

Fotografie jako obrazová paměť lidstva



Fotografie jako obrazová paměť lidstva

- a. Co je fotografie (z fyzikálního hlediska)
- b. **Fotochemická fotografie** – průlet historií od daguerrotypie do současnosti
- c. **Elektronická fotografie** – principy a fyzikální meze
- d. **Výpočtová (vypočtená) fotografie** – mobily, VR, umělá inteligence a co dál?
- e. **Využití fotografie ve vědě a společnosti.** budoucnost?

Pokus o vymezení pojmu fotografie

= slovo řeckého původu ≈ **kreslení světlem**

IES slovník např. uvádí: ***“Fotografie [řec.], zobrazování objektů působením světla na fotogr. citlivou vrstvu; též hotový fot. snímek.”***

To znamená, že se předpokládá:

1. **(optické) zobrazení, tedy využití objektivu**
2. **využití světla = viditelná a přilehlé oblasti (UV,IR) elmg. spektra**

– co ale např. přímý záznam laserových paprsků (bez objektivu) či záznam spekter a pod. či záznam s využitím rentgen. záření nebo proudu částic (elektron. mikroskopie atd.)

Definice fotografie

Navrhuji **velmi širokou definici fotografie**:

Fotografie je (trvanlivý) dvourozměrný (ev. 3D) obraz (fyzikální reality) vytvořený záznamem světla či jiného záření nebo částic.

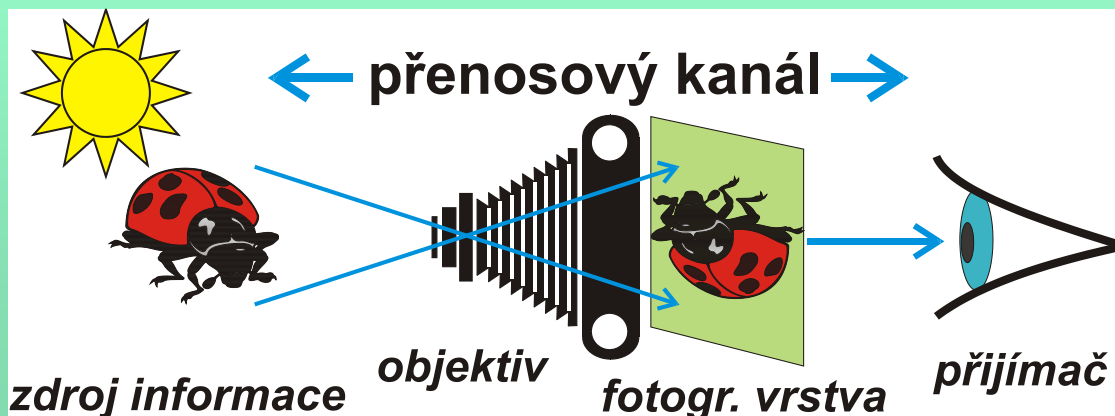
(např. nelze zahrnout je *rastrovací mikroskopie STM, AFM* i když je součástí věd. zobraz. metod)

Uvedená slovníková definice jasně ukazuje na **dvojsmyslnost termínu fotografie**, chápe se jím jak

- a) **vlastní mechanismus záznamu** (na citlivou vrstvu) a také
- b) **vzniklý obraz** - produkt tohoto záznamu

Tato přednáška se bude věnovat hodně bodu a) ale také bodu b) = *aspektům praktického použití fotografie (ve vědecké) praxi*.

Fotografie jako přenosový kanál a paměť



Fotografii můžeme také chápat jako jistý **druh přenosového kanálu a 2D (3D) paměti** pro přenášení a uchování informace (mezi zdrojem a přijímačem) o *rozložení světelné intenzity a barvy*. [Toto pojetí je výhodné pro *porovnání klasické a digitální fotografie*]

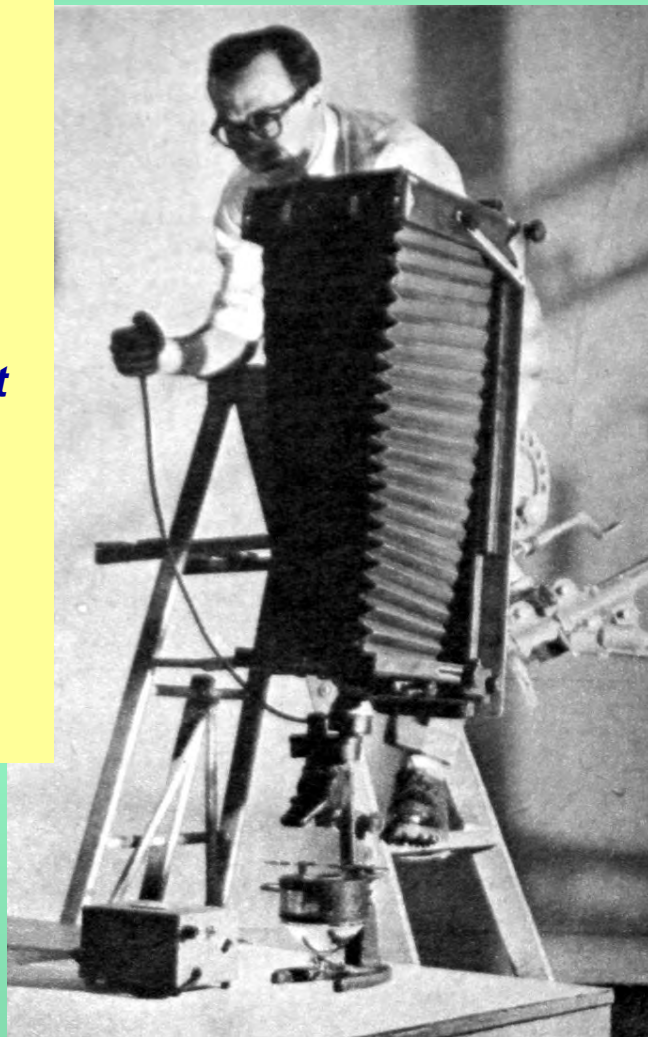
Přednosti přenosového systému s pamětí

Přednosti přenosového systému s 2D pamětí (Krug a Weide):

- a) uložené **informace lze různě přetvářet, upravovat a vyhodnocovat**
- b) **informace o rychlých dějích** lze zaznamenat a dodatečně v klidu vyhodnotit
- c) uložené **informace lze libovolně dlouho uchovávat a libovolně často vybavit**
- d) uložené **informace se dají poměrně jednoduše rozmnožit a předávat** dál
- e) **schopnost akumulovat slabé světelné signály** po delší časový úsek a pak vyhodnotit (např. astro-fotografie)

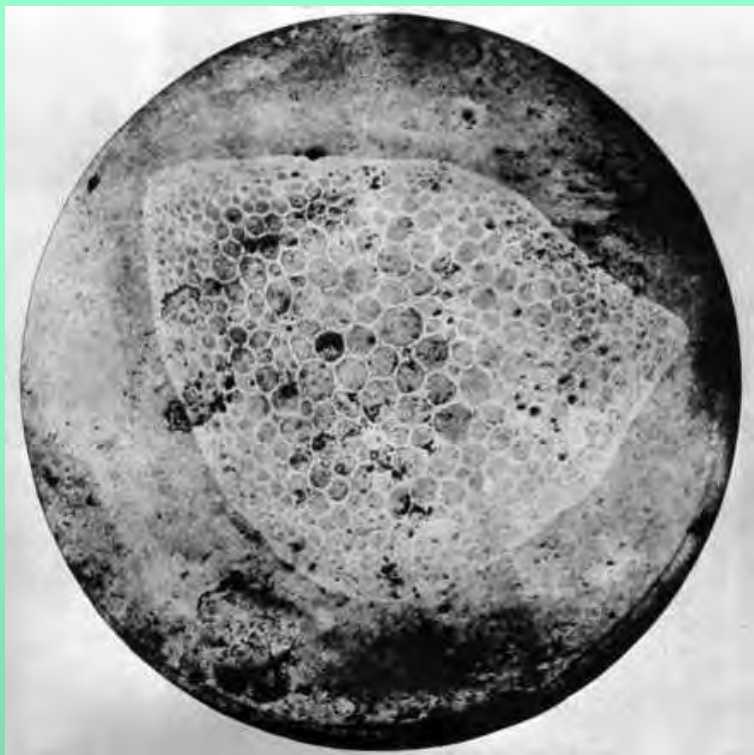
K popsání takového systému přenosu informace je nutno znát **přenosové vlastnosti všech zúčastněných procesů záznamu, zpracování a úprav informace.**

[**Funkce přenosu modulace**, která zde hraje významnou roli, je vlastně *poměr přenesené a původní amplitudy (kontrastu) modulace* jako funkce prostorové frekvence - uvádí se běžně v informacích "data sheet" fotogr. materiálů]



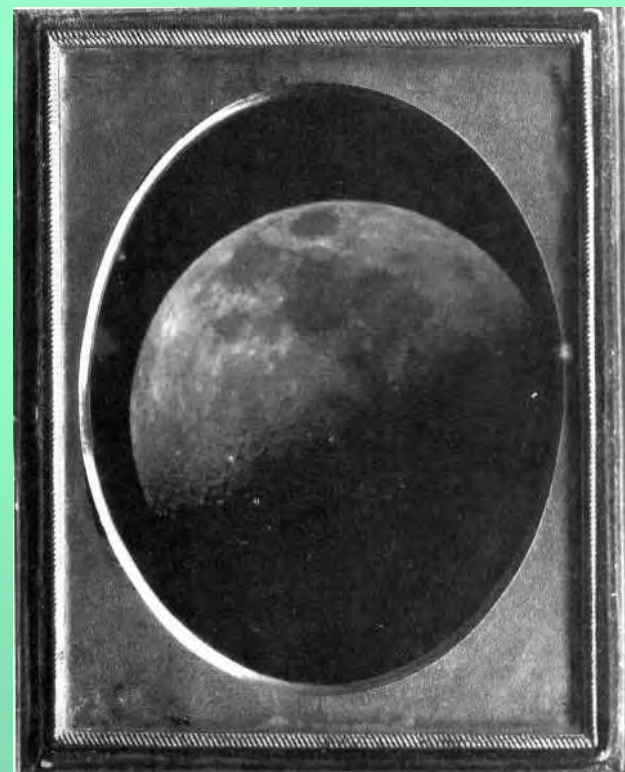
Počátek vědecké fotografie

Fotografie byla využita při vědeckém bádání prakticky ihned po svém vynálezu, neboť vědecké metody vždy vyžadovaly co nejpřesnější záznam zkoumaných objektů a jevů. (Před fotografií se využívalo subjektivně ovlivněné kreslení a to i s pomůckami jako byly sítě či kamery obscury a kamery lucidy.)
Fotografie umožnila významné objevy: Rentgenovy paprsky, radioaktivita, astronomie (dvojhvězdy, planety, ...)



Florus Ignác Stašek
(učitel fyziky
v Litomyšli): Řez
stonkem rostliny,
1840 – druhá
nejstarší dochovaná
daguerrotypie
českého původu.
(NTM)

*John Adams
Whipple,*
Daguerrotypie
Měsíce, březen 1851



Fotochemická (klasická) fotografie

Co vlastně *požadujeme od materiálu pro záznam informace?* :

1. **vysoká kvantová účinnost**, reakce na velmi slabé světelné signály.
2. dostatečná **stálost materiálu** (od výroby po expozici) a pak i prvotního záznamu dokud se nepřevede do zjevné (a stálé) formy
3. vhodná **spektrální odezva** (obvykle se vyžaduje citlivost blízká lidskému oku)
4. **dostupnost materiálu** ve velkém množství za přijatelnou cenu

V principu je možné **zaznamenat světelný obraz** (vytvořený objektivem) **pomocí mnoha různých fotochemických reakcí**.

Jeden chemický systém se ukázal být výjimečně vhodný:

- **reakce stříbrných halogenidů na světlo**, kdy se vytváří *malé klastry Ag atomů*, které pak *katalyzují reakci redukce AgHal na stříbro*. Právě tato vyvolávací reakce dává materiálům s AgHal výjimečnou citlivost neboť **zesiluje původní účinek fotonů řádově 10.000× i více!!!**

Výjimečné světlocitlivé vlastnosti stříbrných solí známy už od 18.stol. (**J.H. Schulze** r. 1727 kopíroval písemnosti pomocí AgCl, 1814 **G. Wetzlar** pozoroval uvolnění Cl při osvětlení AgCl)
- Za celou dobu výzkumu fotografie se **nepodařilo najít materiál, který by mohl vážně konkurovat AgHal.**

První stříbrné techniky

Daguerrotypie

- užívaná v letech 1839 až přibližně 1859
- vynalezl **J. J. L. M. Daguerre** ve spolupráci s **J.N. Niépsem** r. 1837. Po struč. informaci 7. 1. 1839 byl představen vynález **19. 8. 1839** na *zased. fr. akad. věd*, pak vydána příručka (žádné patentování).
- 1840 - zvýšení citlivosti pomocí brómu
- 1841 - výpočet a konstrukce světelného portrétního objektivu **J. M. Petzval** (10x zkrácena expozice)



Louis Daguerre
(1787-1851)

Princip: *citlivou látkou jsou halogenidy stříbra* a výsledný obraz je tvořen *amalgamem stříbra* v místech fotolyticky vyloučeného stříbra (latent. obrazu)

Postup:

1. vytvoření **dokonale zrcadlově rovné stříbrné vrstvy** (tenká Ag folie planýrována na měděnou desku, leštění, někdy se provádělo dodatečné elektrolytické stříbření)
2. **jodování** - nejcitlivější operace - deska se **zcitlivovala parami jódu** (později i brómu) ve zvláštní dřevěné skřínce. Dole byla miska s drceným jodem, později se ještě působilo parami bromu či chloru) - vzniklý AgI měl vytvořit rovnoměrné zlato-žluté zbarvení desky.
3. **expozice** byly původně 15-20 min. Po zvýšení citlivosti a s novou optikou až na 1-4 s.
4. **vyjevení obrazu** se dělo parami Hg za tmy v uzavřené skřínce. Plechová či keramická miska se rtutí se zahřívala kahanem.
5. **ustalování** - rozpuštění zbylých halogenidů stříbra. Původně horkým nasyceným roztokem NaCl, od r.1840 zředěným thiosíranem sodným (dokud nezmizel žlutý nádech)

Výsledná fotografie byla velmi citlivá na dotek - chránila se sklem.

