

### 3. Letecké snímkování a snímkový let, letadla, měřické a neměřické komory, GPS podpora ve fotogrammetrii

Leteckého snímkování se využívá jak k měřickým pracem (fotogrammetrickým) – tedy k získávání podkladů pro topografické mapování (výsledkem je měřický snímek), tak také k tématickém mapování. V minulosti byly z letadel pořizovány pouze snímky ve viditelné části spektra, v současnosti se využívá metod konvenčních i nekonvenčních a snímkuje se ve viditelné a blízké infračervené části spektra.

#### **Letadlové nosiče**

Po letadle se vyžaduje dobrá stoupavost, maximální dostup až 6000 m, ne velká cestovní rychlost (150 – 200 km v hod.) při dobré stabilitě letu, velký akční rádius. Většina letadel snímá při rychlostech 250 až 300 km/hod, to vyhovuje snímkování v měřítku 1 : 7000 a menším. Při větších měřítkách je nutné speciální zařízení na kompenzaci pohybové neostrosti a pomalé letadlo s tzv. gyrostabilizací.



Obr. 3.1 Příklady letadel využívaných pro letecké snímkování (CESSNA 206 F)

K vybavení pro snímkování tedy patří jednak nosič jednak samotné snímkovací zařízení. Jako nosičů se využívá letadel s co nejvyšším dostupem a relativně nízkou rychlostí. U nás se využívá např. letadel IL, CESSNA, DORNIER s rychlostí 110 až 360 km/hod a s dostupem 6000-8000 m. Např. firmy ARGUS či GEODIS používají letoun CESSNA 206 F (obr. 3.1). Vyznačuje se velkým rozsahem pracovních rychlostí (120 až 260 km/h.) i výškou snímkování (200 až 8000 m). To umožňuje snímkování v přibližných měřítcích 1 : 1000 až 1 : 80 000. Letadlo může snímkovat 4 až 6 hodin. Letoun Piper Aztec snímkuje v rozmezí 150 až 350 km/hod z pracovních výšek od 300 do 9000 metrů. Vytrvalost letounu činí 5 hodin a 20 minut. Moderní špiónážní letadla pro speciální účely (dříve např. U2) mohou mít dostup až 24 km a rychlost 3000 km/hod. Z dalších nosičů lze využít vrtulníků, kterých se vzhledem k velkým vibracím využívá pro neměřické účely, dále balónů a vzducholodí. Pro detailní snímky z malých výšek lze využít modelů letadel.

