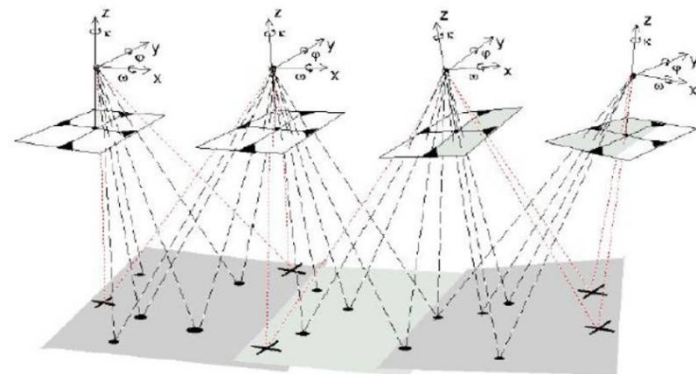
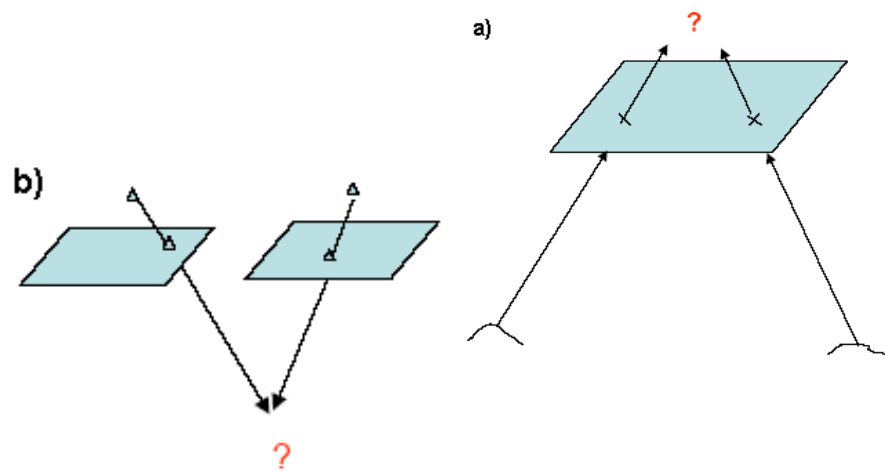


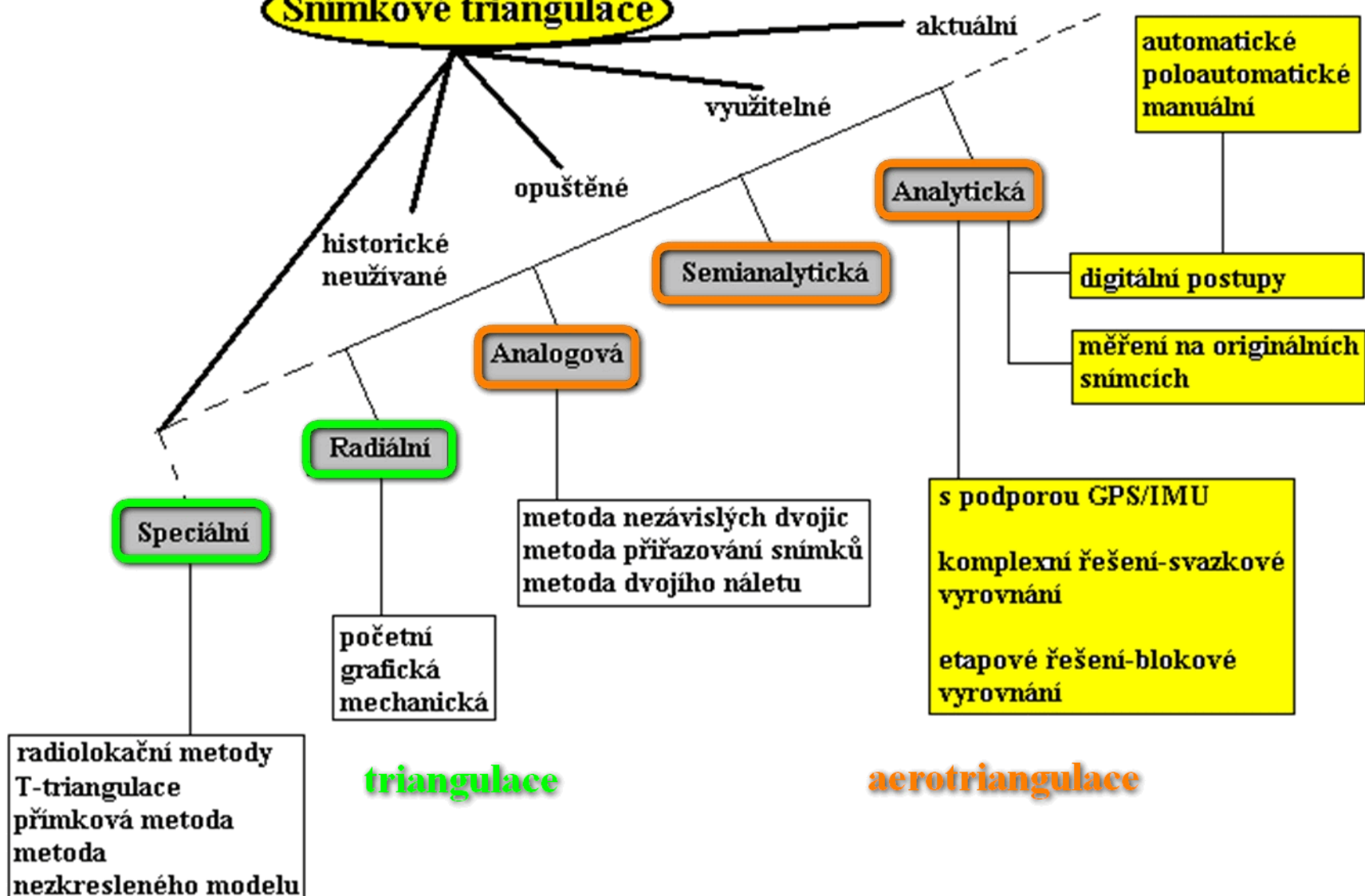
Snímkové triangulace (aerotriangulace)



