

12. VYHODNOTENIE DIGITÁLNYCH LETECKÝCH SNÍMOK

Predovšetkým si musíme uviesť čo je výsledkom vyhodnotenia digitálnych leteckých snímok. Výsledkom vyhodnotenia je **ortofotomapa**, produkt ortogonálneho prekreslenia leteckých snímok. Ortogonálne prekreslenie (ortogonalizácia) je riešená programovou procedúrou v PC. Na ortogonalizáciu obsahu snímok je potrebné vyhodnotiť digitálny model reliéfu (DMR). Vyhodnotenie DMR prebieha poloaufomaticky. Automatické snímanie reliéfu je dopĺňané o hrany fotogrametrickým vyhodnotením. Programovo vyriešené vrstevnice na DMR v spojení s ortofotomapou, doplnenou o sekčné čiary a popis, predstavujú finálny produkt vyhodnotenia digitálnych leteckých snímok.

Digitálne vyhodnotenie snímok využíva prvky automatizácie. Výrazným automatizačným prvkom je digitálna obrazová korelácia, ktorou sa rieši vzájomná orientácia snímok. Digitálna fotogrametria umožňuje spájať digitálne snímky do blokov pomocou digitálnej automatickej aerotriangulácie. Prestávame pracovať s jednotlivými snímkami. Nastupuje práca s blokmi snímok, v ktorých určujeme prvky absolútnej orientácie každej snímky v bloku.

12.1 Práca s digitálnym obrazom snímky

Digitálna fotogrametria pracuje s digitálnym obrazom snímky. Digitálny obraz je možné získať:

- priamo snímaním digitálnymi kamerami,
- nepriamo skenovaním digitalizáciou analógových snímok na presných snímkových skeneroch.

Doterajšiu tvorbu digitálnych leteckých snímok, založenú na technológií analógového snímkovania územia a následnej transformácii analógovej snímky na digitálnu snímku, nahrádzajú digitálne letecké kamery (UltraCam D), priamym vyhotovovaním digitálnych leteckých skenov..

Fotogrametrický skener musí zachovať geometriu snímky (prvky vnútornej orientácie). Rozlíšenie obsahu snímky má byť na úrovni obrazového prvku o rozmeroch 10 x 10 µm pri čiernobielych snímkach a 15 – 20 µm pri farebných snímkach.

Pri manipulácii s digitálnou snímkou znamená pracovať s veľkým objemom obrazových informácií, ktoré vyžadujú kompresiu údajov. Kompresia obrazových údajov je založená na princípe minimalizácie množstva bitov, ktoré sú potrebné v zobrazovacom procese. Algoritmy kompresie majú:

- bezstratové techniky,
- stratové techniky.

Bezstratové techniky kompresie obrazu znižujú počet bitov tak, že rekonštruovaný obraz je numericky presne identický so svojim originálom. Stratové techniky kompresie spôsobujú zhoršenie geometrie v rekonštruovanom obraze. Ukazovateľom využitej kompresnej metódy je veľkosť digitálneho obrazu vyjadrená kompresným pomerom

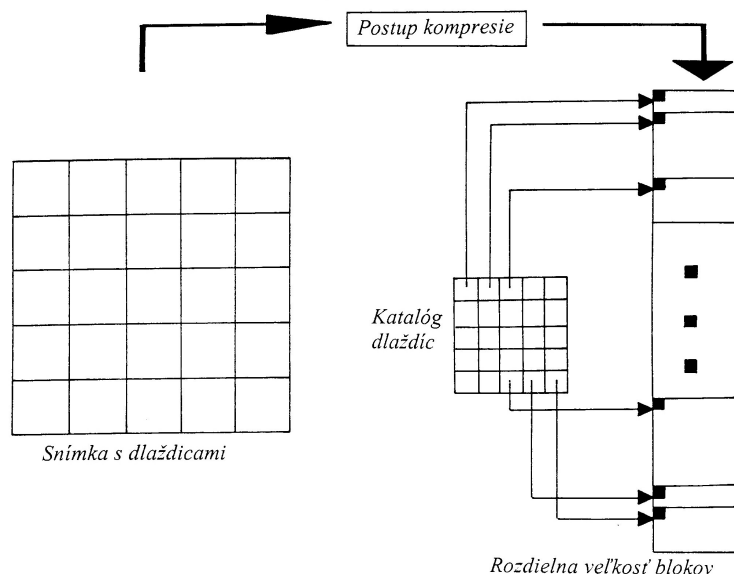
$$\text{kompresný pomer} = \frac{\text{veľkosť digitalizovaného obrazu}}{\text{veľkosť obrazu po kompresii}}. \quad (12.1)$$

Digitálne obrazy pri fotogrametrických prácach sú rozsiahle. Prijal sa štandard kompresie JPEG s kompresiou snímky po častiach a so sledovaním rádiometrického vplyvu na zhoršenie snímkového obrazu po kompresii dát.

