

3.2. Postup prací v pozemní fotogrammetrii¹

1. Přípravné práce

a) vyhledání dostupných podkladů (starší mapy a plány, fotografie, jiná dokumentace) a geodetických údajů o bodovém poli

b) volba metody – uvažujeme:

- přesnost metody
- časovou náročnost
- počet a kvalifikaci pracovníků
- přístrojové vybavení
(komora, vyhodnocovací stroje a systémy, výstupní zařízení – např. tiskárny)
- ekonomické hledisko (materiál, osoby, náklady na provoz, zisk)
- bezpečnost práce (práce na stavbách, v lomech, ve výškách, apod.)

Jednosnímková fot. – umožňuje jednoduché a rychlé určení polohy v rovině. Prostorové členění způsobuje chyby v poloze bodů. Výsledkem vyhodnocení je fotoplán, nad kterým lze následně provést vektorizaci.

→ Vhodná pro vyhodnocení rovinných průčelí budov nebo jejich částí.

Průseková fot. – umožňuje určení polohy bodů v prostoru bez použití umělého stereoskopického vjemu. Lze dosáhnout vysoké přesnosti určení uměle signalizovaných bodů na krátké vzdálenosti. Identifikac nesignalizovaných bodů na více snímcích může být obtížná. Veškerá kresba musí být rozložena na jednotlivé body. Výsledkem vyhodnocení jsou prostorové souřadnice bodů, vektorová kresba (tzv. drátový model) nebo model objektu včetně povrchů.

→ Vhodná pro vyhodnocení menších prostorově členěných stavebních objektů s dostatkem přirozeně signalizovaných bodů.²

Dvousnímková fot. – umožňuje určení polohy v prostoru s využitím umělého stereoskopického vjemu s vysokou přesností i na větší vzdálenosti (náročná na použité technologie a vybavení, dosah 300-500 m).

Stereoskopický vjem usnadňuje identifikaci bodů na snímcích a umožňuje vyhodnocovat i prostorové křivky.

Výsledkem vyhodnocení jsou prostorové souřadnice jednotlivých bodů nebo vektorová kresba.

→ Vhodná pro vyhodnocení prostorově členěných objektů s nepravidelnými tvary nebo pro mapování nepřístupného terénu.

¹ Uvedený postup platí především s ohledem na využití dvousnímkové pozemní fotogrammetrie. Při použití ostatních metod (jednosnímkové nebo průsekové) není třeba přesně určovat prvky vnější orientace (polohu komory na stanovisku, orientaci os záběru a stočení snímku).

² Při použití velmi blízké fotogrammetrie (cca do 3 m) lze pro uměle signalizované body dosáhnout submilimetrové přesnosti.

	<i>Jednosnímková fot.</i>	<i>Průseková fot.</i>	<i>Dvousnímková fot.</i>
<i>Lze použít jednoduché vybavení</i>	✓	✓	✗
<i>Potřeba zaměření vlíčovacích bodů</i>	✗	✗	✓
<i>Určení polohy bodů v prostoru</i>	✗	✓	✓
<i>Využití umělého stereoskopického vjemu</i>	✗	✗	✓
<i>Potřeba použít měřickou komoru</i>	✗	✗	✓
<i>Práce vyšší přesnosti a na velké vzdálenosti</i>	✗	✗	✓

c) volba vhodného typu měřické komory

Podle zvolené metody, požadované přesnosti a vzdálenosti objektů volíme komoru **měřickou** (známé prvky vnitřní orientace, možnost měřit nebo nastavit prvky vnější orientace, vysoká vnitřní přesnost snímků), **semiměřickou** (fotoaparáty upravené a kalibrované výrobcem pro použití ve fotogrammetrii) nebo **neměřickou** (kvalitní fotoaparáty, např. digitální zrcadlovky).

Velikost konstanty komory (resp. ohniskové vzdálenosti) volíme opět podle požadované přesnosti a vzdálenosti objektů: pro práce vyšší přesnosti a na větší vzdálenosti **delší konstanta komory** (tzn. menší obrazový úhel), pro větší objekty a krátké vzdálenosti (např. při omezeném prostoru před objektem) **menší konstanta komory** (tzn. větší obrazový úhel).

Dále zvolíme **formát a orientaci snímku**, resp. rozměr a rozlišení snímku v hodnotách pixelů. **Rozlišení snímku**, tj. velikost jednoho pixelu digitálního obrazu ve skutečné velikosti na snímaném objektu lze vypočítat ze vzorce

$$r = m_s \cdot r' = s / f \cdot r',$$

kde m_s – měřítkové číslo snímku, s – vzdálenost objektu od místa snímkování, f – ohnisková vzdálenost objektivu (resp. konstanta komory), r' – velikost jednoho čidla na snímači.

