

Optické a fotografické základy fotogrammetrie

Teorie optického zobrazení

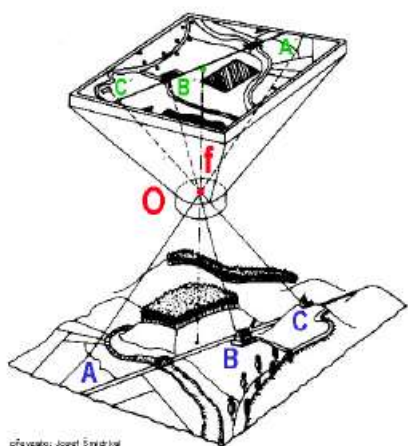
Fotografický snímek = základní zdroj vstupních informací ve fotogrammetrii

Mapa, plán = výstupní produkt fotogrammetrie

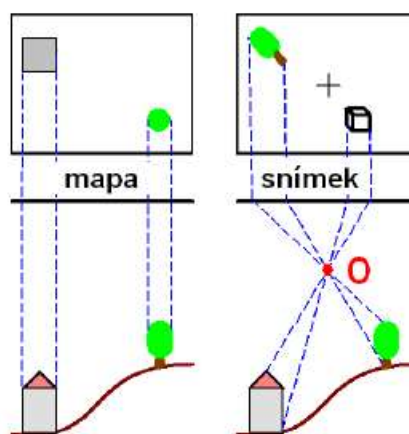
Proces zpracování = soubor metod, jak dostat z fotografického snímku mapu, plán, případně další produkty = DMT, DMP apod.

Zjednodušené schéma zpracování

Příklad – terén \Rightarrow snímek \Rightarrow mapa



převzato: Josef Smrčina



Pravouhlé promítání

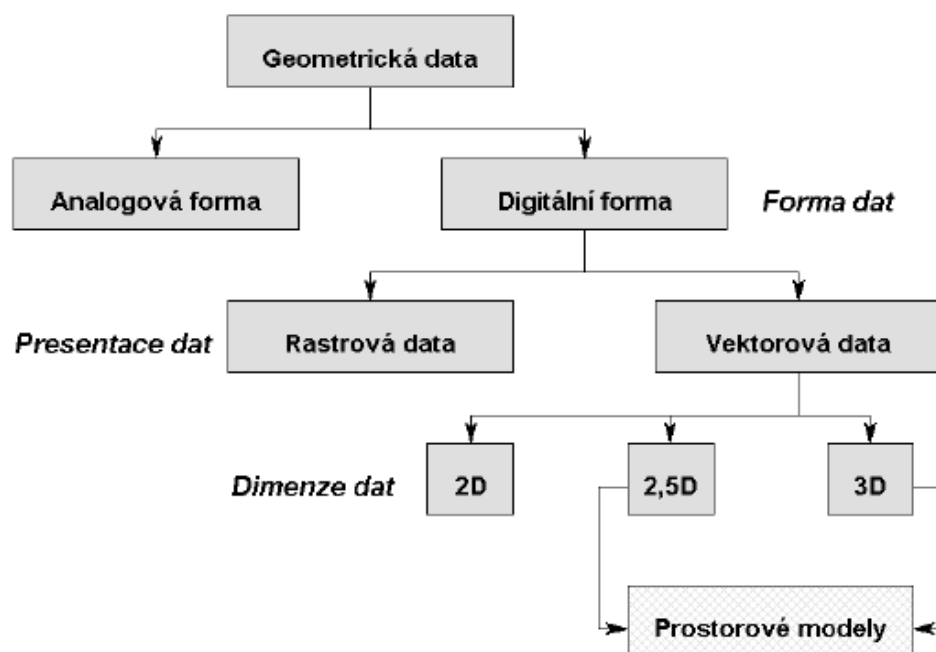
Centrální promítání

Snímek je pořízen středovým (centrálním) promítáním, důležitými doplňkovými daty pro jeho převod na mapu, která je výsledkem pravouhlého promítání, jsou geodetické souřadnice, prvky vnější a vnitřní orientace. Proces zpracování využívá měření prvků na snímcích (měření snímkových souřadnic), matematické výpočty, transformace.

Středové promítání je definováno:

- promítací vzdáleností (vzdálenost středu promítání od průmětny – konstanta komory f)
- polohou průmětny k ose promítání (předpoklad – kolmá rovina k ose záběru, osa záběru u měřických snímků prochází hlavním bodem, který je téměř totožný se středem snímku)
- deformacemi promítání tj. zkreslením (vady zobrazením objektivem, největší význam má radiální distorze – blíže v další kapitole)

V
ý
s
t
u
p
n
í
d
a
t
a



Analogová forma:

- převážně 2D, grafické výstupy, tisky

Digitální forma:

