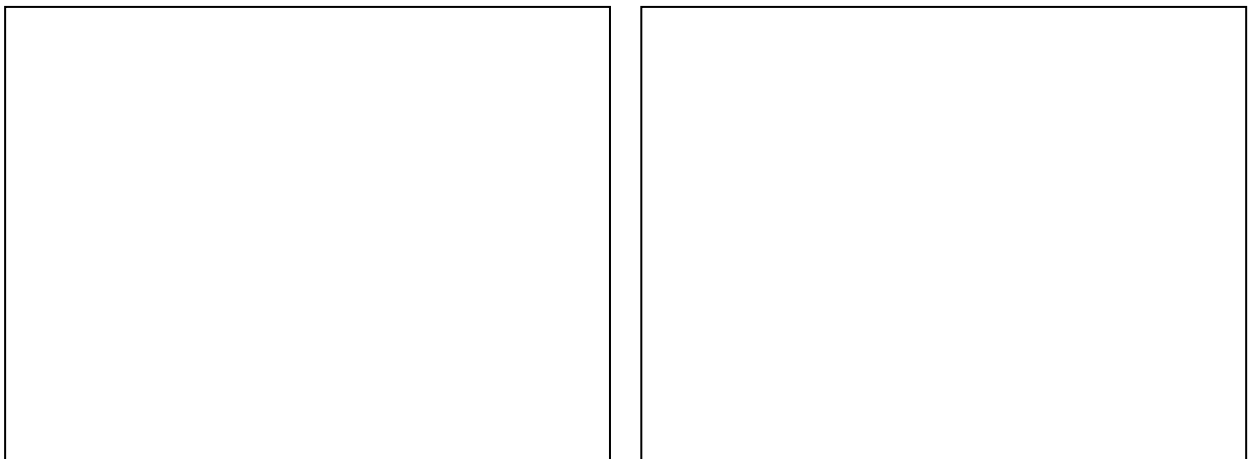


3.5. Průseková pozemní fotogrammetrie

Nejstarší fotogrammetrická metoda původně využívaná pro mapování nepřístupných horských masivů vzdálených až několik kilometrů byla nahrazena po roce 1900 dvousnímkovými metodami. V 90. letech 20. stol. je znovuobjevena s příchodem semiměřických réseau komor, komor digitálních a spolu s možností využívat analytické početní metody vyhodnocení na počítačích. V současné době se používá naopak na kratší vzdálenosti několik desítek metrů (tzv. blízká fotogrammetrie) pro dokumentaci menších (především památkově chráněných) stavebních objektů, určování velikosti a tvarů předmětů, výrobků a výrobních technologií v průmyslu (výhodné pro velké rozměry nebo nepravidelné tvary) a také pro dokumentaci dopravních nehod.

Principem metody je prostorové protínání vpřed řešené na měřických snímcích – graficky, z úhlů měřených na snímcích pomocí fotogoniometru a nyní analyticky: obecné početní vyhodnocení digitálních nebo digitalizovaných snímků na počítačích.



➤ Práce v terénu – pořízení snímků

- *komory* pro průsekovou fotogrammetrii: dříve fototeodolity (měřické komory), v současné době semiměřické (např. *réseau*) i neměřické komory (analogové a především digitální);
- nutné jsou *alespoň dva snímky* (vyhodnocení bez kontroly); vhodnější je více snímků (kontrola vyhodnocení a vyrovnání) – souřadnice podrobného bodu bude možné určit, pokud se zobrazí alespoň na dvou snímcích;
- *osy záběrů* se protínají přibližně uprostřed mapovaného území nebo objektu; snímky se pořizují kolem celého objektu pod různými úhly záběru, tak aby se snímky mohly při zpracování vzájemně propojit;
- *úhel protnutí os záběru* se mění spolu s velikostí základny, tj. vzdáleností mezi stanovisky snímkování (přibližně platí $b_{min} = y/3$);
- vhodný *úhel protnutí promítacích paprsků* je $60-120^\circ$ (ideálně 90°), neměl by být menší než 30° (resp. větší než 150°);
- *ohnisková vzdálenost* (konstanta komory) má být pro všechny snímky stejná – u neměřických komor je třeba zvolit optické přiblížení (zoom) a již jej neměnit; pokud možno volíme krajní polohy (tj. minimální nebo maximální obrazový úhel); automatické ostření (autofokus) musí být vypnuté – volíme manuální režim, zaostříme ručně (nejlépe na nekonečno) a již nepřeostřujeme;