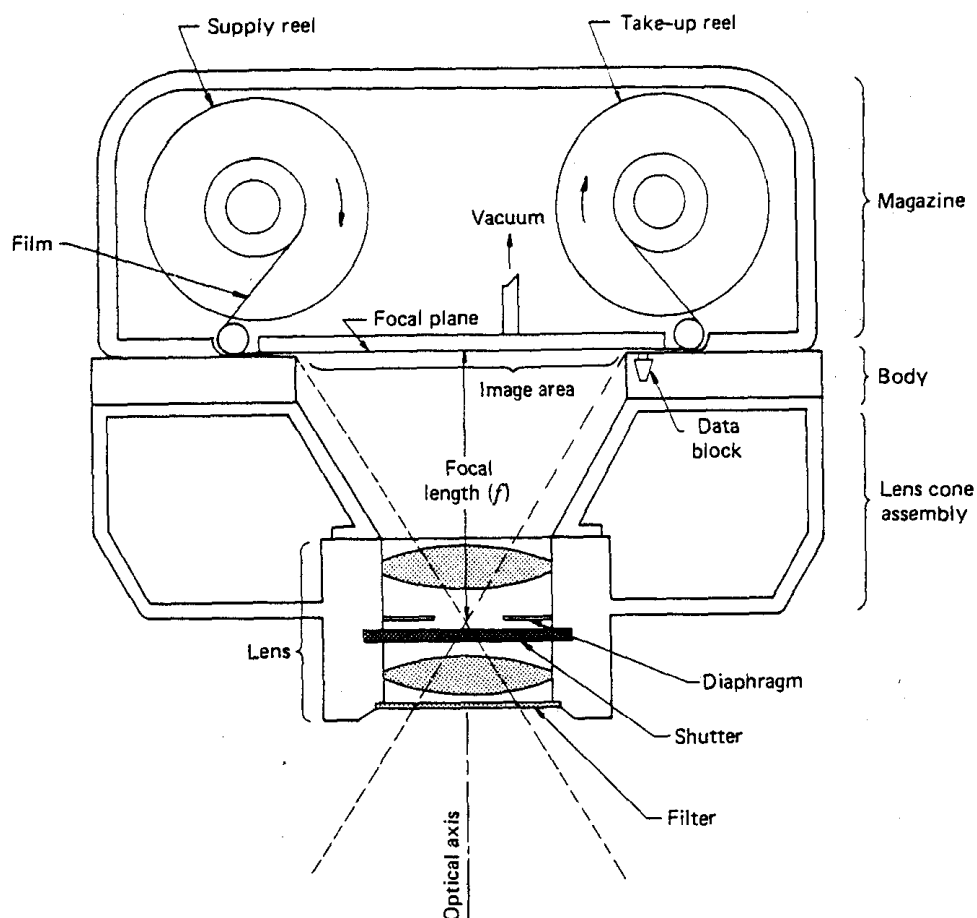
#### **Fotografické kamery:**

Základní rozdělení:

- Řadové kamery - jednoobjektivové a víceobjektivové (multispektrální)
- Štěrbínové kamery
- Panoramatické kamery
- Digitální

Pro snímkování se využívá různých typů fotografických kamer (komor). Použité objektivy jsou definovány především jejich **ohniskovou vzdáleností** (f). Čím je větší ohnisková vzdálenost tím je větší měřítko snímku a tím je preciznější zobrazení terénu. Běžné hodnoty ohniskové vzdálenosti se pohybují kolem  $f=115$  až 210 mm. Existují však i komory s

extrémní ohniskovou vzdáleností od 30 mm do 3 m. Ohnisková vzdálenost je nepřímo úměrná **obrazovému úhlu**. Čím je  $f$  kratší, tím větší je obrazový úhel a tím větší území se na snímku zobrazí. Podle zorného úhlu se objektivy dělí na normální (do  $70^\circ$ ), širokoúhlé ( $70^\circ$  až  $110^\circ$ ) a tzv. rybí oka (nad  $180^\circ$ ). Film je umístěn v tzv. ohniskové rovině. Optická osa je kolmá k rovině filmu a prochází středem optického systému. Pro lety v malých výškách se používá kamer s vyrovnáváním pohybu - tzv. **protismazovým zařízením**. Při malé výšce a vysoké rychlosti letu totiž hrozí rozmazání obrazu. Proto se u těchto kamer při otevřené uzávěrce pohybuje film proti směru letu a oproti terénu tedy zůstává jakoby v klidu. Kompenzaci smazu se zvyšuje rozlišovací schopnost snímků – je možné použít při delším expozičním čase méně citlivý materiál s větším rozlišením. Kamery používají speciální filmové pásy v kazetách, délka filmu bývá 120 až 150 metrů, což umožňuje vytvořit 500 až 600 snímků formátu 23 x 23 cm. Podle způsobu obsluhy se dělí na ruční, poloautomatické, pro letecké snímání se ale používají řadové plně automatické komory.



Obr. 3.2a Schéma řadové kamery a letecká měřická kamera TOP 15 (Carl Zeiss Jena)

Základní součásti řadové kamery (komory):

- optický systém čoček s předsaženým filtrem
- tělo kamery
- kazeta s filmem
- rám se značkami
- uzávěrka
- závěs kamery

**Řadové kamery.** Většina používaných kamer pořizuje v pravidelných intervalech řadu vzájemně se překrývajících snímků - označují se tedy jako řadové kamery. Z neznámějších lze jmenovat kamery CARL-ZEISS-JENA, WILD, FAIRCHILD, AFA. Získané snímky mají

obvykle formát 18 x 18 cm nebo 23 x 23 cm. Velmi často bývá několik kamer (4 až 6) spřaženo dohromady a díky předsunutým filtrům snímá každá z kamer záření o jiné vlnové délce, tedy pořizuje několik různých snímků téhož území. Tyto kamery stejně jako jimi pořízené snímky se nazývají multispektrální. Jako zástupce multispektrálních kamer je možno jmenovat kamery HASSELBLAD nebo u nás v minulosti často používanou kameru MKF-6. Letecká kamera RMK TOP 15 (Carl Zeiss Jena) používaná firmou GEODIS poskytuje snímky formátu 23 x 23 cm. Výměnný objektivový nástavec umožňuje snímkování s několika ohniskovými vzdálenostmi (např. intravilán s  $f = 210$  mm). Je vybavena dvěma zásobníky na film.