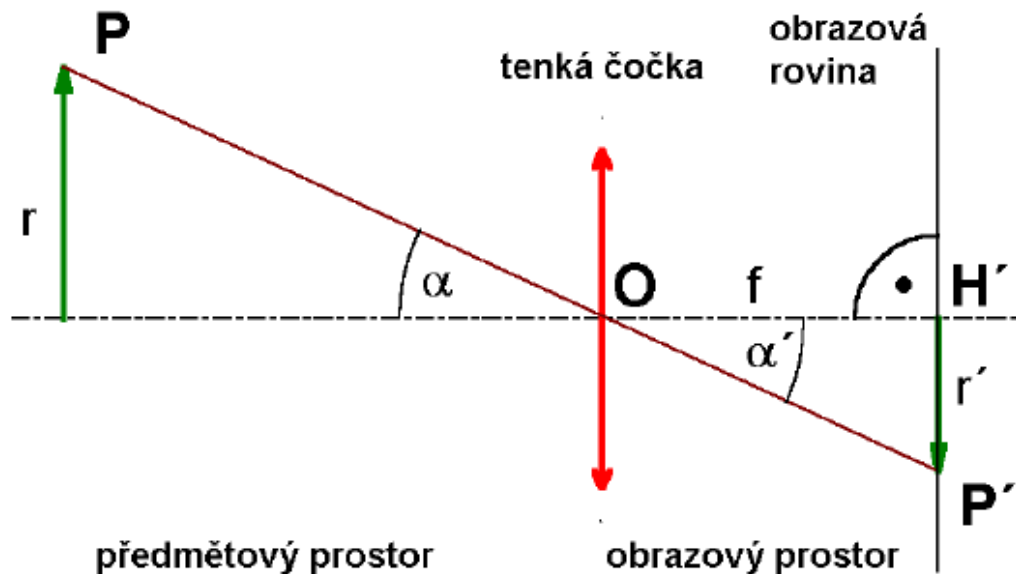
- Rastrová data (2D) – fotoplán, fotomapa, digitální ortofoto
- Vektorová data – souřadnice bodů (DMT), 2D výkresy (polohopis, vodní toky, zeleň...), 3D modely (objektů, měst, terénu...)

- **Fotografický obraz**
 - Vzniká jako zobrazení optickým členem fotografické komory
- **Fotografická komora**
 - Fotoaparát, fotografická kamera ≠ videokamera (viz pozdější přednášky)
- **Optický člen = objektiv**
 - Objektiv reálný x ideální
 - I – idealizovaná tenká čočka
 - R – množství jednotlivých čoček (spojky, rozptylky), vady zobrazení

Ideální zobrazení

Dírková komora (camera obscura) – ideální případ centrální projekce (viz historie). Využití se moc nerozšířilo díky malé světelnosti; neobsahuje objektiv, při dostatečně malém otvoru = přesná centrální projekce – předmětové a obrazové úhly jsou si rovny. Idealizovaná fyz. abstrakce „tenká“ čočka splňuje stejné předpoklady.

Ideální objektiv ⇒ ideální zobrazení



Základní pojmy:

O – střed promítání

H' - hlavní snímkový bod

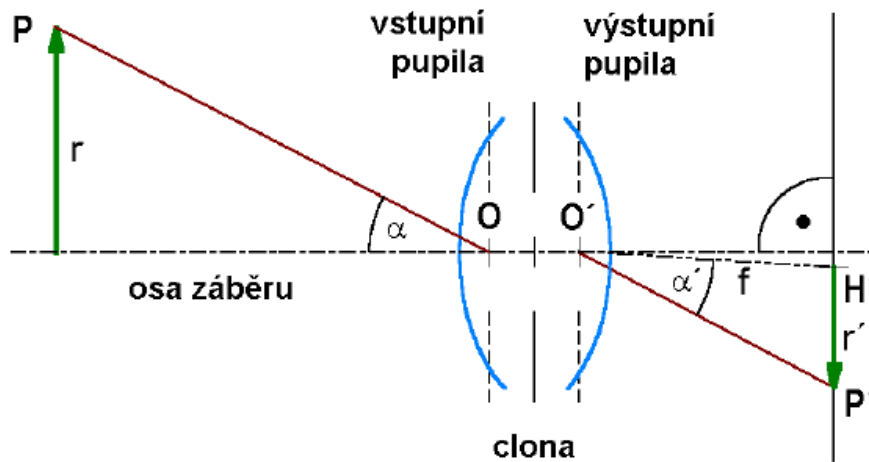
α, α' - předmětový, obrazový úhel

f – ohnisková vzdálenost (konstanta komory)

ideální případ $\alpha = \alpha'$ r' (radiální vzdálenost) = $f \cdot \tan \alpha$ měřítko zobrazení $1:m_s = r'/r$

Zobrazení a zkreslení objektivem

Skutečný objektiv se skládá z řady optických členů s nezanedbatelnou tloušťkou. Optická osa prochází středem objektivu a leží na ní středy křivosti jednotlivých čoček.



Osa záběru – paprsek procházející středem vstupní pupily, který je kolmý na obrazovou rovinu

Clona – redukuje množství paprsků vytvářejících obraz

O – vstupní pupila - obraz clony v předmětovém prostoru

O' - výstupní pupila – obraz clony v prostorovém obraze

f – konstanta komory (vzdálenost O' H')

zobrazení objektivem – $\alpha \neq \alpha'$ vztah: $r' = f \cdot \text{tg } \alpha + \Delta r'$

kde $\Delta r'$ je vliv distorze objektivu (zkreslení)

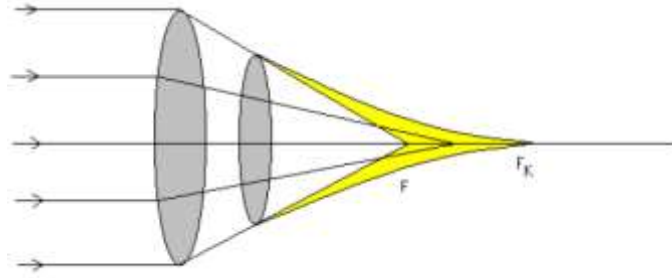
Souhrn vlivů působících na geometrii zobrazení objektivem

Kvalita měřického objektivu ovlivňuje přesnost určení snímkových souřadnic, jeho použitím dochází k porušení ideálního středového promítání.

