

3.4. Jednosnímková pozemní fotogrammetrie

Středový průmět rovinného objektu (bez prostorového členění) je za předpokladu osy záběru kolmé k objektu shodný s jeho pravoúhlým průmětem (oba obrazy se mohou lišit pouze svým měřítkem a středový průmět je stranově a výškově převrácený – negativ). Pokud ale bude osa záběru šikmá, mají různá místa na snímku různé měřítko a vzniká tak perspektivní obraz (rovnoběžky se sbíhají).

$m_s = y/f = konst.$	$m_s \neq konst.$
----------------------	-------------------

Tato zkreslení způsobená středovým průmětem z roviny objektu do roviny snímku je možné odstranit metodou jednosnímkové fotogrammetrie – **překreslením snímku** (rovnoběžnost přímek je obnovena, zobrazení je v požadovaném měřítku a není stranově a výškově převrácené).¹

Pokud je ale objekt prostorově členěný (všechny body neleží v jedné rovině), projeví se chyby v poloze bodu – **radiální posuny**, které metodou jednosnímkové fotogrammetrie odstranit nelze. Body ležící mimo rovinu překreslení se posouvají ve směru od středu snímku k okraji. Velikost těchto posunů odvodíme z podobnosti dvou pravoúhlých trojúhelníků:



$$\frac{\Delta r}{\Delta y} = \frac{r'}{f}, \quad \Delta r = \frac{r'}{f} \cdot \Delta y$$

$$\Delta \bar{r} = \frac{\Delta r}{m_F}, \quad \Delta \bar{r} = \frac{r' \cdot \Delta y}{f \cdot m_F},$$

Δy – velikost výstupku, Δr – velikost radiálního posunu ve skutečnosti,
 r' – radiální vzdálenost obrazu bodu **P** od hlavního bodu (středu snímku),
 f – konstanta komory, $\Delta \bar{r}$ – velikost radiálního posunu na fotorámu,
 m_F – měřítkové číslo fotorámu

¹ Překreslení se také nazývá *rektifikace obrazu*.

Z rovnice je zřejmé, že velikost radiálního posunu závisí především na vzdálenosti bodu od středu snímku r' a velikosti výstupku Δy . Dále platí, že komory se širokoúhlými objektivy (kratší konstantou komory f) způsobují větší radiální posuny než komory s objektivy normálními.

Pokud má být rozhodnuto, zda je vhodné pro objekt s malým členěním použít jednosnímkovou fotogrammetrii, je třeba zjistit, jaká je maximální možná velikost výstupků na objektu (např. průčelí budovy), aby radiální posuny nepřekročily požadovanou přesnost. Rovnici upravíme na tvar:

$$\Delta y = \frac{\Delta \bar{r}}{r'} \cdot f \cdot m_F, \text{ potom pro maximální přípustný radiální posun v rovině fotonáplánu}$$

např. $\Delta \bar{r}_{\max} = 1 \text{ mm}$, pro maximální radiální vzdálenost bodů na snímku $r' = 100 \text{ mm}$, pro konstantu komory $f = 100 \text{ mm}$ a pro měřítkové číslo fotonáplánu $m_F = 100$ vychází maximální velikost výstupku $\Delta y_{\max} = 0,1 \text{ m}$.

Protože v jednosnímkové fotogrammetrii nelze radiální posuny odstranit, měli bychom alespoň zajistit, aby byl jejich vliv minimální: největší výstupky umísťujeme pokud možno do středu snímku a používáme objektivy s delší konstantou komory (menším obrazovým úhlem).²

➤ Práce v terénu – pořízení snímků

- pro snímkování lze použít analogové i digitální *měřické komory* (fototeodolity); v současné době jsou to ale především *digitální semiměřické* (např. *réseau*) a *neměřické komory*; lze používat automatické ostření a optické přiblížení obrazu (využívat digitální zoom nemá smysl);
- volíme raději menší *obrazový úhel* (tj. větší konstantu komory), takže stanoviště snímkování bude od objektu více vzdáleno, vzniknou ale menší zákryty za případnými výstupky, menší měrou se projeví vliv radiálních posunů a zkreslení objektivu budou také menší (zmenšení vlivu zkreslení má význam zvláště u neměřických komor – tj. fotoaparátů); volba obrazového úhlu ovlivní pouze vzdálenost snímkování nikoli rozlišení fotonáplánu, pokud bude snímkována stále stejná část objektu;
- u velkých objektů je možné pro dosažení návaznosti překreslených částí pořídit více snímků s částečným překrytem; každý snímek (resp. rovina překreslení) musí mít vlastní vlíčovací body;
- *osa záběru* má být alespoň přibližně kolmá k rovině snímkaného objektu (zkreslení rovnoběžek na snímku vlivem perspektivy pak nebude příliš velké);
- pokud se na objektu vyskytuje výrazný výstupek, je vhodné umístit jej do středu snímku (ve středu snímku jsou radiální posuny minimální);
- volba *stanoviště snímkování* je dána především vzdáleností od objektu, která má vliv na rozlišení výsledného fotonáplánu (rozměr pixelu ve skutečné velikosti v rovině objektu); polohu stanoviště a orientaci osy záběru není třeba určovat měření ani zakreslovat do náčrtu;

² V zástavbě může často nastat situace, kdy před objektem není dostatek prostoru a tento požadavek nemůže být splněn – použije se objektiv širokoúhlý.