Protože poslední veličinu často neznáme, lze rozlišení jednoduše odhadnout tak, že rozměr celé scény snímku ve skutečnosti (tj. šířku záběru), vydělíme počtem pixelů digitálního snímku v jedné řádce (tj. šířkou snímku v pixelech).

	<i>Měřická komora</i>	<i>Semiměřická komora</i>	<i>Neměřická komora (fotoaparát)</i>
<i>Známé prvky vnitřní orientace</i>	✓	✓	✗
<i>Potřeba odstraňovat vliv zkreslení objektivu</i>	✗	✓	✓
<i>Nastavení nebo měření orientačních úhlů</i>	✓	✗	✗
<i>Práce vyšší přesnosti na velké vzdálenosti</i>	✓	✗	✗

Shrnutí:

Na zvolené metodě závisí počet snímků pořízených v terénu a na typu použité komory možnost přesné orientace os záběru (nastavení úhlových prvků vnější orientace):

<i>Metoda</i>	<i>vhodná komora</i>	<i>nejčastější použití</i>
<i>Jednosnímková</i>	měřická, semiměřická i neměřická; při omezeném prostoru před objektem širokoúhlé objektivy	málo členitá průčelí stavebních objektů
<i>Dvousnímková</i>	klasické měřické komory (potřeba orientace os záběru); objektivy s normálním nebo malým úhlem záběru (pro vzdálenější objekty)	prostorově členěné objekty; přesné mapovací práce především na větší vzdálenosti;
<i>Průseková</i>	semiměřické (např. réseau) nebo neměřické komory	menší prostorově členěné stavební objekty s dostatkem přirozeně signalizovaných bodů (jen bodové vyhodnocení) a pouze na kratší vzdálenosti
<i>Digitální</i>	všechny typy – podle požadované přesnosti a vzdálenosti objektů	mapovací práce, dokumentace památkových, stavebních a jiných objektů, využití v průmyslu

2. Práce v poli (v terénu)

a) rekognoskace území nebo objektu

- volba stanovisek fotografování nebo fotogrammetrických základů a orientace os záběru – vhodné je volit tyto možnosti:

základnu rovnoběžnou s objektem – zajištění stejných měřítek obou snímků;

normální případ ($\varphi = 0$) – po odstranění vertikální paralaxy bude její hodnota nulová v celé ploše snímku (při přesunu měřické značky nezaniká po celou dobu vyhodnocení stereoskopický vjem)

vodorovné osy záběru ($\omega = 0$) – vzniká perspektivou nezkreslený obraz (tzn. neprojeví se sbíhavost rovnoběžek ležících v rovině kolmé na osu záběru); je tak umožněno snadné vedení měřické značky při vyhodnocení (pokud je třeba, je vhodné využít zvýšená stanoviště)

nepotočené snímky ve vlastní rovině ($\kappa = 0$) – protože odpovídající si spojnice rámových značek jsou na obou snímcích vzájemně rovnoběžné, relativní (tj. vzájemná) orientace snímků před vyhodnocením je snadná; současně se nezměňuje velikost překrytové části snímků

Pro určení vhodné *délky základny* ***b*** vycházíme z tohoto vztahu:

$$b_{\min} = y_{\max} \cdot \frac{10}{f \text{ [mm]}} < b < y_{\min} \cdot \frac{40 \text{ až } 50}{f \text{ [mm]}} = b_{\max},$$

kde: ***b_{min}*** a ***b_{max}***...nejkratší a nejdelší možná délka základny

y_{max} a ***y_{min}*** ...největší a nejmenší vzdálenost předmětů měření před komorou
f ...konstanta komory

Hodnota **10** ve vztahu pro nejkratší možnou základnu ***b_{min}*** vychází z předpokládané střední chyby určení prostorové souřadnice ***m_y***.³ Současně se zmenšující se základnou klesá přesnost vyhodnocení především pro vzdálené předměty (tj. pro ***y_{max}***).

Hodnoty **40 až 50 mm = *p_{max}*** ve vztahu pro nejdelší možnou základnu ***b_{max}*** jsou maximální horizontální paralaxy, při kterých je lidské oko ještě schopné ze dvou

³ Střední chyba určení prostorové souřadnice $m_y = \frac{y^2}{b} \cdot \frac{m_p}{f}$, kde ***m_p*** je předpokládaná střední chyba měření horizontální paralaxy.

