledkem by byla jen tmavě šedá.

2. Technologický vývoj záznamu barev

2.1. Historie

Snaha zaznamenat a uchovat obraz reálného světa, který nás obklopuje, je v historii lidstva známa už od pravěku. Od prvních jeskynních kreseb se technologie ručního zobrazování neustále rozvíjela, až byla nakonec mistry malířství přivedena k realistické dokonalosti. Touha člověka zobrazovat skutečnost šla ale ještě dál. Různí vynálezci se po staletí snažili přijít na to, jak se vyhnout nezbytnému lidskému článku, který byl potřeba k převedení reálného obrazu na plátno. Až v 19. století přišli na způsob, kterým bylo možné uchovat snímek vykreslený kamerou obscurou¹, na jejíž matnici nanесли světlocitlivý materiál. Obraz tak „vykreslovalo“ samotné světlo, které se od okolních předmětů odráželo a malou dírkou vnikalo do přístroje. Vznikl tak pojem fotografie.

Za první chemickou fotografii, kterou v roce 1826 zhotovil francouzský vynálezce Nicéphore Niépce, se považuje snímek zachycený na vyleštěnou cínovou desku pokrytou živicí². Později bylo experimentováno s různými sloučeninami stříbra nanášenými na sklo, které při osvětlení tmavly. Expoziční časy těchto prvních deskových fotografií byly příliš dlouhé a celý proces vyvolávání značně náročný a mnohdy i nebezpečný, protože se při něm

¹ Camera obscura - (z lat. temná komora), dírková komora je optické zařízení používané jako pomůcka malířů. Byla předchůdcem fotoaparátu.

² Živice - souhrnné označení pro organické kapaliny, které jsou vysoce viskózní, černé barvy. Asphalt a dehet jsou nejčastější formy živic.

pracovalo se rtuťovými parami. Takto pořízené snímky nebylo možné ani dále reprodukovat – každý byl originál. V roce 1884 vyrobil George Eastman první fotografický film, který zbavil fotografy nutnosti nosit s sebou těžké skleněné fotografické desky, a ze snímků už se také dalo vytvořit více kopií. Zatím se však stále jednalo o černobílé fotografie zachycující pouze jasovou škálu obrazu.

2.2. První pokusy s barevnou fotografií

K plnohodnotnému zobrazení dosud chyběla barevná informace. Současně s objevem fotografie sice vznikaly různé metody ručního kolorování černobílých snímků, nicméně se stále nejednalo o skutečné zachycení přirozené barvy, ale pouze o umělé, dodatečné implementování.

Fyzikální princip barevné fotografie poprvé předvedl James Clerk Maxwell v Londýně 17. května 1861. Promítl na plátno současně tři černobílé snímky barevné řádové stuhy přes červený, zelený a modrý filtr, které byly předtím exponovány přes filtry stejných barev. Použil tak principu aditivního míchání barev.



4. Raná barevná fotografie z roku 1877 pořízená subtraktivní metodou, autor Louis Arthur Ducos du Hauron (1837-1920)

V roce 1868 si Louis Ducos du Hauron patentoval subtraktivní metodu, při které pomocí výtažkových filtrů zhotovil současně třemi fotoaparáty barevně tónované diapozitivy (tyrkysový, purpurový a žlutý), které potom k sobě přesně sesadil a vytvořil tak plnohodnotný, barevný obraz. Tyto rané metody se však nijak významně nerozšířily, protože byly pro běžné použití příliš komplikované a časově náročné.

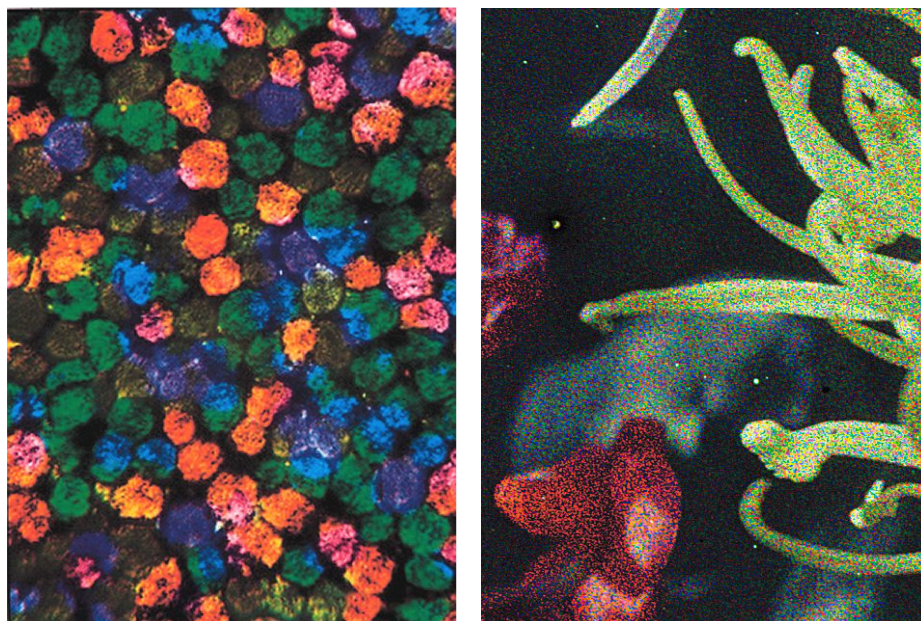
2.3. Autochrom

O masové využití barevné fotografie se na začátku 20. století postarali bratři Lumièreové s jejich patentovaným procesem nazvaným *Autochrom*. Komerčně se začal vyrábět roku 1907 a téměř do konce 30. let zůstal nejrozšířenějším systémem barevné fotografie na celém světě. Autochrom je také založen na principu aditivního míchání barev, ale na rozdíl od předchozích metod používá pro snímání i zobrazování místo tří výtažkových snímků jen jednu skleněnou desku s barevným rastrem. Podobně fungují dnešní moderní elektronické barevné snímače a monitory, podrobně popsané v posledních kapitolách.



5. Autochrom z roku 1912, 17,8 x 12,7 cm,
autor Jean-Baptiste Tournassoud (1866-1951)

Skleněná autochromová deska vlastně vypadala jako průsvitný diapozitiv. Na sklo potažené včelím voskem se nalepila obarvená mikroskopická zrníčka bramborového škrobu, která byla velkým tlakem zploštěna na minimální tloušťku, čímž se dosáhlo lepší průsvitnosti a mezery mezi zrnky se ucpaly černými sazemi. Používané barvy zrníček byly fialovo-modrá, zelená a oranžovo-červená. Na takto připravenou a přelakovanou vrstvu barevné mozaiky se nanasla světlocitlivá emulze. Hotová deska se vkládala do fotografického přístroje barevným rastrem směrem k objektivu. Jednotlivá zrníčka tvořila miniaturní barevné filtry, přes které se exponovala světlocitlivá vrstva. Každé zrnko propustilo z dopadajícího světla jen svou barevnou složku a emulze v místě za ním po vyvolání buď zůstala průsvitná, nebo zčernala. Při prohlížení se naopak procházejícím světlem jednotlivá zrníčka rozzářila, každé svou barvou, a dohromady vytvořila barevný obraz.



6. Mikroskopický snímek obarvených škrobových zrněk a detail Autochromové fotografie s viditelným barevným rastrem

Autochromy vynikaly svou krásnou, i když ne zcela reálnou, barevností a stálostí. K hlavním nevýhodám však patřila nízká citlivost na světlo, kterou způsobovala špatná propustnost škrobových zrněk. K dalším negativním

vlastnostem patřily poměrně vysoké náklady na výrobu, nereálné podání modré barvy a nemožnost snímky kopírovat (každá autochromová fotografie byla originál).

I přes všechny nedostatky se tato technika ve své době těšila velké oblibě. Skleněné desky byly později ve třicátých letech nahrazeny autochromovým filmem, kterému se říkalo *Filmcolor*. Ten se už ale nedočkal výraznějšího rozšíření, protože jej v roce 1935 svými vlastnostmi překonal první moderní třívrstvý barevný materiál *Kodachrome*.

3. Barevná kinematografie

Na přelomu 19. a 20. století se ruku v ruce s fotografií rozvíjela také kinematografie a i zde byla snaha o zachycení barvy. Stejně jako u statických snímků se i u filmu nejdříve používalo ručního kolorování, což byl vzhledem k obrovskému počtu filmových okének velmi náročný proces. Později se začaly objevovat různé metody využívající již zmíněných aditivních a subtraktivních systémů a na filmová plátna se tak pomalu dostávaly barvy skutečně zachycené při procesu natáčení. I když svým podáním měly první barevné filmy k věrnému zobrazení ještě dost daleko, v technologickém vývoji to byl významný krok kupředu.

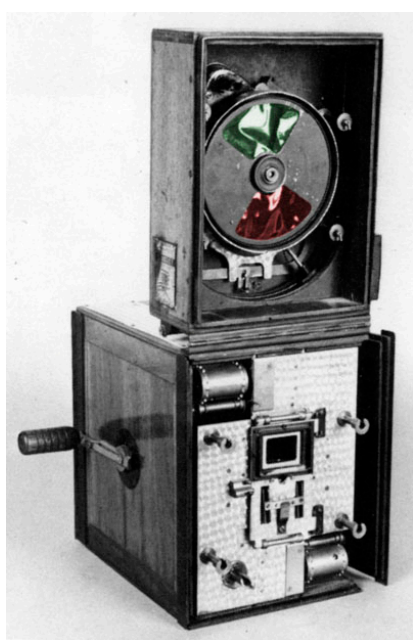
3.1. První dvoubarevné systémy

Stejně jako u fotografie se také v kinematografii využívalo aditivního principu míchání barev, ale zpočátku pouze se dvěma barvami. Filmování probíhalo technicky tak, že se každé filmové políčko sejmulo na černobílý materiál zvlášť přes červeno-oranžový a modro-zelený filtr (jejichž přesné odstíny se lišily systém od systému) a zpětně při projekci se obě políčka promítala každé přes svůj filtr, aby na plátně vytvořila dvoubarevný obraz. Tyto první systémy musely ovšem čelit různým technologickým omezením. V té době se totiž používaly výhradně ortochromatické černobílé materiály, které nebyly citlivé

na červenou část spektra. Než se v polovině 20. let vyvinuly panchromatické emulze, reagující i na červenou, museli první průkopníci barevné kinematografie chemicky upravovat své filmy, aby byly více či méně schopné zaznamenat celé viditelné spektrum.

3.2. Kinemacolor a jeho následovníci

Jedním z prvních úspěšných systémů barevné kinematografie byl *Kinemacolor* z roku 1908, vyvinutý v Anglii Američanem Charlesem Urbanem a jeho britským kolegou C. Albertem Smithem.



7. Filmová kamera systému *Kinemacolor* z roku 1924

Kamera Kinemacoloru exponovala políčka černobílého filmu sekvenčně na jeden pás, přes střídající se červený a zelený filtr. Aby se zamezilo nepříjemnému barevnému blikání na plátně při projekci, byla rychlost snímání oproti tehdy běžné frekvenci 16 snímků za sekundu dvojnásobná, tedy 32 snímků. To ovšem znamenalo dvojnásobnou spotřebu materiálu ve srovnání s černobílou projekcí a také dvojnásobnou fyzickou zátěž pro kameramany a promítače, kteří ještě v té době poháněli přístroje ručně.

Problémem všech aditivních systémů byl jejich nízký jas obrazu na plátně, protože část světelného výkonu projektoru se ztratila průchodem přes barevné filtry. Dalším neduhem, nejen tohoto, ale i ostatních systémů založených na sekvenčním snímání barev, byla takzvaná časová paralaxa. Protože mezi expozicemi červeného a zeleného políčka uběhla určitá doba, nebyly tyto dílčí snímky nikdy přesně stejné. To se na plátně projevovalo

rozdvojenými barevnými okraji a duchy kolem pohybujících se postav a předmětů.



