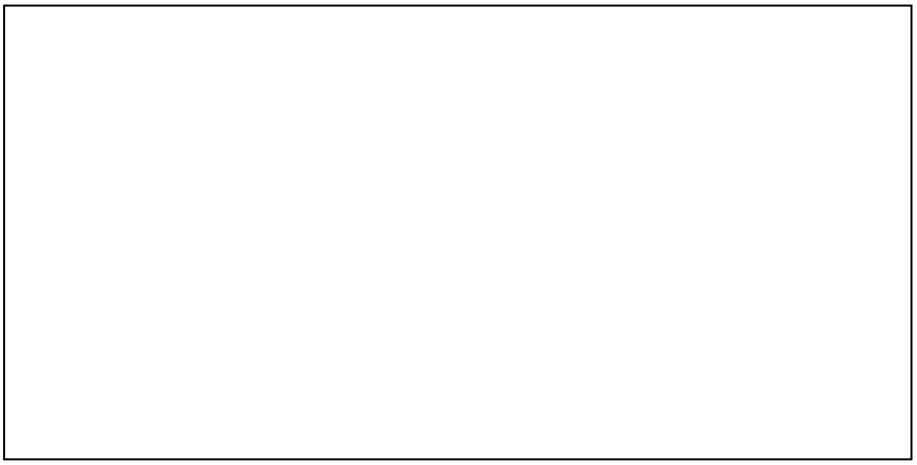
2.3. Snímkové orientace a souřadnicové soustavy – geometrické základy

Abychom mohli dobře popsat systém snímkových souřadnic, je třeba nejdříve definovat prvky vnitřní orientace. Následovat budou systémy souřadnic modelových a geodetických a na závěr prvky vnější orientace.

- **prvky vnitřní orientace** (interní)

Popisují geometrické uspořádání uvnitř měřické komory a tím i středové promítání, kterým vzniká snímek. Pro každý měřický snímek musí být známé.

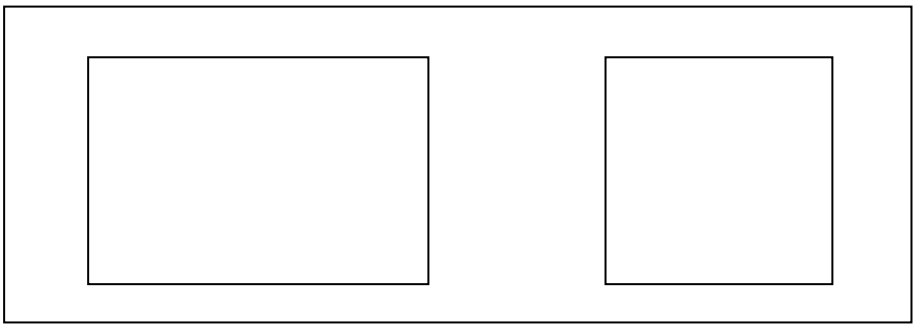


Zobrazení objektivem měřické komory při zaostření na nekonečno[1]

O – střed vstupní pupily; *O'* – střed výstupní pupily;
H' – hlavní bod; *Δr'* – velikost radiální distorze (zkreslení);

a) **konstanta komory f_k** je vzdálenost mezi středem výstupní pupily O' a hlavním bodem snímku H' (měřená po optické ose).[2] Určuje se pro měřické komory s přesností na *0,01 mm*. Zobrazuje se v rámových údajích na snímku.

b) **poloha hlavního bodu H'** [x_0', z_0'] v pozemní fotogrammetrii, **H'** [x_0', y_0'] v letecké fotogrammetrii se udává vzhledem ke *středu snímku* M' (průsečík spojnic rámových značek); tj. rozdílem snímkových souřadnic od středu snímku.[3]



[1] Měřické komory bývají pevně zaostřeny (nejčastěji na nekonečno). Pokud je přeostření možné, tak pouze v korcích (na výrobcem zvolené hodnoty) – dochází ke změně konstanty komory, která musí být známá.
[2] Není totožná s ohniskovou vzdáleností.
[3] Dříve se poloha hlavního bodu označovala v pozemní fotogrammetrii H' [dx, dz] a v letecké H' [dx, dy].