Kompresia farebných obrazov sa vykonáva pomocou kompresie všetkých troch farebných kanálov po jednom alebo spôsobom, v ktorom sú komprimované všetky kanály po blokoch 8 x 8 obrazových elementov pred ďalším postupom prác.

Dekompresia všetkých digitálnych obrazov je časovo veľmi náročná. Preto je vhodné nekomprimovať celú snímku ale jej menšie časti. Vstupný snímkový obraz je delený na základné kompresné jednotky – dlaždice. Pri kompresii metódou JPEG v záujme rýchleho zobrazenia príslušnej

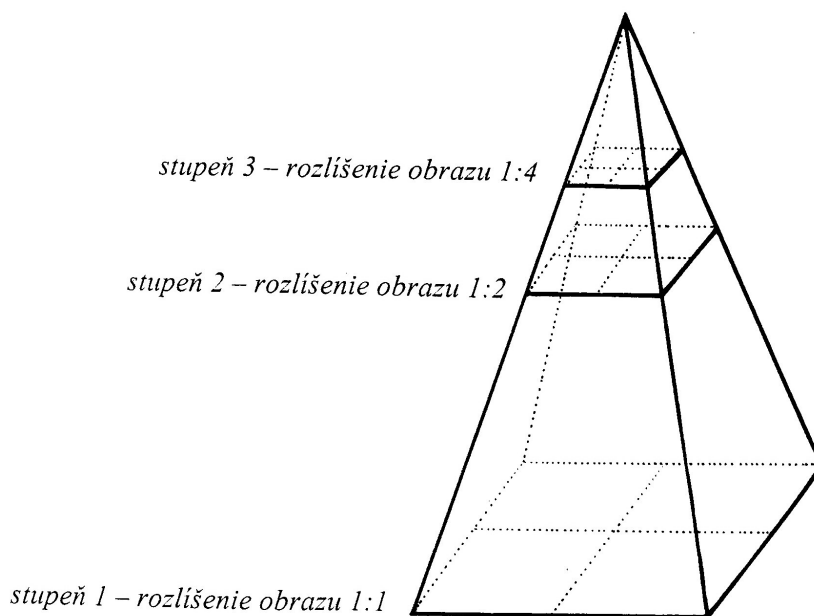
časti snímky v digitálnej snímke sa vytvára prehľad dlaždíc, ktorý udáva miesto každého meniaceho sa začiatku veľkosti bloku v digitálnom súbore.



Obr. 12.1. Kompresia veľkého digitálneho obrazu po častiach

Kompresia a dekompresia veľkých digitálnych obrazov typu JPEG využíva tie časti obrazu, ktoré sú potrebné na aktuálne spracovanie. Algoritmus kompresie fotogrametrickej snímky nemá výrazný vplyv na geometriu snímky, ak pre čiernobiele snímky je kompresný pomer menší ako 1 : 4 a pre farebné snímky menší ako 1 : 10. Zhoršenie geometrickej kvality nastáva až pri vyššom kompresnom pomere.

Pre účely rýchlej manipulácie s obrazovým súborom je vyvinutá technológia jednotlivých stupňov pyramídy, ktoré predstavujú rôzne stupne rozlišovacích úrovní obrazového súboru. Stupne pyramídy pomáhajú znížiť čas potrebný na zobrazenie obrazu podľa zvoleného stupňa pyramídy. Plnú rozlišovaciu úroveň predstavuje stupeň 1 (obr. 12.2). Postupne sa vytvára sled niekoľkých uložených stupňov od jemnejšieho po hrubšie rozlíšenie. Využitie stupňov rozlíšenia sa uplatňuje pri spresňovaní výsledkov v postupe automatickej vzájomnej orientácie a automatickom zbere údajov na vytvorenie DMR.



Obr. 12. 2. Hierarchická obrazová štruktúra so stupňami rozlíšenia



Obr. 12. 3. Digitálny fotogrametrický systém ImageStation SSK

12.2 Digitálne fotogrametrické vyhodnocovacie systémy

Digitálne fotogrametrické systémy predstavujú obrazové pracoviská vybavené ucelenou radou zariadení PC a s modulárnymi softvérmi pre digitálnu a analytickú fotogrametriu. Vyznačujú sa vysokou automatizáciou zberu priestorových údajov z leteckých fotogrametrických snímok. K integrovaným digitálnym systémom zaraďujeme pracovisko HELAVA firmy LH – Systems a ImageStation SSK firmy Intergraph.