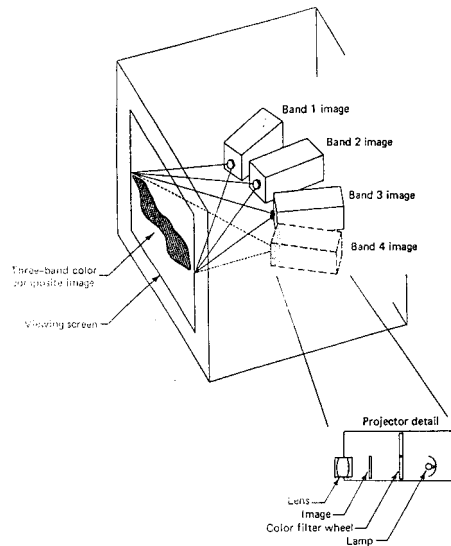
Obr. 3.2b RMK TOP 15, ZEISS

**Multispektrální kamery** vytvářejí sady černobílých snímků téhož území, z nichž každý zaznamenává elektromagnetické záření v určitém omezeném oboru spektra - spektrálním pásmu. Jednotlivé snímky jsou černobílé a nazývají se tzv. **spektrální výtažky**. Ty jsou potom kombinovány (obvykle po třech snímcích) do výsledného barevného obrazu (**barevné syntézy**) tzv. aditivním skládáním. Podle toho, jaké spektrální výtažky jsou kombinovány (v jakých vlnových délkách) vznikne barevný obraz v pravých nebo nepravých barvách.

U přímého způsobu se používá tzv. multispektrálních kamer, opatřených tzv. optickým děličem, který zaznamenává snímané území odděleně pouze v úzce vymezené části spektra - kanále. Druhým způsobem vytváření multispektrálních snímků je použití víceobjektivové kamery. Rozsah propouštěného záření je vymezen filtry a nebo jsou jednotlivé spektrální výtažky exponovány na film s jinou charakteristikou citlivé vrstvy. Velké množství multispektrálních snímků bylo u nás pořízeno 6-ti pásmovou kamerou MKF-6 pracující ve viditelném a infračerveném oboru spektra a to jak z letadel tak i z kosmických lodí.

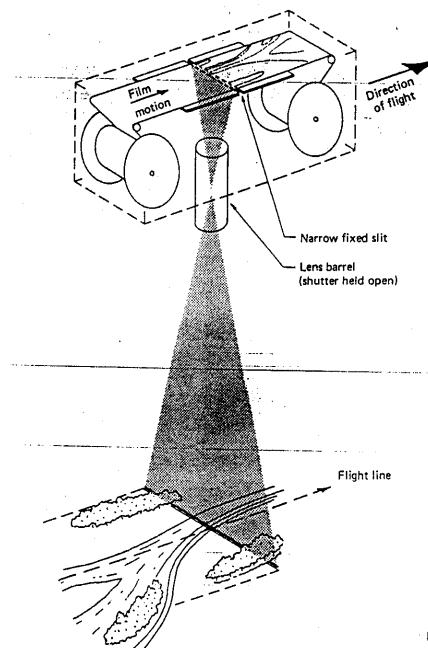
Protože množství odraženého záření je funkcí vlnové délky lze pro každý objekt stanovit takovou vlnovou délku, na které objekt odráží nejvíce záření a pro studium tohoto objektu pak vybrat ten snímek, zaznamenávající právě tuto délku. Každý objekt se nejvýrazněji projevuje na snímku, který zachycuje část spektra, v níž je jeho odrazová schopnost nejvíce odlišná od odrazové schopnosti objektů okolních. Srovnáme-li tedy tentýž objekt na více snímcích zachycujících různé obory spektra, může být tento identifikován i tam, kde to z jednoho snímku není možné.