Hlavní bod je průsečíkem roviny snímku s optickou osou; se středem snímku není totožný, ale leží v jeho blízkosti.[4] Pro práce menší přesnosti je možné rozdíl v poloze hlavního bodu a středu snímku zanedbat.

c) **průběh radiální distorze *Δr'*** se udává členy polynomické funkce (analyticky), charakteristickou křivkou, průměrnou hodnotu nebo graficky. Radiální distorze je posunutí zobrazeného bodu oproti správné poloze v radiálním směru (od středu k okrajům snímku). U měřických objektivů nesmí být její velikost větší než *10 μm* (viz kapitola 2.2).

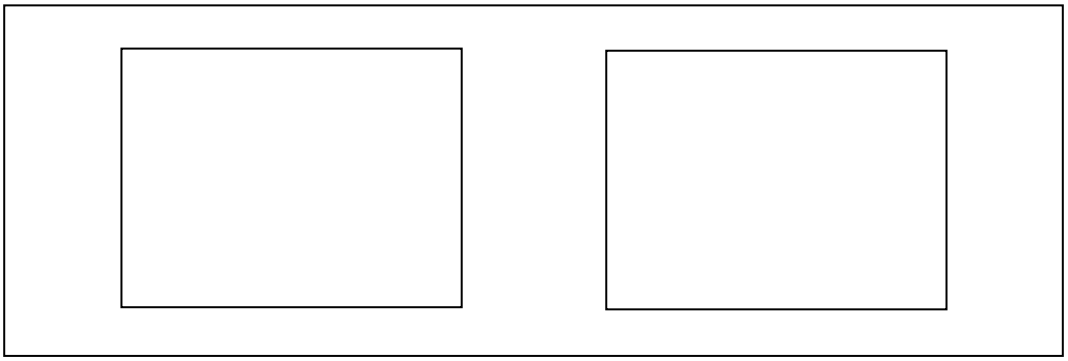
Prvky vnitřní orientace musejí být určeny pro každou měřickou komoru a výrobce je uvádí v kalibračním protokolu.

- **souřadnicové soustavy**

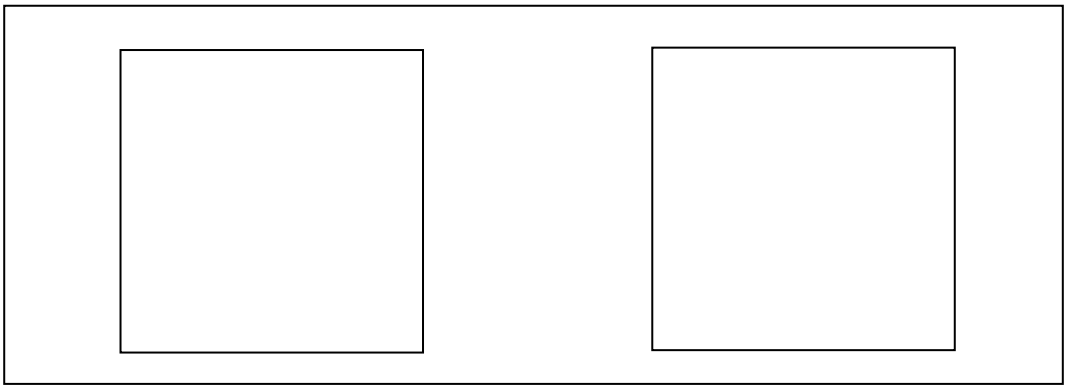
Souřadnicové soustavy ve fotogrammetrii (rovinné i prostorové) mají orientaci a označení os shodné s kartézským systémem souřadnic.

a) **snímkové souřadnice *x', z'***, resp. ***x', y'*** (rovinné) – souřadnice měřené v rovině snímku; uvádějí se v *mm* s přesností na *0,01* nebo *0,001 mm*. Počátkem soustavy snímkových souřadnic je hlavní bod H'. Hlavní bod nelze na snímku snadno vyhledat, proto souřadnice měříme od středu snímku M' a zavádíme opravy na polohu hlavního bodu H'(x_0', z_0'), resp. H' (x_0', y_0'). Osy jsou rovnoběžné se spojnicemi rámových značek. Měřené souřadnice je také třeba pro práce vyšší přesnosti před dalším použitím opravit o vliv radiální distorze (viz str. 37).