Josef František Smetana (1801–1861)

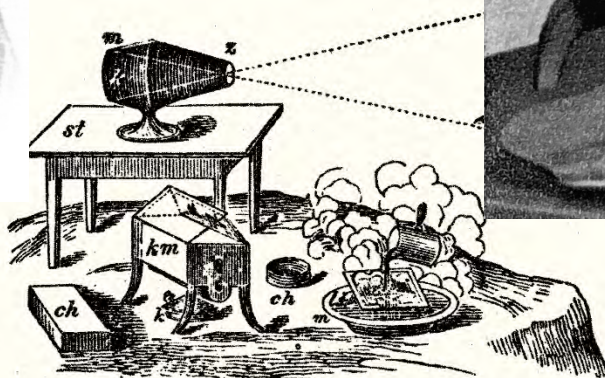


*premonstrát (Teplá)
a učitel na gymnasiu
v Plzni. Tvůrce
českého názvosloví
a učebnic Silozpytu*

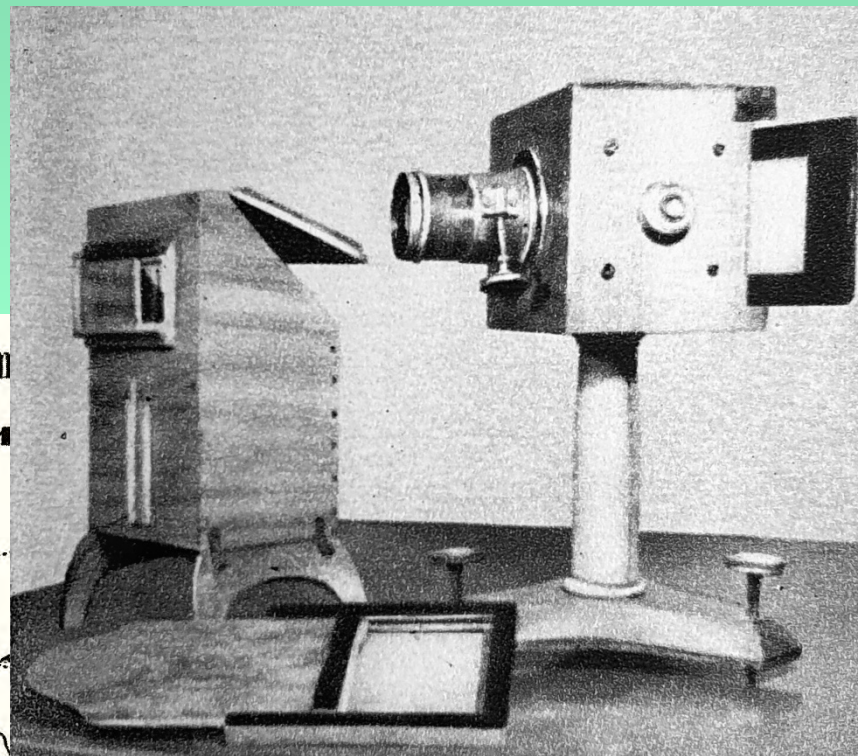
Jan Valenta, MFF UK

§. 703. Světlotiskem

Obr. 1



Způsobů podobiznění světlem zná se dvě; jeden Talbotský, druhý Deguerreský, 1833 ponejprv francouzské akademii od Daguerrea oznámený, ač dlouho již připravovaný. Citlivost stříbra a stříbrných sloučenin k světlu zavdala k tomu příčinu.



Kalotypie–Talbotypie a mokrý kolodiový proces

Kalotypie (Talbotypie)

- první proces **negativ-pozitiv**, který vynalezl a patentoval (r.1841) **William Henry Fox Talbot** (proces se omezeně užíval v letech 1840–1851)

Kolódium vynalezené 1848 (lak proti vlhkosti) je **nitrocelulóza** nitrovaná na nižší nitrační stupeň než známá střelná bavlna.

Vynalezl r. 1851 **Frederik Scott Archer**, užíval se zhruba do r.1885

Postup:

1. **podložka** - *skleněná deska* správné velikosti se *leštila a čistila*
2. **emulze** - deska se *polila kolódiem s příměsí jodové nebo bromové soli*
3. **zcitlivění** - politá deska se *zcitlivovala* v temné komoře asi *5 min* v lázni AgNO_3 , až nabyla smetanově žlutého vzhledu.
4. **adjustace** - po okapání se ještě vlhká deska vložila do kazety
5. **vyvolání** - po expozici se rychle musela deska v temné komoře polévat kys. roztokem pyrogallolu nebo vývojkou se síranem železnatým
6. **ustalování** – po opláchnutí vodou se polévalo roztokem thiosíranu sodného nebo kyanidu draselného
7. **úpravy** - řádné opláchnutí ve vodě a usušení nad mírným plamenem kahanu a ještě za tepla se lakovala

Suché želatinové desky 1871

Kolódiový proces měl řadu **obměn** – např. **ambrotypie, pannotypie, ferrotypie**, hlavně byla snaha **nahradit kolodium jinou látkou**, která by umožnila delší úschovu před i po expozici (např. **albuminový papír** – vaječný bílek byl pojídlem a nosičem stříbrných solí)

Suché želatinové desky – základ dosud užívaných materiálů

- 1871 – **Richard Leach Maddox** uveřejnil popis techniky v *The British Journal of Photography* (1868 publikoval stejnou myšlenku W.H. Harrison, první návrh užití želatiny pro fotografii r. 1850 L. A. Poitevin)
- 1873 – prodej tekuté emulze (s AgBr) zahájil John Middleton Burgess
- 1878 – první suché žel. desky začala vyrábět společnost *Liverpool Dry Plate Company* na základě patentu Richarda Kennetta z r.1874

Želatina = **koloid organického původu a nejednotného složení** - se dokonale osvědčila a užívá se dodnes – je levná, je dobrým pojivem a udržuje krystalky AgHal rozptýlené ve vrstvě, zabraňuje shlukování, pohlcuje uvolněný halogen – zabránění zpětné reakci, je dobře prostupná pro vyvolávací, prací a ustalující látky atd.

Výroba želatiny:

- získává se částečným **odbouráváním kolagenu ze zvířecích kostí a kůží**
- **suroviny pro foto-želatiny**: indická a argentinská kostní drť, kůže (telecí), tuku zbavené kosti bez chrupavek
- Mnoho variací** - délka řetězce, větvení, zacyklení, substituenty R $\Rightarrow$ **želatina není nikdy přesně definovanou chemickou sloučeninou** a její použitelnost pro fotog. emulze závisí na původu a způsobu přípravy

Chemické složení želatiny:

- patří mezi bílkoviny tzv. **skleroproteiny**, které tvoří velké vláknité molekuly složené ze stavebních jednotek - **aminokyselin**, z nichž vznikají kondenzací (sloučení za odštěpení vody) - spojují se karboxylové a aminové skupiny

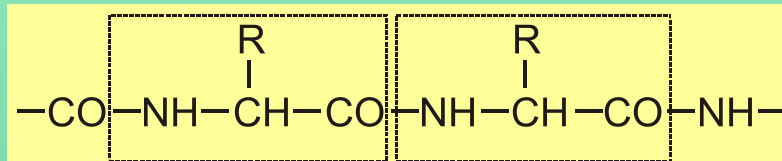


Schéma "stříbrných" fotografických procesů

Nejobecněji lze všechny tyto procesy označit jako **oxidaci a redukci**:

stříbrné soli $\longrightarrow$ (redukce) $\longrightarrow$ *kovové stříbro*

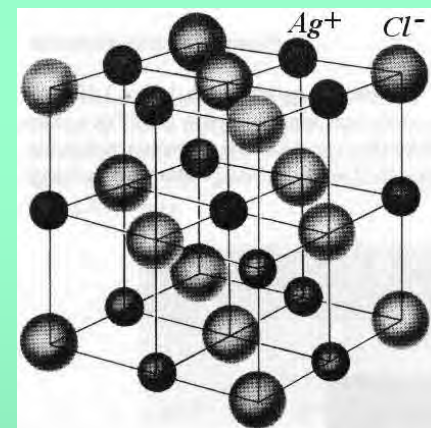
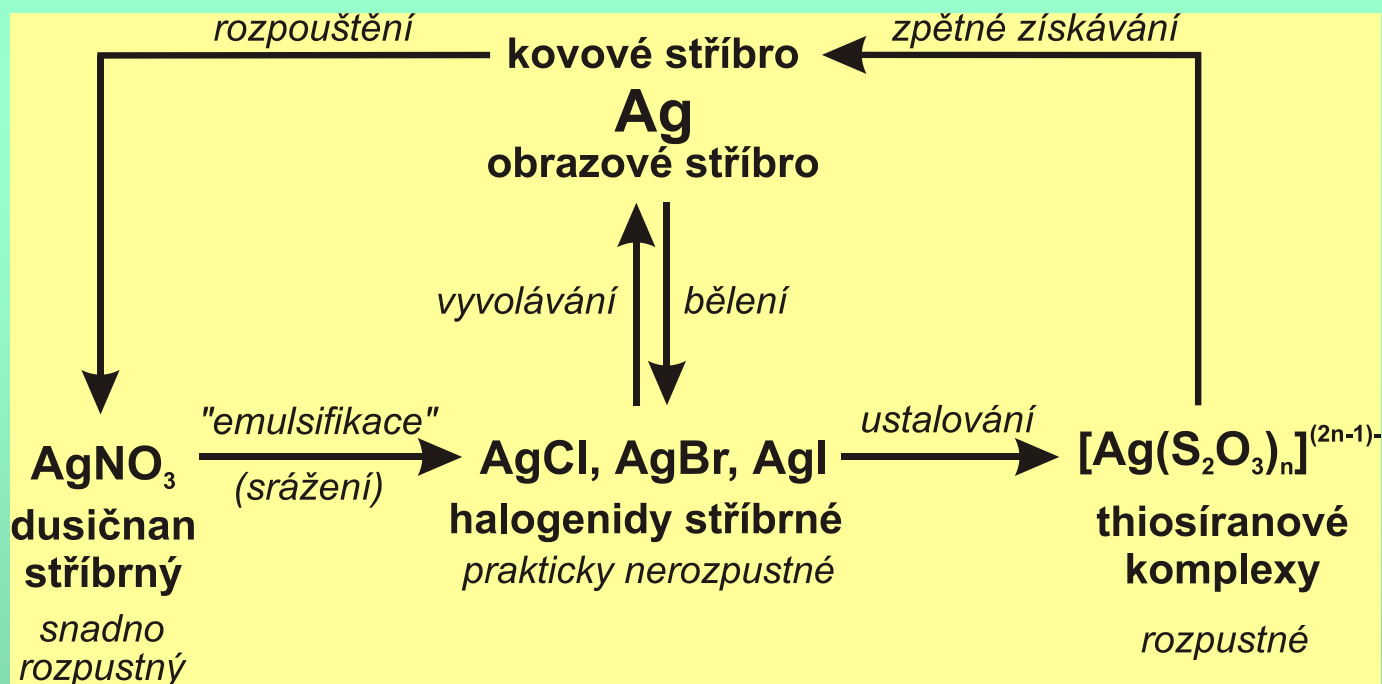
$\longleftarrow$ (oxidace) $\longleftarrow$

$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \longrightarrow$ (redukce) $\longrightarrow \text{Ag}$

$\longleftarrow$ (oxidace) $\longleftarrow$

Přidáme-li ještě rozpustnost ve vodě $\rightarrow$

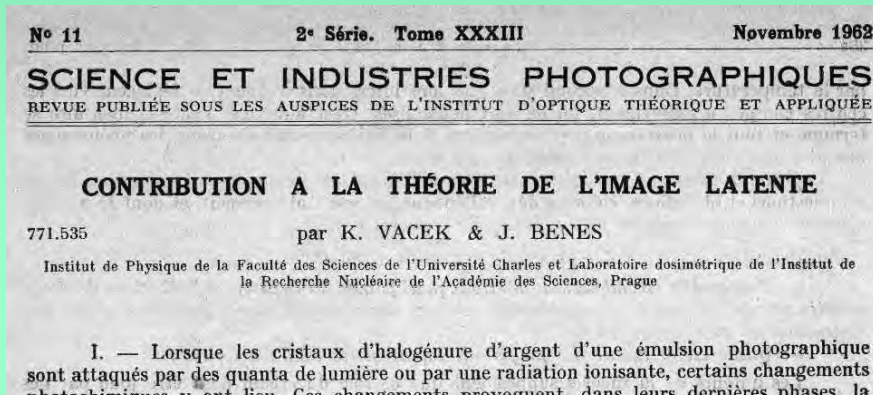
úplné schéma pochodů spojených s výrobou a zprac. fotogr. materiálů



iontové krystaly
Ag halogenidů

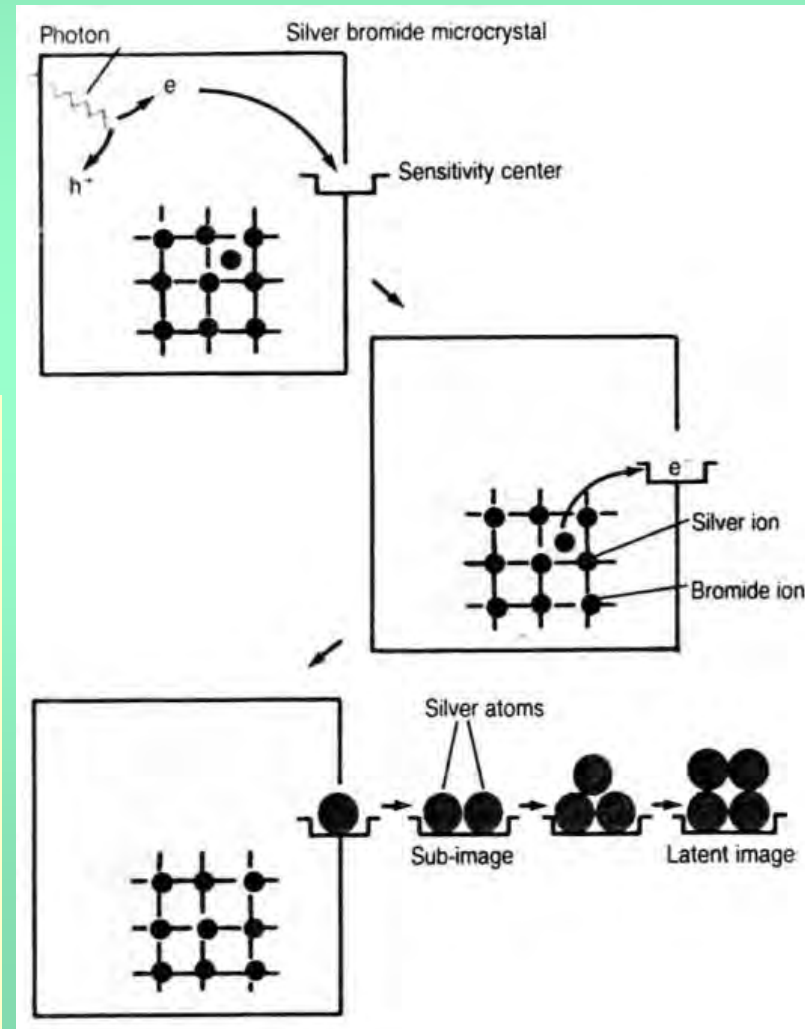
Vznik latentního obrazu

Existenci **latentního obrazu** (*image invisible seulement latent*) si uvědomili už *Daguerre* i *Talbot*. Jelikož se jedná o **děj na atomární úrovni**, přímo nepozorovatelný – trvalo pochopení lat. obrazu velmi dlouho a *dodnes nejsou všechny aspekty jasné*.



Vznik lat. obrazu (dle teorie Gurney-Mott):

1. **Uvolnění elektronu od halogenidového iontu** v krystalu AgHal (**vnitřní fotoefekt** vytváří vodivostní e^-)
2. **Soustředění elektronů u tzv. center citlivosti** = kladných akceptorů elektronů – např. molekuly AgS_2 , bodových defektů (vakance po aniontu) nebo Ag atomy a klastry .
3. **Narůstání tzv. vyvolávacího centra** – elektrony v centru citlivosti přitahují pohyblivé Ag^+ ionty (silná teplotní závislost, pod -150°C neprobíhá)
- Ag klastr musí být dost velký, aby způsobil redukci krystalku při vyvolávání.