8. Ukázka dvou černobílých okének exponovaných přes červený a zelený filtr systémem *Kinemacolor* a výsledný obraz získaný při projekci (ukázka z filmu *The Delhi Durbar* z roku 1912)

I přesto byl v Evropě *Kinemacolor* v době svého vzniku docela úspěšný formát. Jen v Británii bylo tímto systémem zařízeno asi 300 kin a vyprodukovalo se 54 filmů. Další rozvoj však překazily spory společnosti o jejich patent, které dopadly v neprospěch firmy a umožnili komukoli volně využívat jeho výhod. Navíc I. světová válka zanechala celou evropskou kinematografii v troskách a než mohlo opět dojít k jejímu zotavení a návratu *Kinemacoloru* na scénu, v Americe se mezitím vyvinul mnohem vyspělejší barevný systém - *Technicolor*.

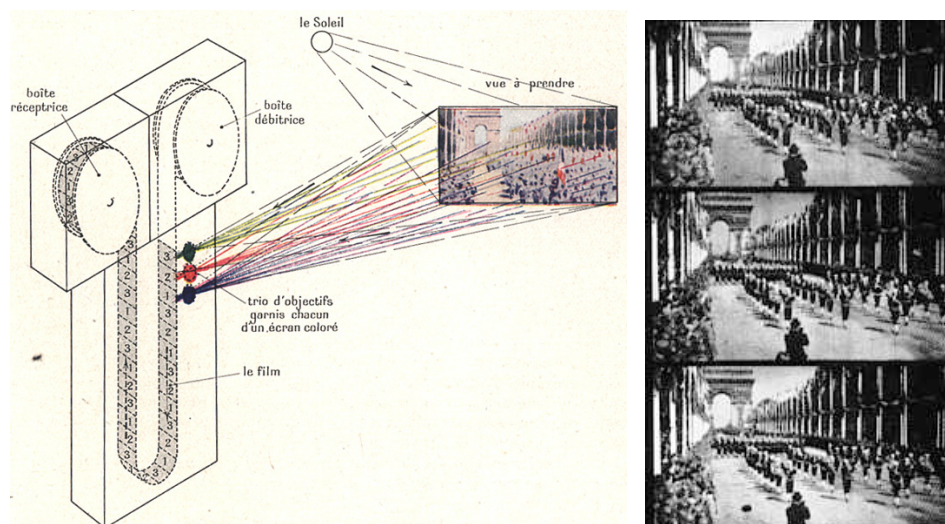
Současně s *Kinemacolorem* byla na stejném principu vytvořena spousta podobných formátů, lišících se například jinou barvou použitých filtrů nebo rozložením jednotlivých okének na filmovém pásu. Vznikaly také první pokusy o zachycení celého spektra barev použitím tří nebo dokonce i čtyř filtrů. Jejich technická náročnost nebo vysoké výrobní náklady jim však většinou bránili v širším komerčním využití a tak brzy zanikly.



9. Filmová kamera systému *Chronochrom* z roku 1912

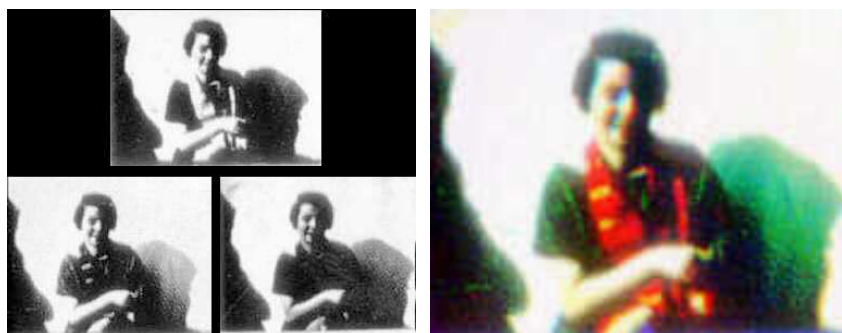
Jedním z nich byl například systém *Chronochrom*, patentovaný Léonem Gaumontem v roce 1911. Jeho velkou výhodou bylo odbourání rušivého blikání projekce (doprovázející předchozí sekvenční systémy), protože *Chronochrom* exponoval všechna tři políčka současně. Kamera byla vybavena třemi objektivy s modrým, červeným a zeleným filtrem. Používala standardní 35mm filmový pás a na něj v jeden okamžik exponovala nad sebou tři políčka o rozměrech 14 x 24 mm. Obraz tak měl panoramatický formát. Spotřeba materiálu byla oproti

černobílému filmu 2,5krát větší, protože posuv filmu se uskutečňoval po devíti perforacích.



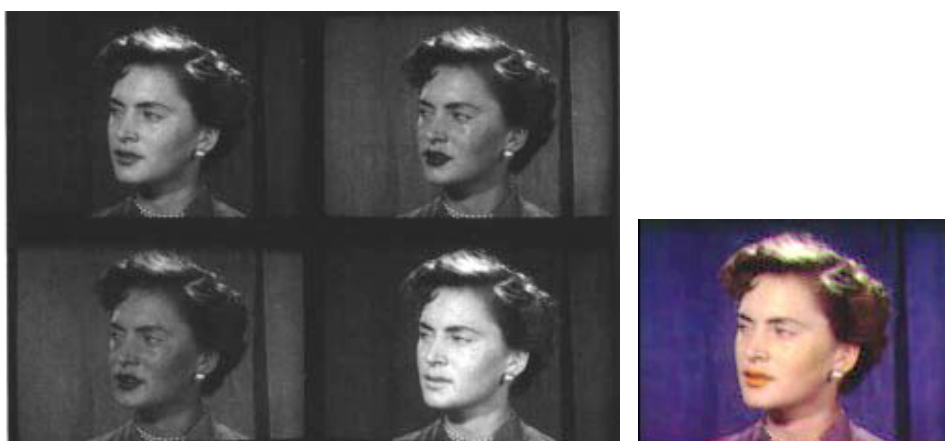
10. Schéma paralelního záznamu všech tří barevných složek systémem *Chronochrom* na jeden filmový pás a ukázka jednoho „barevného“ filmové políčka.

Dalším aditivním systémem, který se neprosadil, byl *Opticolor*. Využíval také tři barevných složek, ale jednotlivá okénka vměstnal dosti neefektivně do velikosti jednoho klasického políčka 35mm filmu. Z toho samozřejmě vyplývala velmi nízká rozlišovací schopnost tohoto formátu.



11. Filmové políčko systému *Opticolor* se třemi okénky jednotlivých barevných složek (nahore červená, vlevo zelená, vpravo modrá) a výsledný barevný obraz s velmi nízkým rozlišením

O něco lépe na tom byl systém *Roux Color*, který sice používal v té době nestandardní rozměr filmu (přibližně 70 mm), ale využil celou plochu filmového políčka exponováním čtyř barev. Pro lepší podání modrých odstínů totiž přidal speciální modro-fialový filtr, který zvýšil celkovou barevnou věrnost obrazu.

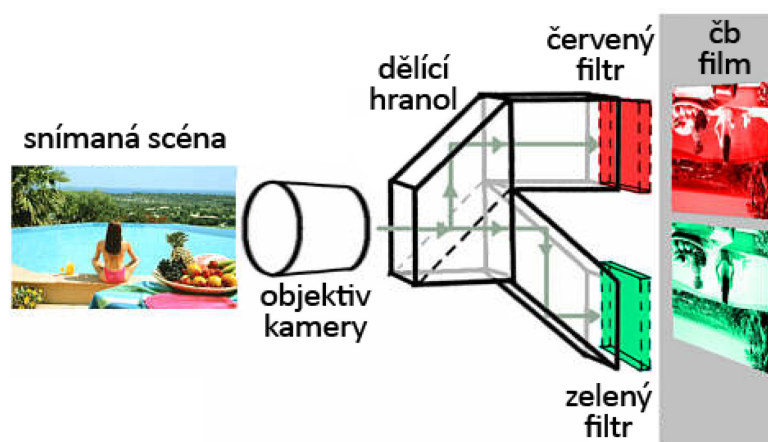


12. Systém *Roux Color* využíval širší filmový pás a čtyři barevné filtry (horní řada: zelený a fialovo-modrý, dolní řada: modrý a červený)

3.3. Technicolor

Byl to až Technicolor, který svými zářivými, sytými barvami dokázal uchvátit Hollywood a získal si důvěru mezi filmovými studii, která jej ke své barevné produkci využívala téměř 20 let. Než k tomu však došlo, musel tento systém překonat celkem čtyři vývojové stupně.

Společnost *Technicolor Corporation* byla založena v roce 1915 Herbertem Calmusem, Danielem Comstockem a W. Burtonem Wescottem. Jejich první dvoubarevný aditivní systém z let 1917–1922, označovaný jako Technicolor 1, byl podobný úspěšnému Kinemacoloru. Používal také dvě barvy (červenou a zeleno-modrou), ale ne na rotujících filtrech. Díky skleněnému hranolu, který rozdělilo spektrum na dvě části, mohla kamera vybavená pouze jedním objektivem exponovat oba snímky současně na filmový pás nad sebe. Filtry byly umístěny až za hranolem.



13. Schéma záznamu barevného obrazu systémem Technicolor 1

Projekce byla možná jen na speciálních přístrojích, které na plátno promítaly současně obě políčka a umožňovaly vertikální dorovnání obrazů, tak aby došlo k přesnému překrytí. Právě nedokonalé seřizování paralaxy projektoru, které způsobovalo barevné duchy, zapříčinilo, že byl tímto systémem natočen v roce 1917 pouze jediný film *The Gulf Between*. Na řadu přišel druhý vývojový stupeň.

Technicolor 2 upustil od aditivního skládání barev, které trpělo celkově tmavší projekcí, a vydal se cestou subtraktivní metody. Barevný obraz se neskládal na plátně, ale byl už zaznamenán na jednom políčku filmu, což zlepšilo barevné i světelné podání snímku. Také to umožňovalo použít standardní projektory na černobílý film. Samotný proces záznamu v kameře zůstal podobný předchozímu systému, až na změnu dělicího hranolu, který vertikálně obracel zeleno-modrý snímek.

Další zpracování už se ale zásadně lišilo. Z negativu se všechna lichá a sudá políčka překopírovala na dva samostatné filmové pásy, které měly poloviční tloušťku oproti klasickému filmu a kromě světlocitlivých halogenidů stříbra ještě obsahovaly speciální želatinovou vrstvu. Po vyvolání se stříbro odstranilo a na filmu zůstal jen želatinový reliéf, který se obarvil patřičnou komplementární barvou (červeně exponovaný tyrkysovou a zeleno-modře exponovaný purpurovou). Nakonec se oba filmy se zrcadlovými obrazy přiložily zadní stranou k sobě, po okrajích slepily a vytvořily tak výslednou kopii standardní tloušťky.



14. Nalevo je negativ exponovaný systémem Technicolor 2, uprostřed dvě obarvené pozitivní kopie a vpravo slepený, výsledný pás

Takto získaný obraz byl při projekci mnohem jasnější a ostřejší. Premiérovým celovečerním filmem, který byl tímto systémem v roce 1922 natočen, byl snímek *Toll of the Sea*, jenž sklídl obrovský úspěch a společnosti Technicolor

přinesl první velký zisk. V několika následujících letech byl tento dvoubarevný lepený proces použit téměř u pětadvaceti celovečerních filmů. Většinou se však kvůli vysokým nákladům na výrobu natáčely barevně jen klíčové sekvence jinak černobílých filmů.