Barevnou syntézu lze vytvářet z analogových snímků v tzv. směšovačích nebo multispektrálních projektorech (obr. 3.3). Tyto promítají tři jednotlivé obrazy, každý vyjádřený v odstínech jedné základní barvy do jednoho výsledného barevného obrazu.



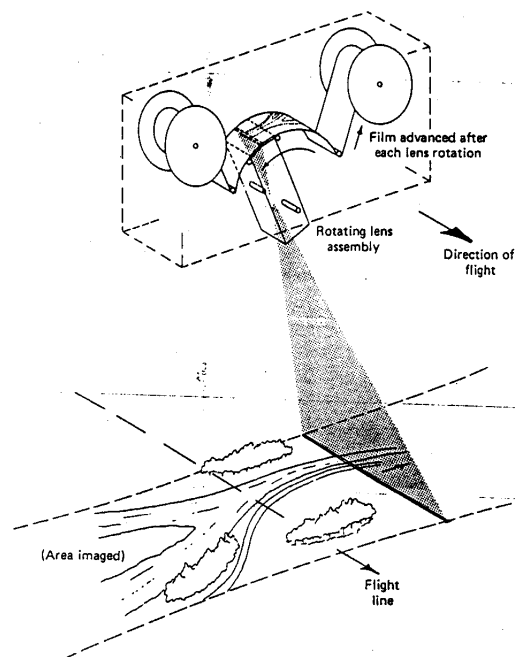
Obr. 3.3 Princip vzniku barevné syntézy v tzv. multispektrálním projektoru

Výhody multispektrálních snímků jsou následující: snímky zachovávají rozlišovací schopnost a citlivost černobílého filmu, lze je poměrně snadno a rychle zpracovávat, dávají možnost získat množství barevných kombinací místo jediné, která je u barevného snímku dána složením citlivých vrstev filmu. Při vytváření multispektrálních snímků lze seřizovat vyváženost jednotlivých barev, dávají možnost výběru nejvhodnější kombinace pro určitý jev.



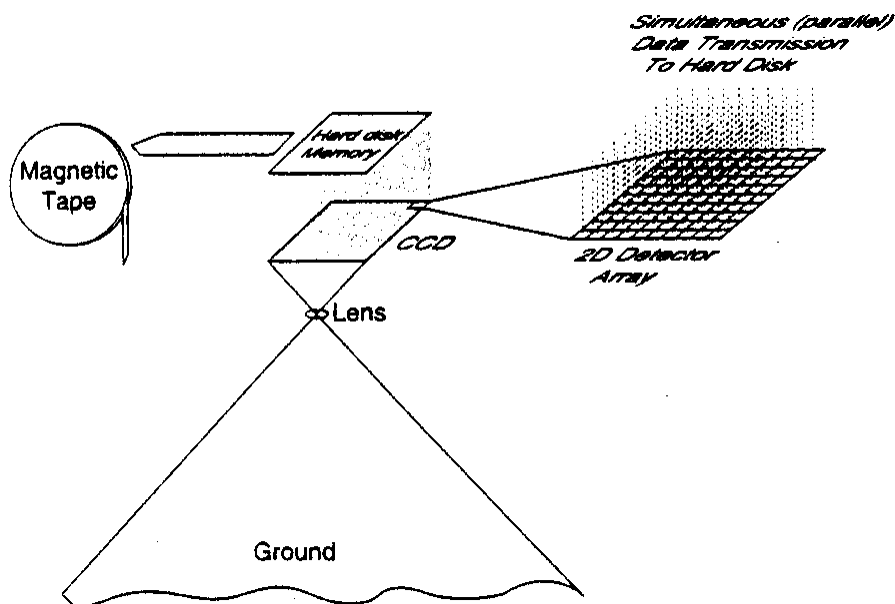
Obr. 3.4 Schéma šěrbinové kamery

**Šěrbinové kamery** nemají uzávěrku ale jen šěrbinu, kterou světlo prochází neustále a dopadá na pohybující se film. Tím vznikne jediný exponovaný souvislý pás. Tento však v důsledku kolísání letadla nemá měřičskou hodnotu, ale používá se k interpretačním účelům - původně především v oblasti vojenství. Vyznačují se velmi dobrou prostorovou rozlišovací schopností. Mohou být využívány především ke snímkování liniových prvků.