Krystalky AgBr
s mnoha
vyvolávacími
centry

1 μm

vyvolateľného centra ?

A scatter plot showing the relationship between grain volume and the number of absorbed photons per grain for hydrogen hypersensitized micrograins. The y-axis is labeled 'ABSORBED PHOTONS PER GRAIN' and is on a logarithmic scale from 1 to 100. The x-axis is labeled 'GRAIN VOLUME (μm^3)' and is on a logarithmic scale from 10^{-3} to 10. The data points are represented by solid black circles. The plot shows a general trend where the number of absorbed photons per grain increases with grain volume, but with significant scatter. Two points at low grain volumes ($\sim 4 \times 10^{-3}$ and $\sim 6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^3$) have high photon counts (~ 40 and ~ 45 respectively). Most points fall between 1 and 10 photons per grain for grain volumes between 10^{-2} and $10^0 \mu\text{m}^3$.

Grain Volume (μm^3)	Absorbed Photons per Grain
4×10^{-3}	40
6×10^{-3}	45
1.5×10^{-2}	45
2×10^{-2}	20
3×10^{-2}	15
4×10^{-2}	10
5×10^{-2}	10
6×10^{-2}	10
7×10^{-2}	10
8×10^{-2}	10
9×10^{-2}	10
1×10^{-1}	10
1.2×10^{-1}	10
1.5×10^{-1}	10
2×10^{-1}	10
3×10^{-1}	10
4×10^{-1}	10
5×10^{-1}	10
6×10^{-1}	10
7×10^{-1}	10
8×10^{-1}	10
9×10^{-1}	10
1×10^0	10
1.2×10^0	10
1.5×10^0	10
2×10^0	10
3×10^0	10
4×10^0	10
5×10^0	10
6×10^0	10
7×10^0	10
8×10^0	10
9×10^0	10
1×10^1	10

vyvolávací látka = redukční činidlo

Latentní obraz se vyvoláním může zesílit i miliardkrát a více ($> 10^9$) !!

Pokud se mikrokrystalek AgHal začne redukovat - dojde rychle k **úplné redukci** - tj. **rozdíl exponovaných a neexp. částí emulze je v relativním počtu redukovaných zrn**, ne v míře redukce

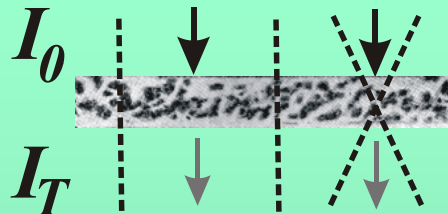
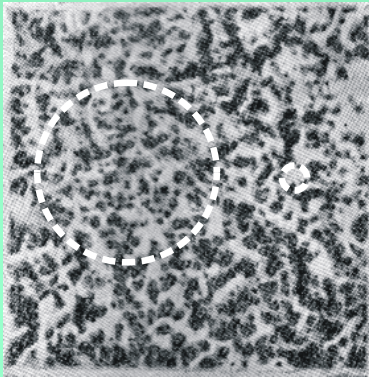
Ustalování = **odstranění neredukovaných zrn AgHal**, aby se **zabránilo jejich další reakci** (ustalovací látkou je téměř výhradně **thiosíran sodný** $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, případně **amonný** $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$)

Praní: význam = odstranit veškerý thiosíran, jinak by se rozložil působením O_2 a vzduš. vlhkosti a stříbro obrazu by přešlo na **hnědý sulfid Ag_2S – hnědé skvrny** (špatně vypraná fota).

Hodnocení vlastností filmu

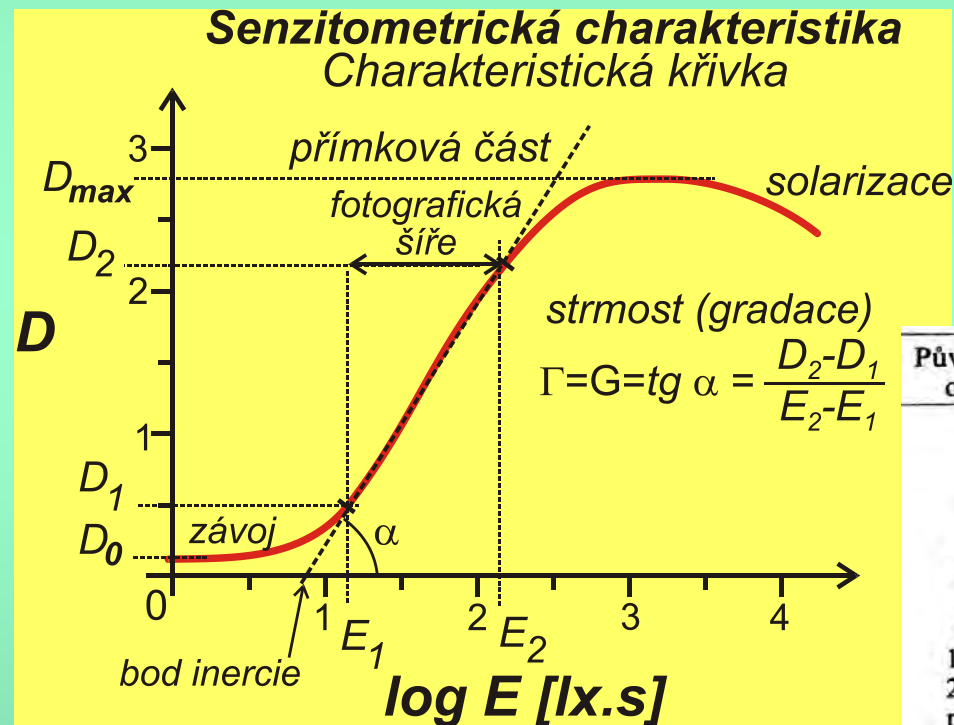
1. **Průchod světla emulzí** - densitometrie a senzimetrie
2. **Struktura emulze** - granulometrie – zrnitost - rozlišovací schopnost

Průchod světla emulzí: popis pomocí log transmise = **optická hustota** (činitel prostupu)



$$T = \frac{I_T}{I_0} - \log T = D$$

Příklad senzimetrické křivky se základními pojmy:



Původní doba osvitu (s)	Prodlužovací činitel
2	1,2
3	1,3
6	1,5
6 – 10	1,8
10 – 20	2
20 – 30	2,2
30 – 60	2,6
60 – 120	3
120 – 240	3,5
240 – 480	4,3
přes 480	4,5

Reciproční zákon (RZ) zákon Bunsenův-Roscoeův: zčernání závisí jen na celkové expozici nikoli na poměru expozičního času či intensity osvětlení

Odchyly od RZ:

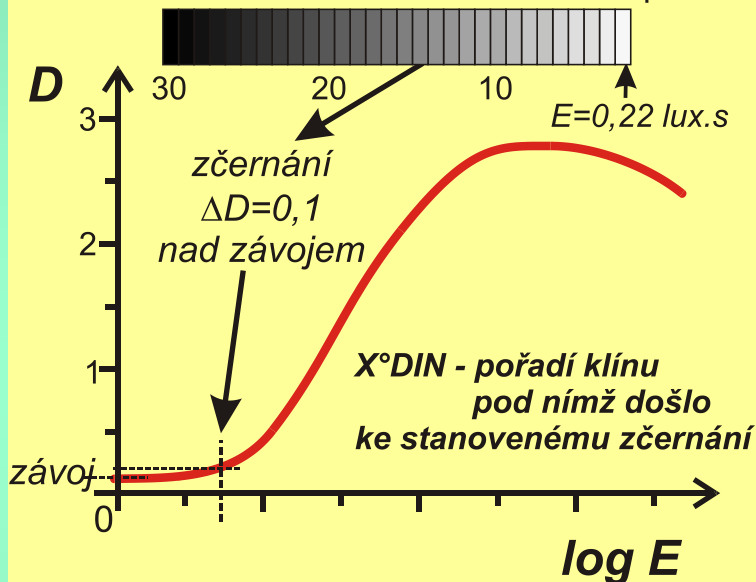
Nízké osvětlení: nižší zčernání než očekávané = **Schwarzschildův jev** (snížení kvant. úč. tvorby lat. obr.)

Velké osvětlení: nižší zčernání než očekávané = tzv. **solarizace** (nastává při rychlém vyvolávání)

Citlivost fotografického materiálu

Citlivost podle DIN

expozice skrze klín $D = 0$ až 3 po $0,1$
za stanoveného osvětlení žárovkou + kapal. filtrem



Jedno číslo nahrazující celou charakt. křivku

Moderní stupnice citlivosti:

← **DIN (Deutsche Industrie Norme)**

ČSN: (filtr č.1 má $E=1 \text{ lx.s}$?)

-kritérium citlivosti: jako DIN tj. $D_S=D_0+0,1$

- citlivost $S=1/E_S$

- stupeň citlivosti: $n^\circ \text{ČSN}=(\log S+0,1).10$

ASA (American Standards Association):

vyvolání na $G=0,65$, bere se expozice E_S potřebná
k dosažení $D_S=D_0+0,1$. Citlivost je pak $S=0,8/E_S$

GOST (ГОСТ, СССР) – jako ASA, ale $D_S=D_0+0,2$.

Stupnice ISO

S	S°	DIN(ČSN)	ASA	GOST
3200	36°	36°	3200	2800
1600	33°	33°	1600	1400
800	30°	30°	800	700
400	27°	27°	400	350
200	24°	24°	200	180
100	21°	21°	100	90
50	18°	18°	50	45
25	15°	15°	25	22
12	12°	12°	12	11

Značení citlivosti dle normy ISO

(Internat. Organization for Standardization)

je možné jedním z tvarů (odpovídá ASA/DIN):

a) **aritmetickou citlivostí**, např. ISO 100

b) **logaritmickou citlivostí**, např. ISO 21°

c) **společně aritm. a logar. citlivostí**, ISO 100/21°

Rozsah jasů

Hodnoty rozsahu jasů různých předmětů snímku

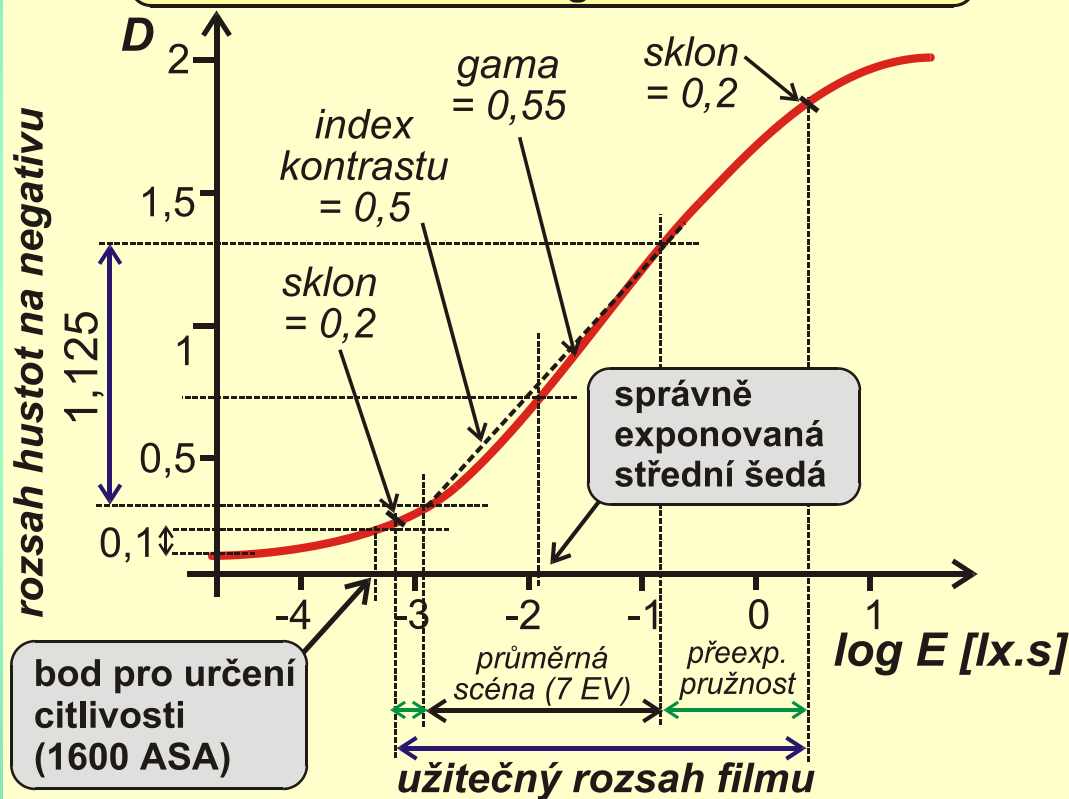
předmět snímku	lineárně	osvitové stupně
krajina v mlze bez popředí snímky pod vodou	1 : 2—1 : 3	$1 - 1\frac{2}{3}$
rovnoměrné a ploché osvětlení (reprodukce apod.)	1 : 2—1 : 40	$1 - 5\frac{1}{3}$
otevřená krajina bez oblohy a popředí, letecké snímky	1 : 4—1 : 10	$2 - 3\frac{1}{3}$
krajina za špatného počasí bez popředí	1 : 5—1 : 10	$2\frac{1}{3} - 3\frac{1}{3}$
světlovlasá osoba na světlém pozadí	1 : 10	$3\frac{1}{3}$
záběry ve městě bez popředí a slunce	1 : 10—1 : 40	$3\frac{1}{3} - 5\frac{1}{3}$
skupina při zamračeném počasí	1 : 10—1 : 60	$3\frac{1}{3} - 6$
otevřená krajina s oblohou	1 : 20—1 : 60	$4\frac{1}{3} - 6$
skupina na slunci (podle oděvu a směru světla)	1 : 20—1 : 300	$4\frac{1}{3} - 8\frac{1}{3}$
krajina bez oblohy, plné slunce	1 : 25—1 : 40	$4\frac{2}{3} - 5\frac{1}{3}$
krajina s velkými kontrasty (louka a stín lesa, tmavé budovy proti obloze) tmavovlasá osoba na světlém pozadí	1 : 100—1 : 200	$6\frac{2}{3} - 7\frac{2}{3}$
temná úzká ulice s jednotlivými sluncem osvětlenými domy	1 : 100—1 : 500	$6\frac{2}{3} - 9$
modré nebe a světlá oblaka	1 : 1000	10
místnost s oknem proti světlu	1 : 1000—1 : 10000	$10 - 13\frac{1}{3}$

předmět snímku	lineárně	osvitové stupně
krajina v mlze bez popředí snímky pod vodou	1 : 2—1 : 3	$1 - 1\frac{2}{3}$
rovnoměrné a ploché osvětlení (reprodukce apod.)	1 : 2—1 : 40	$1 - 5\frac{1}{3}$
otevřená krajina bez oblohy a popředí, letecké snímky	1 : 4—1 : 10	$2 - 3\frac{1}{3}$
krajina za špatného počasí bez popředí	1 : 5—1 : 10	$2\frac{1}{3} - 3\frac{1}{3}$
světlovlasá osoba na světlém pozadí	1 : 10	$3\frac{1}{3}$
záběry ve městě bez popředí a slunce	1 : 10—1 : 40	$3\frac{1}{3} - 5\frac{1}{3}$
skupina při zamračeném počasí	1 : 10—1 : 60	$3\frac{1}{3} - 6$
otevřená krajina s oblohou	1 : 20—1 : 60	$4\frac{1}{3} - 6$
skupina na slunci (podle oděvu a směru světla)	1 : 20—1 : 300	$4\frac{1}{3} - 8\frac{1}{3}$
krajina bez oblohy, plné slunce	1 : 25—1 : 40	$4\frac{2}{3} - 5\frac{1}{3}$
krajina s velkými kontrasty (louka a stín lesa, tmavé budovy proti obloze) tmavovlasá osoba na světlém pozadí	1 : 100—1 : 200	$6\frac{2}{3} - 7\frac{2}{3}$
temná úzká ulice s jednotlivými sluncem osvětlenými domy	1 : 100—1 : 500	$6\frac{2}{3} - 9$
modré nebe a světlá oblaka	1 : 1000	10
místnost s oknem proti světlu	1 : 1000—1 : 10000	$10 - 13\frac{1}{3}$
temné průhledy, podloubí, aleje apod. s osvětleným popředím či pozadím	1 : 1000—1 : 30000	10—15
krajiny s vodou, nebem a oblaky	1 : 1000—1 : 100000	$10 - 16\frac{2}{3}$
krajina se sluncem v záběru	1 : 200000	21

Senzitometrie pro praxi

Jaký rozsah jasů lze zachytit na negativu a pak přenést na pozitiv ?