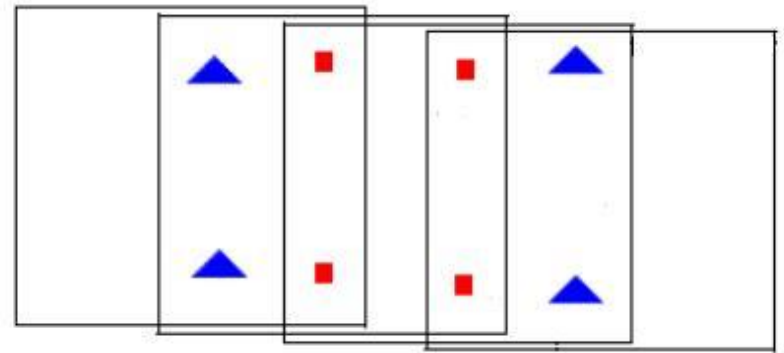
- Nutnost získávání souřadnic vlíčovacích bodů stále významně ovlivňuje jak přesnost, rychlost i hospodárnost fotogrammetrických prací.
- Pro projekty mapování zpracovávající **více než dva snímky** je využití výše zmíněných technik **zpětného protínání** (metoda pro jeden snímek se třemi vlíčovacími body) a **prostorového protínání vpřed** (metoda pro překrývající se dvojici snímků s využitím kolineárních rovnic) omezené.
- Prvky vnější orientace nemusí být dostatečně přesně známy pro všechny snímky, metody vyžadují velký počet GCP, někdy na snímku nelze nalézt vhodné GCP body, ...



Snímkové triangulace

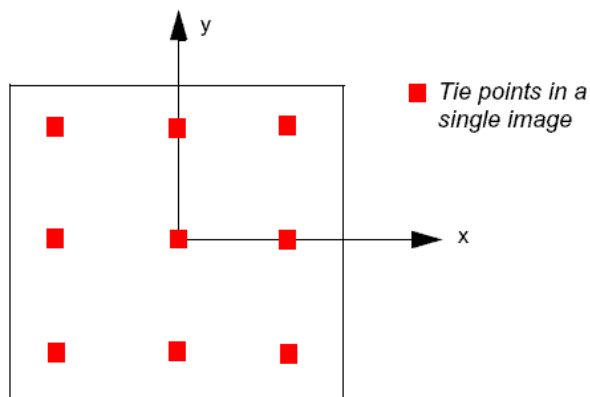


Princip aerotriangulace (AT)