- ostrost snímků je zajištěna díky tzv. *hloubce ostrosti*; proto volíme raději vyšší clonové číslo a delší doby osvitů; vhodné je použít režim „priorita času“, nastavit clonu a kontrolovat doby osvitů; nejdelší přípustné expozice pro snímání z volné ruky jsou $1/60$ až $1/30$ s; pro delší doby osvitů je třeba použít stativ, jinak dojde k rozmazání snímku; dobu osvitů je v případě potřeby možné zkrátit nastavením vyšší citlivosti – tzn. více než 100 ISO (pozor na příliš velký šum na digitálním snímku v případě volby vysokých citlivostí, tj. více než cca 800 ISO);¹
- vhodné je používat *kalibrovanou komoru* – kalibrace může být provedena zpracováním snímků testovacího pole v předchozím projektu;
- pro umístění a orientaci modelu potřebujeme alespoň *tři vlíčovací body* o třech známých souřadnicích [X, Y, Z] rovnoměrně rozložené na objektu; vhodnější je nadbytečný počet bodů (4 až cca 8);
- pokud není třeba umístit objekt v souřadnicovém systému, lze určování souřadnic vlíčovacích bodů nahradit zaměřením jedné délky, která určí zpracovávanému modelu správný rozměr (přesnost určení této délky bude mít vliv na kvalitu celého vyhodnocení); možné je použít například výtyčku nebo jiný délkový etalon; pro orientaci modelu je vhodné zajistit také vodorovný nebo svislý směr (např. pomocí závěsu olovnice nebo opět svislou výtyčkou);
- vlíčovací body mohou být *přirozeně nebo uměle signalizované*;
- vhodné je signalizovat také tzv. *spojovací body* tak, aby byly viditelné na každém snímku – při vyhodnocení budou snáze identifikovatelné (body přirozeně signalizované může být obtížné na snímcích v dostatečném počtu rozpoznat); není třeba určovat měřením jejich geodetické souřadnice;
- pokud se uměle signalizují i *body podrobné*, může být na krátké vzdálenosti, v oblasti tzv. velmi blízké fotogrammetrie (cca do 3 m) vyhodnocení dosaženo při velmi vysoké přesnosti ($0,1$ až $0,01$ mm); signalizace se provádí reflexními terčky nebo světelnou stopou (např. pomocí tzv. stroboskopu);
- vybrané body je možné signalizovat pomocí *kódových terčů*, které budou při zpracování snímků rozpoznány automaticky včetně jejich čísla;



¹Velikost *hloubky ostrosti* závisí na ohniskové vzdálenosti (podle použitého objektivu), zvolené cloně (tj. světelnosti objektivu) a na vzdálenosti zaostřovaného objektu. Při zaostření na nekonečno budou ostře zobrazeny objekty v tzv. **hyperfokální vzdálenosti** a všechny vzdálenější. Její hodnotu lze vypočítat ze vzorce $h = (f^2/K \cdot u) + f$, kde f – ohnisková vzdálenost, K – clonové číslo, u – průměr rozptylného kroužku, který volíme $0,02$ - $0,03$ mm. Zaostřit lze také přímo na hyperfokální vzdálenost a potom budou ostře zobrazeny všechny objekty od poloviny její hodnoty až do nekonečna. Pokud chceme určit hloubku ostrosti pro libovolné zaostření, vypočteme hodnotu přední hranice ostrosti $a_p = h \cdot a / (h + a - f) = a \cdot f^2 / (f^2 + K \cdot (a - f) \cdot u)$ a zadní hranice ostrosti $a_z = h \cdot a / (h - a - f) = a \cdot f^2 / (f^2 - K \cdot (a - f) \cdot u)$, kde a – je vzdálenost zaostřovaného objektu. Postup lze také obrátit a na základě poloviční hodnoty hyperfokální vzdálenosti vypočítat pro zaostření až do nekonečna potřebné clonové číslo $K = f^2 / 2 \cdot a_p \cdot u$, kde a_p je vzdálenost nejbližších objektů, které mají být zobrazeny ostře. Při výpočtech je samozřejmě nutné dosazovat všechny hodnoty ve stejných jednotkách.

- pro zpracování snímků mohou být požadovány přibližné hodnoty prvků vnější orientace (např. v náčrtu zaznamenaná poloha stanovisek a směr os záběru), souřadnice stanovisek snímkování ale není třeba zaměřovat;
- do *náčrtu* zakreslujeme snímkový objekt, přibližnou polohu stanovisek snímkování, orientaci os záběru a umístění vlíčovacích bodů; pro přirozeně signalizované vlíčovací body je vhodné vyhotovit jejich detaily pro přesnou identifikaci při zpracování;
- změříme *kontrolní oměrné*: alespoň jednu délku mezi vlíčovacími body (pro kontrolu správnosti jejich souřadnic) a jednu délku mezi dalšími prvky na objektu (pro kontrolu měřítka výsledného modelu objektu);

