

## 4.6. Digitální ortofoto a tvorba DMT

V současné době je **digitální ortofoto** nejvíce žádaným a užívaným produktem letecké fotogrammetrie. Stalo se základní datovou vrstvou většiny geografických informačních systémů (GIS), je součástí státního mapového díla a slouží pro aktualizaci ZABAGED a tedy i základních map středního měřítka. **Digitální modely terénu** jsou výchozím způsobem uložení výškopisných dat v digitální podobě. Mohou být vytvářeny odvozením ze stávajících map, na základě souřadnic a výšek geodeticky určených bodů, fotogrammetricky nebo pozemním a leteckým laserovým skenováním.

### ➤ princip metody digitálního ortofota

Na základě známé polohy a výšky každého pixelu digitálního snímku v geodetickém systému souřadnic ( $X, Y, Z$ ) vyjádřené v podobě digitálního modelu terénu (DMT) odstraňujeme radiální posuny pomocí **nepřímé projektivní transformace rastru** – hledáme polohu a číselnou hodnotu pixelu na původním snímku pro jeho novou polohu ve vznikajícím **ortofotosnímku**. Docílíme převodu středového průmětu snímku na pravoúhlé promítání mapy – **ortogonalizace snímku**.



Pro tvorbu ortofota je třeba mít k dispozici **digitální model terénu – DMT**, který v daném území buď již existuje, nebo musí být vytvořen:

- pokud již DMT existuje a snímky mají určené prvky orientace v prostoru (např. pomocí analytické aerotriangulace), je možné ihned pokračovat *nepřímou projektivní transformací jednotlivých snímků* (vznikají ortofosnímky)
- nebo
- pokud DMT není k dispozici, je třeba nový DMT vytvořit zpracováním stereoskopické dvojice snímků – z měřených snímkových souřadnic a horizontálních paralax je vypočtena poloha i výšky pixelů měřického snímku v geodetických souřadnicích nad srovnávací rovinou. Digitální model terénu je možné vytvořit analytickým fotogrammetrickým mapováním:

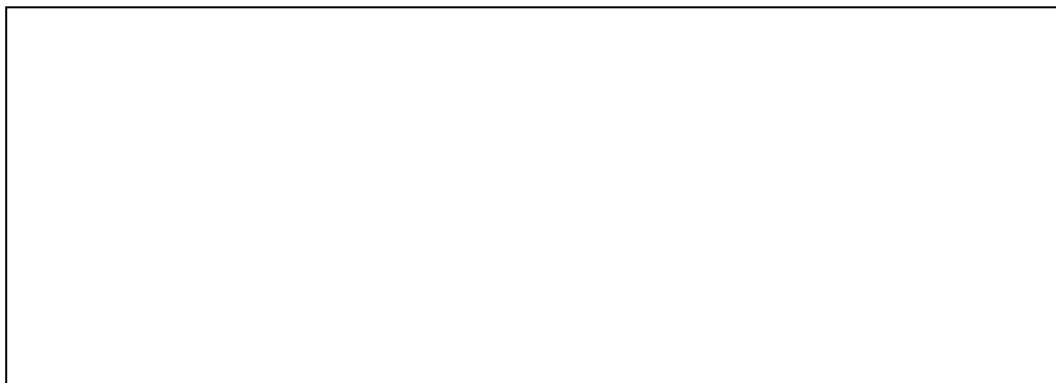
a) *na analytických strojích s poloautomatickým sběrem dat*

Měřická značka je polohově automaticky nastavována ve zvolené pravidelné síti bodů (v tzv. gridu) a vyhodnocovatel ji pouze umísťuje prostorově na terén.

b) *na digitálních fotogrammetrických stanicích s automatickým sběrem dat*

Měření snímkových souřadnic a paralax provádí samočinně počítač nalezením totožných bodů na obou digitálních snímcích pomocí **obrazové korelace** (matematicky vyjádřená podobnost dvou obrazů). Vyhledávání totožných bodů se neprovádí pro celý obraz najednou, ale v posouvajícím se okénku velikosti několika pixelů.<sup>1</sup> Na velikosti okénka závisí rychlost zpracování DMT, kterou lze u vzájemně orientovaných snímků zvýšit využitím *epipolární transformace*, tzn. převedením snímků na normální případ – vertikální paralaxy jsou potom nulové a totožné body na obou snímcích leží v jedné řádce. Výpočet korelace, určení souřadnic, horizontální paralaxy a výšky bodu se neprovádí pro každý pixel obrazu, ale v zadaném kroku (tzv. grid DMT), který se volí od jednoho po desítky metrů. Tím se také zvyšuje rychlost výpočtu. Výšky mezilehlých bodů se mohou doplnit interpolací.