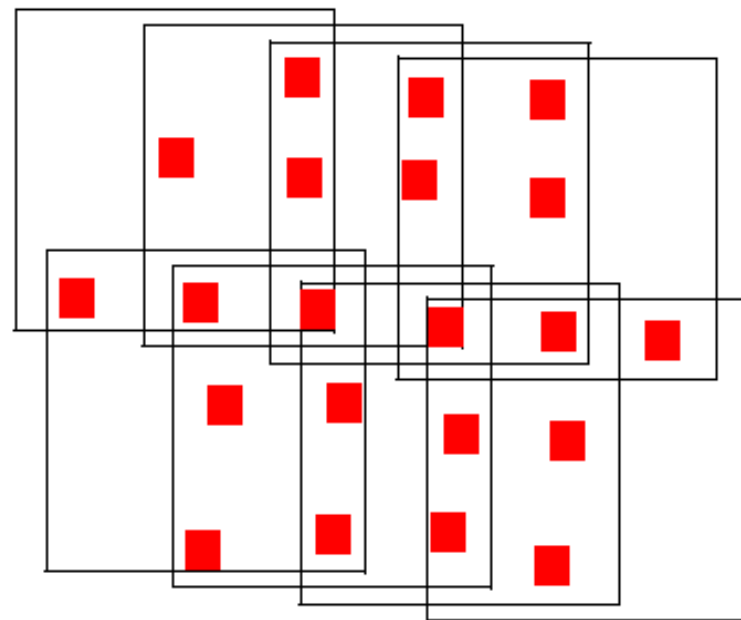
- Snímkové triangulace řeší, jak se vyhnout měření velkého množství bodů, případně jak překlenout území bez vlíčovacích bodů.
- AT využívají tzv. **vázacích bodů** (tie points)
- U metod snímkové aerotriangulace jsou parametry vnější orientace určeny pro všechny snímky v bloku vyrovnáním metodou nejmenších čtverců.
- Definuje se vztah mezi **všemi** snímky v bloku, kamerou a terénem.
- Hledá se řešení s nejmenší možnou chybou, která je zároveň rozdělena (distribuována) do všech vyrovnávaných GCP bodů (a tedy i snímků).
- Výpočet pro blok snímků je přesnější, ekonomická výhodnost
- Manuální a automatické postupy AT

Vázací body (tie points)