HELAVA je vybavená modulárnym softvérom SOCET SET. Moduly zaisťujú orientáciu snímok a aerotrianguláciu s automatickým meraním spojovacích bodov na základe korelácie, generujú DMR a produkujú digitálne rastrové dáta. Pracovisko obsahuje výkonný PC, monitor a zariadenie na stereoskopické videnie. Stereoskopické videnie umožňuje polarizačné zariadenie Z – Screen. Aktívne prepínanie obrazov medzi ľavou a pravou snímokou zaisťuje filter pred monitorom, stereoskopické videnie umožňujú pasívne polarizačné okuliare. Pohyb meracieho kurzora zaisťuje fotogrametrická myš.

Digitálny fotogrametrický systém ImageStation SSK (Stereo Softcopy Kit) pracuje pod operačným systémom Microsoft Windows NT. Je vybavený

- grafickou kartou na zobrazenie stereoskopického modelu na obrazovke PC,
- stereoskopickými okuliarmi s tekutým kryštálom na stereoskopické pozorovanie a meranie na jednom monitore,
- infračerveným emitorom pre spojenie stereoskopických okuliarov s obrazovkou PC,
- trjrozmernú myš na presné stereoskopické meranie, nastavovanie a manuálny zber priestorových údajov zo stereoskopického modelu.

Systém Image Station SSK je vybavený špecializovanými modulmi, ktoré podporujú postup prác v troch etapách prác, ktorými sú:

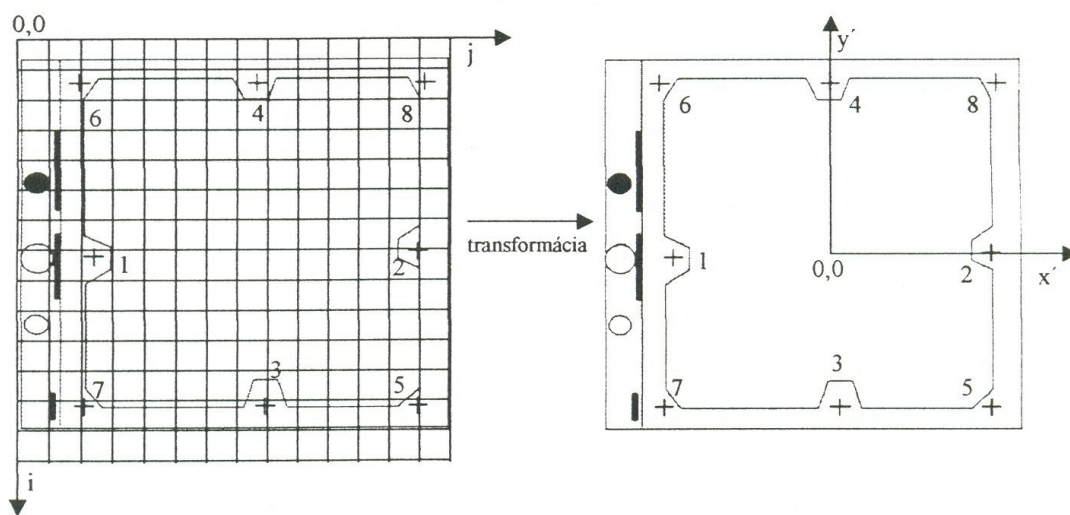
- tvorba stereomodelu,
- zber priestorových informácií,
- výstupy vo forme digitálnych máp a ortofotomáp.

12.3. Pracovný postup pri orientácii digitálnych fotogrametrických snímok

Pre každú digitálnu snímku riešime prvky vnútornej orientácie snímky. V tomto pracovnom postupe určujeme vzájomný vzťah medzi obrazovými prvkami digitalizovaného obrazu snímky a kalibrovanými súradnicami rámových značiek, ktoré určujú snímkový súradnicový systém.

Digitálna vnútorná orientácia snímky predstavuje transformáciu obrazových prvkov digitalizovaného obrazu snímky v súradnicovom systéme skenera, kde sú jeho obrazové elementy označené prislúchajúcou polohou v jej rastrovej mriežke ako súradnice riadku a stĺpca i, j do snímkového súradnicového systému x', y' (obr.12.4). Ak na orientáciu bolo vybratých viac snímok, po premeraní rámových značiek na jednej snímke prechádzame na meranie na ďalšej snímke.

Transformácia prebieha na základe digitálne odmeraných obrazových súradníc rámových značiek príslušnej snímky na ich kalibrované hodnoty. Pri tom sa aplikuje niektorá z druhov transformácie: afinná, konformná alebo projektívna transformácia.