– pozemní fotogrammetrie: (x', z') – levý snímek, (x", z") – pravý snímek



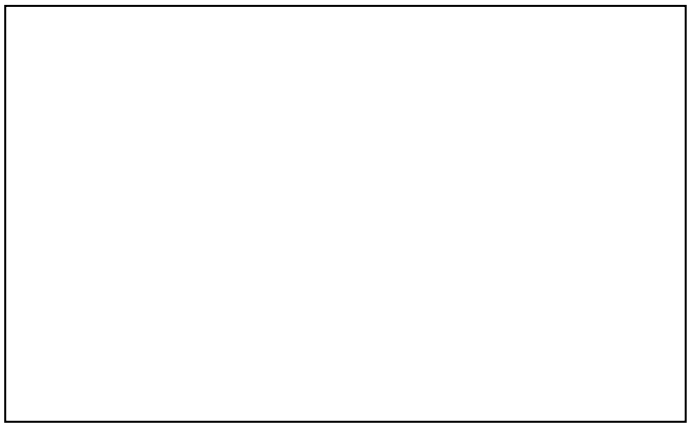
– letecká fotogrammetrie: (*x', y'*) – levý snímek, (*x", y"*) – pravý snímek



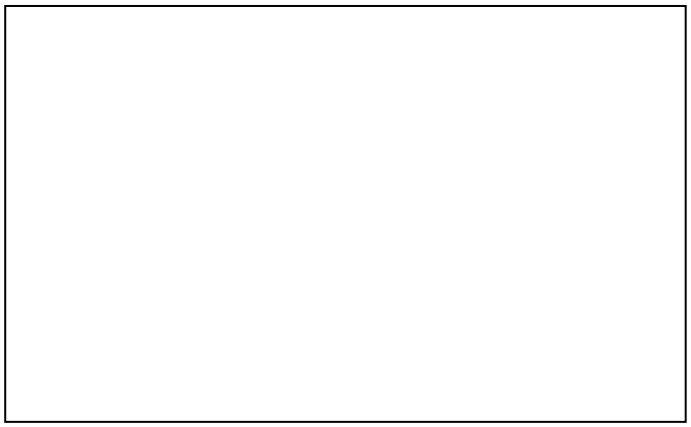
[4] Velikost rozdílu v poloze hlavního bodu a středu snímku závisí na přesnosti sestavení objektivu a těla komory při výrobě.

b) **modelové souřadnice *x, y, z*** (prostorové) – měříme pomocí umělého stereoskopického vjemu na prostorovém modelu a uvádíme v *mm* s přesností na 0,01 mm. Počátkem soustavy je *střed vstupní pupily* (na levém stanovisku). Pokud je směr spojnice rámových značek shodný se směrem základny, resp. směrem letu, pak osa *x* směřuje do středu vstupní pupily na stanovisku pravém v pozemní fotogrammetrii (je přibližně rovnoběžná s fotogrammetrickou základnou), resp. do středu vstupní pupily následujícího snímku v řadě v letecké fotogrammetrii. V analytických metodách mohou být osy obecně orientované v prostoru. Modelové souřadnice Vyjadřují správný tvar, ale velikost předmětů je upravena měřítkem modelu (poloha bude určena až v systému geodetických souřadnic).

– pozemní fotogrammetrie: prostorová souřadnice (osa *y*) směřuje do předmětového prostoru před objektivem;



– letecká fotogrammetrie: prostorová souřadnice (záporná větev osy *z*) směřuje k zemskému povrchu;



Osa *z* vždy směřuje do zenitu (v letecké i pozemní fotogrammetrii).

c) **geodetické souřadnice *X, Y, Z*** (prostorové) – vyjadřují skutečný tvar, velikost a polohu předmětů; pro mapovací práce ve velkém měřítku se uvádějí v *m* s přesností na 0,01 m.[5]

[5] Geodetické souřadnice nejsou totožné se systémem Jednotné trigonometrické sítě katastrální S-JTSK. Do národních souřadnicových systémů musejí být geodetické souřadnice X a Y převedeny transformací (podobnostní) a souřadnice Z je převedena na nadmořské výšky (např. Bpv).