Odchytky skutečného promítání od ideálního se nazývají **aberrace** (optické vady)

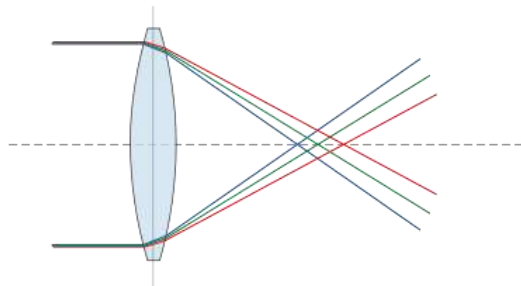
Typy optických vad:

- Jednobarevné (monochromatické)
 - Barevné
 - Vady vznikající při zobrazování bodu (sférická vada, astigmatismus, koma)
 - Vady při zobrazování předmětu (zklenutí pole a zkreslení obrazu)
1. **Sférická vada** – je vyvolána tím, že paprsky, které prochází v různé vzdálenosti od optické osy, se různě lámou. Neprotínají se v jednom bodě, ale vytvářejí kolem optické osy tzv. kaustickou plochu – bod se nezobrazí jako bod, ale jako malý rozptylový kroužek. Velikost vady je dána úsečkou $F_K F$ – nazývá se sférická aberrace. Lze jí kompenzovat kombinací spojky a rozptylky, nelze jí však zcela odstranit.



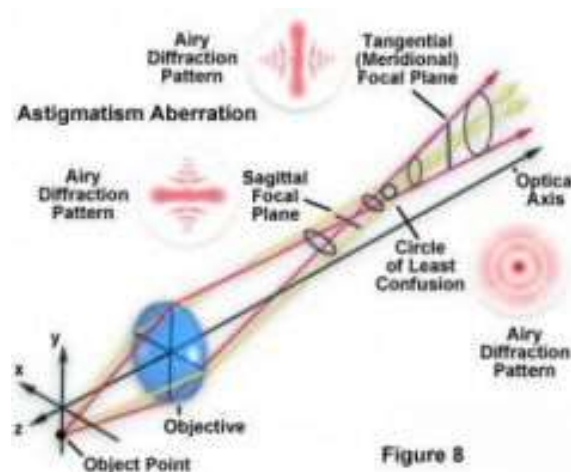
Sférická vada

2. **Chromatická aberace** (též **chromatická vada** nebo **barevná vada**) je barevná vada objektivu, způsobená závislostí ohniskové vzdálenosti čoček na vlnové délce světla. Fyzikální podstatou tohoto jevu je závislosti indexu lomu n všech průhledných látek na vlnové délce. Čočky pak lámou světlo každé barvy jinak (záření dlouhovlnné, tedy červené, nejméně, krátkovlnné, tedy fialové, nejvíce), což se na snímku projeví jako barevné lemování ostrých přechodů mezi světlem a stínem.



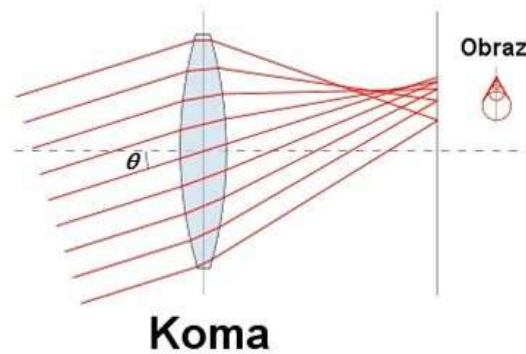
Chromatická aberace

3. **Astigmatická vada (astigmatismus)** - bod se nepromítá do bodu, ale do dvou na sebe kolmých a od sebe vzdálených čar

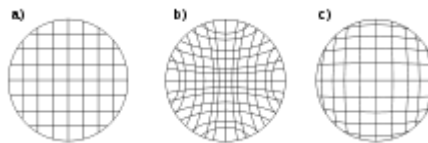


Astigmatická vada

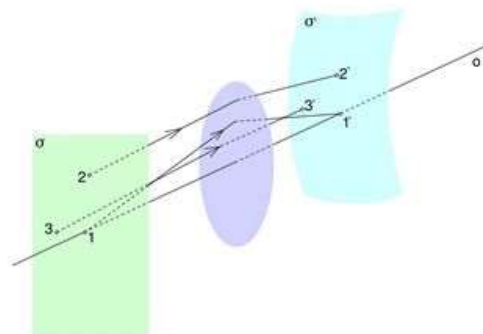
4. **Koma** je vada čočky, kdy na čočku dopadá široký svazek paprsků, který není rovnoběžný s optickou osou. Pokud je dopadající svazek paprsků dostatečně široký, nebude se bod zobrazovat jako úsečka, ale bude v různě vzdálených rovinách od optické soustavy vytvářet složité obrazce, které tvarem připomínají komety. Astigmatismus pro široké paprsky bývá nazýván koma.



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



6. **Zklenutí pole** - body ležící v rovině rovnoběžné s rovinou filmu nevytvoří ostrý obraz na rovinu filmu, ale na zakřivenou plochu, a to vypuklou nebo vydutou. Znamená to, že můžeme zaostřit buď na kraj, nebo na střed pole. Vada značně vynikne u snímků plochých předmětů nablízko (malá hloubka ostrosti), při snímcích vzdálených objektů se téměř neprojevuje. Často se s ní setkáme u světelných projekčních objektivů. Lze jí odstranit vhodnou vzájemnou polohou členů objektivu a roviny clony.