Automaticky vytvořený DMT musí být ručně editován vyhodnocovatelem – za použití prostředků pro stereovidění se opravují **chybně umístěné body**, tak aby byl zachycen skutečný průběh terénu (tj. digitální model reliéfu – DMR). Při automatické tvorbě obrazovou korelací je totiž model terénu generován i přes stavby, stromy, jinou vegetaci a další objekty. Současně s tím dochází interpolací výšek mezilehlých bodů k vyhlazení takto způsobené skokové změny výšky.<sup>2</sup>



Pro jednoduté plochy a plochy se stejnoměrným vzorem (vodní hladina, místa ve stínu, zasněžené oblasti, rovnoměrně osázená pole) **korelační techniky selhávají**, protože vzájemně podobných bodů je na levém a pravém snímku velké množství a nelze spolehlivě určit, které z nich jsou ve skutečnosti totožné.

<sup>1</sup> Velikost vyhledávacího okénka je volena v závislosti na největším převýšení v terénu, tj. největší horizontální paralaxě na snímcích.

<sup>2</sup> Pokročilé algoritmy pro tvorbu DMT obsahují filtry, které tyto chyby do značné míry odstraňují.

Na základě DMT vytvořeného jedním z uvedených způsobů provedeme **transformaci jednotlivých snímků** – transformovat lze jen oblast překrytového území, kde DMT vznikl. Na takto překreslených snímcích je možné určovat tvar, velikost a polohu objektů stejně jako na mapě. Nazývají se **ortofotosnímky** (tj. transformací ortogonalizované snímky).

Ortofotosnímky se spojují do větších celků (např. podle kladu mapových listů).<sup>3</sup> Nejprve se provádí **maskování** (linie řezu se vedou především po liniových prvcích) a následně se vytváří **mozaika** – vzniká **digitální ortofoto** dříve nazývané také **ortofotoplán**. Na stycích snímků je třeba vyrovnat kontrasty a barevné rozdíly. Pokud se ještě doplní vektorová kresba (obsah katastrální mapy, vrstevnice apod.) a popis mapy vzniká **ortofotomapa**.

**Rozlišení** výsledného ortofota závisí především na měřítku pořizovaných snímků (tzn. na konstantě použité komory a na výšce letu). Bývá nižší než u původních snímků. Udává se v jednotkách GSD (*Ground Sample Distance*) – velikost jednoho pixelu ve skutečnosti na zemském povrchu (resp. vzdálenost středů dvou sousedních pixelů). **Polohová přesnost** závisí zejména na kvalitě použitého modelu terénu. Nejčastěji se udávána hodnotou  $0,1\%$  z výšky letu  $h$ . Většinou se pohybuje v rozmezí jeden až trojnásobku rozlišení ortofota.

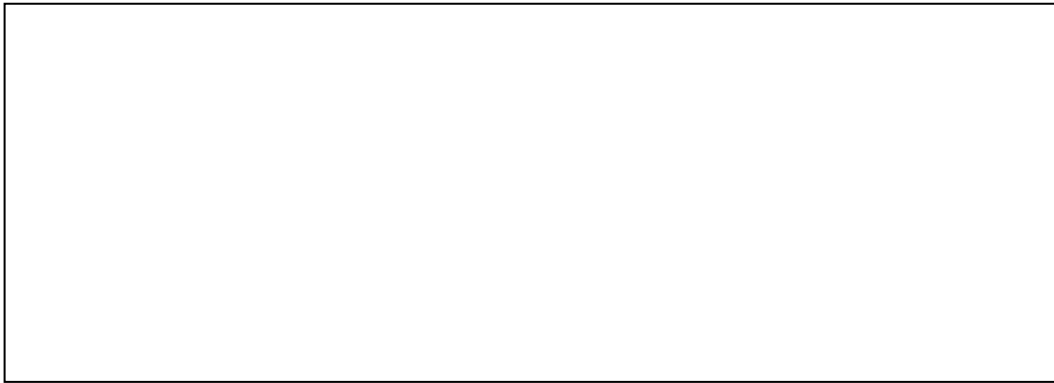
#### ➤ problémy tvorby digitálního ortofota