15. Ukázka z barevné sekvence filmu *Ben Hur* z roku 1926 zachycená subtraktivním systémem Technicolor 2

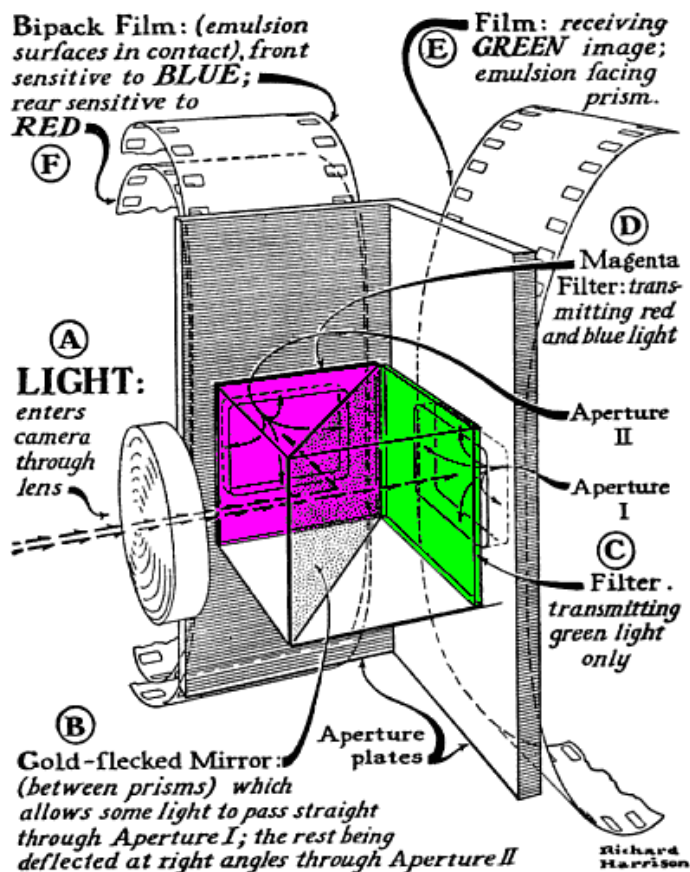
Jak se ale později ukázalo, slepování nebylo technicky úplně šťastné řešení. I když byly pásy přilepeny těsně k sobě, mezi barevnými obrazy vznikala určitá vzdálenost, která neumožňovala přesně zaostřit oba současně. To způsobovalo, v závislosti na hloubce ostrosti daného projektoru, mírnou neostrost na plátně. Přítomnost obrazu na obou stranách filmu také zdvojnásobovala počet škrábanců vzniklých opotřebením kopie. Slepěné filmové pásy se navíc působením tepla různě kroutily, rozlepovaly a často docházelo k jejich přetržení. V té době se také začal rozvíjet zvukový film, a lepení neumožňovalo použít postranní optickou zvukovou stopu. Proto byla vyvinuta třetí generace systému, která měla všechny tyto problémy odstranit.

Technicolor 3 namísto lepení dvou filmových pásů vytváří výslednou kopii filmu metodou hydrotypického tisku barvy. Stejně jako v systému 2 se

exponovaná políčka přes červený a zeleno-modrý filtr překopírovala na dva samostatné filmy, které na sobě nesly želatinovou vrstvu reagující na světlo. Osvětlená místa želatiny ztvrdla a zbylá část se v další fázi vymyla. Vznikla tak jakási reliéfní matrice, která se namočila do patřičné komplementární barvy (tyrkysové a purpurové) a obtiskla se na jediný čistý filmový pás. Čím silnější vrstva želatiny po osvitu zůstala, tím více barvy do sebe absorbovala, a to se pak odrazilo v množství barvy na výsledné kopii. Tato metoda byla uplatnitelná i při výrobě zvukového filmu, protože umožňovala nejdříve na koncovou kopii nanést černobílou zvukovou stopu a poté teprve barevný obraz. Tímto systémem bylo v letech 1928 – 1931 natočeno do té doby nejvíce barevných filmů. Prvotní divácké okouzlení barvou ale s postupem času pomalu vyprchávalo a o barevné filmy přestal být tak velký zájem. Odliv publika zaznamenala kina také v roce 1931 díky Velké hospodářské krizi. K jejich opětovnému přilákání bylo zapotřebí ukázat něco nového. Až doposud byly všechny barevné systémy omezeny pouze na spektrum vzniklé složením dvou barev. Filmy už sice nebyly černobílé, ale pořád ještě neměly zcela reálné barvy. K zachycení celé škály bylo potřeba použít ještě třetí barevnou složku.

Už od roku 1929 společnost Technicolor na vývoji takového systému pracovala. Světlo světa spatřil o tři roky později a získal označení Technicolor 4. Obraz se exponoval na tři samostatné černobílé filmové pásy s předřazenými filtry. Světlo procházející objektivem bylo dělicím hranolem z části propuštěno a přes zelený filtr dopadalo na jeden panchromatický film. Zbytek byl odražen a procházel purpurovým filtrem, který odstranil zbytek zelené části spektra a propustil jen červenou a modrou. Filmy reagující na červenou a modrou barvu byly v tak zvaném „bipacku“, což znamená, že byly položeny na sobě emulze na emulzi. Nejdříve světlo prošlo prvním z nich. Jednalo se o ortochromatický materiál, který je citlivý pouze na modré spektrum. Za ním už byl opět panchromatický film s červeno-oranžovou

vrstvou, která zamezovala průchodu modrého světla, takže se exponovala jen červená složka.



16. Princip záznamu celého barevného spektra na tři samostatné filmové pásy systémem Technicolor 4 a ukázka již vyvolaných negativů (červená, zelená a modrá složka)

Dále se aplikovala hydrotypická metoda, jako tomu bylo u předchozího systému. Všechny tři matrice (tyrkysová, purpurová a žlutá) se obtiskly přes sebe na výslednou kopii, kde vznikl plnohodnotný barevný obraz.



17. Obarvené matrice všech tří složek, z nichž se barva hydrotypickou metodou přenesla na čistý pás s předem připravenými černými rámečky a zvukovou stopou

Nový vzhled filmu plný sytých barev, jenž Technicolor 4 předvedl, s sebou ale přinesl také řadu technických těžkostí, které doprovázely natáčení. Systém filtrů a hranolů, který světlo muselo při průchodu kamerou překonat, snižoval celkovou světelnou citlivost, což se muselo kompenzovat světly na scéně. Velké množství rozsvícených lamp, které mnohonásobně převyšovaly potřeby černobílého materiálu, zvyšovaly teplotu na place a zneprjemňovaly hercům a celému štábu práci. Například je známo, že při natáčení filmu *Čaroděj ze země Oz* v roce 1939 překračovaly teploty ve studiu často 38°C. Někteří herci také kvůli silným světlům trpěli trvalým poškozením zraku. Kamery Technicoloru byly navíc velmi těžké a objemné, což znesnadňovalo jakoukoli manipulaci. I přesto všechno dosahoval trojbarevný systém Technicolor nesporné obrazové kvality a do začátku 50. let 20. století si udržoval přední místo v produkci barevných filmů. Jak se později ukázalo, hydrotypická metoda přenášení barev je, co se týče uchovávání a archivace, mnohem trvanlivější než moderní třívrstvý materiál, kde barvy mnohem rychleji blednou a mění svůj odstín. Ještě v 90. letech minulého století se tento systém používal k restaurování některých starších snímků (*The Wizard of Oz*, *Rear Window*, *Funny Girl*, ...).

3.4. Kodachrome

Jedním z prvních systémů, využívající subtraktivní rozklad barev a záznam na jediný třívrstvý film, byl *Kodachrome* firmy Kodak, který byl představen na začátku 30. let. Principiálně se lišil od dnešních moderních materiálů ve způsobu získávání obrazu, protože neobsahoval žádné barvotvorné částičky.

Ty do něj byly vpravovány až při procesu vyvolávání. Struktura filmu byla ale jinak stejná – skládal se ze tří emulzních vrstev, každá reagující na jednu základní barvu. Skutečnost, že světlocitlivé emulze neobsahovaly žádné barvotvorné složky, dovozovala jejich nanášení ve velmi tenkých vrstvách, což přispívalo k ostřejší kresbě výsledného obrazu. Kodachrome byl inverzní materiál, z počátku používaný jen pro fotografii. V roce 1935 jej Kodak začal vyrábět i v kinematografických formátech 16 a 8 mm, použitelných k amatérským účelům. Exponovaný inverzní film je totiž po laboratorním zpracování pozitivní a znesnadňuje tak výrobu dalších kopií potřebných pro filmovou distribuci.

Protože bylo vyvolávání technologicky velmi náročné a neumožňovalo domácí zpracování, byl součástí ceny filmu i následný laboratorní proces. Materiál se prodával se speciální obálkou, ve které se exponované snímky zasílaly do nejbližší laboratoře Kodak a odtud přicházely zpět už nastříhané a opatřené papírovým nebo umělohmotným rámečkem.



18. Filmové materiály Kodachrome a ukázka zpracovaného diapozitivu

V roce 1942 se Kodachrome spojil se systémem Technicolor, a vznikl tak *Technicolor Monopack*. Inverzní Kodachromový materiál se používal k natáčení klasickou studiovou kamerou v případech, kdy bylo použití velké Technicolorové kamery z technických důvodů nemožné. Potom z něj byly vyrobeny černobílé separáty pro jednotlivé základní barvy, a dále následoval

klasický Technicolorový postup výroby distribučních kopií hydrotypickou metodou.

3.5. Agfacolor

Průlomem bylo uvedení produktu *Agfacolor Neu* německé společnosti Agfa v roce 1936. Z počátku byl také použitelný jen ve fotografii jako inverzní materiál. Oproti Kodaku obsahoval Agfa materiál barvotvorné částičky přímo ve světlocitlivých emulzích. Prakticky to znamenalo, že zatímco Kodachrome musel v laboratoři projít více než dvaceti procedurami, Agfacolor pouze čtyřmi – podobně jako černobílý film. To umožnilo jeho rychlé rozšíření na poli amatérské fotografie a později i filmu. V roce 1939 už existovala i negativně-positivní verze systému a nedlouho poté s ním začaly být v německé Ufě vyráběny první celovečerní barevné filmy, z nichž mnohé se natáčely v pražských ateliérech na Barrandově. Po válce vznikaly různě po světě značky založené na podobném principu. V SSSR to byl Sovcolor, Ansco v Kalifornii, Gevacolor a Gevachrome v Belgii, Ferraniacolor v Itálii a v polovině 60. let Orwocolor a Orwochrome firmy Orwo, která vznikla přejmenováním podniků Agfa ve východní části Německa.

3.6. Eastman Color

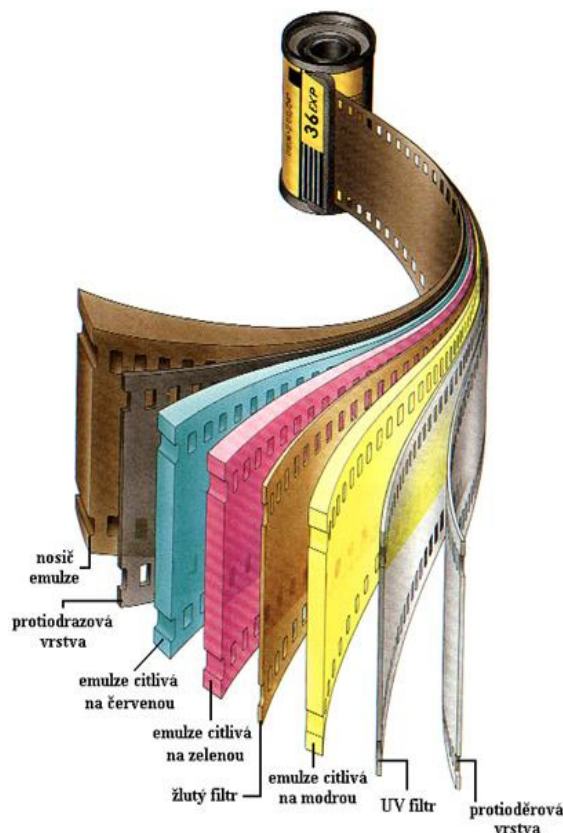
Zatímco Evropu ovládla Agfa, v Americe to byl opět Kodak, který přišel v roce 1950 s materiálem *Eastman Color*. Stejně jako Agfa i tento nový třívrstvý film obsahoval barvotvorné částičky přímo v materiálu, což oproti Kodachromu zkrátilo několikanásobně proces vyvolávání, jenž mohl být prováděn i v domácích podmínkách. Navíc, ve dvou ze tří vrstev byly částičky předem zbarvené do oranžova, takže vytvářely automatickou masku a umožňovaly ještě lepší barevnou reprodukci (typické zbarvení negativních materiálů, které se používá dodnes).