Typická senzitometrická charakteristika černobílého negativního filmu



Změna expozice 1 EV (expoziční stupeň) = změna expozice 2x – tj. změna $\log E$ o 0,3.

Rozsah průměrné scény je asi 7 EV při difúzním osvětlení ~ 3 EV a na přímém slunci i více než 12 EV.

Pokud je pata senzitometr. charakteristiky dlouhá, nedává gama dobrou informaci o kontrastu – zavádí se tzv. **index kontrastu** = průměrný sklon v části charakteristiky odpovídající správně exp. průměrné scéně

Užitečný rozsah – mezi expozicemi vytvářejícími min. sklon 0,2

Případná rezerva mezi rozsahem scény a užitečným rozsahem filmu = tzv. **pružnost**
- jistá volnost umístění expozice na charakteristické křivce

Barevná fotografie - rozklad na barevné složky



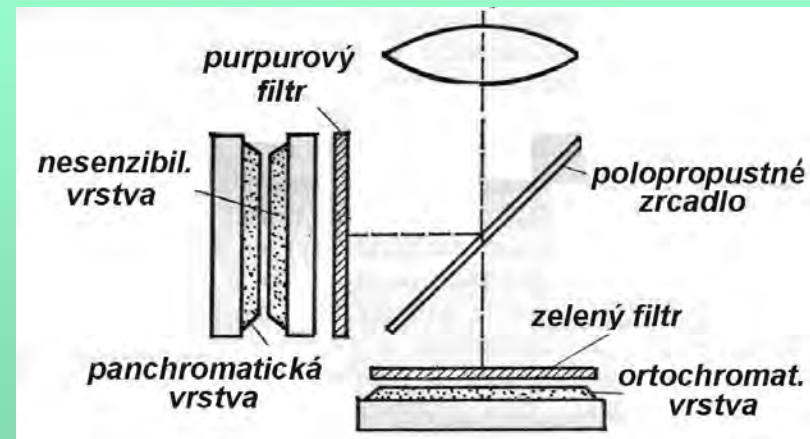
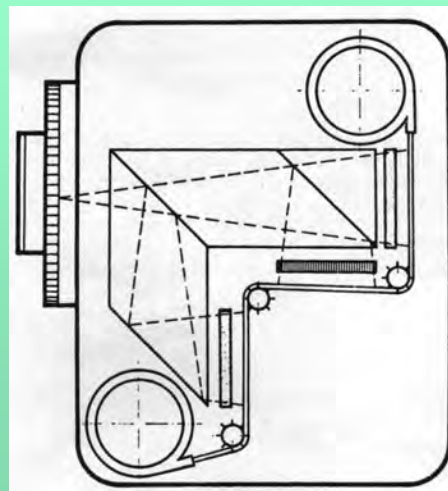
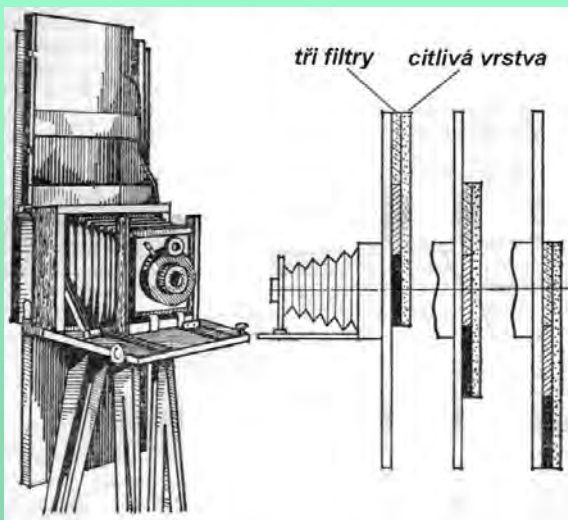
Princip: využití existence tří typů „barevných detektorů“ – čípků v oku

Louis Ducos du Hauron (na obr.) od r. 1862 používal princip rozkladu obrazu na 3 složky z nichž se pak exponuje pozitiv (nejprve však chybně identifikoval primární barvy – červenou, žlutou a modrou) – současně objevil tento princip i Charles Cros ve Velké Británii

Du Hauronovy kamery s rozštěpením obrazu pomocí polopropustných desek nebo hranol (nazvány **mélanochroscope** a **chromographoscope** - později byly vyráběny několika firmami)

- na stejném principu pracoval i **kinematografický systém Technicolor**

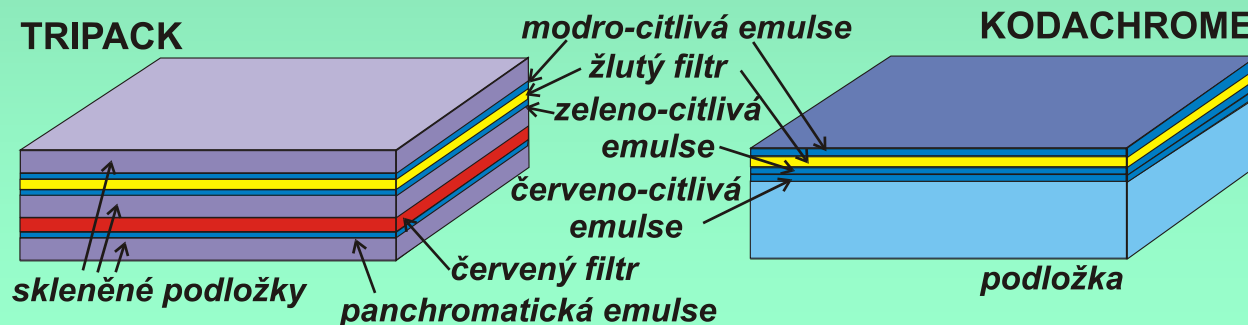
Obr. Zleva: Přístroj pro postupný záznam 3 barevných výtažků, přístroj Spektaretta čs. výroby z roku 1939 (nejmenší přístroj na barevné výtažky), systém Technicolor



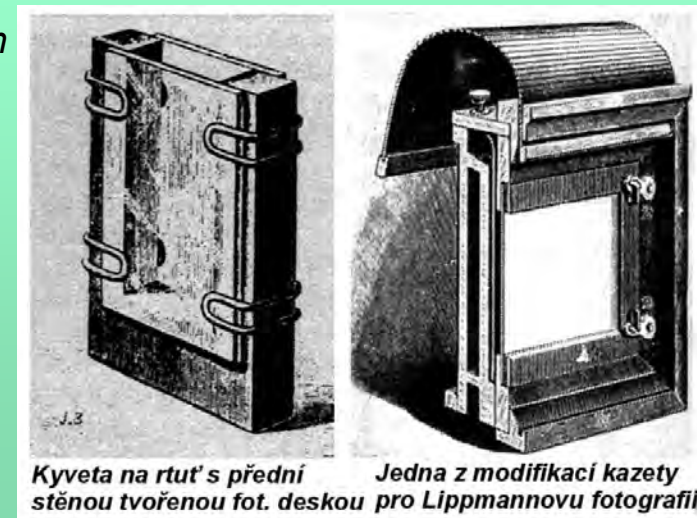
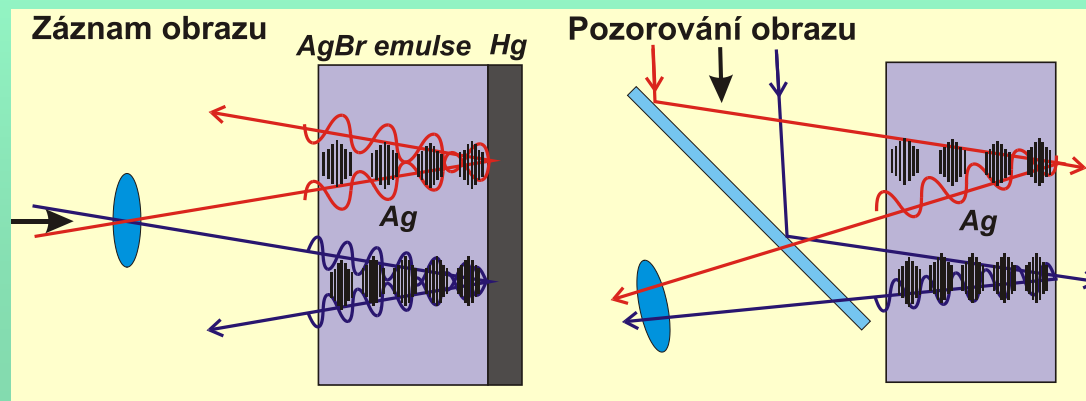
I dnes existují tříčipové CCD kamery

Tripack, Lippmannova fotografie

- 1897 Du Haaron navrhnul **Tripack** – kombinaci tří emulsí na sobě pro **subtraktivní záznam a reprodukci** bar. fotografií (analogie dnešních filmů)



- **1891** - fr. (lucemburský?) fyzik **Gabriel Lippmann** vynalezl **interferenční princip** barevné fotografie (1908 – Nobelova cena za fyziku) navazoval na práce W. Zenkera a O. Wienera
- pokládal **jemnozrnné emulze AgBr** na **hladinu rtuti**, která působila jako zrcadlo a odražené světlo interferovalo s přicházejícím – vyvolaná zrna se vytvářela v kmitnách stojatých vln. (Fourierova transformace) až 200 vrstev (emulze byly tlusté ~1/20 mm)
- postup byl přes své technické obtíže **částečně komerčně používán** do r.1907



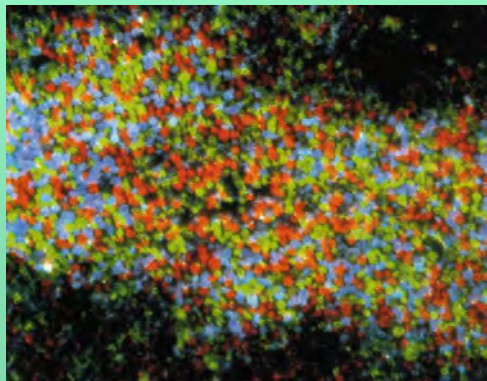
Autochrom

- **brři Auguste a Louis Lumiérové** – vynalezli **Autochrom** – první komerčně úspěšný systém barevné fotografie (později na pružné podložce nazýván *Lumicolor* (1932) a *Filmcolor* (1938)) (vynález oznámen r. 1904, do prodeje 1907, užíván asi do r.1932)

= **pozitivní proces s aditivním skládáním barev** – snímání a pozorování obrazu přes **náhodný rastr tvořený vrstvou 3 typů obarvených škrobových zrněk**



brři Lumiérové, foto K. Šmirouse, 1913



Výroba:

- **separace** zrněk škrobu prům. 10-15 μm
- **obarvení** stabilními barvivy (oranžová, zelená, fialová)
- **míchání a rozprostření** na sklen.desku (6-7000 zrn/ mm^2)
- **vyplnění mezer** jemným uhlíkovým práškem
- **válcování** (laminage)
- **lakování** tenkou vrstvičkou laku
- **polévání** jemnozrnnou panchromat. emulsí s AgBr

Použití:

- jako čb desky, ale exponuje se skrze skleněnou podložku a citlivost je nižší (ekv. 15 DIN a méně, typ. expozice za sluneč. dne 1s při f/8)

Vyvolání:

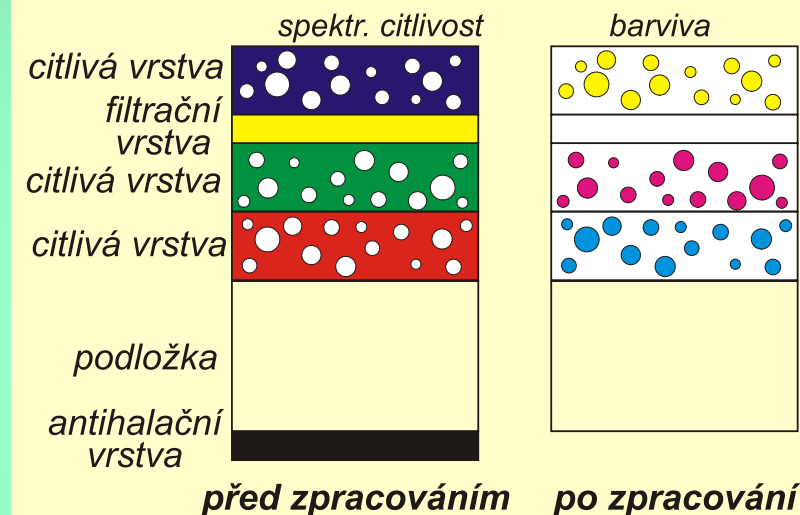
- jako inverzní materiál: po 1. vyvolání je bělení (rozpuštění Ag), osvětlení a 2. vyvolání
- vrstvy byly snadno poškoditelné – překrývaly se sklem i z 2. strany