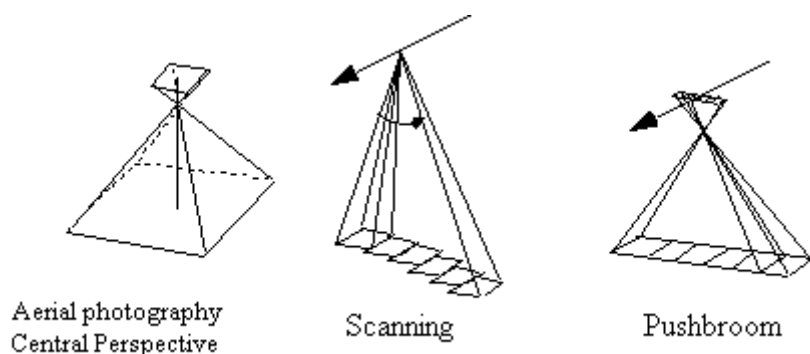
Obr. 3.5 Schéma panoramatické kamery

**Panoramatické kamery** se používají ke zhotovení snímků s obrazovým úhlem přes 120 stupňů. Tyto exponují políčko filmu postupně pomocí otáčejícího se objektivu kolmo ke dráze letu. Film je exponován na zakřiveném povrchu ohniskové roviny. Přes štěrbinu se rotačním pohybem exponuje film a posouvá se vždy po expozici jednoho pruhu území. Snímky pořízené panoramatickou kamerou obsahují typické distorze. Okraje snímků podléhají kompresi a značnému kolísání měřítka. Snímky pokrývají značné plochy území, poskytují značný detail, obsahují však značné geometrické nepřesnosti, také atmosférické vlivy na kvalitu fotografie jsou jejich různých částech rozdílné.



Obr. 3.6a Schéma digitální kamery s maticí CCD detektorů

Elektronické snímání - **digitální** fotoaparát a **fotografie** matice CCD detektorů, kdy každý detektor snímá jeden obrazový prvek (pixel). Větší radiometrické rozlišení (více odstínů šedi) ale menší prostorové rozlišení. K vytvoření snímků lze použít i videokamer. Televizní signál může být zaznamenán v analogové i digitální formě.



Obr. 3.6b Primární digitální obraz – vznik na matici CCD (vlevo) a řadě CCD (vpravo)

### Základní způsoby navigace při leteckém snímkování

Při leteckém snímkování lze využít tří základních způsobů navigace:

- Palubní způsob navigace (**vizuální** navigace z paluby letadla)
- **Radiolokační** způsoby navigace (pozemní) – např. systémy SHORAN, HIRAN (10-15 m), LORAN, RATAN (řízení rovnoběžných letových drah. Dvě pozemní vysílací stanice a přijímač v letadle spojené počítačem, který určuje vzdálenost letadla od stanic v okamžiku expozice.
- **Družicová** navigace – GPS, GLONASS – kinematické určování polohy. Komora musí mít možnost registrovat čas – Wild RC 20, Wild RC 30, Zeiss RMK TOP, LMK 2000

Dominantní roli v současnosti přebírají způsoby navigace založené na globálních pozičních systémech, především pro mapování ve velkých měřítkách, pro střední a malá měřítka se také ještě využívá radiolokačních systémů.