Odtud: $b_{(\min)} = y_{(\max)} \cdot \frac{y}{m_y} \cdot \frac{m_p}{f}$, kde $\frac{y}{m_y}$ je převrácená hodnota předpokládané relativní přesnosti

$\frac{m_y}{y} = \frac{1}{1000}$ (zvětšení vzdálenosti předmětu o 1 m znamená pokles přesnosti souřadnice ***y*** o 1 mm).

Dále předpokládáme $m_p = 0,01 \text{ mm}$, potom: $b_{\min} = y_{\max} \cdot \frac{1000}{1} \cdot \frac{0,01}{f \text{ [mm]}} = y_{\max} \cdot \frac{10}{f \text{ [mm]}}$.

obrazů vytvořit umělý stereoskopický vjem. Se zvětšující se základnou velikost paralax roste a současně pro blízké předměty (tj. pro y_{min}) hrozí zobrazení mimo oblast překrytu snímků.

Pokud do nerovnic dosadíme hodnotu konstanty komory f , je možné vyjádřit tzv. **základnový poměr** $b/y_{stř}$, který udává závislost vhodné délky základny na střední vzdálenosti předmětu měření před komorou $y_{stř}$.

Např. pro komoru s konstantou $f = 200 \text{ mm}$ platí:

$$b_{min} = y_{max} \cdot \frac{1}{20} < b < y_{min} \cdot \frac{1}{4} = b_{max}, \text{ takže základnový poměr bude v rozmezí:}$$

$$\frac{1}{20} < \frac{b}{y_{stř}} < \frac{1}{4} \quad \text{nebo} \quad \frac{b}{y_{stř}} = \frac{1}{20} \text{ až } \frac{1}{4}$$

Pomocí základnového poměru lze snadno zjistit vhodnou délku základny takto:

$$\frac{1}{20} \cdot y_{stř} < b < \frac{1}{4} \cdot y_{stř} \quad \text{nebo} \quad b = \frac{1}{20} \cdot y_{stř} \text{ až } \frac{1}{4} \cdot y_{stř}$$

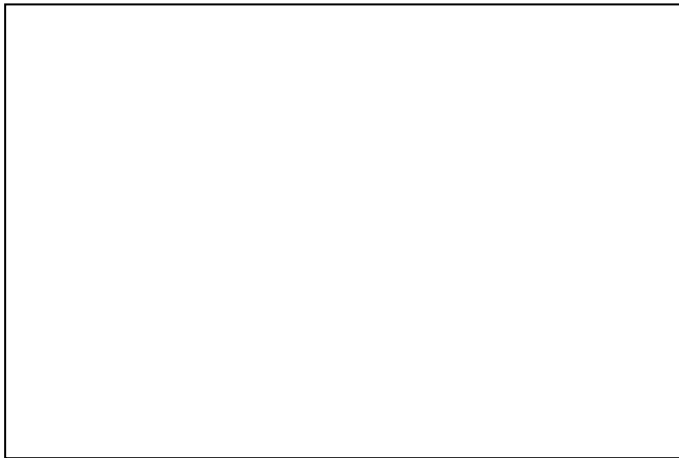
- maximální vzdálenost snímaného předmětu je cca 500 m
- převýšení mezi oběma stanovisky nemá přesáhnout hodnotu:

$$\Delta h_{AB} = 1/4 \text{ až } 1/5 \cdot b,$$

aby nevznikaly příliš velké vertikální paralaxy, které bude nutné před vyhodnocením odstranit

- provede se dočasná stabilizace pro geodetické zaměření stanovisek základny
- volba směru os záběru – normálního, vlevostočeného nebo vpravostočeného případu (s využitím hledáčku komory) a volba natočení formátu snímku na šířku nebo na výšku (dříve byl využíván také posun objektivu komory)
- fotogrammetrické základny mohou být samostatné, mohou na sebe navazovat (mají jeden společný bod) nebo je použita jedna základna pro případ normální, vlevo i vpravo stočený (běžný úhel stočení je 35° nebo volíme libovolnou hodnotu až do 50°)
- překrytové části sousedících základen na sebe musí navazovat pro zachování návaznosti vyhodnocení (viz obrázky)
- určení množství potřebného fotografického materiálu (tj. počtu snímků)
- volba způsobu geodetického zaměření vlíčovavých bodů