Obr. 12.4. Transformácia digitalizovaného obrazu do snímkového súradnicového systému

Po vnútornej orientácii nasleduje **vzájomná** (relatívna) **orientácia snímok**. Rieši sa pomocou závislej vzájomnej orientácie t. j. priradením pravej snímky k ľavej snímke. Určovanými neznámymi parametrami sú translácie by_2, bz_2 a rotácie φ_2, ω_2 a κ_2 . Vzájomná orientácia je riešená Shutovou metódou pri splnení podmienky komplanárnosti pri ktorej základnica a zodpovedajúca dvojica určujúcich lúčov na identický bod optického modelu musia ležať v jednej rovine (obr. 13.4).

Pri riešení vzájomnej orientácie sa volí minimálne 6 orientačných bodov, ktoré sú rozmiestnené v priestore stereoskopického prekrytu podľa schémy na obr. 10.11. Pre riešenie vzájomnej orientácie je výhodné, aby bol počet orientačných bodov čo možno najväčší. Postup s väčším počtom orientačných bodov sa rieši v procese digitálnej automatickej aerotriangulácie s automatickým vyhľadávaním orientačných bodov v pásme dvojnásobného a trojnásobného pozdĺžneho prekrytu snímok.

Meranie na orientačných bodoch je možné vykonávať monoskopicky alebo stereoskopicky. Pri stereoskopickom meraní je možné ľavý snímok zafixovať a pohybovať iba pravým snímkom v horizontálnom a vertikálnom smere. Do procesu merania je možné zapojiť korelačnú funkciu ISDM a vzájomnú orientáciu riešiť automaticky. Kvalitu orientácie môžeme ovplyvňovať nastavením parametrov korelácie.

Absolútna orientácia rieši problém transformácie modelových súradníc do geodetického súradnicového systému. Do procesu absolútnej orientácie je zapojený model priestorovej podobnostnej transformácie

$$\begin{pmatrix} X_g \\ Y_g \\ Z_g \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{0g} \\ Y_{0g} \\ Z_{0g} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x & -z & 0 & y \\ 0 & 1 & 0 & y & 0 & z & -x \\ 0 & 0 & 1 & z & x & -y & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dX_0 \\ dY_0 \\ dZ_0 \\ dm \\ d\Phi \\ d\Omega \\ dK \end{pmatrix}, \quad (12.2)$$

- kde sú: X_g, Y_g, Z_g - geodetické súradnice vlícovacích bodov,
 X_{0g}, Y_{0g}, Z_{0g} - počiatok modelového súradnicového systému vzhľadom na geodetický súradnicový systém,
 x, y, z - modelové súradnice vlícovacích bodov,
 $dX_0, dY_0, dZ_0, dm, d\Phi, d\Omega, dK$ - neznáme parametre absolútnej orientácie, 3 posuny stereomodelu voči geodetickému súradnicovému systému, mierka modelu, 3 rotácie stereomodelu okolo priestorových osí geodetického súradnicového systému.

Transformácia stereomodelu do geodetického súradnicového systému X_g, Y_g, Z_g sa realizuje prostredníctvom odmeraných snímkových súradníc na vlícovacích bodoch.

Zvláštnym prípadom je určenie vonkajšej orientácie, keď je potrebné určiť súradnice projekčného centra a rotácie snímkového súradnicového systému voči geodetickému systému skôr, ako je možné spracovať stereomodel (napr. pri riešení automatickej aerotriangulácie), alebo nie je potrebné vytvoriť stereomodel (pri postupe tvorby len jednej ortofotosnímky), keď už je k dispozícii digitálny model reliéfu získaný inými metódami merania.

Parametre vonkajšej orientácie je možné určiť:

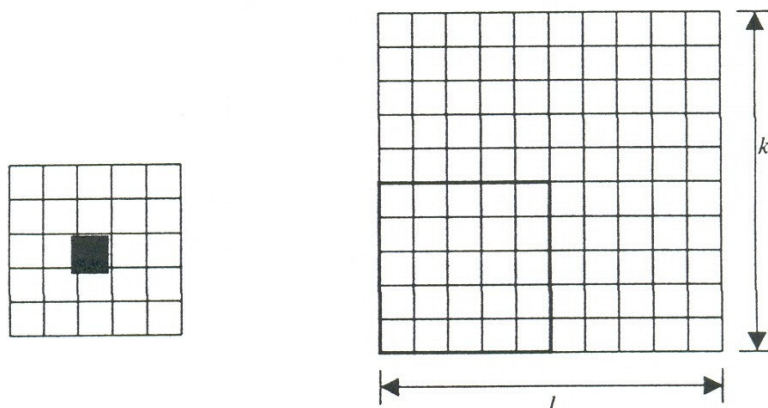
- priamo, polohu projekčných centier v čase expozície určovať metódou GPS a hodnoty rotácií hodnoty rotácií v nulových hodnotách udržiavať pomocou gyrostabilizátorov,
- nepriamo na základe analytického riešenia podmienky kolineárnosti (kap. 11.).