Hollywoodská studia začala systém *Eastman Color* využívat ke své produkci v roce 1952 po té, co Kodak provedl ještě drobná vylepšení. Jeho obrovskou

výhodou bylo to, že umožňoval natáčet v barvách i méně nákladné hollywoodské filmy a filmy mimo velká studia. To proto, že po zakoupení mohl být používán kýmkoliv a kdekoliv, bez dalších doplňujících podmínek. Do té doby byla totiž monopolem barevného filmu firma Technicolor, která dosazovala ke každému natáčení vlastní barevné poradce, měla výhradní právo na pronájem kamer a taky prodej a zpracování filmové suroviny. Obliba materiálu *Eastman Color* rychle rostla a v roce 1953 jej dokonce začal, jako negativní materiál pro natáčení, používat i samotný Technicolor.

4. Moderní třívrstvý barevný film

Za moderní třívrstvý barevný film je považován každý materiál, který principiálně vychází z modelu Eastman Color firmy Kodak. Dosud je to totiž, díky svým vynikajícím vlastnostem, nejrozšířenějším a nejdokonalejším systémem pro záznam analogového obrazu.



19. Vrstvy moderního barevného filmu

Každý moderní negativní film je složen z několika vrstev. Nosným elementem celého filmového pásu je takzvaná podložka. U této nejsilnější spodní vrstvy je kladen důraz hlavně na její mechanické vlastnosti (pevnost a ohebnost). Přímo na ní je protiodrazová vrstva pohlcující světlo, které již prošlo při expozici všemi emulzemi a zabraňuje jeho odrazu od podložky zpět. Bez ní by totiž mohlo docházet ke dvojímu exponování a vzniku tzv. halového efektu, který

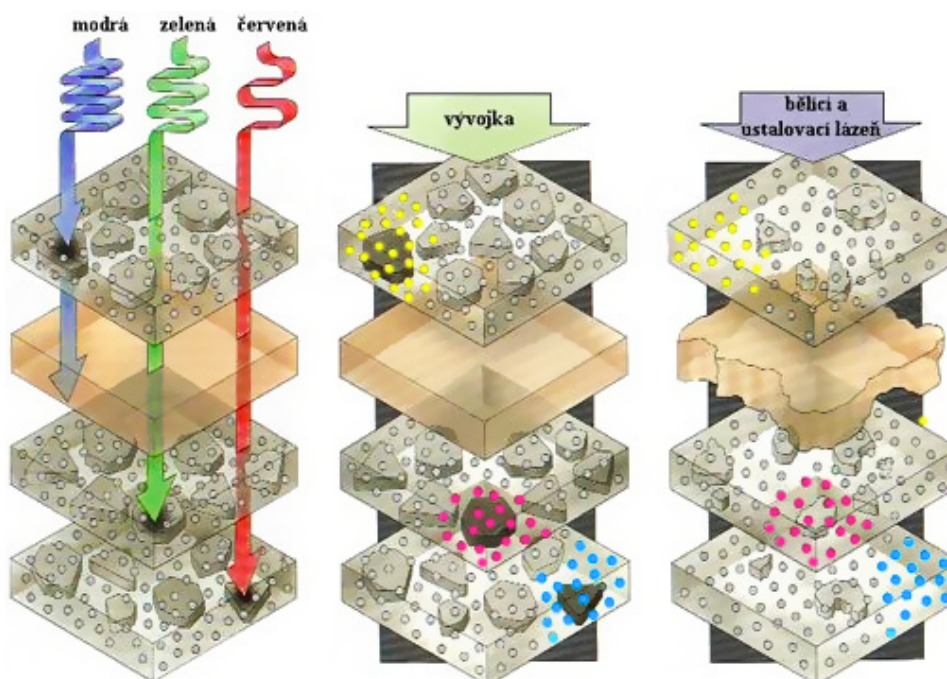
se projevuje jako záře kolem světlých míst. Tato černá vrstva se odstraní v průběhu vyvolávání. Dále následují tři světlocitlivé emulzní vrstvy v tomto pořadí: emulze citlivá na červenou, zelenou a modrou. Mezi zelenou a modrou je navíc vložena speciální oranžová vrstva (maska), filtrující parazitní modré světlo, které zcela nepohltila modrocitlivá emulze. To by pak mohlo nežádoucím způsobem ovlivnit expozici dalších dvou vrstev pod ní. Její barva je přesně známa, takže se v dalším procesu kopírování snadno odfiltruje. Předposlední vrstvou je UV filtr, zabraňující průchodu neviditelného ultrafialového záření, protože halogenidy stříbra obsažené ve všech emulzích jsou na něj přirozeně citlivé. Úplně nahoře je vnější, protioděrová vrstva chránící film před poškrábáním.

4.1. Princip vzniku barevného obrazu

Během exponování filmu zachytí každá barevná emulze svoji barvu, která odpovídá určitému rozsahu vlnových délek. Krystaly AgBr ve vrstvě citlivé na modrou barvu reagují pouze na modré světlo a vytvářejí latentní obraz v podobě droboučkových černých teček na osvětlených krystalech (stejně jako na černobílém filmu). Latentní obrazy se podobně vytvářejí i ve vrstvě citlivé na zelené a červené světlo. Protože halogenidy stříbra jsou přirozeně citlivé na modré světlo, je modrocitlivá vrstva umístěna zcela nahoře. Za ní následuje oranžová maska, která zamezí průchodu zbylého modrého světla.

Obraz se stane viditelným až po ponoření do vývojky (vše se děje v naprosté tmě). Vývojka zmnohonásobí obsah stříbrných atomů v krystalcích exponovaných světlem a film po té obsahuje tmavé oblasti kovového stříbra. Jak vývojka působí na krystal, způsobuje zároveň, že molekuly barviva, které krystaly obklopují, nabývají příslušnou komplementární barvu k barvě, na níž je citlivá daná emulze - žlutou v horní vrstvě, purpurovou v prostřední a azurovou ve spodní vrstvě. Každá světlocitlivá emulze je ve skutečnosti složena ze dvou vrstev – z rychlé a z pomalé. Rychlá má vyšší citlivost na světlo a vytváří ve

výsledném obrazu větší zrno, zatím co pomalá reaguje na světlo méně, tvoří zrno menší a tím pádem vytváří i jemnější obraz.



20. Zjednodušené schéma tvorby obrazu v třívrstevném negativním barevném filmu

Jakmile má obraz správnou hustotu, ponoří se do bělicí a ustalovací lázně, kde se rozpustí všechno vytvořené stříbro i neexponované krystaly AgBr. Na negativu zůstanou pouze barevné plochy. Následně se z něj vyrobí kopírováním pozitiv, podobně jako u černobílého filmu.

4.2. Filmová podložka

Filmové podložky byly až do příchodu systému Eastman Kodak vyráběny výhradně z velmi hořlavé celulózy na bázi nitrátu. Kodak jako první představil acetátový film, který byl zpočátku velmi křehký a měl tendenci se smršťovat. Až v roce 1949 začal všechny nitrátové filmy nahrazovat bezpečnějším a silnějším triacetátovým materiálem. O tři roky později už měly všechny filmy používané v projektorech i kamerách tuto bezpečnostní, triacetátovou podložku. Většina kopií filmů dnes se vyrábí ze syntetického polyesteru, který má ještě lepší

mechanické vlastnosti než triacetát. Paradoxně je to ale i jeho nevýhoda, protože má tak velkou pevnost, že se v případě poruchy projektoru nepřetrhne, ale natáhne a může poškodit samotný přístroj. Natažením se také znehodnotí větší část filmu, než kdyby se roztrhl na jednom místě. Polyester je navíc termoplast, takže pokud je vystaven delší dobu projektorovému světlu, začne se tavit. Originál negativy jsou i nadále vyráběny na triacetátové podložce.

5. Elektronické snímače

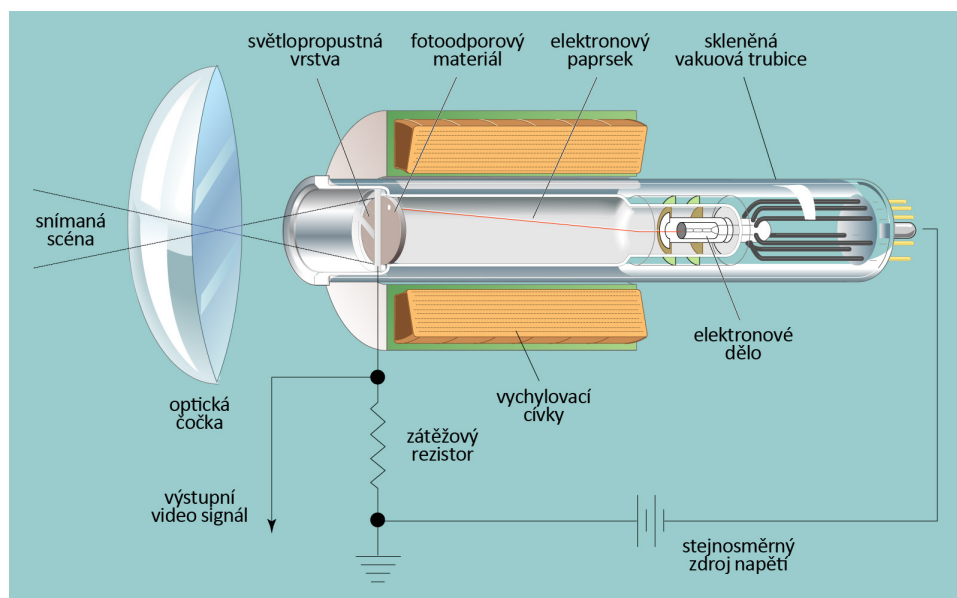
Prudký rozvoj elektroniky v polovině 20. století s sebou přinesl nové technologie i v oblasti záznamu a zpracování obrazu elektronickou cestou. Vše úzce souviselo s vývojem televize a s formováním systému televizního vysílání, který se v průběhu 40. a 50. let postupně standardizoval po celém světě.

Než k tomu ale vůbec mohlo dojít, bylo potřeba mnoha dílčích objevů a vynálezů, které dohromady vytvořily systém schopný převést obraz na elektrický signál, jenž bylo možné přenášet na velké vzdálenosti.

5.1. Snímací elektronky

Jako první elektronické snímače obrazu se používaly vakuové elektronky využívající fotoelektrického jevu. Byly to skleněné válcovité baňky se světlocitlivou, polovodičovou vrstvou na jednom konci a s elektronovým dělem na druhém konci. Obraz se přes objektiv promítnul na světlocitlivou vrstvu, kde proběhl fotoelektrický jev. Světelné částice (fotony) při nárazu do atomu polovodiče uvolní z jeho valenční vrstvy elektrony a atom tak získá kladný náboj. Na polovodiči tím vznikne obraz vytvořený různě nabitými částicemi. Čím více světla na něj dopadne, tím kladnější se v daném místě stává. K detekci pak slouží paprsek elektronů vyzařovaný elektronovým dělem na opačné straně trubice. Ten pomocí vychylovacích elektromagnetických cívek, rastrovitě (řádek po řádku), skenuje celý obraz na polovodičové vrstvě a

výsledkem je měnící se elektrický proud, jenž je posléze zesilován a převáděn na obrazový signál.



21. Schéma snímací elektronky typu *Vidicon*

Takto získaný obraz byl však jen černobílý, protože světlocitlivé prvky reagují pouze na intenzitu dopadajícího světla. K tomu aby bylo možné zachytit barvu, bylo třeba světlo rozložit na tři základní barvy. Obdobně jako tomu bylo u barevných filmových systémů i zde se světlo pomocí polopropustných zrcadel a barevných filtrů rozdělilo na červenou, zelenou a modrou složku a každá část spektra pak byla zvlášť snímána svou vlastní elektronkou.