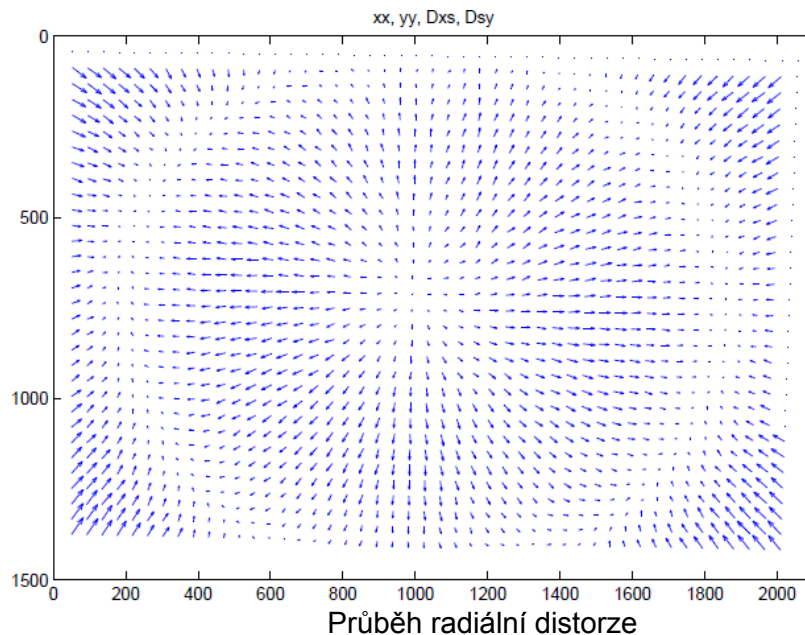


Zklenutí pole

Distorze objektivu

Předchozí vady mají vliv víceméně pouze na kvalitu zobrazení a pouze druhotně ovlivňují přesnost. Vady, které působí na geometrii obrazu se nazývají distorze objektivu. Distorze je souhrn geometrických nepřesností vzniklých při výrobě objektivu. Údaje dodává výrobce, či je lze zjistit kalibrací (měřením na přesně určené bodové pole).

- Radiální distorze - posun bodu o radiální vzdálenost, průběh je přibližně rotačně symetrický, dosahuje hodnot 5-10 μm



- Tangenciální distorze – vyvoláno nepřesnou centrací jednotlivých čoček, u kvalitních moderních objektivů vliv zanedbatelný

Fotografické materiály

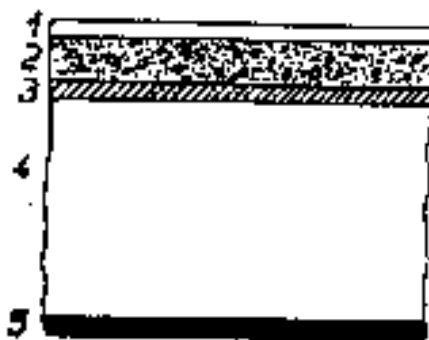
Dělení filmů podle formy:

- Negativ
- Pozitiv
- Diapozitiv

Dělení podle počtu citlivých vrstev:

- Jednovrstevné (černobílé)
- Vícevrstevné (barevné)

Fotografické materiály jednovrstevné



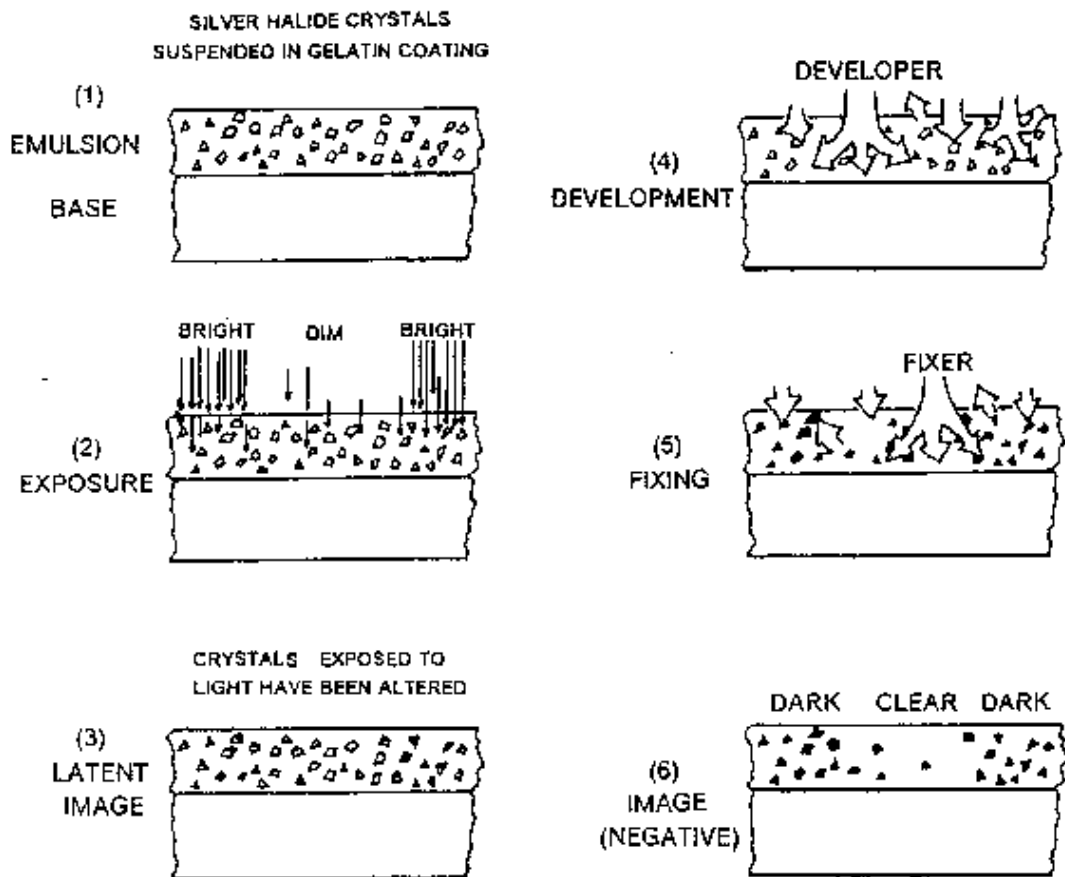
Složení černobílého filmu

Složení černobílého filmu :