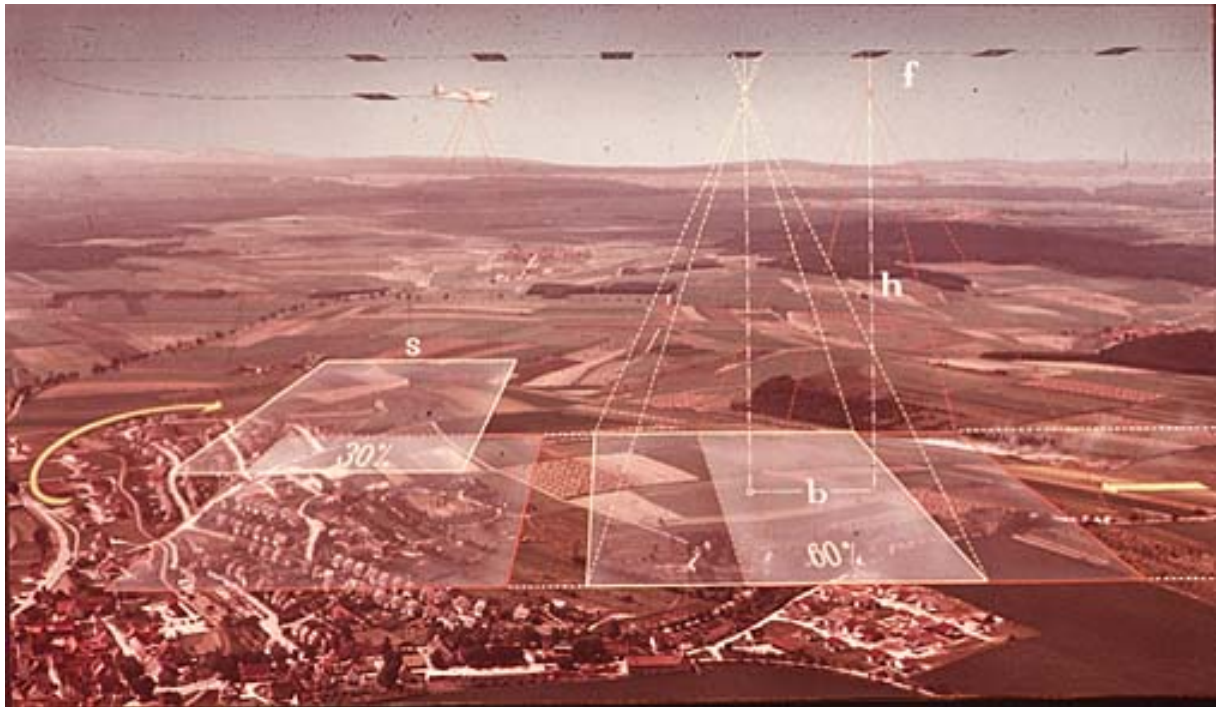
GPS při leteckém snímkování slouží pro navigaci a pro přesné určení polohy letadla (kamery) v době snímkování. Existují dva typy měření - měření pseudovzdáleností a měření fázová (přesnější) a dva typy určování polohy: absolutní a relativní. Měření pseudovzdáleností se využívá pro navigaci. Přesnost určování absolutní polohy po vypnutí SA v květnu 2000 je řádově desítky m. Pro přesnější navigaci je nutné využít diferenčních metod (DGPS). Korekce jsou vysílány geostacionárními družicemi.

Navigační zařízení CCNS-4 umožňuje nalétnutí řady s přesností 30 metrů. Software dovoluje cvičné nalétnutí v počítači, kontrolu pokrytí snímaného území, po snímkování lze vykreslit středy snímků a rozhodnout o eventuelním novém snímkování. Systém umožňuje pokrýt území fotografiemi podle kladu mapových listů požadovaného měřítka - potom střed snímku koresponduje se středem mapového listu.