Aerodrome de Palais 1912

Moderní klasická barevná fotografie

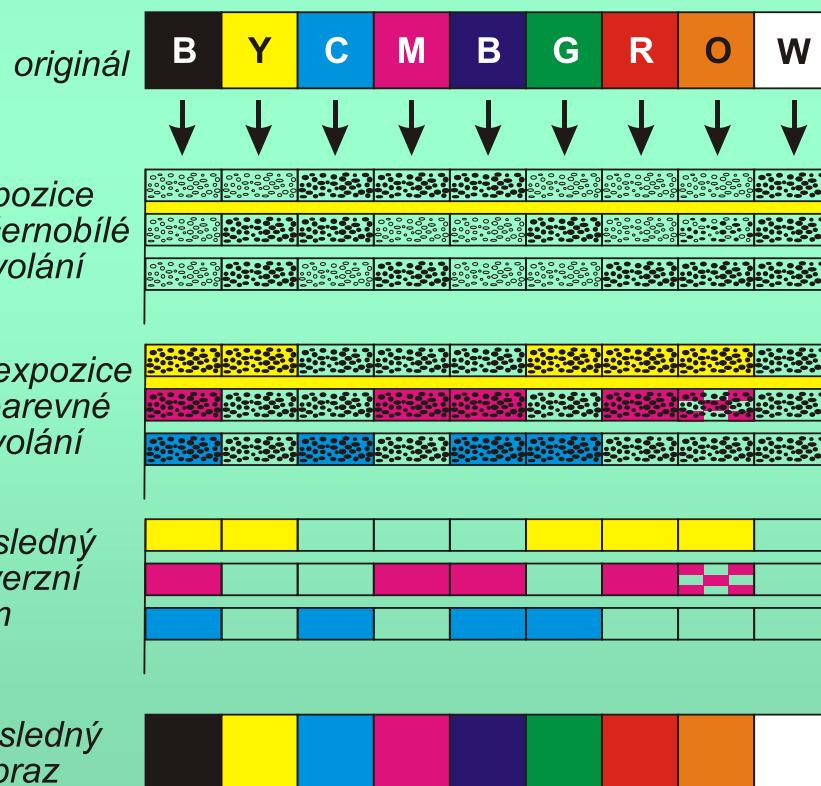
Nejvíce rozšířené byly **subtraktivní postupy** - všechny **3 barevné složky se exponují najednou** – jsou získávány ve *třech různě citlivých vrstvách uspořádaných nad sebou* (tzv. filtrační princip)

Klasický třívrstvý barevný fotografický materiál



Různé možnosti dosažení zabarvení vrstev:

- přenos barviv
- vybělovací postup
- barvotvorné vyvolávání

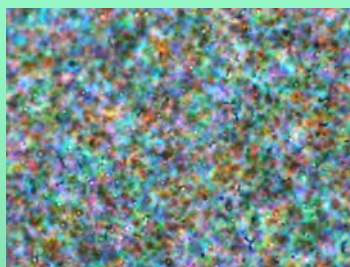


Barevný inverzní film (diapositiv)

Zpracování má tyto kroky:

- černobílé vyvolání
- osvětlení difúzním světlem
- barvotvorné vyvolání

- vybělení (odstranění Ag) a ustálení + tvrzení a praní
celý proces je velmi náročný (např. u E6 jsou povolené odchylky teploty pouze 0,3°C, podobně důležité jsou hodnoty pH a dodržení časů)



Barevný postup negativ-positiv

Zpracování negativu i pozitivu má o dva kroky méně než u inverze:

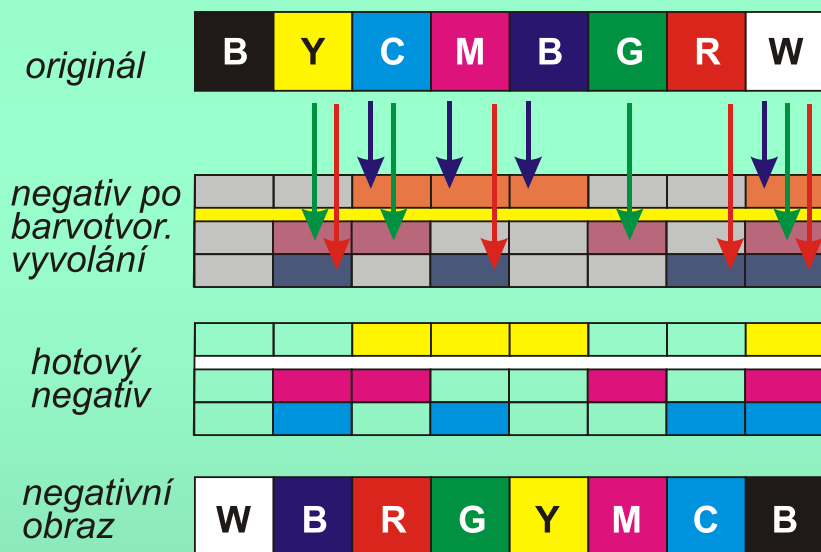
1. barvotvor. vyvolávání a vypírání

2. bělení a vypírání

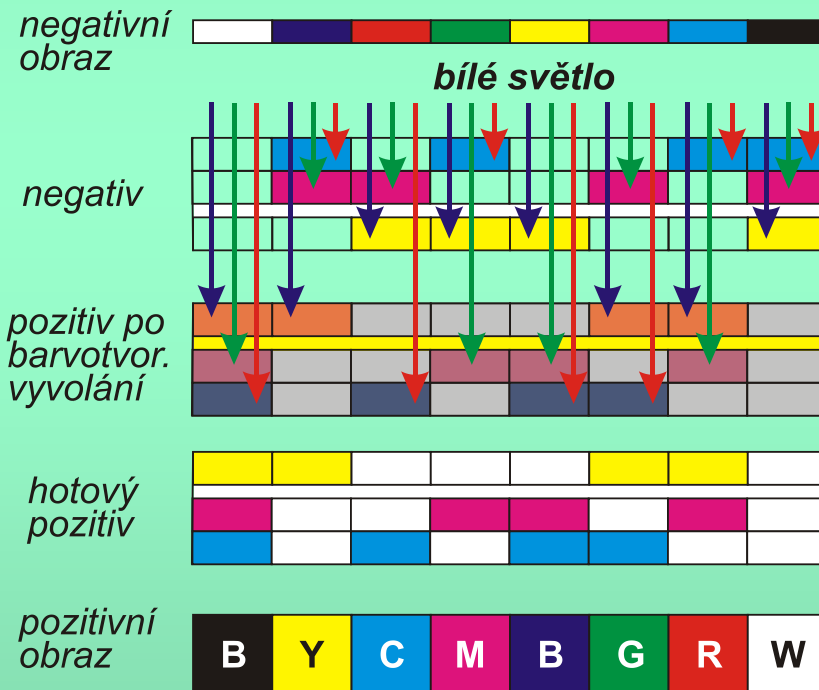
3. ustalování a vypírání

- výsledek je možné značně korigovat v pozitivním procesu filtrací světla

Vznik negativu



Vznik pozitivu



Elektronická fotografie - CCD detektory

CCD – charge-coupled device - druh křemíkového integrovaného obvodu byl vynalezen v 2. polovině 60. let (1966) Sangsterem u fy Philips (byl to dvoufázový CCD prvek nazývaný *bucket brigade delay line*).

V roce **1970** vytvořili **třífázový CCD prvek** (a nazvali jej CCD) **W.S. Boyle a G.E. Smith** v **Bellových laboratořích**. (Původně to vlastně neměly být detekční, ale paměťové obvody) – **Nobelova cena za fyziku v roce 2009** (spolu s C.K. Kao – optická vlákna pro komunikace)



Během 70. let se vyvinuly **CCD** v **hlavní zobrazovací prvek pro TV a video kamery**

- s výjimkou některých vědeckých aplikací se o fotografických aplikacích neuvažovalo (vzhledem k malému rozlišení a velké ceně)

- Prudký rozvoj přišel s **rozšířením počítačů a dostatečných paměťových médií** (miniaturizace obvodů, rychlost, paměťová kapacita ...)

Funkce CCD a CMOS detektorů

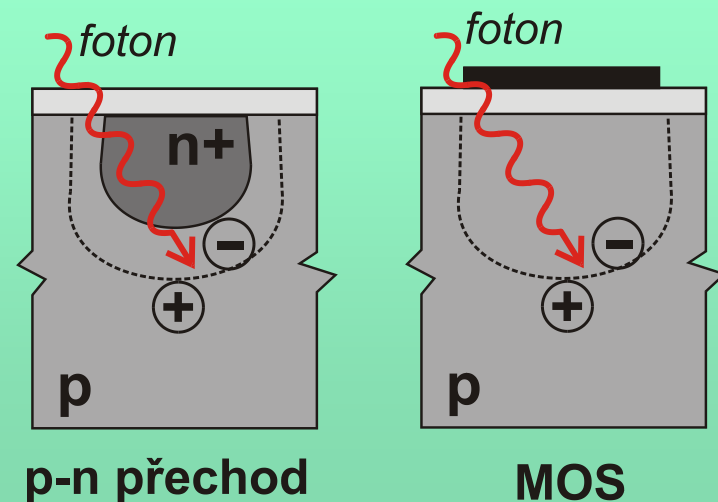
Detekce světla v CCD

1. **vnitřní fotoefekt** = generace elektron-děrového páru absorpcí fotonu (jehož energie je větší než energetická šířka zakázaného pásu) – **fotochemická detekce světla v klasické fotografii začíná stejným krokem**
2. **separace elektronu a díry** (zabránění jejich zpětné rekombinaci) aplikací *elektrického pole* – elektrony se shromáždí v potenciálové jámě a díry budou přitáhnuty k maximu potenciálu a pak odvedeny p-typovou oblastí (substrátem p-typu)
3. **akumulace náboje** (integrace)
4. **odvedení náboje + zpracování, zesílení** atd.

Separace a akumulace náboje se provádí malou **fotodiodou**

– např. *p-n přechodem* zapojeným v *závěrném směru* nebo *MOS (metal-on-semiconductor) kondenzátorem* (indukovaný p-n přechod)

- *ochuzená oblast* (depletion region) na p-n rozhraní se akumulací náboje zmenšuje – tj. napětí se zmenšuje



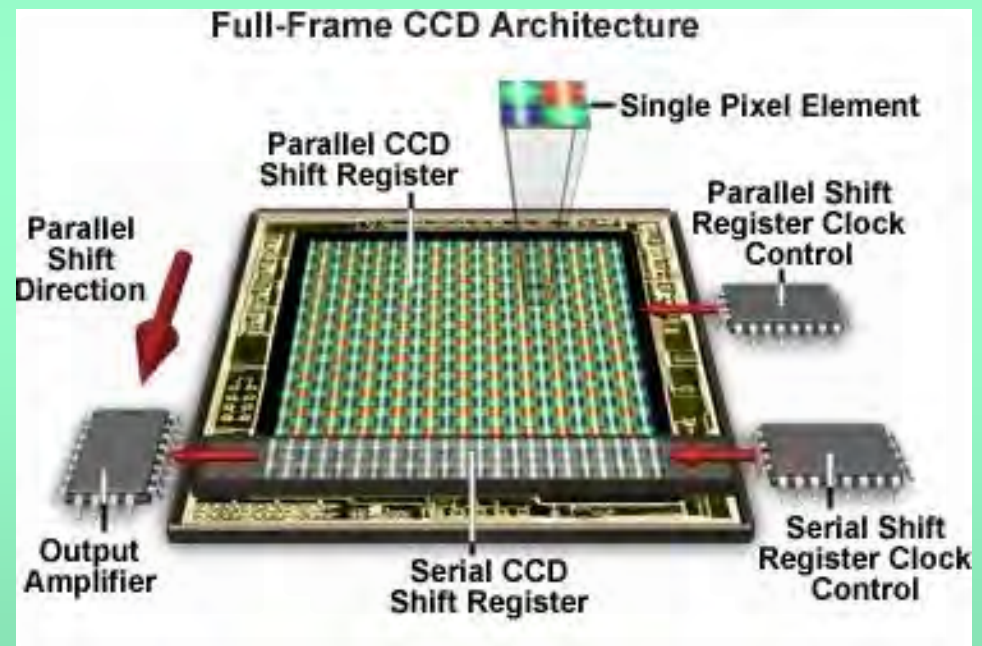
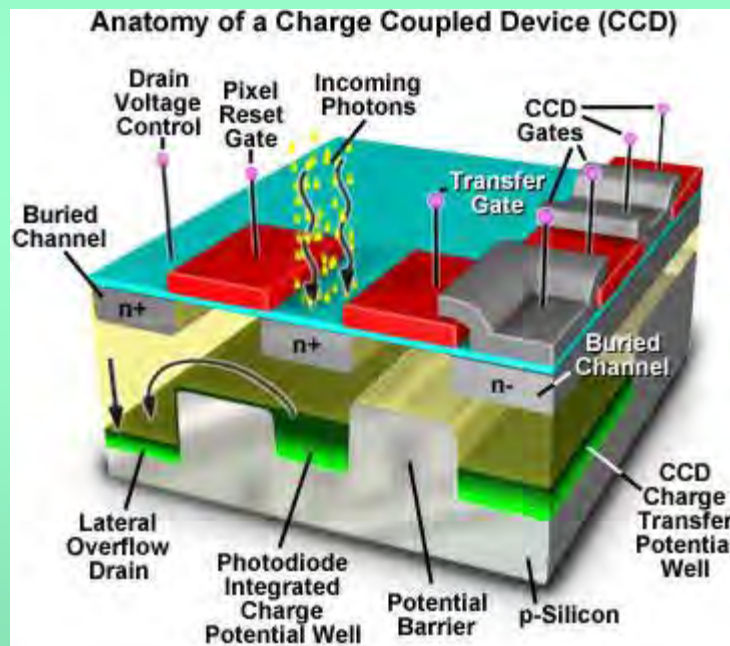
Architektura CCD

1. Full-frame CCD:

užívané pro *nejvyšší rozlišení* (počet pixelů) – prakticky všechny pixely se užívají pro detekci světla, má relativně jednoduchou stavbu a snadnější výrobu

Princip činnosti – náboj se postupně posunuje o řádek (paralelně) a pak se krajní řádek přečte sériovým registrem přes výstupní zesilovač a A/D převodník

Pixely jsou obvykle čtvercové o hraně 6 až 24 μm . Celkový počet dnes až >7 Mpix.