ImageStation je vybavený pracovnými nástrojmi na manuálnu alebo poloaautomatickú orientáciu snímok. Taktiež je možná viacsnímková orientácia, ktorá nahrádza postupné určovanie relatívnej a absolútnej orientácie.

12.4 Digitálna obrazová korelácia

V digitálnej fotogrametrii sa využíva **obrazové priradovanie** (image matching). Definuje sa ako stanovenie zhody medzi rozličnými súbormi dát. Skupiny dát sú reprezentované snímkovými dátami.

Časťou technológie obrazového priradovania je **obrazová korelácia**. Digitálna snímková korelácia určuje na podklade štatistických analýz zhodu medzi časťami obrazu dvoch alebo viacerých snímok, ktoré aspoň čiastočne zachytávajú rovnaké územie. Obrazová korelácia je náhradou prirodzeného stereoskopického videnia. Vychádza z výpočtu korelačnej funkcie v okne s hľadaným obrazom a vzorovým obrazom. Pri porovnaní hodnoty korelačnej funkcie sa veľkosť okna vzorky posúva prvok po prvku vo väčšom hľadanom okne (k, l) (obr. 12.5). V každej jej novej polohe sa počítajú koeficienty korelácie medzi vzorkovým oknom a jemu odpovedajúcej časti v hľadanom okne.



Obr. 12.5. Korelácia medzi vzorkovým oknom na ľavej snímke a hľadaným oknom na pravej snímke

Vypočítané maximum korelačnej funkcie (v intervale od -1 do $+1$) určuje polohu bodu (snímkové súradnice), ktorá vyjadruje výsledok najlepšej zhody medzi vzorkou a hľadaným oknom. Aby sa predišlo nesprávnemu priradeniu obrazu, vypočítaná hodnota koeficientu korelácie sa porovnáva so stanovenou kritickou hodnotou. Ak koeficient korelácie je menší ako stanovená kritická hodnota postup priradenia sa hodnotí ako neúspešný.

V procesoch digitálnej fotogrametrie sa princíp obrazovej korelácie využíva pri riešení:

- vnútornej orientácie, pri ktorej je rámová značka porovnávaná s jej stereoskopickým modelom,
- vzájomnej orientácie a prenose bodov v aerotriangulácií, pri ktorej je časť jednej snímky porovnávaná s časťou druhej snímky za účelom tvorby spojovacích bodov,
- absolútnej orientácie, pri ktorej sú časti snímok porovnávané s opisom charakteristík vlícovacích bodov,
- pri zbere výšok bodového poľa za účelom vytvorenia DMR. Využitím korelačných techník sú porovnávané časti jednej snímky s časťami druhej snímky za účelom stereoskopického nastavovania značky na povrch stereomodelu,
- pri tvorbe ortofotomozaiky, kde v oblasti vzájomného prekrytu dvoch snímkových obrazov sa automaticky počíta priebeh deliacej čiary na prekrytoch obrazov.

Súčasťou digitálnej obrazovej korelácie je tvorba hierarchických modelov, ktoré sa využívajú pri spresňovaní výsledkov. Výsledky dosiahnuté v prvom hierarchickom stupni modelu vstupujú do nasledujúceho stupňa ako aproximácie. Pre túto úlohu sú snímky zobrazené v rôznych rozlíšeniach úrovni obrazovej pyramídy.

12.5 Digitálny model reliéfu

Na vytvorenie ortofotomapy je potrebné aby na snímke boli odstránené radiálne posuny. Za týmto účelom sa vytvára DMR.

DMR predstavuje množinu bodov na ploche terénu, ktorých priestorové súradnice sú uložené v konvenčnom súradnicovom systéme PC spolu s príslušným programovým vybavením na spracovanie DMR. Grafické zobrazenie reliéfu vrstevnicami alebo profilovými čiarami nahrádza súbor bodov definovaný číselne súradnicami y , x , z a charakteristikou, kde sa nachádza bod (či je singulárny – nachádza sa na hrane alebo sa jedná o regulárny bod). Takáto množina bodov aproximuje plochu reliéfu.