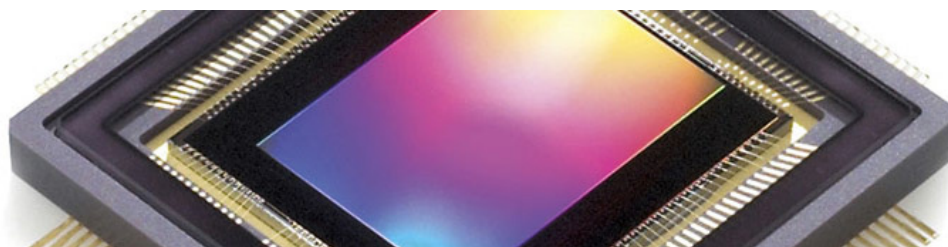


22. Nejčastěji používané snímací elektronky z 50. let značky *Vidicon*

Elektronkové snímače se v kamerách používaly od 50. až do konce 80. let, kdy je postupně nahradily moderní polovodičové snímací čipy.

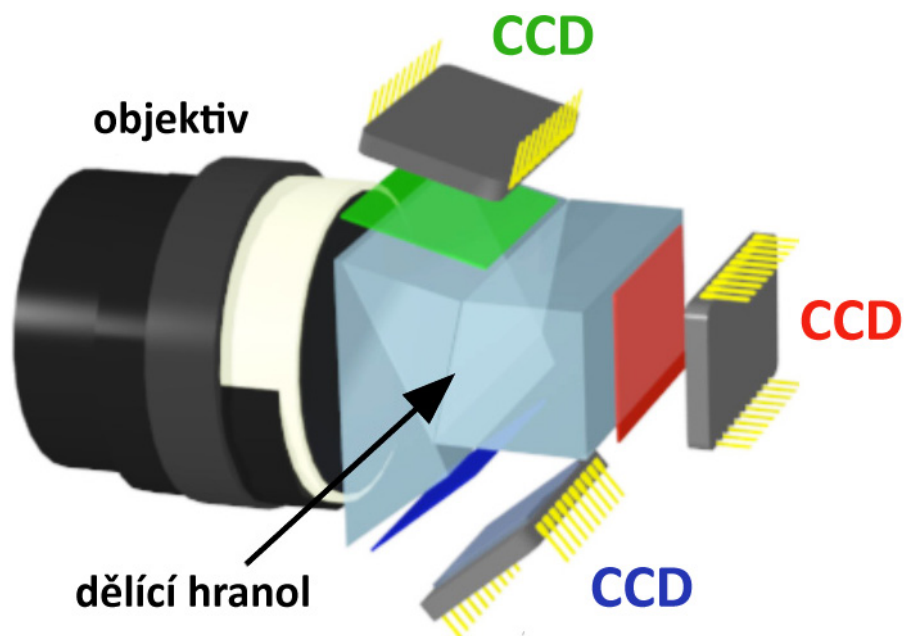
5.2. CCD

Vynález tranzistoru a pozdější technologie integrace tisíců polovodičových součástek na jeden křemíkový čip, umožnila vzniknout moderním obrazovým snímačům. Prvním z nich, který se s úspěchem rozšířil snad do všech odvětví snímací techniky, byl snímací prvek CCD. Vynalezli jej Willard Boyle a George E. Smith v Bellových laboratořích v roce 1969. Zkratka CCD pochází z anglického Charge-Coupled Device, což v překladu znamená zařízení s vázanými náboji. Stejně jako u předchozích elektronkových systémů i zde se využívá fotoelektrického jevu. CCD čip je polovodičová destička opatřená rastroem elektrod, u kterých se po osvětlení shromažďují emitované elektrony. Ty se po exponování obrazu postupně, řádek po řádku, snímají a podle velikosti náboje vyhodnocují jako jas obrazu v daném místě. Výstupem je tedy analogový signál, který se dále A/D převodníkem digitalizuje na číselné hodnoty. Celý obraz je tak rozdělen do rastru bodů, kterým se říká pixely. Každý pixel zaujímá v ploše obrazu neměnnou polohu a nese informaci o jasu tohoto bodu. CCD snímače jsou z fyzikálního principu samy o sobě pouze monochromatické – reagují jen na intenzitu dopadajícího světla. Výsledný obraz je tím pádem černobílý. Proto, aby mohla být zaznamenána i barva, je opět nutné světlo rozložit aditivní metodou na tři základní barvy, což se provádí dvěma způsoby.



23. Detail moderního snímacího čipu

Jeden ze způsobů využívá tříčipového systému, kdy se přicházející světlo rozloží pomocí hranolu na červenou, zelenou a modrou část spektra a je zvlášť snímáno nezávisle třemi CCD prvky. Vzniknou tři barevné dílčí obrazy, které se dále sloučí tak, že každý pixel výsledného obrazu obsahuje informaci o tom, v jakém poměru jsou v daném bodě jednotlivé barevné složky zastoupeny. Tato hodnota se v zobrazovacím zařízení zpětně interpretuje takovým způsobem, aby ji lidské oko mohlo vnímat opět jako barvu. Technologii zobrazování se detailně věnuje v další kapitole této práce.

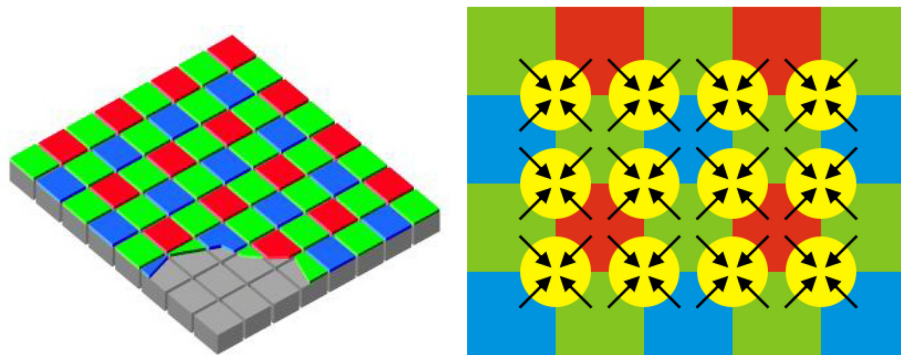


24. Schéma elektronického tříčipového snímacího systému s prvky CCD

Druhý způsob záznamu barevných složek využívá jen jeden monochromatický čip, před kterým je umístěn rastr barevných filtrů. Barevná informace jednoho pixelu výsledného obrazu se pak interpoluje (skládá) z několika buněk na čipu, snímající světlo přes různé filtry.

Jeho nevýhodou oproti předchozímu systému je při zachování stejně velkého čipu pouze třetinové rozlišení obrazu. Proto se převážně používá jen v poloprofesionální technice, kde je snaha maximálně snížit cenu a velikost

záznamového zařízení. Uspořádání barevného rastru, které se pro svoji efektivnost nejvíce rozšířilo, se nazývá *bayerovské* uspořádání. V roce 1976 si jej nechal patentovat Bryce Bayer z firmy Eastman Kodak. Využívá toho, že lidské oko je nejcitlivější na žlutozelenou barvu a tím pádem je informace o této barvě pro něj nejdůležitější. Proto má také bayerovský filtr dvojnásobný počet zelených buněk oproti buňkám červeným a modrým.



25. Bayerovské uspořádání barevných filtrů a schematické znázornění, jak se ze čtyř sousedních buněk získává interpolací výsledný barevný pixel obrazu (zde reprezentovaný žlutým kolečkem)

K hlavním vlastnostem moderních elektronických snímačů, které ovlivňují výslednou kvalitu obrazu patří rozlišení, dynamický rozsah a odstup šumu. Rozlišení udává počet pixelů, které se podílejí na tvorbě obrazu – čím vyšší počet, tím jemnější a detailnější zobrazení. Dynamický rozsah udává, jaké jasové rozmezí je schopen snímač zaznamenat. Z jedné strany je limitován kapacitou každé buňky CCD (kolik elektronů vzniklých interakcí fotonů je schopna pojmout) a z druhé strany hladinou vlastního šumu buňky. Šum v obraze vzniká převážně tepelným pohybem krystalické mřížky polovodiče. Díky tomuto jevu se občas elektron uvolní i bez působení fotonu, je přitažen k expoziční elektrodě a přičítá se k hodnotě světelné expozice dané buňky. Protože se tento jev děje v každé buňce zcela náhodně, není možné šum

z obrazu stoprocentně odstranit. K dosažení velkého dynamického rozsahu při přijatelné šumové úrovni je potřeba aby buňky snímače byly co největší (dosáhne se tak velké kapacity buňky a tím i zvětšení odstupů signálu od šumu).

5.3. CMOS

Technologie CMOS (*Complementary Metal–Oxide–Semiconductor*) je o něco mladší, než předchozí CCD, a není proto až tolik rozšířená. Má však určité vlastnosti, kterými v některých ohledech předčí starší systém.

První z nich je integrace obvodů zajišťující převod světelné energie na napětí přímo u každé světlocitlivé buňky. Zatím co z CCD čipu bylo potřeba obraz snímat postupně po jednotlivých řádcích, CMOS technologie umožňuje získat informaci o jakémkoli pixelu individuálně, což výrazně zkracuje celkový čas „sejmutí“ snímku. Na CMOS čipu jsou mimo světlocitlivých buněk integrovány také zesilovače získaných obrazových signálů, obvody pro redukci šumu a následnou digitalizaci, takže výstupem je už obraz v digitální podobě. Všechny tyto přídavné funkce sice zjednodušují komplexní zpracování, ale současně zmenšují plochu snímače určenou pro zachycování světla, takže bývají méně citlivé než CCD. Ke zvýšení světelné citlivosti se před jednotlivé buňky předřazují jakési miniaturní optické čočky, které soustřeďují světlo z větší plochy a zvyšují tak jeho intenzitu.

Dalším neduhem, jímž všechny CMOS snímače trpí je tzv. „dark current“ šum, vznikající i když je snímač neosvětlen. Ten se projevuje zvláště při exponování na dlouhé časy a snímky je potřeba následně odšumit výpočetním algoritmem. Stejně jako CCD tak i CMOS mají jednu společnou negativní vlastnost. Je jí tzv. „blooming“ neboli přetékání světla do sousedních buněk. To se děje v případech, kdy je určité místo na snímači osvětleno natolik, že se uvolní velké množství elektronů, které začnou ovlivňovat úroveň expozice i v sousedních

buňkách. Na snímcích je tento jev patrný jako záře kolem přeexponovaných ploch.

Systém CMOS má i přes všechna svá negativa jednu zásadní výhodu oproti CCD v tom, že technologie jeho výroby je mnohem jednodušší a rychlejší. Navíc i energetická náročnost samotného čipu je podstatně nižší, což ho předurčuje pro použití v různých mobilních zařízeních.

5.4. Super CCD

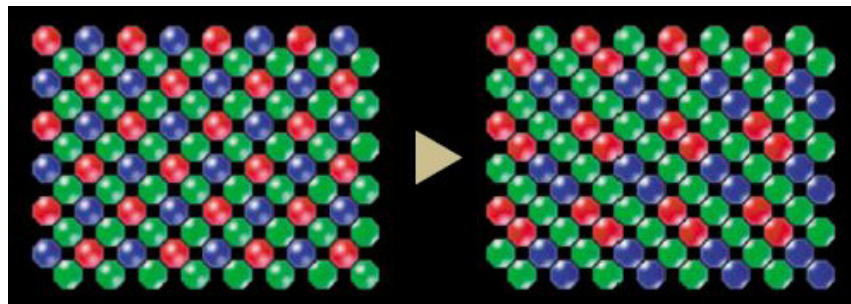
V roce 1999 firma Fujifilm přišla s vylepšenou technologií rozložení světlocitlivých buněk na senzoru CCD a nazvala jej *Super CCD*. Pixely mají místo tradičního čtvercového, osmiúhelníkový tvar, což umožnilo zvýšit diagonální rozlišení prvku. Fujifilm ve vývoji Super CCD dále pokračoval, a tak se v roce 2003 objevily další dva snímače s označením *SuperCCD HR* (High Resolution) ještě zvyšující rozlišení a *SuperCCD SR* (Super dynamic Range) s větším dynamickým rozsahem. SR senzor obsahuje v jednom pixelu dvě světlocitlivé buňky, jednu mnohem větší než druhou. Při zpracování signálu se získává informace z obou buněk a výsledkem je mnohem širší rozsah jasů.