- v terénu je třeba zaměřit *minimálně 4 vlíčovací body* ležící v rovině překreslení; běžně ale volíme nadbytečný počet (8-12 bodů);
- určování souřadnic vlíčovacích bodů lze nahradit zaměřením *sítě délek* (4 strany čtyřúhelníku a alespoň jedna úhlopříčka); síť délek je možné ještě zjednodušit na pouze dvě měřené délky ve svislém a vodorovném směru (v tomto případě je však geodetické měření bez kontroly); pokud je možné zajistit kolmost osy záběru k rovině objektu, lze měřit pouze jednu délku pro určení měřítka fotoplánu (vzniká ale riziko chyb, které nebude možné při zpracování snímku zjistit); ve všech třech případech bez měření vlíčovacích bodů je vhodné zajistit také vodorovný nebo svislý směr, který se zobrazí na snímku (např. jedna z délek by měla být ve svislém směru nebo použijeme závěs olovnice);
- do schématického *náčrtu* objektu zakreslíme umístění vlíčovacích bodů nebo sít měřených délek a kontrolní oměrné (pro kontrolu výpočtu souřadnic vlíčovacích bodů a pro kontrolu přesnosti výsledného fotoplánu); při použití přirozené signalizace doplníme ke každému bodu jeho detail s nejbližším okolím

➤ Vyhodnocení snímků

- při vyhodnocení řešíme vztah dvou rovin (středový průmět z roviny na rovinu) – roviny snímku a roviny mapy (fotoplánu);
 - pro vztah mezi fotoplánem a snímek platí tzv. **Pappova věta** o dvojpoměru čtveřice bodové: dvojpoměr délkových úseků mezi body na jedné přímce se zachovává;
 - vyhodnocení (překreslení snímku) se dříve provádělo na opticko-mechanických **překreslovačích**,³ v současné době se provádí **kolineární transformace rastru** – tj. digitální překreslení snímku na počítačích (pokud nebyly snímky pořízeny jako přímodigitální, jsou digitalizovány druhotně skenováním); transformace mění polohu (souřadnice) jednotlivých pixelů v digitálním obrazu;
 - výsledkem překreslení je **fotoplán**; často se doplňuje čárovou kresbou a popisem (provádí se vektorizace fotoplánu);
 - z překresleného snímku získáme jen polohu bodů v rovině fotoplánu; prostorové členění zanedbáváme;
 - v případě objektu členěného do více prostorových úrovní lze provést **překreslení po vrstvách**; každá vrstva (rovina překreslení) musí mít vlastní vlíčovací body a překresluje se samostatně;
 - u velkých objektů se fotoplán sestavuje spojením více samostatně překreslených a maskováním oříznutých snímků – vzniká **fotomozaika**;
 - jednosnímková pozemní fotogrammetrie se používá především pro zhotovování fotoplánů průčelí prostorově nečleněných historických budov
- **dostupný software:** *Kokeš* (Gepro, ČR), *TopoL* (TopoL Software, ČR), *SIMphoto* (freeware, Ing. David Čížek, LFGM, Fakulta stavební ČVUT Praha), *MSR* (Rollei Fototechnic, Německo), *MicroStation - I/RAS C* (Bentley, USA)

³ Čočkovou rovnici pro zajištění ostroty obrazu v celé ploše překresleného snímku řeší *inverzor*, *průsečnicovou podmínku* pro zachování jedné společné průsečnice roviny snímku, průmětny a objektivu řeší *Carpentierovo zařízení*. Úkolem překreslení bylo pomocí tzv. *stupňů volnosti* sjednotit ze snímku promítané obrazy vlíčovacích bodů s jejich polohou na *vlíčovacím podkladu* (průmětně).

Na principu jednosnímkové fotogrammetrie jsou založeny dvě speciální metody:
metoda světelných řezů a zákres objektu do snímku:

➤ **metoda světelných řezů**

- používá se pro zaměřování řezů (příčných profilů) chodeb, tunelů, kolektorů, štol a jiných tmavých prostor (např. jeskyní);
- výbava pro snímkování: kříž se zábleskovým zařízením a čtyřmi vlíčovacími body na koncích ramen (místo speciálního zábleskového zařízení lze použít rotační laser ve svislé rovině), postačuje neměřická fotografická komora – digitální fotoaparát;
- pro překreslení snímků se použije známá poloha (souřadnice) vlíčovacích bodů uměle osvětlených během expozice;
- překreslené profily slouží například pro dokumentaci rozvodů inženýrských sítí, výpočet kubatur nebo určování průjezdnosti tunelů

➤ **zákres objektu do snímku**

- používá se pro vizualizaci (znázornění) projektu stavebního objektu do prostoru budoucí stavby;
- je třeba pořídit měřický snímek se známými prvky vnitřní i vnější orientace (středový průmět, kterým vzniká obraz na snímku, je přesně definovaný, známá je také poloha stanoviště, odkud byl snímek pořízen, a orientace osy záběru);
- ve stejném středovém průmětu, ze stejného místa a se stejně orientovanou osu promítání se vykreslí středový průmět objektu (dříve graficky v současné době na počítači, např. ve vhodném CAD systému);
- takto získaná perspektiva se vloží do snímku (podle jeho rámových značek) a provede se retuš tak, aby vznikl realistický pohled na projektovanou stavbu ve skutečném prostředí;
- vizualizace slouží k prezentaci navrhované stavby pro veřejnost nebo pro investora stavby