Zejména u vysokých budov vyvstává **problém radiálních posunů střech** (střechy neleží nad základem budov). Radiální posuny jsou totiž odstraněny pouze v úrovni zadaného modelu terénu (v tomto případě modelu reliéfu – DMR) a správně překreslen bude jen průnik objektu s terénem. Stěny a střechy budov zůstávají vlivem středového promítání snímku perspektivně zkreslené. Tato chyba se nejvíce projeví na okrajích snímků, kde jsou radiální posuny největší. Velmi pracná a nákladná ruční editace, při které se posouvají střechy nad půdorysy budov jednotlivě, se v současné době již nepoužívá. Vhodnějším řešením je vytvořit doplněním modelu reliéfu o model zástavby digitální model povrchu – DMP a transformaci snímků provést s ohledem na výškové členění budov. Na pravouhlý průmět je tak převeden spolu s terénem i obraz budov a radiální posuny střech jsou odstraněny. Vzniká **pravé ortofoto** (*true orthophoto*), které je tímto způsobem vytvářeno především pro velká měřítka (1 : 5000 a větší).<sup>4</sup>

V původním místě zobrazení střech tím ale vznikají prázdná místa a musíme řešit **problém zakrytých prostor**. Do prázdných pixelů po těchto prostorech může být vygenerován **rovnoměrný šum** (provedena retuš) nebo jsou převzaty **části ze sousedních snímků** v řadě – při mapování v intravilánu většinou mají snímky podélný překryt 80% a jeden bod je zobrazen na více snímcích z různých úhlů pohledu (případně je možné využít snímků se šikmou osou záběru).

<sup>3</sup> Ortofoto ve státním mapovém díle je poskytováno v kladu Státní mapy 1:5000 (SM 5) – tj. po mapových listech 2 x 2,5 km.

<sup>4</sup> Terminologie v oblasti digitálních modelů terénu není ustálená v naší republice ani celosvětově. Nejčastější pojetí je toto: **DMT** – *digitální model terénu* (angl. **DEM** – *digital elevation model*) je obecný pojem zahrnující obě následující varianty. **DMR** – *digitální model reliéfu* (angl. **DTM** – *digital terrain model*) vyjadřuje pouze zemský povrch bez budov a vegetace. **DMP** – *digitální model povrchu* (angl. **DSM** – *digital surface model*) zahrnuje zemský povrch včetně budov a vegetace.



K dalším rozdílům v poloze, které je třeba opravit, často dochází u mostů. Jejich poloha je totiž také nad digitálním modelem reliéfu (podobně jako u střech), a proto jsou **mosty radiálně posunuté** nad údolím. Chyby v poloze jsou zjevné především v případě, kdy je každá část mostu převzata z jiného snímku – poloviny mostu na sebe potom nenavazují.

➤ **integrovaná metoda** – diferenciální překreslení snímku

V letech 1950-1975 se ortofoto vytvářelo v rámci **integrované metody** opticko-mechanicky, **diferenciálním překreslím snímku** (překreslením po částech). V závislosti na přejíždění měřickou značkou analogové stroje po stereoskopickém modelu v jednotlivých profilech, tedy na základě změny výšky terénu (obdoba DMT), bylo plynule měněno měřítko překreslovaného levého snímku. Snímek byl postupně kopírován pomocí malé štěrbin, která se posouvá v systému navazujících řádek. Výstupem výškopisu (na kreslicím stole) byly segmenty vrstevnic (vznikají tzv. bodování) nebo profilové šrafy, na jejichž základě bylo možné vrstevnice vytvořit. Diferenciální překreslovač se připojoval k analogovému vyhodnocovacímu stroji:

- **Topocart + Ortophot (Zeiss)**

V ČR byla integrovaná metoda využita ještě pro tvorbu *Základní mapy velkého měřítka* (ZMVM) v 80. letech 20. stol. v extravilánu a intravilánu menšího významu – diferenciálně překreslený snímek sloužil jako polohopisný podklad pro 5. třídu přesnosti (střední souřadnicová chyba 0,50 m). Stejná metoda se používala také pro tvorbu tematických nebo účelových map (*JŽM – Jednotná železniční mapa 1:1000 – tratě mezi stanicemi*).