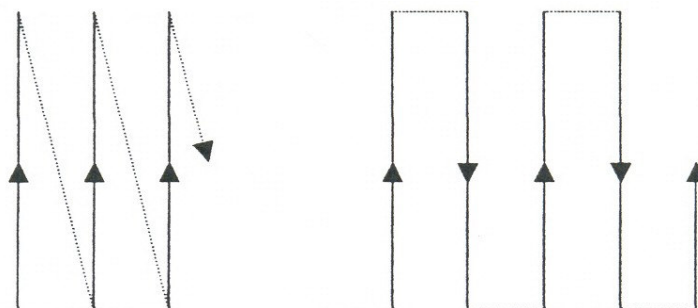
Po fotogrametrickom zbere výšok bodového poľa dostávame digitálny model pokrývky reliéfu a nie skutočný priebeh reliéfu. Je to spôsobené tým, že fotogrametrickými technikami zberu nie je možné určovať výšky bodov pod vegetáciou a budovami. Na správnu ortorektifikáciu ortofotomapy je

potrebné aby komplexná pokrývka reliéfu zaujímala správnu geografickú polohu. Za tým účelom vytvárame digitálny model obálky krajiny. DMR vytvárame len v oblastiach bez vegetácie a budov.

Metódy digitálnej fotogrametrie dovoľujú vykonať zber výšok bodov manuálnou, poloautomatickou a automatickou technikou zberu dát.

Manuálny zber výšok bodového poľa sa vykonáva stereoskopickým zberom priestorových údajov reliéfu priestorovým nastavovaním hodnoty „Z“ stereokurzora na jednotlivé body stereomodelu. Body sa volia na charakteristických čiarach reliéfu, na ktorých dochádza k výrazným zmenám v priebehu plochy reliéfu a vytvárajú kosť reliéfu: terénne hrany, chrbátnice, údolnice a spádnice. Ak topografický povrch zakrývajú prekážky (napríklad stromy), meriame nadmorské výšky prekážok a zavádzame opravy o priemernú výšku prekážok.

Poloautomatický zber výšok bodového poľa sa vykonáva stereoskopickým zberom priestorových údajov reliéfu v stereoskopickom móde priestorovým nastavovaním hodnoty „Z“ stereokurzora ale s využitím obrazovej korelácie na jednotlivé body stereomodelu. Body sa vyberajú v pravidelnej štvorcovej mriežke v profiloch buď len jedným smerom alebo oboma smermi (obr. 12.6).



Obr. 12.6. Zber výšok bodov v profiloch

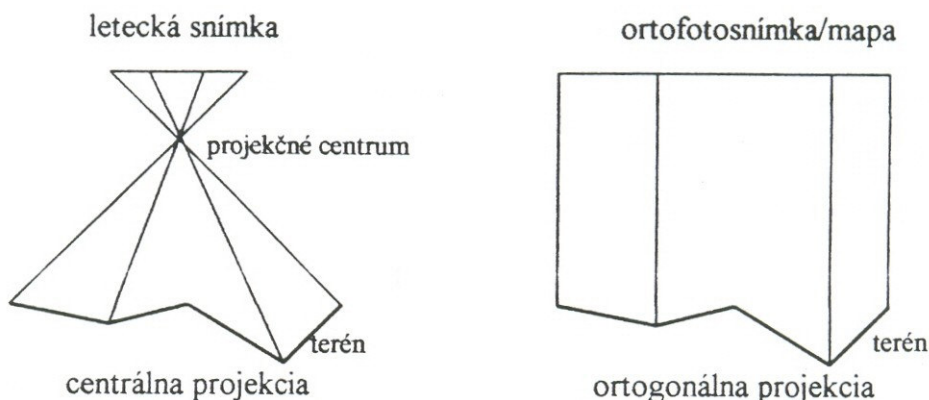
Automatickému zberu výšok bodového poľa predchádza tvorba prevzorkovaných snímok na základe uzlovej geometrie (kap. 12.6). Pri automatickom zbere výšok bodového poľa sa vytvára veľké množstvo odmeraných bodov v pravidelnej štvorcovej sieti. Výšky bodov sú vypočítané z nepravidelného rozdelenia výškového bodového poľa. Hodnoty výšok štvorcovej siete sa počítajú interpoláciou zo siete 16-ich okolitých bodov.

Pri tomto type zberu dát môžu nastať chyby. Napríklad stromy a domy môžu deformovať plochu vytvorenú z matematických bodov reálneho terénu. Aby bol reliéf správne aproximovaný, musia sa eliminovať uvedené typy povrchových anomálií. Na správnu polohu obrazu na ortofotosnímke je potrebné vytvoriť digitálny model obálky (pokrývky) krajiny.