1. ochranná vrstva - chrání citlivou vrstvu před mechanickým či chemickým poškozením
2. citlivá vrstva obsahující krystalky sloučenin stříbra (AgBr, AgI, AgCl) v želatině, velikost řádově jednotky mikrometrů (5)
3. mezivrstva - spojuje citlivou vrstvu a filmovou podložku
4. filmová podložka (báze) - odolná vůči rozměrovým změnám způsobeným změnami teploty či vlhkosti. Dříve se využívalo skleněných desek.
5. antihalační vrstva - absorbuje část světla, které prochází citlivou vrstvou i filmovou podložkou a zabraňuje tak jeho zpětnému odrazu, který by zaznamenala citlivá vrstva a jehož výsledkem by byl efekt „halo“ kolem světlých objektů na fotografii.

Princip vzniku fotografie je obecně známý.

- **Osvit** - obraz vzniká na vrstvě filmu citlivé na světlo fotochemickou reakcí (tzv. **latentní obraz**). Sloučeniny stříbra v želatině jsou tvořeny krystalky, které mají malé, nepravidelné, ostré tvary, aby zachycovaly fotony. Podle množství od objektu odraženého světla citlivá vrstva negativu různým stupněm zčerná. Čím více světla dopadá na danou část filmu, tím více krystalků je vystaveno této reakci, při které je bromid stříbrný rozštěpen na stříbro a brom. Světlé a tmavé plochy pak skládají výsledný negativní obraz.
- **Vyvolání** - koupání exponovaného filmu v alkalických chemikáliích – krystaly bromidu stříbrného, které byly fotochemickou reakcí změněny pouze částečně, jsou nyní rozštěpeny zcela. Největší hustotu sloučenin stříbra mají části vystavené velkému množství světla (na negativu se jeví jako tmavé) a naopak. V případě barevného filmu jsou objekty na negativu vyjádřeny ve svých doplňkových barvách (viz. dále).
- **Ustálení** - Krystalky AgBr, které nebyly změněny působením světla při expozici filmu, jsou následně vyplaveny z citlivé vrstvy filmu - ten je tzv. **ustálen** (z necitlivěn ke světlu). Dále pak dochází k sušení a vzniká **trvalý viditelný negativní obraz**
- **Kontaktní kopírování** – provádí se osvit pozitivního materiálu – dále opět následuje vyvolání, ustálení, sušení - výsledkem je **trvalý pozitivní obraz**



Princip vzniku fotografie

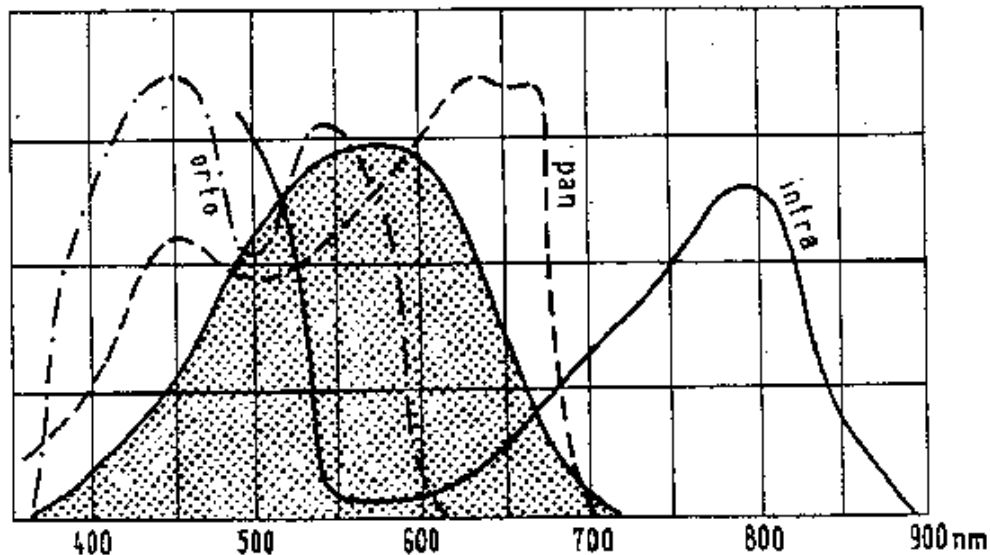


Černobílé ortofoto (zdroj CUZK)

Spektrální citlivost běžných fotografických materiálů

Citlivá vrstva může být citlivá k různě širokému intervalu vlnových délek. Nejpoužívanější jsou citlivé vrstvy:

1. ortochromatická - nesnímá oranžovou a červenou část spektra (použití v pozemní fotogrammetrii)
2. panchromatická - citlivá k celému viditelnému spektru kromě modré (použití v pozemní fotogrammetrii)
3. infrachromatická - citlivá k intervalu vlnových délek 0,6-0,9 mikrometrů (použití při tématickém mapování)