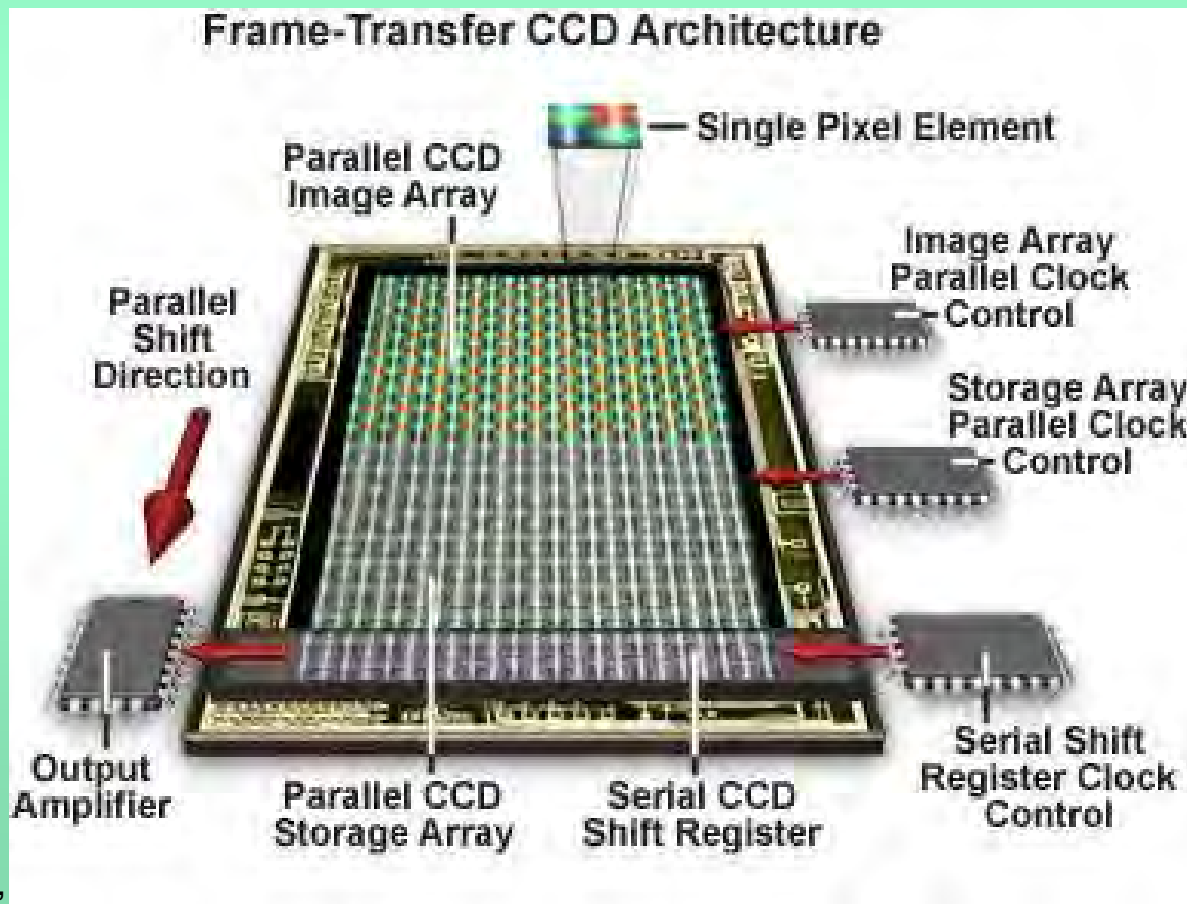
Full-frame detektory jsou relativně **pomalé** kvůli omezené frekvenci zesilovače a převodníku – rychlost čtení lze zvýšit rozdělením celého pole na několik oblastí (např. 4), které se čtou simultánně – obraz se pak rekonstruuje v externím procesoru,

Architektura CCD

2. Frame transfer

část CCD se využívá jako **paměťová oblast** (odcloněné od světla) – náboj se tam přesune ze všech pixelů najednou (za 500 ms a méně)

čtení může probíhat zároveň s detekcí nového obrazu → vyšší rychlost
nevýhody – větší obvod, méně aktivních pixelů, dražší výroba

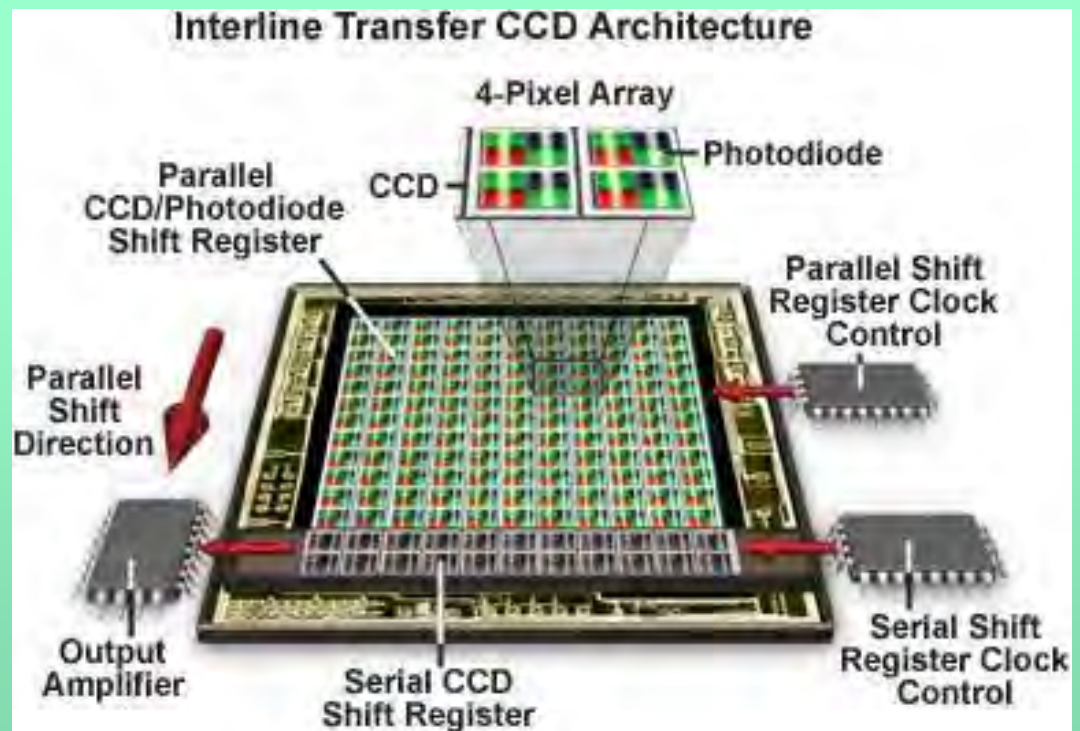
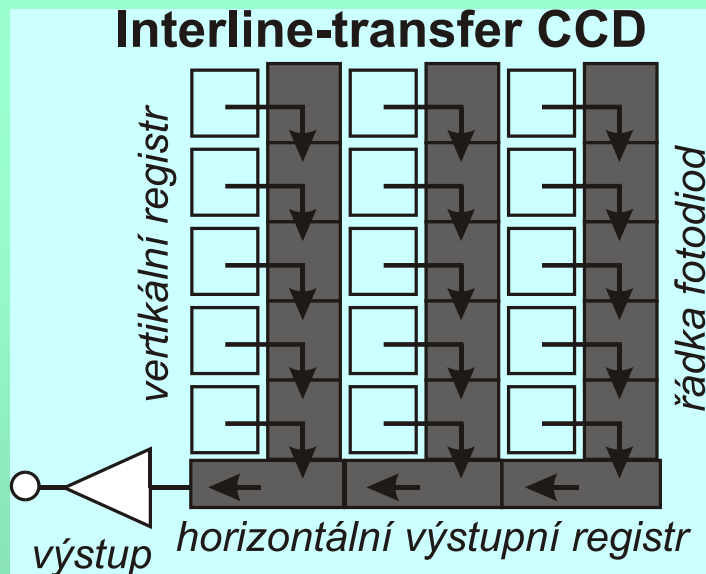


Architektura CCD

3. Interline transfer

pixely jsou proloženy **čtecími registry** (krytými před světlem), kam se signál přesune během několika ms = velmi **rychlé detektory**

nevýhody: menší aktivní plocha = menší účinnost detekce, komplikovanější a dražší výroba (překrývání čtecích registrů), někdy může dopadající světlo pronikat a ovlivňovat signál v sousedních registrech. (interline CCD jsou velmi užívané v dig. fotoaparátech).)



Kvantová účinnost detekce

QE = kolik z dopadajících fotonů přispěje k signálu

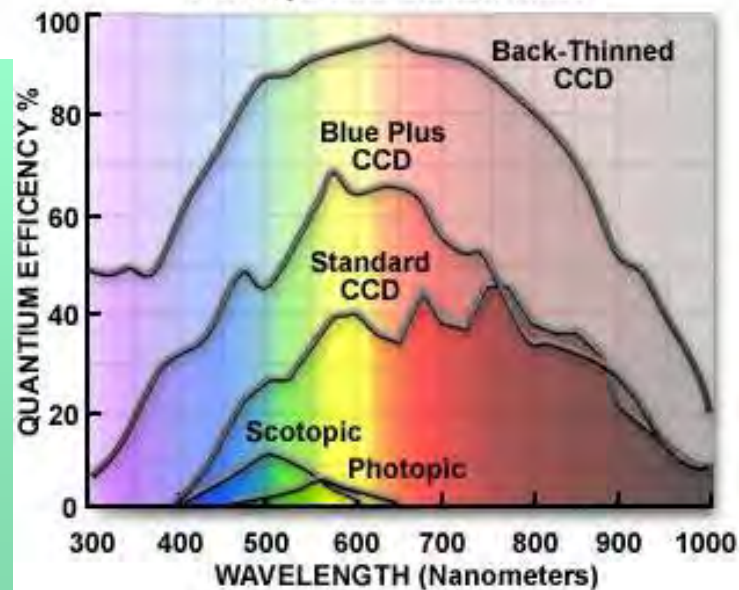
část fotonů se **odrazí nebo absorbuje** v kontaktech a krytých částech chipu (poly-Si nebo SiN vrstvy a pod.)

Jak zvětšit světlocitlivou plochu?

- zmenšení plochy kontaktů a krytých míst (tzv. **open electrode**)
- aplikace matice **mikročoček** (viz dále)
- osvětlování ze zadní strany přes ztenčený substrát (10–15 μm) – tzv. **back-illuminated** nebo **back-thinned** CCD
- snížení odrazů aplikací **antireflexních vrstev**



CCD Spectral Sensitivities



Spektrální rozložení kvantové účinnosti:

Absorpční koef. Si roste směrem ke kratším vln. délkám – foton se absorbuje blíže povrchu Si a také se více absorbuje v poly-Si kontaktech ($\Rightarrow$ **prakticky nulová účinnost <400 nm**).

- využitím **transparent.vodivých materiálů** (např. SnO) na kontakty lze zlepšit citlivost v modré
- Citlivost CCD lze prodloužit do UV oblasti pokrytím čipu **vrstvou luminoforu** (např. Lumogen), absorbuje světlo 120-450 nm a přemění je na fluorescenci 500-580 nm.

Vědecká „back-illuminated CCD camera“



SPEC-10
400B/LN

1340 x 400 pixel
pixel size 20 x 20 micron



Chlazení kapalným dusíkem

(udržuje se na teplotě $T \sim -110^{\circ}\text{C}$)

velmi nízký temný šum:

~ 1 count/pixel/h

pomalé čtení

- čtecí šum min. 5 count/pixel

špičková kvant.účinnost $> 90\%$

cena: > 2 M Kč

Spec-10 Datasheets

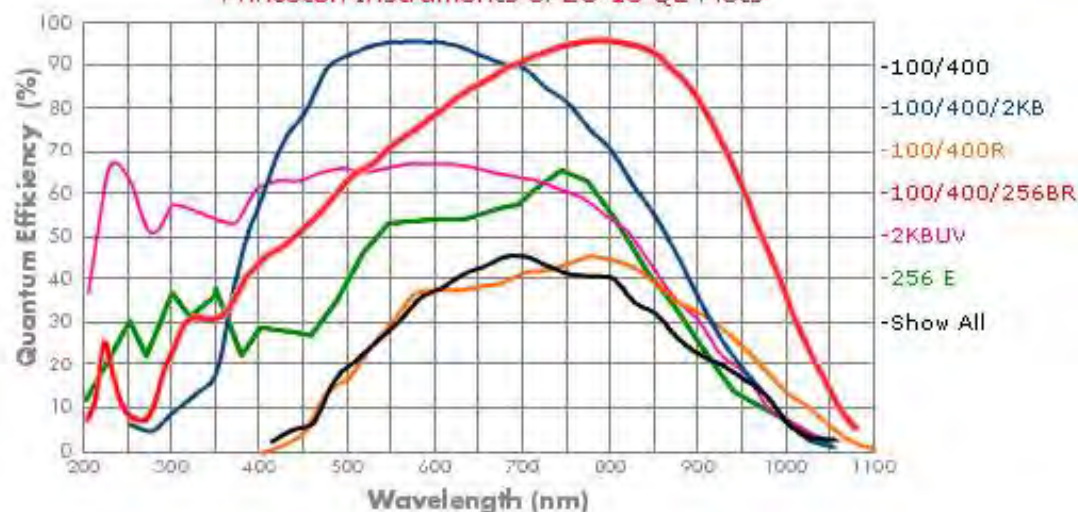
LN Cooling (-120°C)

Model	Imaging Array	Pixel Size	Wavelength	QE Curves
100B/LN	1340x100, B/I	20 x 20 μm	200 - 1025 nm	Peak QE
100BR/LN	1340x100, B/I DD	20 x 20 μm	200 - 1075 nm	95%
400B/LN	1340x400, B/I	20 x 20 μm	200 - 1025 nm	95%
400BR/LN	1340x400, B/I DD	20 x 20 μm	200 - 1075 nm	95%
2KB/LN	2048x512, B/I	13.5 x 13.5 μm	350 - 1000 nm	95%
2KBUV/LN	2048x512, B/I UV	13.5 x 13.5 μm	200 - 1000 nm	75%
256E/LN	1024x256, F/I OE	26 x 26 μm	200 - 1000 nm	55%
256BR/LN	1024x256, F/I OE	26 x 26 μm	200 - 1000 nm	95%

F/I - Front Illuminated
B/I - Back Illuminated
DD - Deep Depletion
UV - UV Enhanced
OE - Open Electrode

Spectroscopy Cameras

Princeton Instruments SPEC-10 QE Plots



Srovnání CCD vs. CMOS

CCD

VÝHODY

- **Nízký temný signál**
- Vynikající plošná homogenita
- **Perfektní linearita odezvy**
- Vysoká kvantová účinnost
- Skvělá kvalita obrazu
- Možnost binningu

NEVÝHODY

- Nízká rychlost čtení (přesun náboje a sériové odečítání)
- Rozmazávání a blooming (přetékání silných signálů)
- Vysoká cena výroby

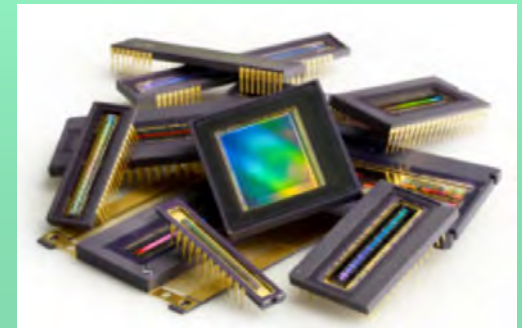
CMOS

VÝHODY

- Velká rychlost odečtu (paralelní systém)
- Vysoká opakovací frekvence (frame-rate)
- **Nižší cena výroby**
- **Nízká spotřeba energie**
- Možnost zpracování signálu na čipu (stejná technologie výroby jako integ. obvody)

NEVÝHODY

- Menší plošná homogenita (fixed pattern noise)
- Vyšší temný signál (šum)
- Nelinearita odezvy
- Nelze použít binning na čipu (lze sw)
- Menší aktivní plocha (nízký fill-factor)



Šum

Co všechno je šum?