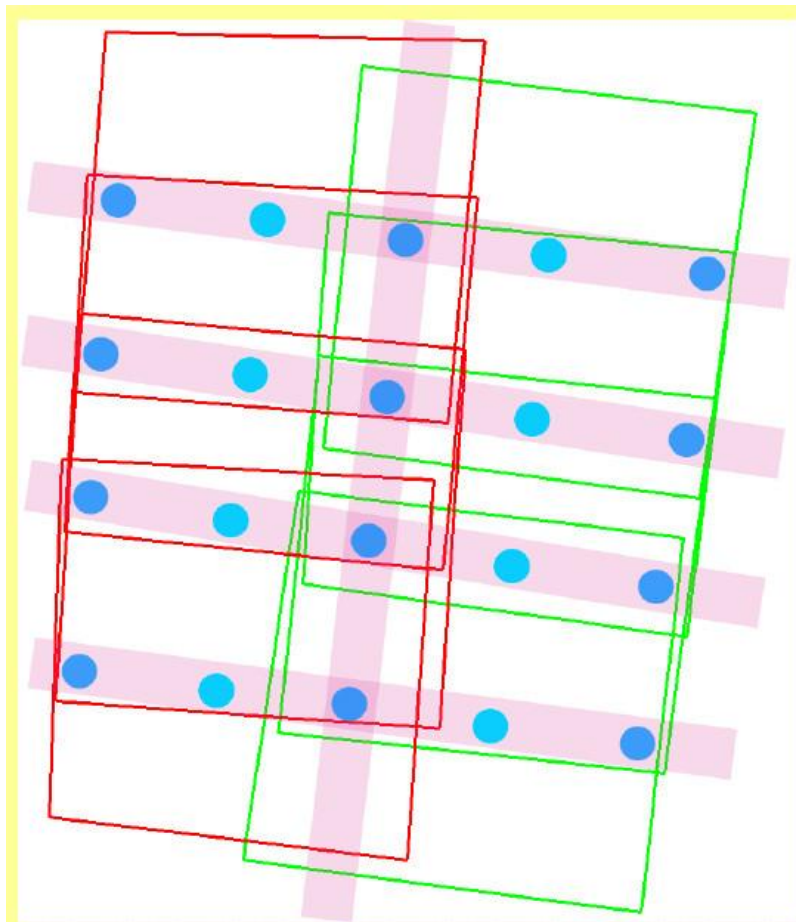


Nine tie points in each image tie the block together

■ Tie points

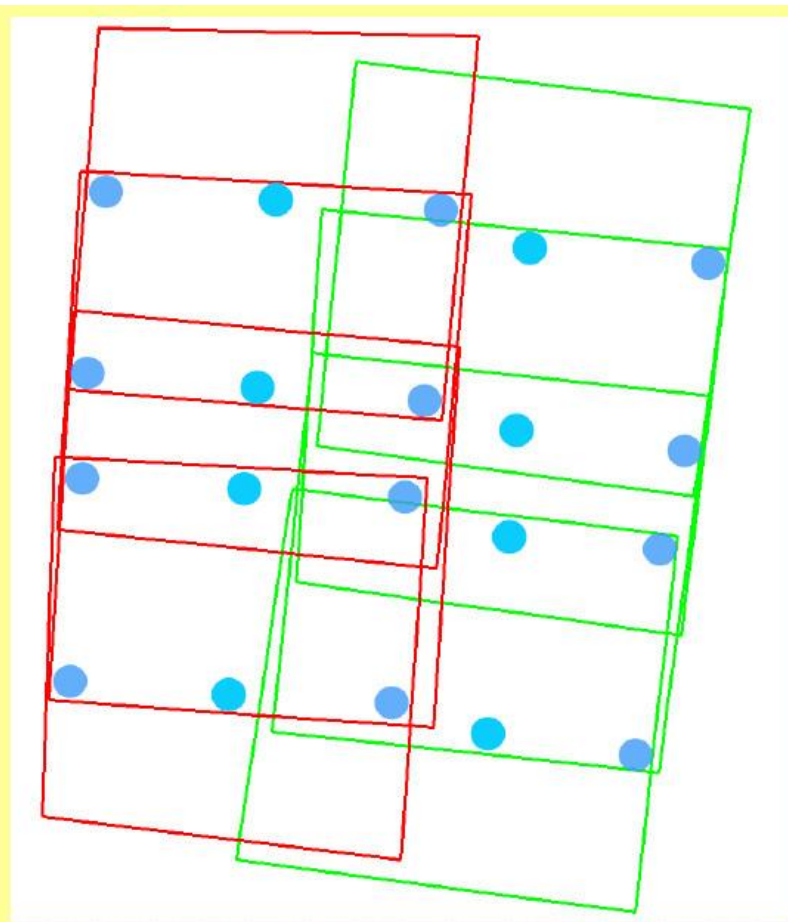


- Body, jejichž geodetické souřadnice nejsou známy
- Jsou však dobře lokalizovatelné a tedy změřitelné na překrývajících se částech dvou či více snímků.
- Reálné souřadnice těchto bodů jsou vypočteny v procesu aerotriangulace.
- Mohou být určovány manuálně i automatickým vyhledáváním.
- Musí být definovány na všech snímcích a to v místech s dobrým kontrastem obrazu (rozložení – von Gruberovo schéma)



Vhodné rozložení bodů

Spojovací Body



Nevhodné rozložení bodů

Výstupy z AT

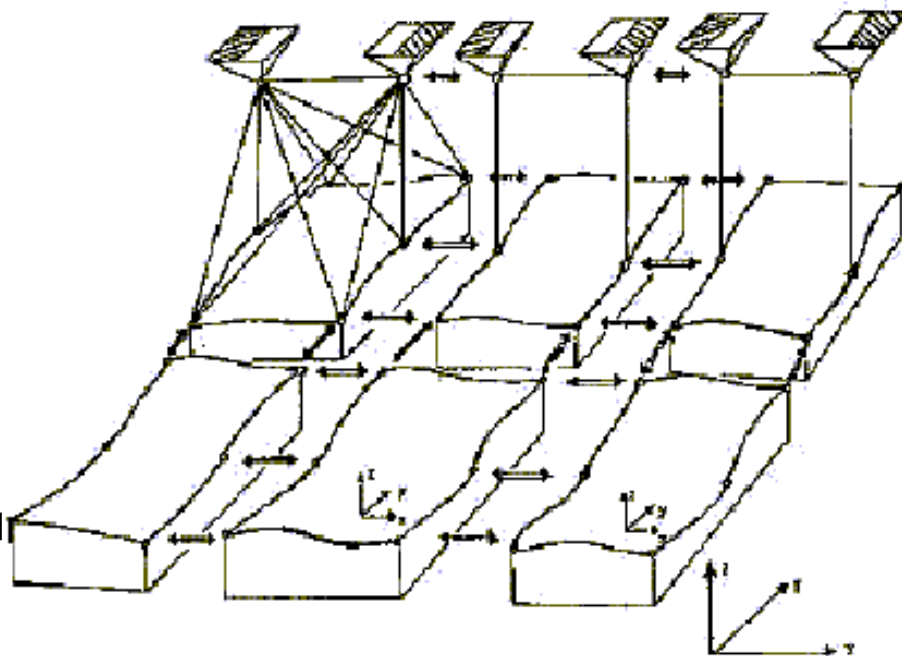
- Prvky vnější orientace všech snímků
- Geodetické souřadnice bodů