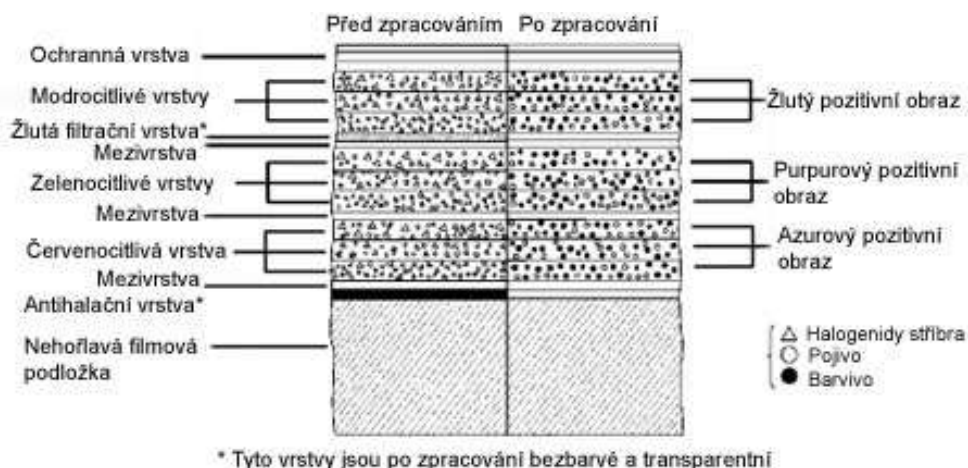
Vlastnosti citlivé vrstvy filmu:

- **Citlivost ke světlu** - je to převrácená hodnota osvětlení, která způsobuje určité zčernání citlivé vrstvy (udává se v jednotkách DIN, ASA, GOST). Citlivost filmu (film speed) - rychlý film vyžaduje poměrně malé množství světla ke správné expozici, pomalý film (málo citlivý) - uzávěrka komory musí být otevřena více a nebo delší čas.
- **Gradace** - vztah mezi množstvím světla, které dopadá na citlivou vrstvu a jím způsobeným zčernáním. Gradace je charakterizována tzv. gradační křivkou. V letecké fotogrammetrii se používá filmů se strmou gradační křivkou.

Fotografické materiály vícevrstevné (barevné, Colour reversal films)

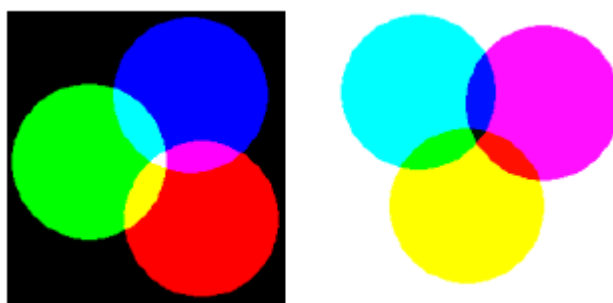
A. Barevné snímky ve viditelném oboru spektra

Jsou pořizovány na film, který má obvykle tři citlivé vrstvy, každá je citlivá k základním barvám - modré, zelené a červené. Mohou existovat ve dvou formách - jako pozitiv na fotografickém papíře nebo jako diapozitiv.



* Tyto vrstvy jsou po zpracování bezbarvé a transparentní

Složení barevného filmu před a po vyvolání



Princip aditivního a subtraktivního skládání barev

Princip skládání barev: Všechny barevné odstíny objektů na snímcích vznikají aditivním skládáním tzv. základních barev barevného modelu RGB. U aditivního skládání barev je na počátku černá a každý barevný odstín vznikne součtem různé intenzity základních barev RGB. Takto vznikají barvy na monitoru počítače. K základním barvám tohoto systému existují barvy doplňkové (CMY). Barevné odstíny objektů tak mohou vznikat také subtrakcí (odčítáním) různé intenzity těchto barev doplňkových od počáteční – bílé. Tento způsob míchání barevných odstínů se využívá v typografii.

Aditivní skládání barev:

Red + Green = Yellow
Red + Blue = Magenta
Blue + Green = Cyan
Red + Green + Blue = White

Subtraktivní skládání barev:

Red + Blue = Purple
Red + Yellow = Orange
Yellow + Blue = Green
Red + Blue + Yellow = Black

Spektrální citlivost jednotlivých vrstev je volena tak, aby pokrývaly celý rozsah viditelné části spektra. Barevné materiály jsou citlivější na dobré atmosférické podmínky, na správné určení expoziční doby, mají menší prostorovou rozlišovací schopnost. Vyvolaný barevný negativní film obsahuje tři dílčí obrazy v tzv. doplňkových barvách: žluté, purpurové a azurové.

Jsou obecně pořizovány z menších výšek (kolem 2 km) a to v měřítcích 1 : 13 000 až 1 : 20 500. Barevné snímky se daleko lépe interpretují, protože lidské oko rozezná daleko více barevných tónů než odstínů šedi. Jsou tedy vhodné tam, kde u ČB snímků zanikají detaily - např. při rozlišování vegetace. Mají nejlepší kresbu detailů ve stínech, nejlépe ukazují reliéf pod vodou. Nevýhodou je poněkud nižší rozlišovací schopnost, protože na jednotlivých citlivých vrstvách filmu dochází k rozptylu světla.