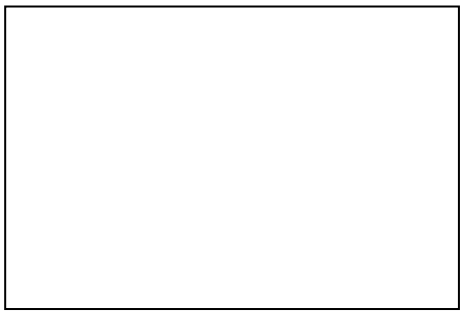
- **prvky vnější orientace** (externí)

Popisují polohu středu vstupní pupily na stanovisku (v okamžiku pořízení snímku) v geodetických souřadnicích [X_0, Y_0, Z_0] a orientaci měřické komory v prostoru. Rozdělujeme je do dvou skupin:

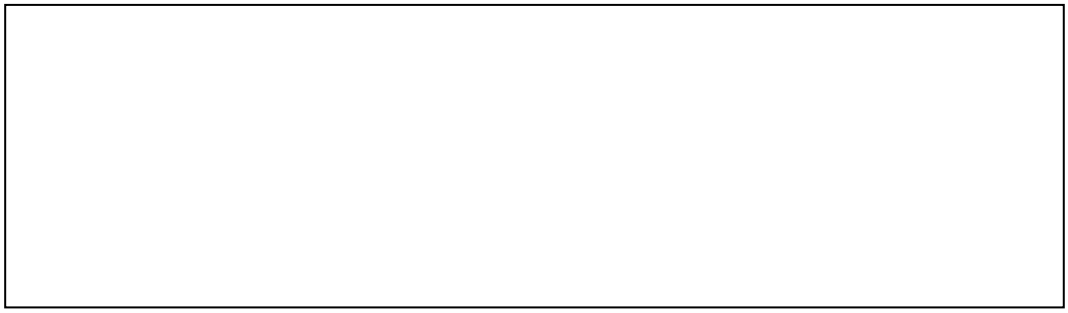
a) **lineární prvky** [X_0, Y_0, Z_0] – geodetické souřadnice středu vstupní pupily,
b) **úhlové prvky** (κ, φ, ω) – pootočení snímku, orientace a sklon osy záběru (kladný směr otáčení je protisměru chodu hodinových ručiček).

– ***pozemní fotogrammetrie***

κ – pootočení snímku ve vlastní rovině (svislý úhel, otáčí se kolem osy *y*); pokud se úhel κ = 0 snímek není ve vlastní rovině stočený (spojnice rámových značek jsou vodorovné, resp. svislé)



φ – orientační úhel (vodorovný úhel, otáčí se kolem osy *z*);
pro φ = 0 nastává ***normální případ*** (osy záběru jsou kolmé k základně, resp. ke spojnici vstupních pupil sousedních stanovisek základny)

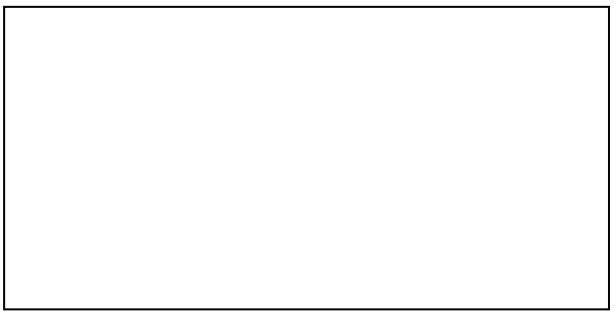


A – levé stanovisko základny; ***B*** – pravé stanovisko základny;
z – základna (také označovaná ***b*** – base)

Z praktických důvodů se při měření (resp. nastavení) úhlu φ počátek vkládá do protějšího bodu základny a měří se ve směru chodu hodinových ručiček (od základny k ose záběru). Pro velikost orientačního úhlu pak platí φ = 3R - φ‘, kde φ‘ je v terénu měřená hodnota. Pro kladné úhly φ nastává ***vlevostočený případ***, pro záporné úhly φ ***vpravostočený případ***; ovšem ve zápisnících pozemní fotogrammetrie se označují opačným znaménkem podle kladného směru otáčení obvyklého v geodetických měřeních – vpravostočený (+φ) a vlevostočený (–φ).