### Snímkový let

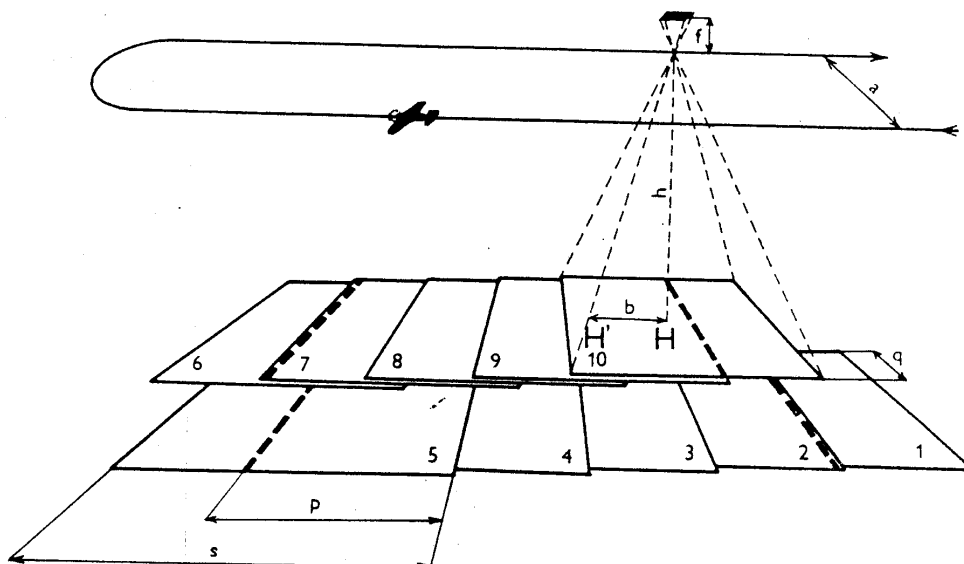
Při řadovém snímkování letadlo přelétává nad vymezeným územím podél středových linií vzájemně rovnoběžných pásů - řad. Udržuje stabilní výšku letu nad terénem, směr a rychlost. Kamera exponuje v pravidelných intervalech film a převíjí jej. Při řadovém leteckém snímkování se pořizují zpravidla svislé LS s podélným a příčným překryvem. Překryv se vyjadřuje v procentech plochy společně zobrazené na sousedních snímcích.

**Podélný překryv** (překryv dvou následujících snímků v jedné řadě) se pohybuje nejčastěji kolem 60% a vedle toho, aby nevznikla ve snímkaném území mezera umožňuje tento překryv i stereoskopické pozorování dvojice snímků. Při letu v nové řadě se udržuje tzv. **příčný překryv** (25-30%). Ten zabezpečuje, aby při odchýlení dráhy letadla nevznikla mezi sousedními řadami mezera.



Obr. 3.7a Princip řadového snímkování

Pro jednoduché překreslování snímků a tvorbu fotoplánů postačuje jednoduchý podélný překryv 20 až 30 %. Používá se také při tzv. předběžném náletu pro fotogrammetrické mapování ve velkých měřítcích. Většinou se však vyhotovuje tzv. stereoskopický podélný překryv (60 – 65 %). Někdy se volí podélný překryv 80-85%, což dovoluje sestavit dva snímkové pásy s 60% překryvem – jeden z lichých a jeden ze sudých snímků. Příčný překryv mezi sousedními řadami se udržuje v hodnotách 20-30%. Menší příčný překryv by i při malé odchylce letadla způsobil vznik mezery. Na velikost překryvu má vliv i členitost snímaného území. Postupně se tak pokryje celé zájmové území snímky a to většinou v řadách orientovaných ve směru převládajících větrů či podle tvaru snímaného území.



Obr. 3.7b Schéma řadového snímkování, základní druhy překryvů

Před vlastním snímkovým letem se vytváří tzv. **projekt snímkového letu** (náletový plán). Při něm je třeba stanovit řadu údajů k řádnému nasnímkování zkoumaného území. Je třeba především znát konstanty kamery, rychlost letu a požadované měřítko snímku. V projektu se

pak uvádí výška letu, časové intervaly snímkování, vzdálenost letových čar, spotřeba filmu apod. Při snímkování s překryvem je spotřeba filmu podstatně větší, každý úsek je zpracováván několikrát. Přírůstek užitečné plochy na jednom snímku tvoří jen 30 procent. Pro projekt je nutné určit dále délku snímací základny (vzdálenost míst expozic na letové čáře), časový interval expozic atd.

Základním parametrem náletového plánu je požadované měřítko výsledné mapy. Dále způsob vyhotovení a také přesnost dostupných přístrojů. Velké měřítko znamená velký počet snímků a potřebu velkého množství vlíčovacích bodů. V projektu se potom dále počítá řada dalších parametrů:

- Počet snímkových pásů
- Příčný a podélný překryv
- Výška letu
- Počet snímků v páse a celkový počet snímků, počet stereomodelů
- Počet vlíčovacích bodů
- Odstup snímkových pásů
- vzdušná základna
- odstup snímkových pásů
- plocha území zobrazeného na jednom snímku
- přírůstek plochy
- časový interval mezi dvěma expozicemi
- snímková základna – vzdálenost mezi středy sousedních snímků.