Základní postupy AT

- Etapové řešení
- Komplexní řešení – svazkové vyrovnání bloku (bundle adjustment)
- Komplexní řešení s podporou GPS/IMS

Etapové řešení analytické aerotriangulace

- základní jednotka – stereomodel (relativně orientovaný)
- vyrovnání a spojení jednotlivých projekčních center
- posunutí, pootočení a změna měřítka jednotlivých stereomodelů

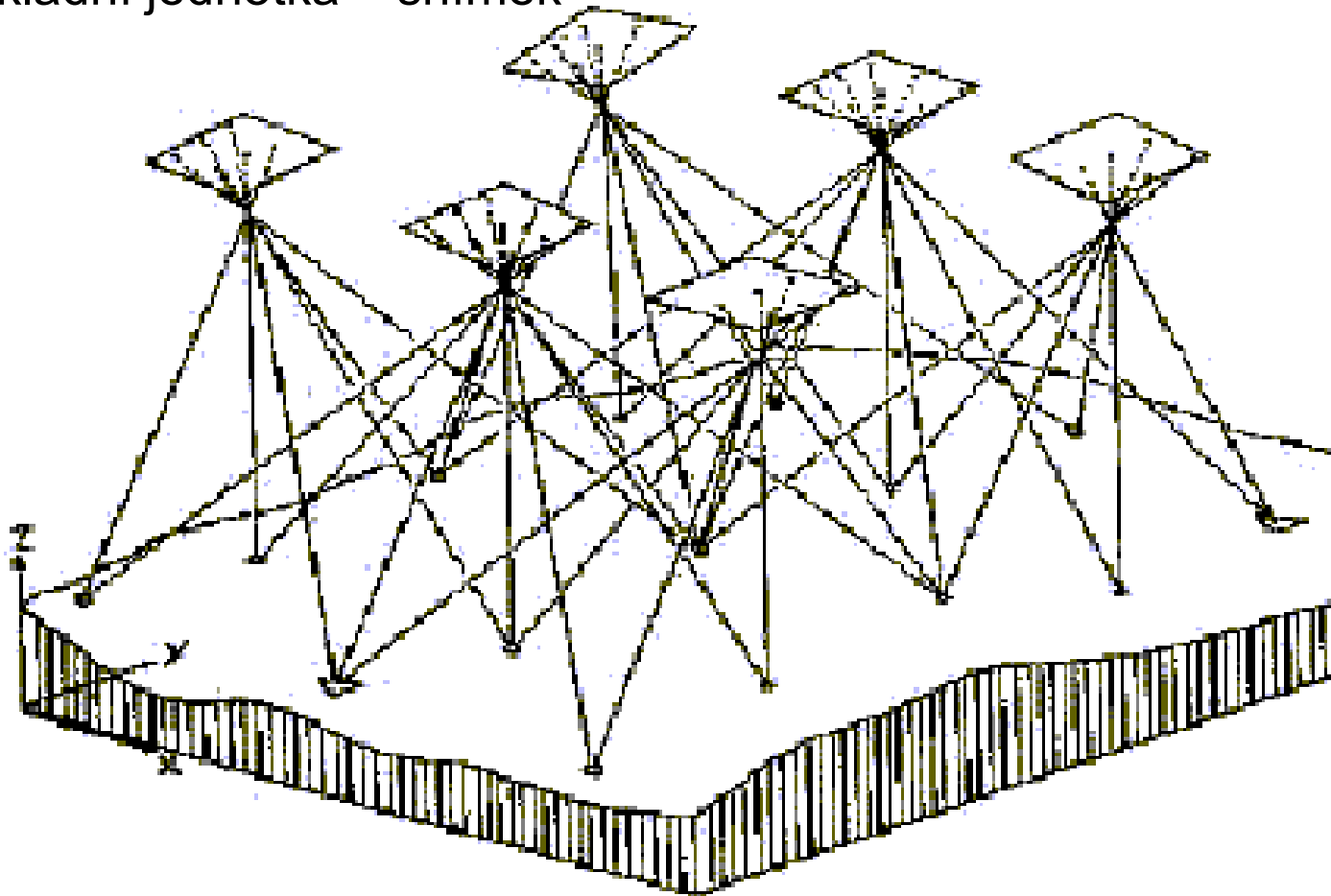


Jednotlivé snímky se postupně sestavují do jednoho bloku řešením jejich vzájemné orientace.

Snímkové souřadnice ze všech snímků se transformují do soustavy prvního snímku.

Komplexní řešení analytické aerotriangulace (bundle adjustment)

- základní jednotka – snímek



Všechny snímky se orientují současně metodami relativní a absolutní orientace s využitím vyrovnání souřadnic vlíčovacích bodů.