Písmeny A, B a L, R se označují snímky z levého resp. pravého stanoviska s normálním, resp. vlevo nebo vpravo stočeným případem. Možné kombinace pro jednu snímkovou dvojici jsou: A a B (normální případ), nebo AL a BL, nebo AR a BR. Toto značení se zobrazí také v rámových údajích na snímku.

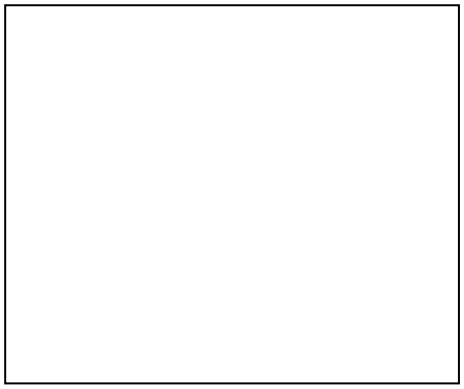
ω – sklon osy záběru (svislý úhel, otáčí se kolem osy *x*);
pokud se úhel ω = 0 je osa záběru vodorovná



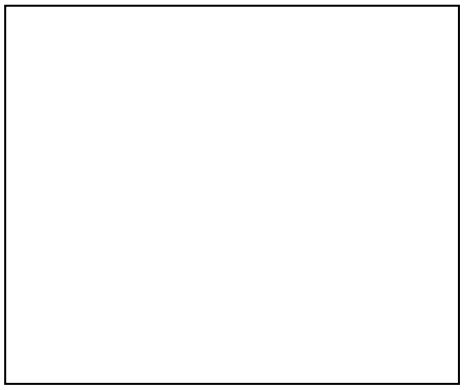
V pozemní dvousnímkové fotogrammetrii nastavujeme úhly κ a ω vzájemně kolmými křížovými libelami umístěnými na měřické komoře a úhel φ pomocí vodorovného kruhu s odečítací pomůckou a dalekohledu (tj. orientační soustavou měřické komory).

– ***letecká fotogrammetrie***

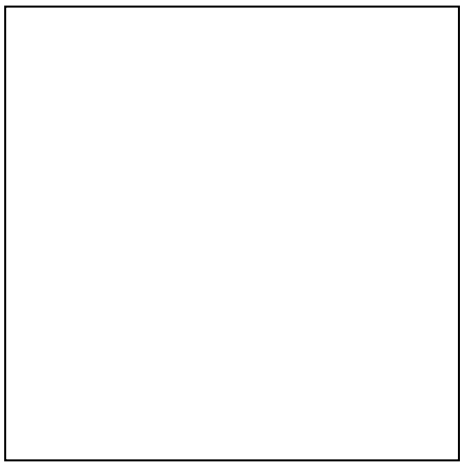
κ – pootočení snímku ve vlastní rovině (vodorovný úhel, otáčí se kolem osy *z*);
pokud se úhel κ = 0 spojnice rámových značek směřuje ve směru letu



φ – podélný sklon osy záběru měříme ve směru letu svislý úhel,
(otáčí se kolem osy *y*); pro tzv. svislé měřické snímky má být φ ≤ 3°



ω – příčný sklon osy záběru měříme kolmo na směr letu
(svislý úhel, otáčí se kolem osy *x*); pro tzv. svislé měřické snímky má být $\omega \leq 3°$



Jestliže jsou oba sklony (podélný i příčný) menší než 3° a osy záběru jsou přibližně svislé, bude jejich vzájemná poloha téměř rovnoběžná a blíží se normálnímu případu dvousnímkové pozemní fotogrammetrie.[6]

V letecké fotogrammetrii nastavujeme úhlové prvky vnější orientace pomocnými zařízeními měřické komory: sklony φ a ω pomocí *gyrostabilizace* (udržuje osu záběru ve svislici) a úhel κ *regulátorem překrytu* (umožňuje pořizovat vzhledem ke směru letu nestočené snímky s dostatečným překrytem).