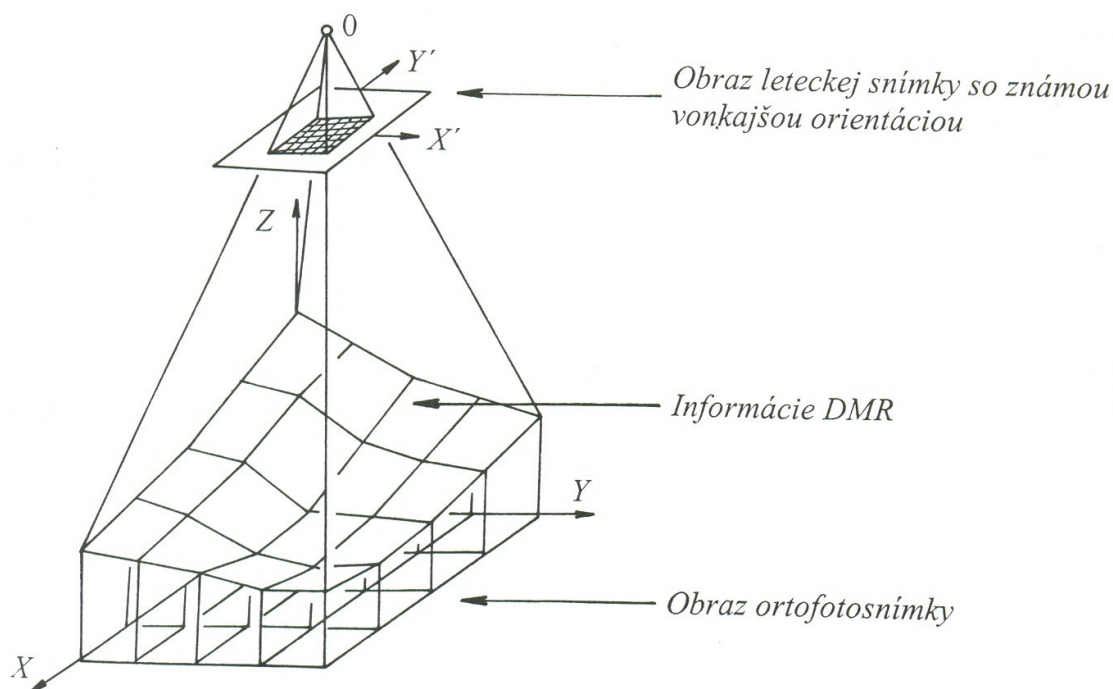
12.6 Ortofotosnímka

Ortofotosnímka je ortogonálne prekreslená snímka. Pri jej tvorbe dochádza k odstráneniu perspektívneho skreslenia, ktoré spôsobuje nezvislá os záberu snímky a najmä výškové rozdiely terénu. Výsledkom procesu prekreslenia je digitálne transformovaná snímka zo stredového priemetu na priemet ortogonálny – pravouhlý, so stredom premietania v nekonečne (obr. 12.7). Prekreslenie snímky prebieha digitálnym diferenciálnym prekreslením.

Základom prekreslenia snímky sú geometrické vzťahy a matematické vzťahy, ktoré sa používajú v jednosnímkovej fotogrametrii. Sú to kolinéarne vzťahy medzi predmetovými a obrazovými bodmi, ktorých vektory obrazového a predmetového priestoru ležia na priamke, prechádzajúcej projekčným centrom (11.5), kap.11.2. Digitálna ortofotosnímka sa vytvára postupne pre každý obrazový element (pixel) perspektívne skresleného digitálneho obrazu snímky, ktorý sa ortogonálne premieta do zodpovedajúceho si bodu na ortofotosnímke. Perspektívne skreslenie, ktoré spôsobuje nezvislá os záberu sa odstraňuje orientáciou snímky, radiálne posuny, ktoré spôsobuje členitosť terénu sa odstraňujú s využitím údajov DMR (obr. 12.8). Celému procesu prekreslenia hovoríme geometrická transformácia.



Obr. 12.7. Stredový priemet snímky, pravouhlý priemet mapy



Obr.12.8. Diferenciálne prekreslenie snímky do tvaru ortofotosnímky

Vytvorenie ortofotomapy z bloku digitalizovaných snímok si vyžaduje pretvorenie rastrových obrazov jednotlivých snímok do jednotného rastrového obrazu digitálnej ortofotomapy ako celku. Prepočítanie jednotlivých rastrových obrazov do polohy presne zvislých snímok sa vykoná prevzorkovaním vytvorených stereomodelov. Prevzorkovaním sa preskupia obrazové elementy pozdĺž uzlových priamok tým, že sa odstránia vertikálne paralaxy. Výsledkom sú usporiadané obrazové elementy rovnobežné s osou X referenčného systému. Transformované zobrazenie zodpovedá normálnemu prípadu leteckej fotogrametrie.