26. Uspořádání pixelů na snímačích *Super CCD* firmy Fujifilm

V roce 2008 vznikl ještě dokonalejší typ nazvaný *Super CCD EXR* kombinující výhody obou předchozích systémů na jednom čipu. Jeho rozlišení je zvýšeno na 12 megapixelů a před senzorem není tradiční bayerovský filtr, ale zcela nové uspořádání rastru. To umožňuje tzv. „binning“, což je metoda zdvojování

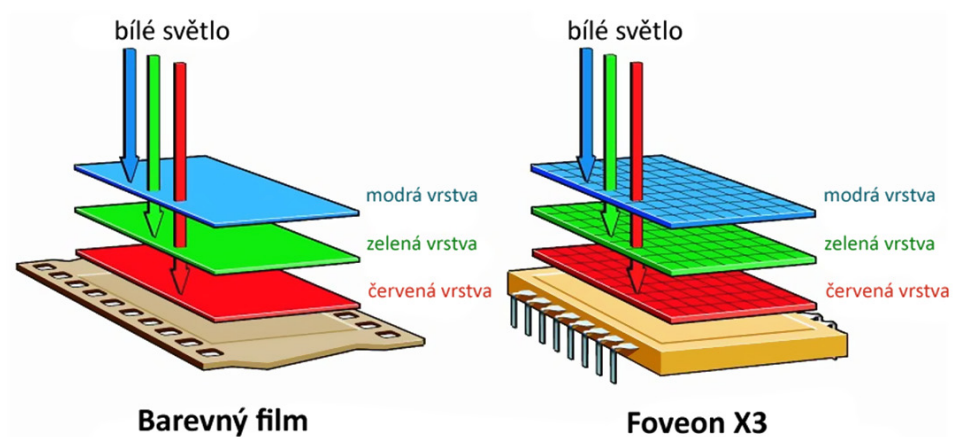
pixelů stejné barvy, pro dosažení vyššího dynamického rozsahu a současně efektivnějšího odstraňování šumu (ovšem za cenu snížení rozlišení snímače na polovinu). Většího jasového rozsahu se docílí tak, že jeden ze dvojice pixelů je o něco déle exponován než ten druhý. Vzniknou tak dva totožné snímky s různou expozicí, které jsou následně složeny v jeden, s rozšířenou jasovou hloubkou. Současně je potlačena úroveň šumu, protože ten se ve srovnání s velkým dynamickým rozsahem exponovaného obrazu jeví jako zanedbatelný.



27. Porovnání klasického bayerovského barevného rastru a zdvojených barevných pixelů u senzoru *SuperCCD EXR*

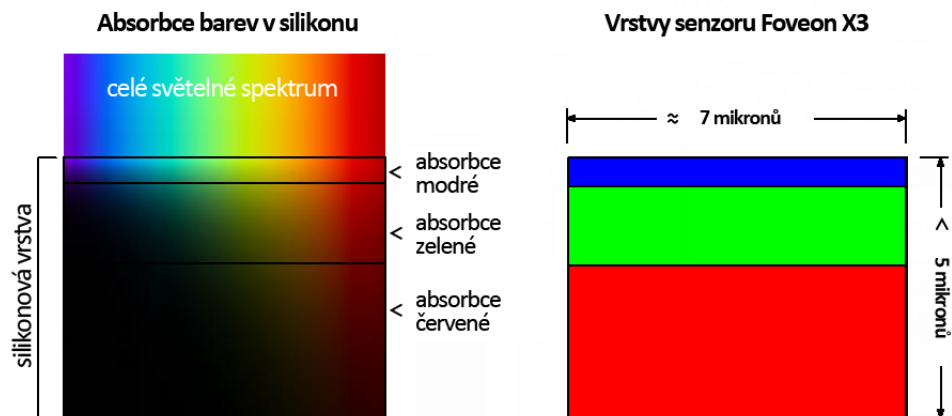
5.5. Foveon X3 sensor

V roce 2002 přišla firma Foveon se zcela novým typem snímače, který se svou technologií záznamu blíží klasickému třívrstvému filmu mnohem víc, než kterýkoli předchozí elektronický systém. Snímací prvek *Foveon X3* sice vychází z jednočipové CMOS technologie, ale k rozkladu světla na barevné složky nepoužívá žádný barevný rastr filtrů. Světlocitlivé buňky nemá totiž rozmístěny plošně, ale ve vrstvách nad sebou, podobně jako jednotlivé emulze na barevném filmu.



28. Schéma porovnávající záznam obrazu na moderní třívrstvý barevný film a snímač *Foveon X3*

Při snímání využívá přirozené vlastnosti silikonové vrstvy, která pohlcuje s rostoucí hloubkou různé vlnové délky světla, čehož je využito k rozkladu na tři základní barvy. Informace světlocitlivých buněk získané ze tří různých hloubek jsou následně zpracovány a výpočetním algoritmem separovány tak, že vzniknou tři složkové obrazy modré, zelené a červené barvy.



29. Princip postupného pohlcování barevného spektra v silikonové vrstvě a schéma jednoho pixelu snímače *Foveon X3*

Tím, že každý pixel snímače zaznamenává všechny tři barevné hodnoty, odpadá nutnost následné interpolace z několika sousedních buněk. Odbourává se tím vznik nepříjemného moaré efektu a mírného rozostření při

jeho odstraňování. Výsledný obraz ze snímače Foveon X3 je tudíž mnohem prokreslenější s větším obsahem detailů.

Další jeho výhodou, která plyne z použité CMOS technologie, je nízká výrobní cena, protože mohou být použity stejné výrobní linky, jaké se využívají k produkci ostatních integrovaných obvodů s technologií CMOS (např. polovodičové paměti). Ve srovnání s CCD mají čipy Foveon X3 také mnohem nižší spotřebu energie.

6. Elektronické monitory a displeje

Na rozdíl od zpětného získání obrazu z filmového pásu, který je založen na poměrně jednoduchém principu prosvětlování materiálu silným zdrojem světla, je elektronické zobrazování poměrně složitý proces. První pokusy, jak zobrazit elektrický signál nesoucí rozložený černobílý obraz, se objevily už v první polovině 20. století.

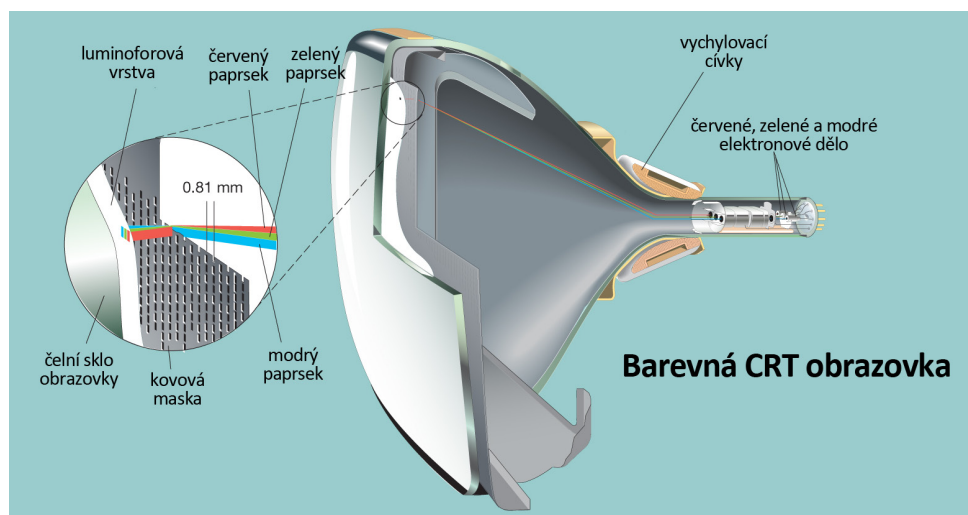
6.1. CRT

K prvnímu zobrazování se používaly podobné vakuové elektronkové trubice, jaké sloužily ke snímání obrazu popsané v předchozí kapitole. Označení CRT vychází z anglického názvu *Catode Ray Tube*. Základem je skleněná vakuová baňka obsahující elektronové dělo jako zdroj elektronů, které jsou urychlovány směrem k fluorescenčnímu stínítku na druhé straně trubice. Fluorescenční vrstva nazývaná luminofor má tu vlastnost, že po dopadu elektronu v daném místě emituje viditelné světlo, což se projevuje jako zářící bod. Elektronový paprsek je vnějšími elektromagnetickými cívkami vychylován v horizontálním a vertikálním směru tak, že na stínítku zanechává řádek po řádku svítící stopu. Množství elektronů je modulováno obrazovým signálem a mění se intenzita paprsku postupně vykresluje na stínítku obraz. U moderních CRT obrazovek je nejčastější frekvence vykreslování 50 pulsů za sekundu. Díky tomu, že

luminofor dokáže zářit ještě nějakou dobu po té, co už na něj žádné elektrony nedopadají, lidské oko vnímá svítící řádky jako celistvý obraz.

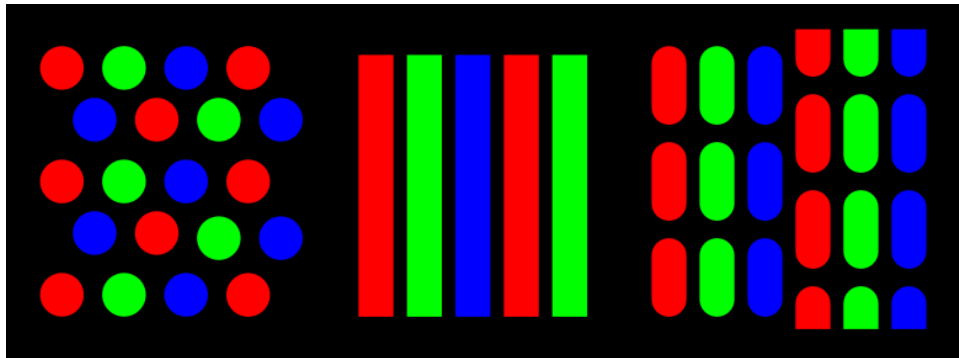
Vývoj CRT obrazovek je úzce svázán s intenzivním rozšiřováním televizního vysílání ve druhé polovině 20. století. Postupně se zvětšovaly nejen velikosti stínítka, ale také se zvyšoval počet řádků, ze kterých byl obraz složen. První barevné televizory se objevily v Americe v 50. letech a barevné vysílání v Evropě se začalo postupně standardizovat během 60. let.

Barevná CRT obrazovka využívá nedokonalosti lidského oka, které není schopno rozlišit různé barvy bodů, jejichž úhlová vzdálenost klesne pod určitou mez. Místo toho vnímá barvu, která vznikne jejich aditivním smícháním. Tohoto jevu je využito i ve všech dalších typech elektronických zobrazovačů.



30. Schéma vakuové CRT obrazovky.

Vakuová CRT obrazovka, umožňující vykreslit barevný obraz, se od předchozí černobílé konstrukce mírně liší. Obsahuje tři elektronová děla generující paprsky elektronů na základě vstupního RGB signálu a stínítko nemá pokryto jedolitou fluorescenční vrstvou, ale skládá se z rastru barevných luminoforů.



31. Různé typy barevných rastrů luminoforů používané v CRT obrazovkách

Trojice paprsků je opět vychylována cívkami tak, že na stínítku vykreslují řádek po řádku celý obraz. V cestě jim ale navíc stojí kovová mřížka, která zajišťuje, že se každý ze tří paprsků „trefí“ přesně na svůj luminofor, a ten se rozzáří patřičnou barvou. Barevný rastr musí být dostatečně jemný na to, aby se svítící luminofory lidskému oku jevily z běžné pozorovací vzdálenosti, jako celistvý obraz.