Barevné ortofoto (zdroj CUZK)

B. Barevná infračervená fotografie

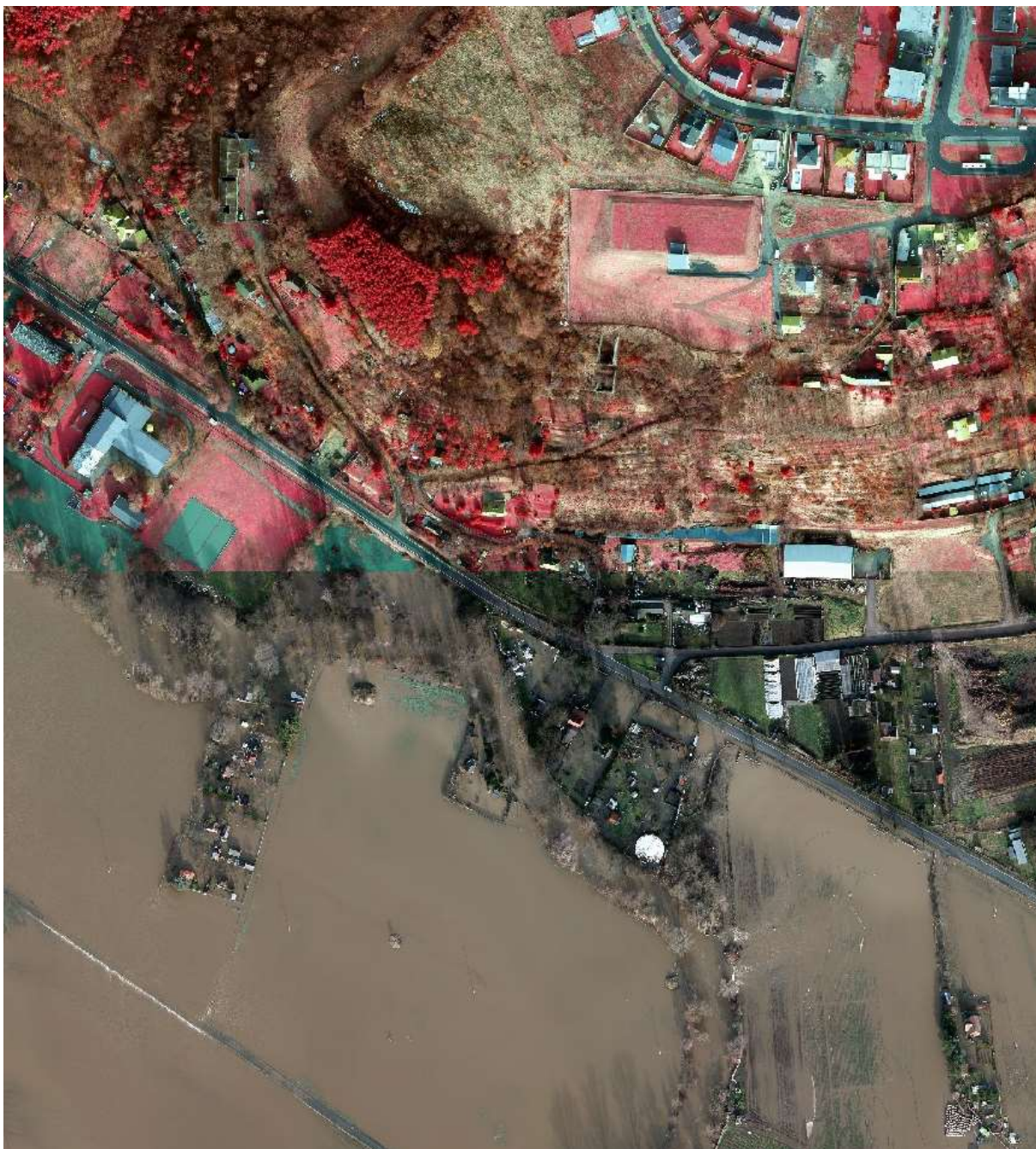
False color (spektrozónální) Camouflage Detection Film - původně pro vojenské účely. Jsou vytvářeny na tří- ale i dvouvrstvé filmy. Jedna z citlivých vrstev filmu je citlivá k infračervené části spektra (na místo k modré). Výsledkem jsou nepřirozené barvy objektů na těchto snímcích. Používají se se žlutým filtrem.

Objekty odrážející zelenou barvu jsou zobrazeny v odstínech modré.

Objekty odrážející červenou barvu jsou zobrazeny v odstínech zelené.

Objekty odrážející infračervené záření jsou zobrazeny v odstínech červené.

Objekt odráží světlo	modré	zelené	červené	infračervené
Na barevné fotografii viditelné bude	modrý	zelený	červený	*****
Na barevné IČ fotografii viditelné bude	*****	modrý	zelený	červený



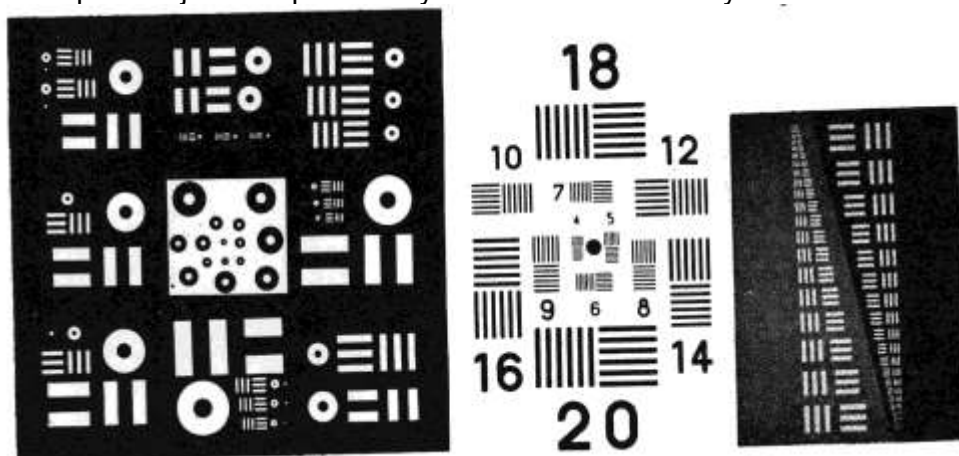
Ukázka barevného a infračerveného snímku (zdroj <http://mapy.plzen.eu>)