- vyhotovení situačního náčrtu (rozmístění stanovišek a základen, směry os záběru, schematický zákres zaměřovaného objektu nebo terénu a následně též umístění vlíčovacích bodů – pro přirozeně signalizované vlíčovací body je vhodné vyhotovit i detaily se zákresem nejbližšího okolí)



b) volba a signalizace vlíčovacích bodů

- vždy volíme podle zvolené metody nadbytečný počet přirozeně nebo uměle signalizovaných vlíčovacích bodů vhodné velikosti
- musí dobře ohraničovat a pokrývat celý zaměřovaný prostor
- musí ležet v překrytovém území na objektu nebo terénu (pro případ jednosnímkové fotogrammetrie v rovině překreslení)

c) snímkování

- postavení stativů na bodech základny, centrace, horizontace fotokomory a záměrného terče v třínožkách
- změření výšky objektivu komory a terče nad stanoviškem
- orientace osy záběru – tj. nastavení orientačního úhlu φ (přesnost na 0,01^g),
- zaostření (pro mapovací práce je časté pevné zaostření měřických komor na ∞), určení expozice (pomocí expozimetru), nastavení clony a expozice
- kontrola záběru na matnici (případně v hledáčku), nastavení rámových údajů o snímku (A-levé nebo B-pravé stanoviško, normální nebo stočené případy L-vlevo, R-vpravo, číslo snímku nebo číslo základny)
- uzavření závěrky, založení kazety místo matnice, přitlačení snímku ke značkovému rámu
- kontrola horizontace a orientace komory
- **expozice**
- opětovná kontrola horizontace a orientace komory
- odtlačení snímku, vyjmutí kazety nebo přetočení filmu
- záměra komory a terče (co nejdříve – aby nedošlo ke změně osvětlení a stínů)
- opakování postupu na druhém stanovišku
- zápis a kontrola všech údajů o pořizovaných snímcích (např. do vhodného formuláře)

d) geodetické zaměření stanovisek, základny a vlíčovacích bodů

- zaměření provádíme dvakrát, nezávisle, s dvojnásobnou přesností než je požadovaná přesnost vyhodnocení
- souřadnice určujeme pouze pro levé stanovisko a pro vlíčovací body
- délku základny měříme alespoň dvakrát s třikrát vyšší relativní přesností, než je požadovaná přesnost vyhodnocení (většinou na *mm*)
- určení kontrolních oměrných (např. mezi zaměřenými VB – pro kontrolu měření a výpočtu souřadnic VB a mezi podrobnými body bez geodetického zaměření – pro kontrolu podrobného fotogrammetrického vyhodnocení)
- geodetické doměření zakrytých prostor (tj. míst, která nebude možné fotogrammetricky vyhodnotit)
- dokončení a kontrola náčrtu

Body *c)* a *d)* lze zaměnit podle aktuálních světelných podmínek – pro snímkování je vhodné osvětlení rozptýleným světlem dostatečné intenzity bez ostrých stínů. Při slunečném dni nejlépe mezi 10. až 15. hodinou, kdy jsou vržené stíny nejkratší.

3. Kancelářské práce

a) vyvolání (případně také skenování) snímků nebo jejich zobrazení a korekce na počítači; vyhotovení kontaktních kopií na film pro vyhodnocení a kopií na papír s vyznačením vlíčovacích bodů nebo totéž provedeme na výtiscích digitálních snímků

b) výpočet souřadnic a výšek stanovisek a vlíčovacích bodů z geodetického měření (dvojím nezávislým způsobem); uložení protokolu o výpočtu; vyhotovení seznamu souřadnic

c) fotogrammetrické vyhodnocení (podle zvolené metody)

d) editace a prezentace výsledků vyhodnocení

- tvorba a editace vektorové kresby na základě vyhodnocených bodů v CAD systémech;
- tvorba DMT (digitálního modelu terénu), případně také generování vrstevnic
- tvorba 3D modelů, vytváření pohledů, animací a průletů
- tvorba fotoplánu (vytváření mozaiky překreslených snímků)
- tisk (čárová kresba nebo plně barevný plošný tisk)

e) vyhotovení technické zprávy, která obsahuje:

- dobu pořízení snímků a jejich vyhodnocení
- použité přístroje a pomůcky (především komory a vyhodnocovací techniku)
- jména vyhodnocovatelů
- počty vyhodnocených bodů a posouzení přesnosti
- přílohy: kopie a zvětšeniny snímků (nebo paměťová média s digitálními snímky a jejich výtisky), záznamy měření, náčrtů a detaily z terénu, výpočetní protokoly, seznamy souřadnic vlíčovacích a vyhodnocených podrobných bodů, výsledky vyhodnocení (výkresy, fotoplány a jejich výtisky)