Svazkové vyrovnání bloku (block bundle adjustment).

- Výpočet probíhá na základě **kolineárních rovnic** iteračním postupem (přímý vztah mezi snímkovými a geodetickými souřadnicemi)
- Neznámými jsou jednak prvky vnější orientace, jednak souřadnice nově určovaných bodů.
- Postup vyžaduje znát na počátku přibližné hodnoty prvků vnější orientace:
 1. Přibližné hodnoty neznámých prvků vnější orientace se získávají z měření GPS
 2. Souřadnice projekčních center lze v prvním přiblížení určit v projektu snímkového letu (vykreslením do mapy a odečtením souřadnic).
- Jedná se o řešení rozsáhlých soustav rovnic, které jsou tzv. „silně přeurčené“.

Svazkové vyrovnání bloku (block bundle adjustment).

PŘÍKLAD

Máme 3 GCP na překrývající se části dvou snímků

Lze sestavit 12 kolineárních rovnic (4 rovnice pro každý GCP).

6 vázacích bodů na překrývající se části dvou snímků dává 24 rovnic

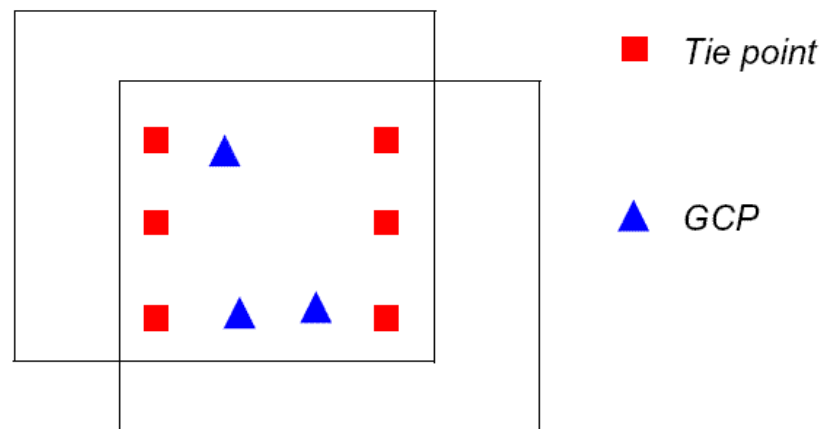
Celkem je k dispozici soustava 36 rovnic.

Počet neznámých

- 6 prvků vnější orientace pro levý snímek ($X_{o1}, Y_{o1}, Z_{o1}, \omega_1, \varphi_1, \kappa_1$)
- 6 prvků vnější orientace pro pravý snímek ($X_{o2}, Y_{o2}, Z_{o2}, \omega_2, \varphi_2, \kappa_2$)
- 18 souřadnic X, Y, Z pro šest vázacích bodů

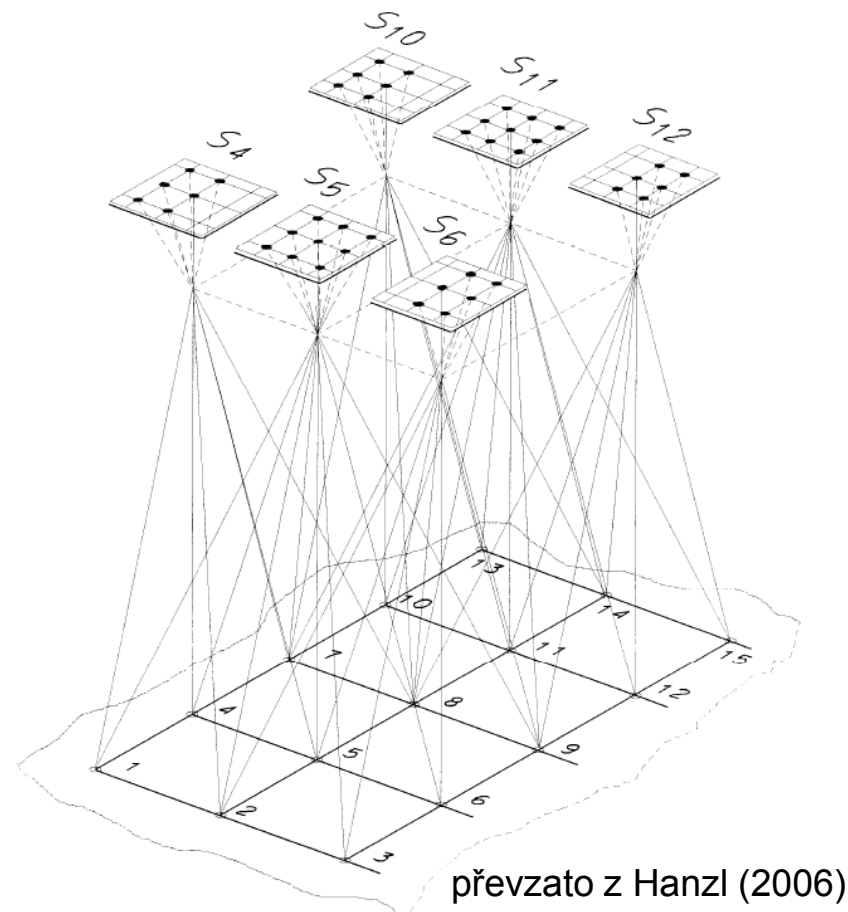
Celkový počet neznámých je tedy 30.