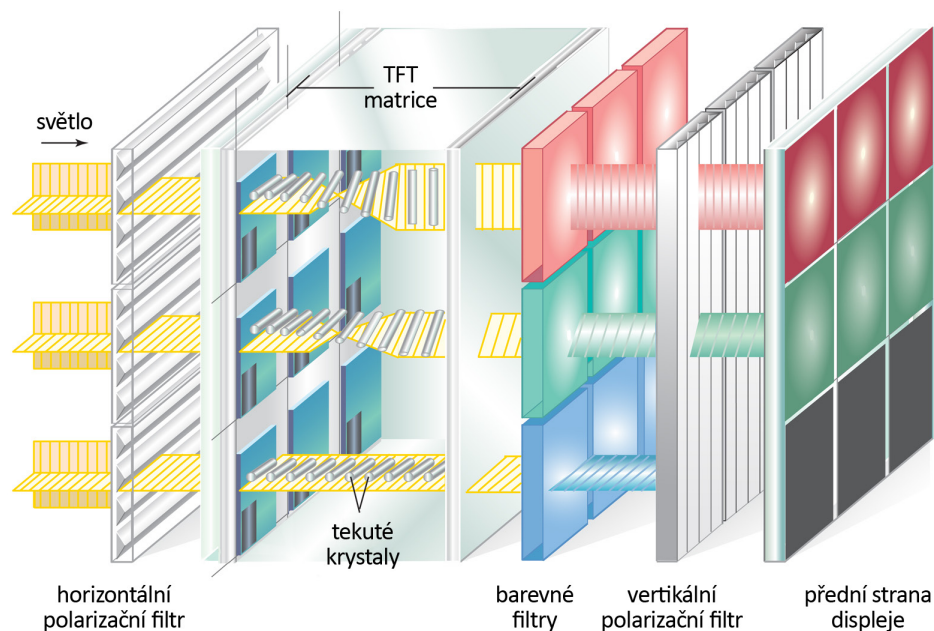
Vakuové obrazovky dosáhly za dobu své dlouhé, téměř osmdesátileté existence velkého technologického pokroku a dodnes jsou díky vysoké kvalitě zobrazování používány v profesionální videotechnice, jako referenční monitory ke kalibraci obrazového signálu. Hlavní nevýhodou CRT obrazovek je jejich velká hmotnost a hloubka, kterou nelze z funkčního principu dále zmenšovat. Proto jsou v komerční i profesionální sféře už několik let hojně nahrazovány modernějšími a kompaktnějšími systémy.

6.2. LCD

Technologie LCD (*Liquid Cristal Display*), která je založena na elektro-optických vlastnostech tekutých krystalů, se nejdříve objevila v sedmdesátých letech ve formě monochromatických displejů. Byly to většinou numerické zobrazovače v digitálních hodinkách, kapesních kalkulačkách a dalších podobných zařízeních. V roce 1988 vyrobila firma Sharp první barevný LCD display

k notebooku a ukázala tak novou cestu této technologie, která se za 20 let své existence vyvinula v plnohodnotnou konkurenci CRT monitorů.

LCD displej se skládá ze dvou průhledných desek na kterých je z vnitřní strany nanesena matice tranzistorově řízených elektrod nazývaná TFT (Thin-Film Transistor). Výplň těchto desek tvoří tekuté krystaly, které mají tu vlastnost, že dokážou v závislosti na přivedeném napětí plynule měnit vnitřní molekulovou strukturu. Toho je využito k otáčení polarizace světla o 90°. Před a za touto vrstvou jsou dva pevné polarizační filtry s na sebe kolmou rovinou polarizace. Tekuté krystaly tak vlastně vytvářejí jakýsi světelný ventil procházejícímu světlu, jak je vidět z obrázku 31.



32. Vnitřní struktura barevného LCD displeje a princip otáčení roviny polarizace tekutými krystaly

Samotný LCD není zdrojem světla, reguluje pouze intenzitu. K prosvětlování se dříve výhradně používalo CCFL výbojek s bílým světlem. Ty však mají omezenou životnost a jejich svítivost průběžně klesá, což ovlivňuje barevné podání obrazu. V současnosti se začíná čím dál víc používat k podsvícení LED

diod, které intenzitu nemění a navíc jsou energeticky méně náročné. Využívá se dvou způsobů:

- **Direct LED** je maticové rozložení po celé ploše panelu a umožňuje použít funkci "local dimming" k místnímu ztlumení jednotlivých LED, kde je třeba dosáhnout vyššího kontrastu.
- **Edge LED** technologie má diody umístěny pouze po okrajích panelu a pomocí sítě světlovodů s odraznými ploškami se světlo z LED rovnoměrně rozvádí po celé ploše. Výhodou je použití menšího počtu LED, čímž se snižují náklady na výrobu a LCD monitory s tímto typem podsvícení mohou být velmi tenké.

Technologie LCD v roce 2008 dohnala v počtu prodaných monitorů a televizorů předchozí CRT obrazovky a je v současnosti nejpoužívanějším zobrazovacím systémem.

6.3. Plazmové displeje

První ploché televizory s úhlopříčkami 80 cm a více se objevily na konci 90. let. Využívaly plazmové displeje, protože LCD technologie v té době ještě nebyla na takové úrovni, aby zvládla kvalitně interpretovat tak velký obraz. Plazmový panel sestává ze dvou skleněných desek, mezi kterými jsou miniaturní komůrky naplněné směsí vzácných plynů. Plyn je pomocí elektrického impulzu přeměněn v plazmu a ta vyzařuje ultrafialové světlo, které následně rozsvítí barevný fosfor, podobně jako tomu bylo u CRT obrazovek. Nevýhodou těchto displejů je jejich velká elektrická spotřeba, která se výrazně mění v závislosti na obraze – světlé scény jsou náročnější než tmavé. U obrazovek s úhlopříčkou 120 cm odběr činí průměrně 400 W. Proti LCD displejům měly ve své době výhodu v rychlejší časové odezvě, lepším podání černé a většímu pozorovacímu úhlu, což už dnes ale neplatí a tak jsou plazmové monitory spíše na ústupu.

6.4. OLED

Poměrně novou generací zobrazovacích systémů jsou OLED displeje jejichž název je odvozen z anglického *Organic Light Emitting Diode*. Světlo je v nich vytvářeno organickými elektroluminiscenčními diodami, které jsou ovládány podobnou maticí elektrod jako u LCD. Díky tomu, že nepotřebují žádné podsvětlení, mohou být tyto displeje extrémě tenké (firma Sony začala touto technologií v roce 2008 vyrábět monitory široké jen 3 mm). Podkladem, na který se OLED vrstva nanáší, může být i pružná podložka, takže displeje lze ohýbat, aniž by to ovlivnilo jejich funkci. Zatím mají největší uplatnění v mobilních telefonech, kde jsou vítané díky poměrně nízké spotřebě, ale jejich využití stále vzrůstá.



33. Ukázka pružných OLED displejů

7. Elektronické projektory

Speciální skupinu zobrazovacích zařízení tvoří projektory. Základní princip jejich funkce je podobný jako u filmových projektorů – silný zdroj světla prosvětluje elektronicky vytvořený obraz, který je pomocí optiky promítnut a zaostřen na vzdálenou promítací plochu. Jednotlivé typy se od sebe liší jen tvorbou obrazu.

7.1. CRT projektory

První video projektory se objevily na konci sedmdesátých let a jejich rozvoj úzce souvisel s „boomem“ domácího kina. Skládaly se ze tří menších

monochromatických superzářivých CRT obrazovek (červené, zelené a modré), jejichž obrazy byly ze stínítek pomocí optických čoček promítány na plátno. Až tam se díky aditivnímu principu vytvořil plnohodnotný barevný obraz.



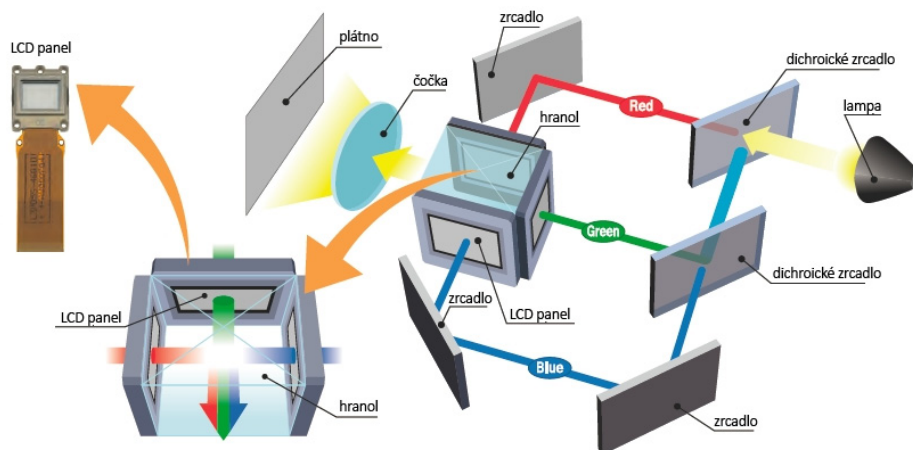
34. Fotografie z prospektu k domácímu CRT projektoru *VideoBeam* z roku 1975

Projektory byly dost objemné a těžké. U přenosných typů se navíc musela pokaždé složitě seřizovat konvergence jednotlivých barevných obrazů. Tento systém přetrval až do konce 90. let, než byl postupně nahrazen modernějšími typy.

7.2. LCD projektory

Po té co se v 80. letech objevily LCD displeje s tranzistorově řízenou maticí bodů, našla tato technologie uplatnění i v elektronických projektorech. Světelný zdroj tvoří většinou u těchto přístrojů metal-halogenidová výbojka, která dokáže i přes své malé rozměry vyzářit dostatečně silné bílé světlo, které je svým spektrálním složením vhodné pro věrné podání barevného obrazu. Toto světlo je pomocí dichromatických zrcadel, odrážejících jen část spektra, rozloženo na tři základní barvy. Dále prochází třemi LCD panely na které jsou přiváděny signály jednotlivých barevných složek obrazu. Jak již bylo popsáno dříve, tekuté krystaly v kombinaci s polarizačními filtry propustí nebo uzavřou průchod světla v patřičných pixelech a vytvoří tři monochromatické složky

obrazu. Ve speciálním hranolu dojde k jejich zpětnému složení a na plátno se promítá již barevný obraz.



35. Princip vzniku obrazu v LCD projektoru

Jejich nevýhodou byla, zvláště u starších typů, částečně viditelná struktura LCD rastru ve výsledném obraze, což se už ale u nových typů podařilo odstranit.

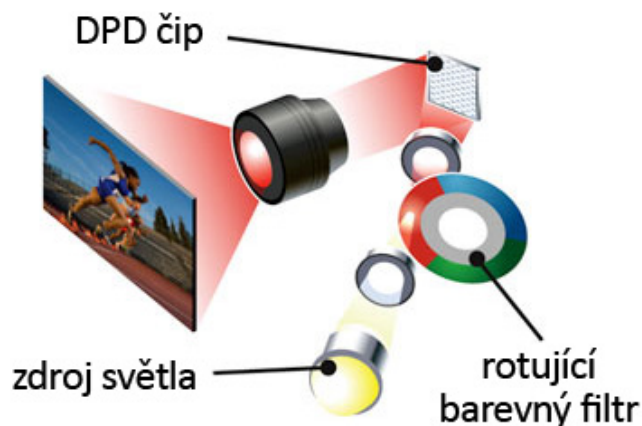
7.3. DLP projektory

Označení DLP je zkratkou anglického názvu *Digital Light Processing* (digitální zpracování světla), což je obchodní značka firmy *Texas Instrument*, která tuto technologii zobrazování vyvinula v roce 1987.