Navrhuji zahrnout **všechny náhodné fluktuace signálu, které nesouvisí se změnami detekovaného objektu (zdroje fotonů).**

Zdroje šumu (existuje mnoho způsobů třídění):

- šum optického vstupu** (dopad. světla, shot noise)
- šum elektrického vstupu** (ovládacího napětí atd.)
- šum roztrídění** (partition n.)
- šum přenosu náboje** (transfer noise)
- temný šum** (dark-current noise)
- stálý strukturní šum** (fixed-pattern noise)
- šum elektr. výstupu – čtecí šum** (on-chip amplifier noise – readout noise, max noise, noise floor, noise-equivalent electrons) + **šum A/D převodníku** (quantization noise) je nižší pro vícebitové převodníky

Šumové vlastnosti se liší nejen podle typu čipu, ale i kus od kusu:

- obvykle stačí uvažovat tři zdroje šumu

$$\langle n_{\text{sys}} \rangle = \sqrt{\langle n_{\text{shot}}^2 \rangle + \langle n_{\text{floor}}^2 \rangle + \langle n_{\text{pattern}}^2 \rangle}$$

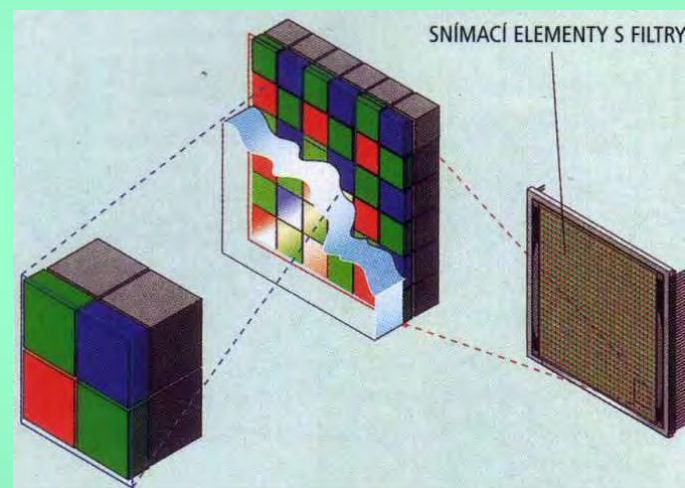
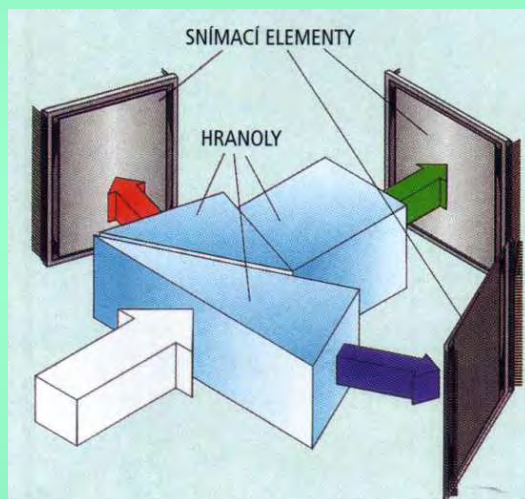
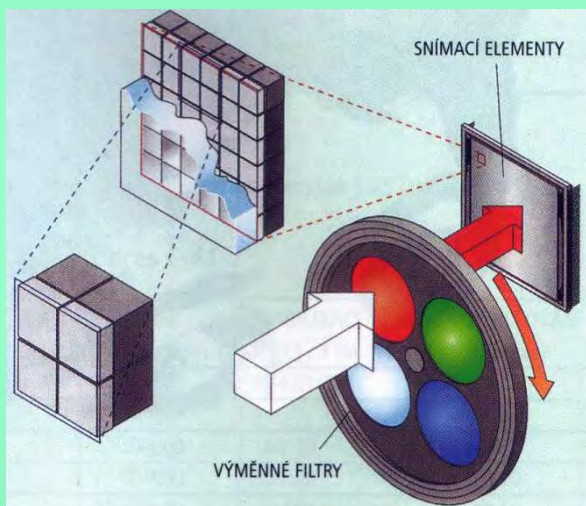
Boj se šumem:

- **chlazení** detektoru (potlačení až odstranění tepelného (temného) šumu)
- **průměrování více obrázků** – omezí všechny šумы kromě (pattern noise) FPN a PRNU
- **korekce na rozložení odezvy a fixní struktury** (pattern noise)
- **odfiltrování vysokofrekvenční složky signálu** (může zhoršit kvalitu zobrazení informace)

Barvy a CCD

Možnosti jak získat barevný obrázek:

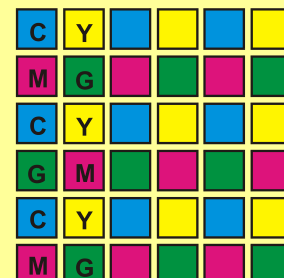
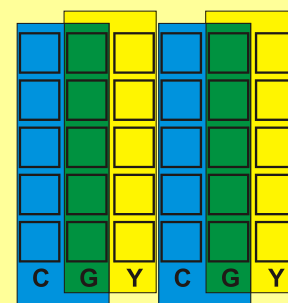
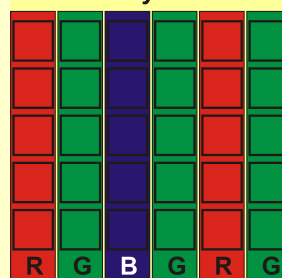
1. **postupné snímání obrazu přes 3 barevné filtry** (užívá se u některých kamer např. u mikroskopů – statické scény či pomalé děje)
2. **rozložení obrazu na 3 CCD detektory** pomocí hranolů a filtrů (u některých profi kamer)
3. **použití filtrového rastru** – dnes nejčastější (rastr je obvykle přímo nanesen na CCD chip)



Čárové (proužkové) rastry (video či skenery)

- použití CMY filtrů zvětšuje citlivost neboť filtrem prochází 2/3 spektra, kdežto u RGB jen 1/3 spektra
 - kombinace překrývajících se filtrů C a Y zlepšuje rozlišení (v každém pixelu je informace o zelené).
 Jsou možné i další zvláštní kombinace jako např. u CCD chipu pro videokamery Sony ICX038DNA

Čárové filtry



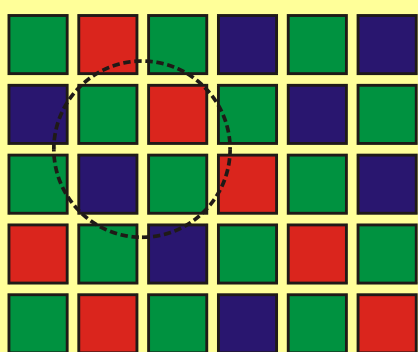
Sony ICX 038 DNA

Barevné rastry

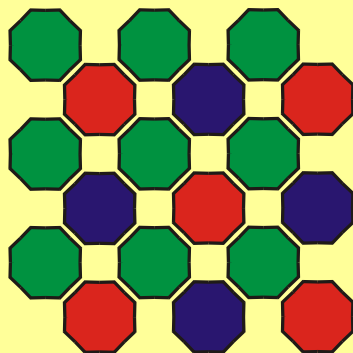
Mozaikové rastry – dnes u DF nejobvyklejší – RGBG

Fuji Super CCD SR má neobvyklé osmiúhelníkové pixely, ale hlavně zvyšuje dynamický rozsah z běžných 6-7 clonových čísel na 11 tím, že má v každém pixelu dva detektory. Ten menší – méně citlivý – zaznamenává signál v nejjasnějších místech, která by jinak byla „vypálená“.

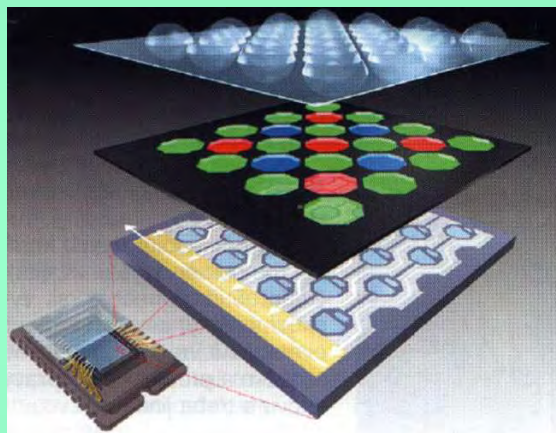
Mozaikové filtry



Bayer -dnes nejrozšířenější

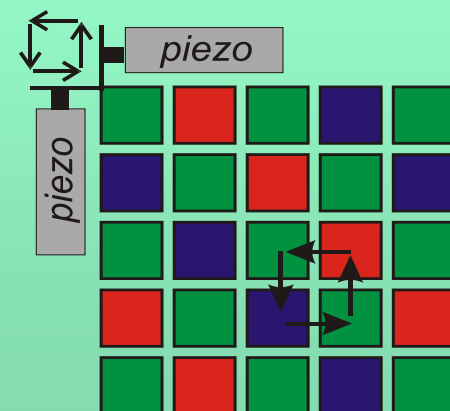
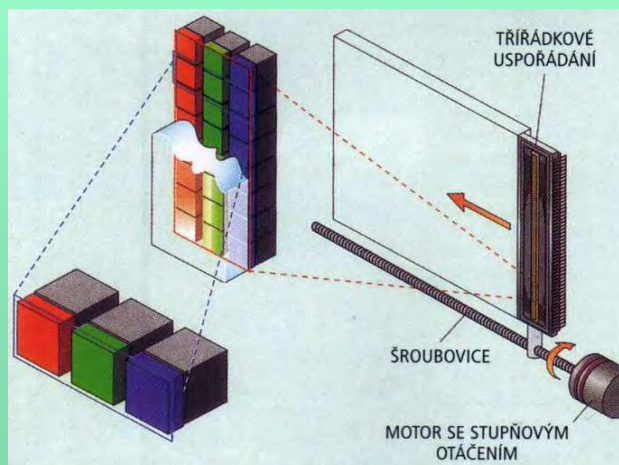


Fuji Super CCD SR



U fixních rastrů se **barvy skládají interpolací** ze signálu sousedních filtrů

Potřebu interpolace odstraní pohyb detektoru: např. u skenerů lineární řádkový detektor projede snímání obraz nebo digitální stěna Sinarback, která má piezo posun CCD detektoru



Charakteristická křivka detektoru



Senzitometrická charakteristika CCD

- typicky bývá pomalý náběh a rychlý přechod do saturace (to se liší oproti filmu)
- expoziční rozsah u horších detektorů bývá jen necelých 7 EV

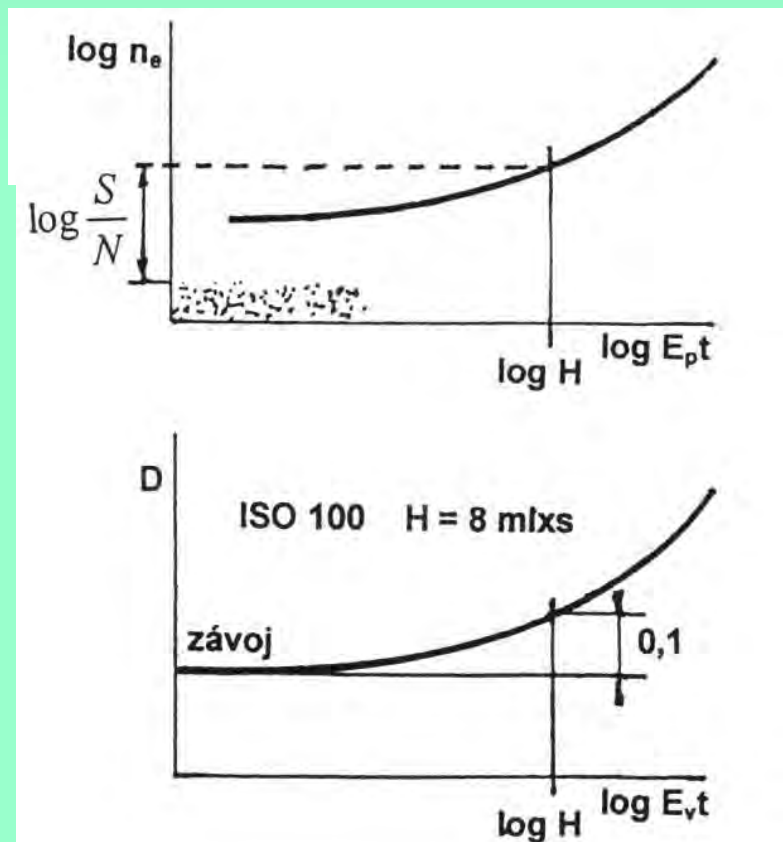
pro srovnání s klasickým filmem se určuje **citlivost detektoru**

- u **filmu** se definuje citlivost ISO podle expozice H , při které vystoupí zčernání 0,1 OD nad závoj dle $ISO = 0,8/H$, kde H je v mlx.s .

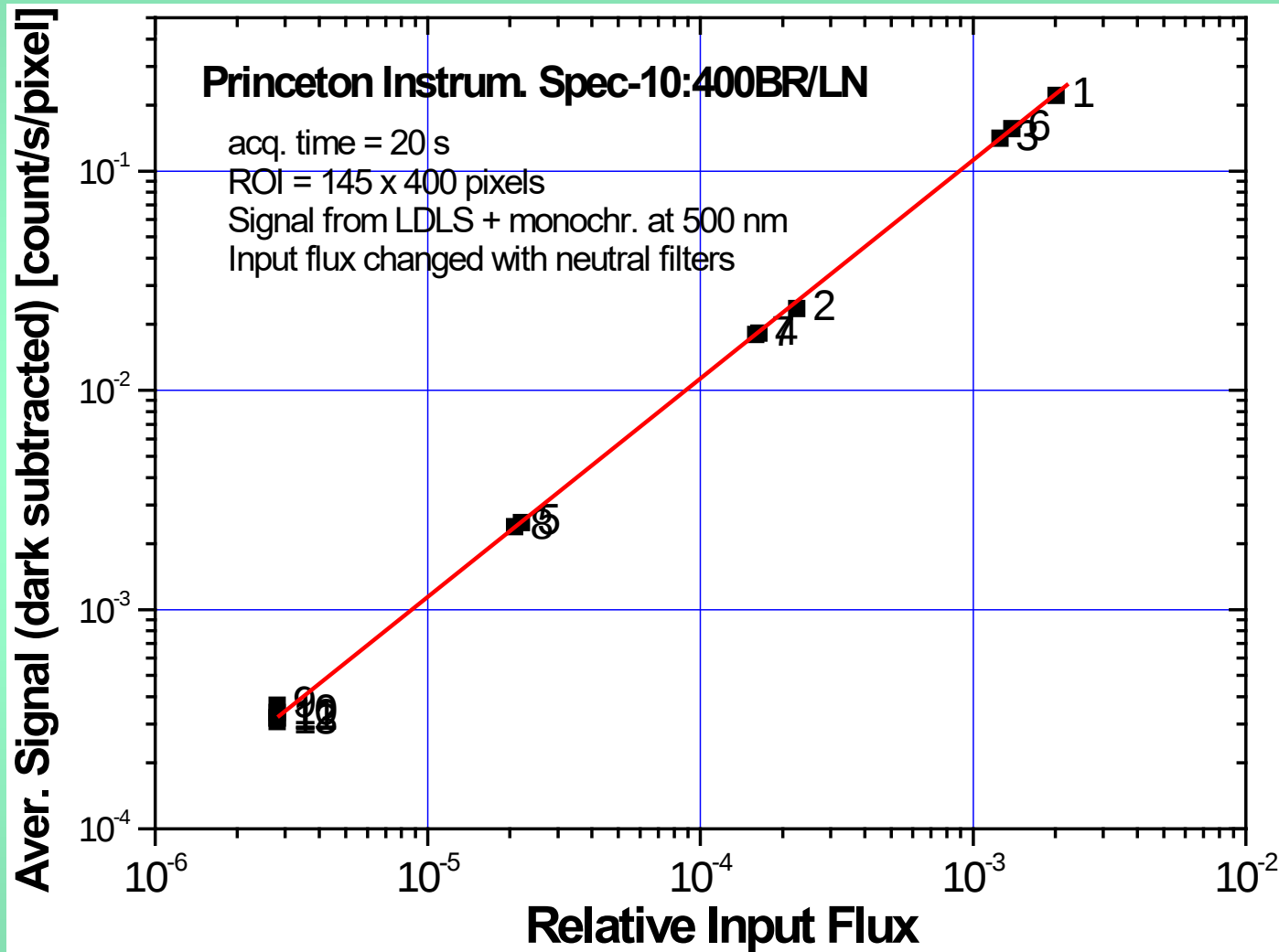
- u **digitálního detektoru** nemáme závoj, ale šum. Hledáme expozici H , kdy je signál dostatečně nad šumem, jak je uvedeno výše, používá se $S/N = 40$. pro minimální hodnotu signálu (počet elektronů) platí vztah:

$$n_e^{\min} = 2,75 \times 10^4 \eta P E_p t$$

kde η je kvant. účinnost přeměny fotonů na elektrony, P je **plocha aktivní buňky** v μm^2 a $E.t$ je expozice.