6 nadbytečných rovnic se označuje jako **stupně volnosti**.



Svazkové vyrovnání bloku (block bundle adjustment).

- pro zajištění přesnosti je potřeba vždy větší než minimální počet vlíčovacích bodů
- metody vyrovnání musí být robustní k odhalení příp. chyb v souřadnicích vlíčovacích bodů
- využívá se MNČ



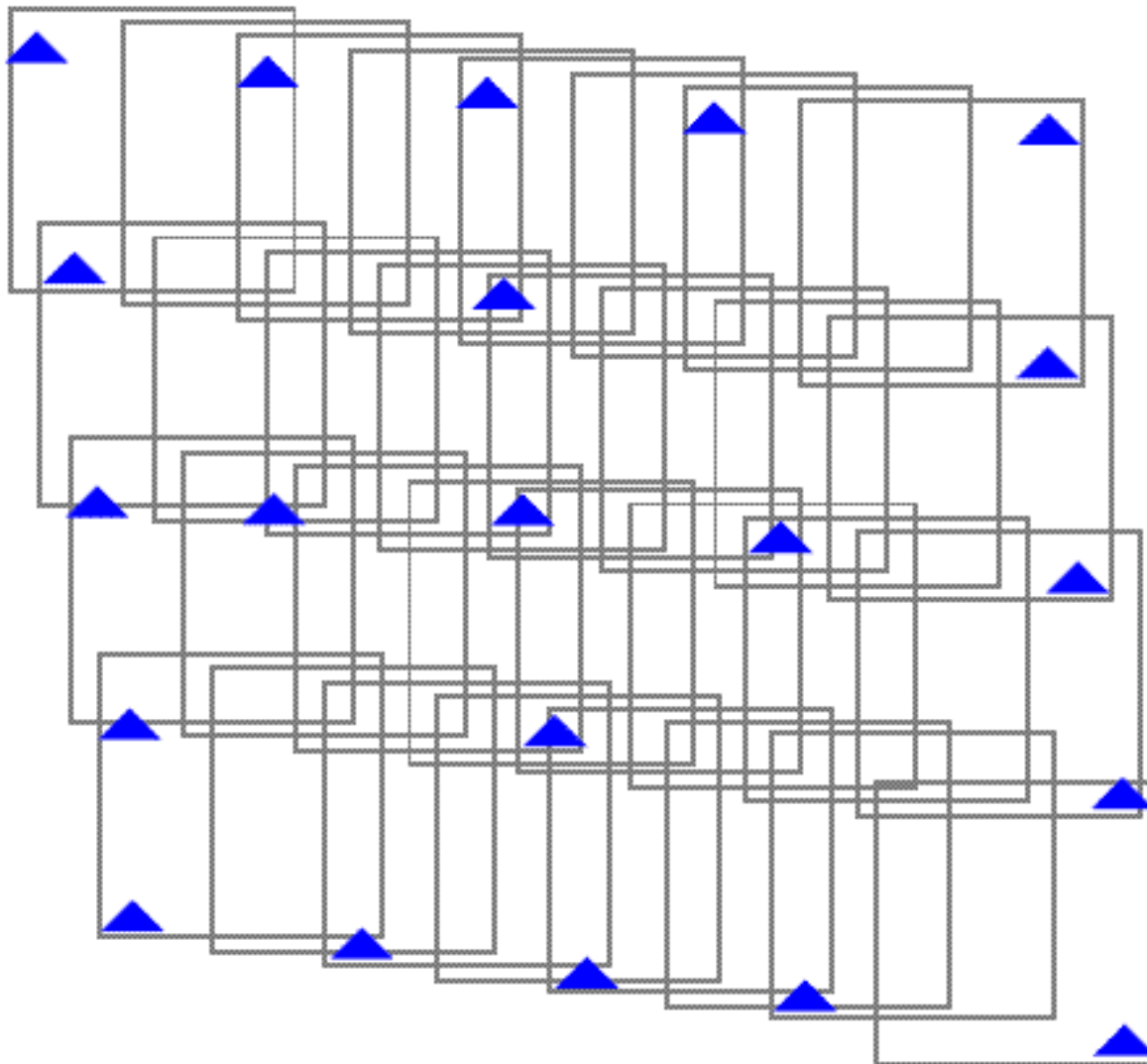
Princip vyrovnání lze definovat následovně: svazky paprsků jsou umístěny (X_O, Y_O, Z_O) a potočeny $(\omega, \varphi, \kappa)$, takže svazky paprsků se protínají, jak je nejlépe možné v navazovacích bodech a procházejí vlíčovacími body jak nejlépe je možné.