➤ Vyhodnocení snímků

- dříve grafické, později již početní, dnes analytické (obecné početní) řešení na PC využívající *prostorovou projektivní transformaci* nebo pro snímky s neznámými prvky vnitřní orientace (tzn. neměřické snímky pořízené nekalibrovaným fotoaparát) *DLT – direktní lineární transformaci*; pokud chceme touto transformací při vyhodnocení dodatečně určit prvky vnitřní orientace, je nutné v terénu zaměřit *min. 6 VB*; obě transformace řeší přímý vztah mezi snímkovými a geodetickými souřadnicemi;
- získáme *prostorové geodetické souřadnice* jednotlivých bodů [X, Y, Z]
- nelze využít stereoskopický vjem – je rušen vlivem protínajících se os záběru;
- možné je pouze *bodové vyhodnocení* – podrobné body je nutné vyhledat a označit na min. dvou snímcích; musejí být dobře přirozeně signalizované; body bez přirozené signalizace (např. na zakřivených plochách) nelze na snímcích jednoznačně rozpoznat a vyhodnotit – jejich identifikace je bez stereoskopického vjemu obtížná;
- proces vyhledávání je možné pro uměle signalizované body automatizovat a snížit tak pracnost vyhodnocení;
- současně s bodovým vyhodnocením je možné vyhotovit vektorovou kresbu;

➤ Příklad postupu zpracování (analytické početní řešení)

a) Tvorba modelu

- vložení snímků do projektu;
- zadání spojovacích bodů na všech snímcích (min. 6 na každém); nemají známé souřadnice – nejsou to body vlíčovací;
- výpočet modelu a orientace snímků;
- možnost přidání dalších snímků a opakování výpočtu.

Výpočet se provádí *iterací* – postupným přibližováním ke správnému výsledku a zpřesňováním hodnot opakovaným výpočtem (jako vstupní hodnoty mohou být požadovány alespoň přibližná poloha stanovisek snímkování a orientace os záběru – např. z náčrtu).

b) Orientace modelu

- zadání vlíčovacích bodů (nebo alespoň jedné známé délky a směru);
- výpočet polohy, orientace a měřítko modelu (současně jsou určeny souřadnice stanovisek snímkování a orientace os záběru – tj. prvky vnější orientace v geodetickém systému souřadnic).

Souřadnice stanovisek se počítají ze známých souřadnic vlíčovacích bodů. Tento krok výpočtu je možné zjednodušeně vysvětlit jako *prostorové protínání zpět*.

c) Vyhodnocení podrobných bodů

- vyhledání a označení všech podrobných bodů na objektu (po zadání totožného bodu na dvou snímcích se na dalších zobrazí promítací paprsek pro usnadnění identifikace);
- současně s vyhodnocením bodů je možné vytvářet mezi podrobnými body vektorovou kresbu – vzniká drátová kostra modelu objektu.

Ze známých souřadnic stanovisek snímkování jsou určovány souřadnice podrobných bodů *prostorovým protínáním vpřed* promítacích paprsků řešeným pomocí snímků.

- **dostupný software:** *PhotoModeler* (Eos Systems, Kanada), *CDW* (Rollei Fototechnic, Německo), *V-STAR 3D* (Geodetic Systems, USA), *Insight 3d* (Analytical Graphics, USA), *iWitness* (Photometrix, Austrálie)

Některé programy využívají pro zpracování snímků pozemní fotogrammetrie současně metody průsekové i dvousnímkové – nejprve jsou na všech snímcích vyhledány s vysokou pravděpodobností totožné body (vzniká tzv. řídké mračno spojovacích bodů – *Sparse Point Cloud*) a na základě nich jsou metodou *průsekové fotogrammetrie* snímky orientovány – vzniká model (vyžadovány jsou vhodné úhly protnutí os záběru a promítacích paprsků). Následuje generování velkého množství podrobných bodů, které tvoří povrch snímaných objektů (tzv. husté mračno bodů – *Dense Point Cloud*), metodou obrazové korelace (automatické vyhledávání i nesignaizovaných totožných bodů). Tato metoda známá z *dvousnímkové fotogrammetrie* vyžaduje snímky s alespoň přibližně rovnoběžnými osami záběru, protože pro vyhledání velkého množství totožných bodů je mezi porovnávanými snímky vyžadován vysoký koeficient korelace (koeficient podobnosti obrazů). Pro tento způsob vyhodnocení je třeba vhodně kombinovat snímky s protínajícími se osami (pro vytvoření kvalitního a stabilního modelu) se snímky s osami téměř rovnoběžnými (pro generování podrobných bodů na povrchu objektu).² Tyto technologie jsou převzaty z metod letecké fotogrammetrie, pro které původně vznikly (digitální analytická aerotriangulace a automatický sběr dat pro tvorbu digitálního modelu terénu).

- **software pro tvorbu mračna bodů:** *VisualSFM* (Changchang Wu), *VripPack* (The Board of Regents of The University of Washington and the Board of Trustees of The Leland Stanford Junior University)

² Vhodná konfigurace pro splnění obou podmínek zahrnuje několik snímkových dvojic nebo celých řad snímků s rovnoběžnými osami záběru – vzájemně se ale osy záběru jednotlivých skupin snímků (dvojic nebo řad) musejí protínat pod vhodným úhlem.