Linearita odezvy CCD



Dokonalá linearita odezvy i při extrémně nízkém toku fotonů kdy signál činí pouze 0.0003 fotonu na pixel za sekundu = **1 foton za 55 min.**

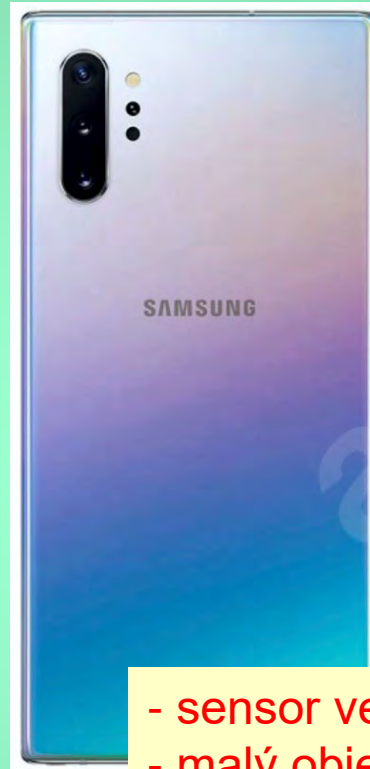
*Porovnejme s charakteristickou křivkou klasického filmu -
Žádné nelinearity !*

Fotografování mobilním telefonem

Digitální zrcadlovka - DSLR vs.
(Digital Single Lens Reflex camera)



- + dokonalý sensor (CMOS, full frame)
- + skvělé velké objektivy
- slabý výpočtový výkon (CPU)
- zastaralý elektronický hardware
- nemá otevřený operační systém



Moderní mobilní telefon
(resp. *kapesní počítač*)
dohání optické nedostatky
kamery zapojením počítače =
výpočtová fotografie

- sensor velikosti sirkové hlavičky
- malý objektiv s nízkou světelností
- + obrovský výkon procesoru (CPU)
- + špičkový hardware
- + otevřený operační systém, který
vylepšují firmy po celém světě

Parametry kamer "běžného" mobilu



- 1 – 16 MP Ultra Wide Camera
Pixel size: 1.0 μm , FOV: 123°, aperture: F2.2
- 2 - 12 MP Wide-angle Camera, Dual Pixel AF, OIS, Pixel size: 1.4 μm , FOV: 77°, Dual Aperture: F1.5 mode/F2.4 mode
- 3 - 12 MP Telephoto Camera PDAF, OIS
Pixel size: 1.0 μm , FOV: 45°, aperture: F2.1
- 4 - DepthVision Camera (ToF)
- 5 - Flash

Výpočtová (computational) fotografie - VF

Definice (prof. Marc Levoy, Stanford)

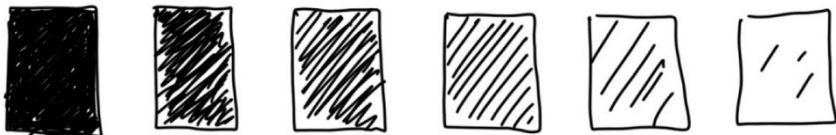
Výpočtové zobrazovací techniky rozšiřují možnosti digitální fotografie tak, že výstupem je fotografie, která by nemohla být získána tradičními metodami.

Do značné míry se **přibližuje funkci lidského oka** - bídna optika, výpočet v mozku...

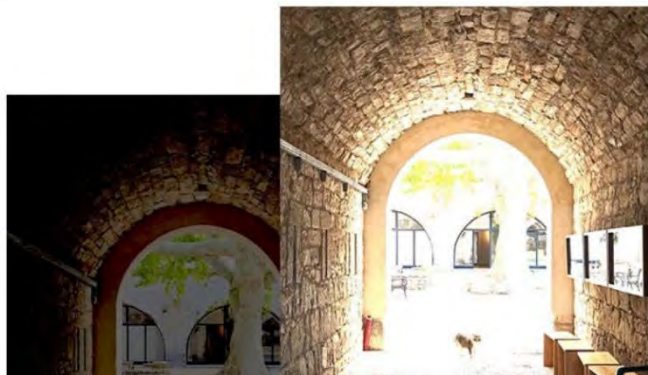
VF je především založena na **zpracování série snímků** uložených v operační paměti (když zapnete aplikaci fotoaparátu, on začne snímat série snímků ...)



Vyrovnání expozice, pohybu, ostrosti ...



expoziční rozsah kamery ~10 EV (max.14)
oko v jedné scéně až 14 (s adaptací 25)
scény za jasného světla >12 EV (prům.7)

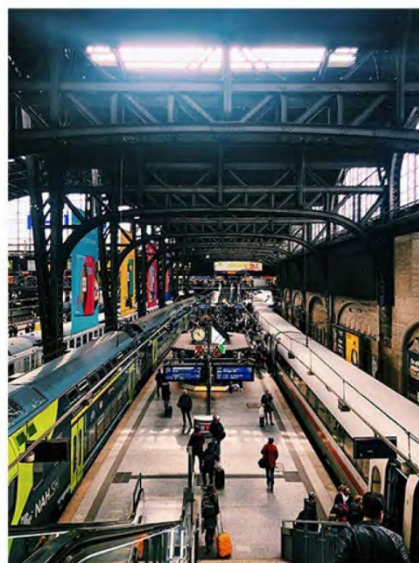


HDR



12 MP

multiple shots



100+ MP

spojením snímků mírně posunutých
(přirozené pohyby ruky) lze také

- zvýšit rozlišení
- zprůměrovat šum
- zvýšit ostrost

Panorama – velký posun kamery

Projekt Pražský běžec / Pražské vidmo



Jan Valenta, M

rozšířeno na celé
Čechy: **Bohemia**

Fotografie jako informační systém

(J.C. Dainty a R. Shaw: *Image Science*, Academic Press 1974)

Teorie informace aplikovaná na fotografii přináší zajímavé pohledy a je, nejspíš, nejlepším **nástrojem pro hlubší porovnání klasické a digitální fotografie**

- **obraz je tvořen omezenou množinou znaků** (n binárních číslic) **nemůže tedy nikdy přesně zobrazovat realitu**
- existuje konečná tzv. **univerzální knihovna obrazů** (obrazárna), které lze s daným souborem znaků vytvořit
- v digitálním obraze máme $M \times N$ bodů z nichž každý může nabývat 2^n hodnot – (pravděpodobnost výskytu jednotlivých hodnot (od 0 do 2^{n-1}) lze vynést do **histogramu** což se hojně užívá u dig. aparátů)
- **informační kapacita** takového obrazu je tedy dána **$M \times N \times 2^n$**

Základy teorie informace položil **Shannon** (1948) – rychlý rozvoj v 50. a 60. letech s vývojem počítačů

- **pojem informace úzce souvisí s entropií**
- škálovací faktor u entropie je **Boltzmanova konst.** $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
- škálovací faktor u informace je “**bit**” = **nejmenší jednotka informace** = informace získaná odpovědí ano či ne v případě, kdy obě tyto odpovědi mají stejnou pravděpod.
- z porovnání plyne, že **nejmenší změna entropie spojená s akvizicí 1 bitu informace** je přibližně **10^{-23} J/K** – ve skutečnosti je to mnohem více

Základy teorie informace

Odhady informačního a energetického obsahu různých médií

(Tribus & McIrvín 1971)

médiu	inf. obsah (bit)	energie	
		(jouly)	(jouly/bit)
fax	576 000	20 000	0.034
projekce 35 mm diapozitivu	2 000 000	30 000	0.015
xerografická kopie 1 strany	1 000 000	1500	0.0015
zvětšenina na vysoce kvalitním papíře 5 x 7")	50 000 000	10 000	0.0002
jeden TV pulsnímek (1/30s)	30 000	6	0.0002

Shannonův teorém pro bezšumový kanál říká, že :

pro zdroj s entropií H (bit/symbol) a kanál s kapacitou C (bit/sec), lze zakódovat výstup zdroje tak, že průměrná rychlost přenosu bude $C/H-r$, kde r může být libovolně malé (tj. entropie zdroje nemůže překročit kapacitu kanálu)

Def. účinnost kódování : $\alpha = (\text{skutečná rychlost přenosu inf.}) / C$

Def. redundance (nadbytečnost): $\beta = 1 - \alpha$ (pro anglický text $\alpha = 1/3$, $\beta = 2/3$)

Na přenášený signál působí: **zkreslení a šum**

- vhodnou volbou kódování a za cenu jisté redundance, lze z přijatého signálu rekonstruovat zprávu bez chyb

Redundance digit. obrazu je především v tom, že mnoho sousedních pixelů má stejné nebo téměř stejné hodnoty. **Skutečná informace obrazu pro pozorovatele je nesena hlavně hranami a barvami ploch.** To umožňuje nalézt vhodné postupy jak celkový objem dat výrazně zredukovat, bez viditelné ztráty informace pro pozorovatele = **komprese**

Teorie fotografie a skladba obrazu

- Teorie podle **Jána Šmoka (1921–97)** zakladatele katedry fotografie FAMU
 - v populárnější, ale velmi hezké, formě (s nevhodným názvem) obsaženo v knize **J. Šmok: Začněte fotografovat, SNTL Praha 1983.**
 - odborněji např. ve skriptech Pražské fotografické školy Svazu čes. fotografů: **J. Šmok: Teorie a skladba, Praha 1987.**



Fotografický snímek je obsahový sekundární výtvor

- úkolem je sdělit (za pomocí techniky, proto sekundární) nějaký obsah

Fotografie je tedy sdělením a nauka o ní **spadá do teorie sdělování** (angelmatika)
Sdělení může být informativní nebo emotivní

Sdělovací proces:

1. vytváření sdělení autorem, 2. distribuce, 3. adopce a konzum – příjem sdělení

Sdělení se vtěluje do různých forem = **sdělovací útvar** (např. román)

a často se dále seskupují do **sdělovacích komplexů** (např. sbírka básní)

Zvláštním sdělovacím útvarem je **komunikát** = **seznámení diváka s již vytvořeným sdělením** (např. fotografie sochy). Obvykle je proveden jiným sdělovacím systémem než originál, a proto některé vlastnosti originálu zachytit nemůže a naopak některé jiné do výsledku vnáší

Myslím, že bychom měli **vědeckou fotografii pokládat nejspíše za komunikát, který předává "informaci" od přírody**

Krása vědecké fotografie

Řada vědeckých fotografií má zvláštní krásu **Kde se tam bere? a co to vlastně je krásu?**



Máme zvláštní obor, který se tím zabývá – **estetika**

- Mnozí tvrdí, že to nemůže být věda, protože ani nedokáže jasně definovat předmět svého zájmu - krásu (resp. shodnout se na společné definici)

- plyne krásu vědeckých obrazů ze **symetrie, účelnosti, harmonie přírody** a jejích zákonů (je to komunikát o vlastnostech a krásu přírody)?

- **je dobře, když vědec cítí tuto krásu?** může mu to pomoci při vědecké práci nebo naopak je třeba se tomuto bránit? Je lépe se proti tomuto pocitu obrnit nebo se **dá jeho pomocí rychleji dobrat k poznání** (které se pak dají ověřit exaktními postupy) ?

- krásu věd. obrazů do značné míry získává tím, že v nich jsou **omezeny všechny rušivé nepodstatné prvky obrazu** - zkoumanou **skutečnost se snažíme zobrazit co nejvěrněji a ona pak promlouvá svou vnitřní harmonií** (vědecké snímky mají tedy obvykle velmi dobrou skladbu obrazu)

Budoucnost fotografie ?

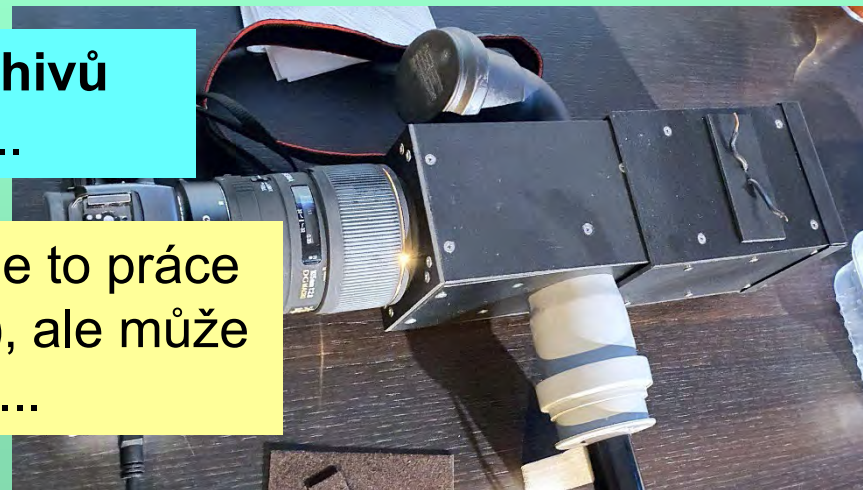
STALO SE: *ústup DSLR* ve prospěch **bez-zrcadlovek** (pro náročné focení)
Velký ústup kompaktních kamer ve prospěch **mobilů** (běžné použití)

PROBÍHÁ: zapojení **umělé inteligence** (AI) – již se užívá třeba k vyrovnání barev / obarvování. Generování skoro dokonalých "falešných" fotek/videí
Moc nevěřím v masový zájem o *virtuální realitu* (**3D** snímání) – podobné jako občasné vlny *stereo-fotografie a filmu* (perioda cca 20 let)

Retro-trendy (vintage) udrží částečně staré postupy, sice za vysokou cenu, ale je dobré zachovat know-how a technologie

Rostoucí péče o **digitalizaci starých archivů**
– kulturní dědictví, pokladnice informací ...

Ve vědě – sílící volání po "**open data**" – je to práce navíc (popsání dat pro jiné uživatele atd.), ale může omezit zbytečné opakování experimentů ...



AI generované fotografie



Flux

Děkuji Vám za pozornost.

Malá galerie vědeckého obrazu – Ke Karlovu 3, vedle knihovny

završila 20 let existence (110. výstava Světélkování aneb Luminiscence)



Jan Valenta / *kat. chemické fyziky & optiky, MFF UK, šéfredaktor Čs. čas. fyz. (FZU AV ČR)* Email: jan.valenta@matfyz.cuni.cz , valentaj@fzu.cz