K zobrazování se zde využívá zařízení DMD – *Digital Micromirror Device*. To je polovodičový čip s několika tisíci mikroskopických zrcátek na povrchu, seřazenými maticově tak, aby korespondovala s rozložením pixelů v obraze. Tato zrcátka se mohou individuálně natáčet v rozmezí $\pm 10\text{--}12^\circ$ podle stavu „vypnuto“ nebo „zapnuto“. Když je světlo z projektoru namířeno na čip v zapnutém stavu, je odraženo všemi pixely na plátno, což se jeví jako bílá. V opačném případě čip namíří světlo jiným směrem (obvykle na chladič), takže se pixely zobrazují jako černá. K vytvoření šedé škály stačí jednotlivé pixely rozkmitat dostatečnou frekvencí, aby lidské oko záblesky nevnímalo jako

blikání, a poměrem doby ve vypnutém a zapnutém stavu se vytvoří patřičný šedý odstín. DLP projektory mohou mít takový DMD čip jeden nebo tři, podle použité technologie.

Jednočipový projektor tvoří barevný obraz díky otočnému kruhovému filtru se třemi segmenty základních barev, který je umístěn mezi zdroj světla a DLP prvek. Při projekci je tento člen synchronizován s otáčením filtru, takže například červená složka obrazu je zobrazena na čipu právě tehdy, když je před lampou červený sektor filtru, zelená složka se přepne, jakmile se sektor pootočí na zelenou a tak dále. To se děje stále dokola podle rychlosti otáčení filtru, která se pohybuje v rozmezí 10 000 – 15 000 ot/min. U některých jednočipových projektorů se může objevit takzvaný „duhový efekt“. Je to podobný jev, kterým trpěly i první dvoubarevné filmové systémy s otočným filtrem. Projevuje se tím, že u kontrastních a rychle se pohybujících oblastí obrazu jsou patrné nežádoucí barevné „stíny“.



36. Princip jednočipového DLP projektoru

Tříčipové projektory toto zkreslení nemají, protože neobsahují rotující filtr. Používají totiž optický hranol, který rozdělí světlo na tři základní barvy a ty jsou zvláště nasměrovány, každá na svůj určený DPD čip. Odražené barevné složky jsou pak zpětně složeny ve výsledný obraz na plátně. Moderní DLP projektory spolu s LCD technologií zaujímaly v roce 2008 asi 95% z celkového množství prodaných projektorů.

Závěr

Jak je patrné, technologie záznamu a zpětného zobrazování reálného barevného obrazu má za sebou přibližně 150 let, což je v lidské historii poměrně krátký časový úsek. Za tu dobu se však dokázala rozšířit do rozličných odvětví, ať už umělecké nebo vědecké sféry, a stala se tak nedílnou součástí našeho života. Nové elektronické digitální systémy stále přinášejí lepší a dokonalejší způsoby interpretace obrazu. Zvyšuje se rozlišení, které umožňuje zobrazovat stále více detailů na větší ploše, a také barevný a jasový rozsah se blíží mnohem víc reálnému obrazu než kdykoli před tím.

Přestože se všechny zde zmíněné systémy (a mnohé další, které byly a ještě budou vyvinuty), ať už způsobem nebo použitou technologií, v mnohém liší, mají všechny jeden společný cíl, kterému se musí přizpůsobit - tím je lidský zrak. Ten je totiž už po tisíce let stále stejný.

Bibliografie

Allen, Walter. 2009. Advent VideoBeam 1000A Brochure. *WalVisions*. [Online] 2009. [Citace: 7. května 2010.]
http://www.walvisions.com/ArchivePages/walvisions__advent_videobeam1_brochure.htm.

Batistová, Anna. Barva pro všechny: Agfacolor, Eastmancolor a jiné. *Žena.cz*. [Online] [Citace: 12. dubna 2010.]
<http://zena.centrum.cz/atlas/2006/11/6/clanky/barva-pro-vsechny-agfacolor-eastmancolor-a-jine/>.

Bellis, Mary. 2010. CCD - The History of CCDs or Charge Coupled Devices. *About.com*. [Online] 2010. [Citace: 17. dubna 2010.]
<http://inventors.about.com/od/cstartinventions/a/CCD.htm>.

Eastman Kodak Company. 2002. *Cinematographer's Field Guide*. Rochester, NY 14650 : Eastman Kodak Company, 2002. ISBN 0-87985-749-8.

— . **1996.** *Exploring The Color Image*. Rochester, N.Y. 14650 : Eastman Kodak Company, 1996. ISBN 0-87985-785-4.

— . **1998.** *Student Filmmaker's Handbook*. Rochester, NY 14650 : Eastman Kodak Company, 1998. ISBN 0-87985-800-1.

Ed. 2007. What's The Big Deal With Foveon Sensors? *My DP1*. [Online] 13. listopadu 2007. [Citace: 15. dubna 2010.]
<http://mydp1.wordpress.com/2007/11/13/whats-the-big-deal-with-foveon-sensors/>.

Encyclopædia Britannica. 2010. cathode-ray tube (CRT). *Encyclopædia Britannica*. [Online] 16. dubna 2010. [Citace: 22. dubna 2010.]
<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/99774/cathode-ray-tube>.

Fuxon. 2010. Zaujímavosti - história pohyblivého obrazu - filmu. *Fuxon*. [Online] 2010. [Citace: 11. duben 2010.]
http://www.fuxon.sk/videostudio/index.php?option=com_content&view=article&id=55&Itemid=63.

GAMproducts. Color Theory. *GAMproducts, inc.* [Online]
<http://www.gamonline.com/new/catalog/colortheory/visible.php>.

Hart, Martin. 1998. Additive Color Systems. *The American Widescreen Museum*. [Online] 1998. [Citace: 3. dubna 2010.]
<http://www.widescreenmuseum.com/oldcolor/additive.htm>.

— **2003.** Technicolor. *The American WideScreen Museum*. [Online] 2003. [Citace: 3. dubna 2010.] <http://www.widescreenmuseum.com/oldcolor/technicolor1.htm>.

Hubicka, Jan. 2009. Co je Autochrom? [Online] 16. dubna 2009. [Citace: 1. dubna 2010.] <http://sechtl-vosecek.ucw.cz/cz/expozice10/tabule-autochrom.html>.

Junge, K. W. a Hubner, G. 1987. *Fotografická chemie*. Praha : SNTL, 1987. 04-603-86.

Kirsch, Francine. 2008. The rocky road to color photography. *Antique Trader*. [Online] 2. července 2008. [Citace: 20. března 2010.]
http://www.antiquetrader.com/article/The_rocky_road_to_color_photography/.

Kovač, Pavel. 2008. Technologie OLED - tak kde vězí? [Online] 9. září 2008. [Citace: 3. května 2010.] http://www.svethardware.cz/art_doc-42FA841C86228B0CC1257212004EB5B4.html.

Otáhalová, Lenka. Úvod do problematiky správy barev zobrazovacích zařízení. *AZ reprodukce barev*. [Online] [Citace: 13. dubna 2010.] <http://www.reprodukce-barev.org/?menu=2&hlav=10>.

- Parsons, Guy. 2010.** Digital Camera Image Sensors. *Guy's Photography Information*. [Online] únor 2010. [Citace: 24. dubna 2010.]
<http://homepages.tig.com.au/~parsog/photo/sensors1.html>.
- Peters, Mark. 2008.** Fujifilm Super CCD EXR. [Online] 22. září 2008. [Citace: 18. dubna 2010.] <http://www.letsgodigital.org/en/20149/super-ccd-exr/>.
- Poisl, Zbyněk. 2007.** Malá encyklopedie televizní techniky 1 - historie televize. *Digitální Televize.cz*. [Online] 20. srpna 2007. [Citace: 24. dubna 2010.]
<http://www.digitalnitemelivize.cz/magazin/obecne/mala-encyklopedie-televizni-techniky/mala-encyklopedie-televizni-techniky-1-historie-televize.html>.
- Reichl, Jaroslav a Všeticka, Martin. 2010.** Barevný film. *Encyklopedie fyziky*. [Online] 2010. [Citace: 13. dubna 2010.]
<http://fyzika.jreichl.com/index.php?page=512&sekce=browse>.
- Salmi, Hannu. 1995.** HISTORY IN COLOR. [Online] 1995. [Citace: 3. dubna 2010.]
<http://users.utu.fi/hansalmi/color.html>.
- Šmok, J., Pecák, J. a Tausk, P. 1975.** *Barevná fotografie*. Praha : SNTL, 1975.
- 2010.** The C.R.T. *PREHER-TECH*. [Online] 2010. [Citace: 20. dubna 2010.]
<http://preher-tech.com/crt.aspx>.
- The Vintage Technology Association. 2010.** Imaging Tubes. *The Vintage Technology Association*. [Online] 2010. [Citace: 23. dubna 2010.]
<http://www.decadecounter.com/vta/tubepage.php?item=9&user=0>.
- Tomkins, Michael R. 2002.** Foveon: New CMOS sensor captures triple the data! *The Imaging Resource*. [Online] 11. ledna 2002. [Citace: 17. dubna 2010.]
<http://www.imaging-resource.com/EVENTS/PMAS02/1013470528.html>.
- Veronis, Georgios a S. Inan, Umrán. 2001.** Plasma Display Panels. *Wikipedia*. [Online] 2001. [Citace: 27. dubna 2010.] http://www-star.stanford.edu/~vlf/plasma_display/index.htm.

Vladek. 2007. Colour Models. *Colours*. [Online] 2007. [Citace: 18. března 2010.]

<http://vladek.ehion.com/xchange/hsi/colmodels.htm>.

vojta. 2010. Světlo a barva ve fotografii. *Fotorádce.cz*. [Online] 27. ledna 2010.

[Citace: 13. března 2010.] <http://www.fotoradce.cz/blog/svetlo-a-barva-ve-fotografii-idx227>.

Wikipedia. 2010. 3LCD. *Wikipedia*. [Online] 5. května 2010. [Citace: 6. května

2010.] <http://en.wikipedia.org/wiki/3LCD>.

— **2010.** Active-matrix OLED. *Wikipedia*. [Online] 23. dubna 2010. [Citace: 2.

května 2010.] http://en.wikipedia.org/wiki/Active-matrix_OLED.

— **2010.** Color motion picture film. *Wikipedia*. [Online] 27. února 2010. [Citace: 17. března 2010.]

[http://en.wikipedia.org/wiki/Color_film_\(motion_picture\)#Kodak_color_motion_picture_films](http://en.wikipedia.org/wiki/Color_film_(motion_picture)#Kodak_color_motion_picture_films).

— **2010.** Color photography. *Wikipedia*. [Online] 12. března 2010. [Citace: 14.

března 2010.] http://en.wikipedia.org/wiki/Color_photography.

— **2010.** Digital Light Processing. *Wikipedia*. [Online] 5. dubna 2010. [Citace: 2010.

května 6.] http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Light_Processing.

— **2010.** Digital micromirror device. *Wikipedia*. [Online] 19. ledna 2010. [Citace: 6.

května 2010.] http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Micromirror_Device.

— **2010.** Foveon X3 sensor. *Wikipedia*. [Online] 31. března 2010. [Citace: 14.

dubna 2010.] http://en.wikipedia.org/wiki/Foveon_X3_sensor.

— **2010.** Kodachrome. *Wikipedia*. [Online] 2. března 2010. [Citace: 6. března

2010.] <http://en.wikipedia.org/wiki/Kodachrome>.

— **2010.** LCD projector. *Wikipedia*. [Online] 15. dubna 2010. [Citace: 2. května

2010.] http://en.wikipedia.org/wiki/LCD_projector.

— . **2010**. Organic LED. *Wikipedia*. [Online] 2. května 2010. [Citace: 3. května 2010.] http://en.wikipedia.org/wiki/Organic_LED.

— . **2010**. Video projector. *Wikipedia*. [Online] 4. května 2010. [Citace: 5. května 2010.] http://en.wikipedia.org/wiki/Video_projector.

Wow Stuff Works. 2010. What is the difference between CCD and CMOS image sensors in a digital camera? *Wow Stuff Works*. [Online] 2010. [Citace: 18. dubna 2010.] <http://electronics.howstuffworks.com/cameras-photography/digital/question362.htm>.

WWII in color. 2009. A Short History of Color Photography. *WWII in color*. [Online] 2009. [Citace: 14. března 2010.] <http://www.ww2incolor.com/history-of-color-photography.html>.