Snímky dávají dobrý, kontrastní obraz. Zobrazují i místa v hlubokých stínech. Snímkuje se většinou z malých výšek - 500 až 1500 m - ve velkých měřítcích. Tyto snímky se používají v lesnictví například k dokumentaci vegetačních škod. Listnáče a louky se na nich zobrazují červeně, jehličnany, holá pole a mrtvá vegetace zeleně či modře a odumřelé rostliny bez chlorofylu žlutě až hnědě. Na snímcích se výraznými barevnými odstíny jeví změny půdní vlhkosti, organické a minerální složení půdy, půdní struktura, geologické charakteristiky, druhy porostů apod.

Optické vlastnosti leteckých snímků důležité pro leteckou fotogrammetrii:

Pro interpretaci snímků, ale také pro účely jejich proměrování ve fotogrammetrii mají význam následující optické vlastnosti:

- **Kontrast** - je to rozdíl mezi světlými a tmavými plochami. Obvykle se vyžaduje, aby se tóny měnily od bílé po sytě černou, nižší kontrast se naopak požaduje u snímků výrazně členitého reliéfu. Kontrast se dá upravovat i u analogových snímků.
- **Ostrost** - je to schopnost zachytit změnu kontrastu. Závisí na zaostření objektivu, průhlednosti atmosféry, optické dokonalosti přístroje. Jako hloubka ostrosti se označuje schopnost objektivu snímat ostře objekty, které nejsou ve stejné vzdálenosti.
- **Prostorová rozlišovací schopnost** - je to schopnost odlišit na snímku jakékoliv dva sousední objekty. Posuzuje se podle skutečné velikosti objektu, který lze na snímku ještě rozeznat při největším možném zvětšení. Závisí především na vzdálenosti, z níž se snímkovalo. Rozlišovací schopnost závisí na optické kvalitě filmu, optickém systému, stabilitě nosiče, atmosférických podmínkách, na kvalitě zpracování filmu. U fotografií se rozlišovací schopnost měří počtem ještě rozpoznatelných čar na 1 mm šířky.



Vzorníky pro určování rozlišovací schopnosti snímků

Rozlišovací schopnost (RS) se určuje pomocí vzorníků. Rozlišovací schopnost je potom reciproká hodnota vzdálenosti dvou nejmenších čar, které lze ještě rozlišit pod mikroskopem - tedy počet čar na 1 mm. RS kvalitního panchromatického filmu pro letecké snímkování dosahuje hodnot 100 -150 čar/mm. Infračerveného 30 80 čar/mm. Lidské oko rozliší 10 bodů na 1 mm šířky - tj. 5 čar. Speciální filmy pro pozemní fotogrammetrii mohou mít rozlišení až 50 čar/mm. Negativ má vždy vyšší RS jak pozitiv.

Rozlišovací schopnost 50 čar/mm rovná se $1/50 = 0,02$ mm

Vnější vlivy ovlivňující optickou kvalitu

Obláčné jasné skvrny - intenzivní odraz od okrajů kupovité oblačnosti a následné přezáření terénu.

Sluneční skvrna - světlá skvrna většinou na vodních plochách vznikající zrcadlovým odrazem slunečních paprsků přímo do objektivu kamery.



Zrcadlový odraz části hladiny vodní plochy

Analogové letecké snímky ve fotogrammetrii

- Vyznačují se vysokou optickou kvalitou a prostorovou rozlišovací schopností, kvalita však výrazně závisí na podmínkách počasí.
- Negativ lze pozorovat s 15-ti násobným zvětšením, diapozitiv s 12-ti násobným. Černobílé pozitivy pouze s 3-4 násobným a spektrozónální 2,5-3 násobným zvětšením.
- Mohou snímat část elmag. spektra v téměř dvojnásobném rozsahu než lidské oko.
- Zpracování pozitivu na matný papír ještě více degraduje prostorové rozlišení – výhodnější je papír lesklý.

Výhody snímků pořízených konvenčními postupy

- Vysoká optická kvalita (dvojnásobná rozlišovací schopnost než lidské oko)
- Širší spektrální pásmo
- Relativně rychlá a levná metoda oproti pozemnímu měření
- Úplný záznam, studium dynamiky jevu

Nevýhody

- Špatně čitelná vertikální členitost
- Omezení na dobré počasí, denní svit
- Výškové členění je zkreslené (v nestejném měřítku)
- K interpretaci je potřeba výcvik

Digitální fotografie

Může být vytvořena dvěma způsoby:

- přímo v digitální podobě (digitální kamerou)
- skenováním analogového obrazu

Digitální fotografie vzniká zaznamenáváním intenzity odraženého slunečního záření na velkém množství křemíkových čipů (CCD) citlivých na světlo. Tyto jsou uspořádány v řadě či v matici. Každý jeden čip zaznamenává intenzitu dopadajícího záření z určité elementární části snímaného obrazu a vytváří tzv. obrazový prvek (pixel). Počet CCD detektorů v matici či řadě a rozměr pixelu určují rozlišovací schopnost výsledného obrazového záznamu. V současné době již digitální fotografie dosahují geometrických kvalit fotografií klasických (viz. dále - digitální fotogrammetrie).