Pro jednotlivá mapová měřítka se nejčastěji používají snímky následujících měřítek:

<b>Třída přesnosti mapování</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Měřítko základní mapy	1 : 1000	1 : 2000	1 : 5000
Optimální snímkové měřítko (f=152 mm)	1 : 3400	1 : 6800	1 : 10 000 až 13 600
Optimální snímkové měřítko (intravilán f=305 mm)	1 : 2000	1 : 4000	
Minimální použitelné snímkové měřítko	1 : 4500	1 : 10 000	1 : 13 000 až 15 000

### ***Letecký měřický snímek (LMS) a jeho součásti***



Obr. 3.8 *Letecký měřický snímek s rámovými údaji (vlevo)*



Současně se snímkaným územím se na každém snímku zobrazí i **rámové údaje** (obr. 3.8). Ty jsou záznamem stavu přístrojů a konstant kamery. Patří sem číslo kamery, ohnisková vzdálenost objektivu, bublina libely - tj. odchylka osy kamery od svislice, čas pořízení snímku, pořadové číslo snímku a rámové značky. Např. RC 30 Leica dává dva řádky údajů po 100 alfanumerických znacích (typ filmu a filtru, clona, expoziční čas, výška letu zeměpisné souřadnice, měřítko atd.

Fotografie pro fotogrammetrické účely musí splňovat určité požadavky z hlediska geometrie i z hlediska fotografické kvality. Vedle vlastního systému (letadlo, komora, obsluha) mají na kvalitu velký vliv i vnější atmosférické podmínky. Snímky pro měřické a mapovací práce se pořizují za příznivého osvětlení, v denních hodinách, kdy je krajina bez sněhové pokrývky, při výšce slunce nad 33 stupňů. Počet vhodných dní ovlivňují meteorologické podmínky. Z nich je nejdůležitější oblačnost, dále průzračnost atmosféry, intenzita turbulence. Kupovitá oblačnost způsobuje na snímcích tmavé skvrny způsobené stíny, poměrně ostře ohraničené, které působí rušivě při interpretaci. Naopak vysoká oblačnost (řasy či slohy) neruší a někdy jsou vítané, protože zvyšují podíl rozptýleného záření k záření přímému – snímky potom nemají tmavé stíny v úzkých údolích či v ulicích městské zástavby. Průzračnost atmosféry se hodnotí horizontální dohledností a někdy také podle zbarvení oblohy. Při výšce letu  $h=2500$  m by dohlednost měla být 20 km. Kvalitu leteckého snímkování dále ovlivňuje výskyt mlhy, turbulence v atmosféře a silný a proměnlivý vítr.

### **LMS v ČR:**

Do konce roku 1988 byla každá letecká fotografie tajná. Vojenské objekty se stupněm utajení T a PT byly na snímcích vykrývány (a tak se na ně nepřímo upozorňovalo). S rozvojem DPZ a možnostmi družicových snímků se od 1.1. 1991 od toho upustilo.

Od roku 1951 byl vytvořen archiv LS ve VTOPIÚ v Dobrušce. Snímky mají formáty 18 x 18, 30 x 30 a nyní 23 x 23 cm. Byly vytvořeny komorami různých typů v měřítkách od 1 : 3000 do 1 : 40 000. Z předválečného období 1935 – 1938 je archivováno 19 800 snímků. Nepokrývají však celé území ČR. Na počátku 90. let to bylo již více jak 1 milion snímků, většinou ČB. V rámci systematické obnovy a údržby map bylo celé území státu od r. 1964 nasnímáno třikrát. V 90. letech se provádělo snímkování v měřítkách 1 : 20 000 a 1 : 30 000.

### **Poskytovatelé leteckých snímků:**

Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad  
(dříve Vojenský topografický ústav)  
518 16 Dobruška

ARGUS GEO SYSTÉM, s.r.o.  
<http://www.argusgeo.cz/>

Geodis, s.r.o.  
<http://www.geodis.cz/www/>

Agentura ochrany přírody a krajiny ČR  
<http://www.nature.cz/index.htm>

Správy CHKO a NP  
Orgány státní správy (referáty regionálního rozvoje, útvary hlavního architekta, ...)