Při vyhodnocování snímků letecké fotogrammetrie nejsou prvky vnější orientace známé dostatečně přesně (během snímkového letu jsou měřeny tzv. pomocnými zařízeními pouze jejich přibližné hodnoty). Proto je považujeme za neznámé a určujeme jejich přesné hodnoty až před vyhodnocením (nebo současně s vyhodnocením snímků). Oproti tomu v pozemní fotogrammetrii je možné prvky vnější orientace určit nebo nastavit běžnými geodetickými metodami dostatečně přesně již při pořizování snímků v terénu.

➢ Tvar, poloha a orientace paprskového svazku

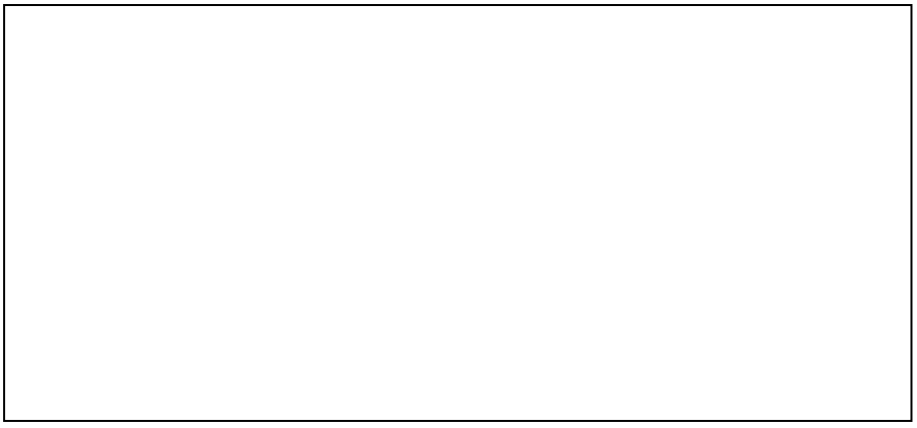
Pro definici prvků vnitřní a vnější orientace se často používá pojem *paprskový svazek* nebo *trs*, který představuje všechny promítací paprsky známých i určovaných bodů. Přitom *promítací paprsek* je spojnice mezi bodem ve skutečnosti a jeho obrazem na snímku (v předmětovém a obrazovém prostoru).

Prvky vnitřní orientace definují *tvar paprskového svazku*.

Prvky vnější orientace definují *polohu a orientaci paprskového svazku* v prostoru.

[6] Dále se podle velikosti úhlů φ a ω rozlišují snímky *strmé* (3-10°), *šikmé* (10-80°), *ploché* (80-90°) a *vodorovné* – horizontální (90°).

– pro pozemní fotogrammetrii



- pro leteckou fotogrammetrii

Současné aplikace pozemní fotogrammetrie s vyhodnocením digitálních snímků na počítačích často používají značení a orientaci os totožné s leteckou fotogrammetrií (prostorovou souřadnicí je osa *-z*).

➢ **Rámové značky**

– jsou zabudovány v zadní stěně měřické komory – ve značkovém rámu,
– všechny musí ležet v jedné rovině kolmé k ose záběru a totožné s rovinou snímku (na rámové značky dosedá skleněná deska nebo plochý, listový film s citlivou vrstvou),
– známe jejich přesnou polohu ve snímkových souřadnicích (spolu s prvky vnitřní orientace jsou uváděny výrobcem komory kalibračním protokolu),
– při expozici se jejich obraz přenese na negativ,
– v pozemní fotogrammetrii jsou nejčastěji 4 ve středech stran snímku,[7]
– v letecké fotogrammetrii je nejčastěji celkem 8 značek ve středech stran a v rozích,
– rámové značky mohou být mechanické (kovové výstupky nebo hroty) nebo optické, uměle osvětlované (např. soustředné kružnice nebo křížky).

[7] U semiměřických *réseau* komor jsou rámové značky nahrazeny sítí křížků vyrytou v planparalelní skleněné destičce a následně zobrazenou v celé ploše snímku.