Přesnost AT

- měřítko snímků
- přesnost měření snímkových souřadnic
- počet vázacích bodů
- počet, poloha a přesnost vlíčovacích bodů
- použitý matematický model

Měřítko leteckého snímkování	Měřítko výsledné mapy	Dosažitelná přesnost	Rozlišení ortofotomap
20 000	5 000	50 cm	20 cm
10 000	5 000	25 cm	20 cm
8 000	2 000	20 cm	10 cm
4 000	1 000	15 cm	10 cm
2 500	500	10 cm	10 cm

Zpracování bloku snímků

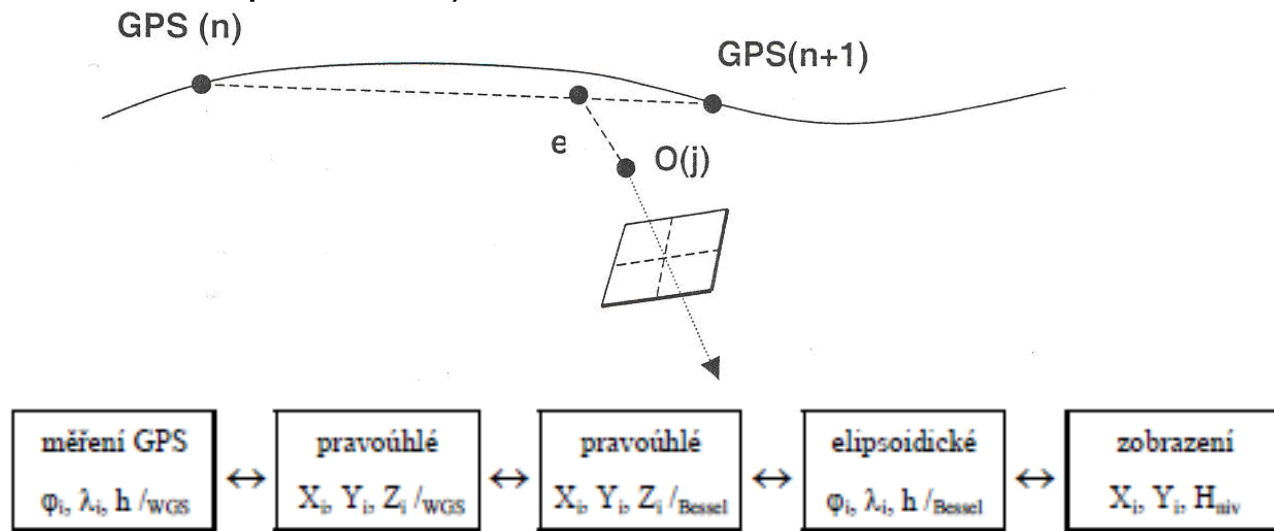


- minimálně jeden bod na každý třetí snímek v bloku.
- body v místech vícenásobných překryvů.
- body na vnějších okrajích bloku

AT s podporou GPS

GPS se využívá pro

1. Navigace a řízení leteckého snímkování
 2. Určování souřadnic vlčovacích bodů
 3. Určování přibližných hodnot prvků vnější orientace (souřadnic projekčních center)
- V případě AT jsou prvky vnější orientace určeny pomocí GPS jako úvodní hodnoty v iteračním výpočtu (jako tzv. doplňková měření)
 - GPS přijímač propojen s kamerou
 - Přijímá data s vysokou frekvencí a z jednotlivých bodů interpoluje dráhu letu (resp. polohu středů promítání)



Hodnoty poskytované metodou svazkového vyrovnání slouží k řešení těchto úkolů:

- tvorba stereomodelu
- fotogrammetrický sběr dat (feature collection)
- přesné určování 3D polohy bodů
- extrakce DEM
- ortorektifikace

Použití AAT

- snímkové orientace a následné vyhodnocení
- souřadnice množství bodů (např. katastr)
- souřadnice kontrolních bodů