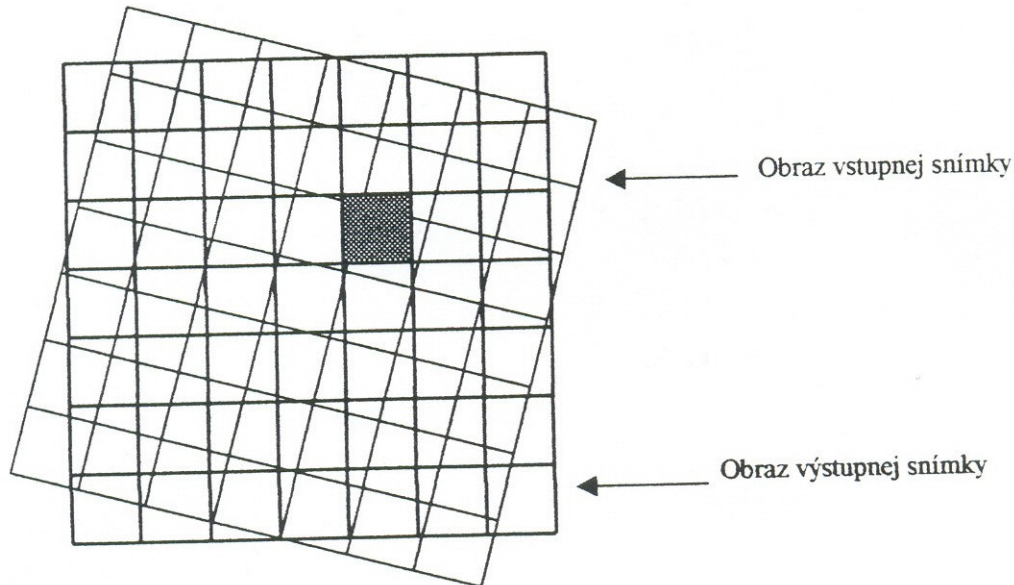
12.7 Výpočet jasu novej polohy prvku na prekreslenej snímke

Po geometrickej transformácii je poloha každého prvku ortofotosnímky presne analyticky definovaná. Transformáciou mohlo dôjsť k zmene jasu obrazových elementov snímky. Výpočet jasu novej polohy obrazového prvku na prekreslenej snímke sa rieši metódou prevzorkovania.

Základným princípom pri prevzorkovaní je výpočet jasu nového prvku pomocou interpolácie hodnôt jasu v jeho pôvodnom okolí a uloženie vypočítanej hodnoty do vytvoreného nového rastra obrazových prvkov. Približná hodnota jasu sa určuje:

- prevzorkovaním metódou najbližšieho suseda,
- bilineárnou interpoláciou,
- kubickou konvolúciou.

Pri prevzorkovaní metódou **najbližšieho suseda** je hodnota úrovne jasu výstupnej matice priradená priamo na základe prekrytu s najbližším obrazovým prvkom vstupnej matice (obr. 12.9). Metóda je rýchla ale s možným veľkým skreslením obrazových prvkov na prevzorkovanej snímke. Metóda môže spôsobiť aj vznik zúbkovania a nových hrán na pôvodne hladkých čiarach.



Obr.12.9. Prevzorkovanie metódou najbližšieho suseda

Pri prevzorkovaní metódou **bilineárnej** interpolácie sa vypočíta hodnota jasu výstupnej matice obrazu z váženého priemeru 4-och najbližších prvkov vstupnej matice. Pri tejto metóde sa hrany stávajú neostrými, čím sa stráca rozlišovacia schopnosť snímky. Výpočtový čas je 3 až 4-násobkom času metódy najbližšieho suseda.

Pri prevzorkovaní metódou bikubickej interpolácie sa vypočíta hodnota jasu výstupnej matice obrazu z váženého priemeru 16-ich najbližších prvkov vstupnej matice. Metóda zachováva priebeh hrán. Výpočtový čas je 10-násobkom času metódy najbližšieho suseda.

12.8 Rádiometrická korekcia digitálneho obrazu

Odlišné svetelné podmienky v okamihu expozície spôsobujú, že na snímkach v miestach prekrytu snímok sa vytvárajú svetlejšie a tmavšie časti. Svetelná homogenizačná úprava obrazov sa vykonáva rádiometrickou korekciou. Na základe definovanej palety korekčných hodnôt v obraze, svetlé časti obrazu sa stmavia a tmavšie časti sa zosvetlia.

Celý snímkový obraz sa vytvára z dlaždíc – väčších skupín obrazových elementov vo forme štvorcov. Svetelná hodnota jasu obrazového elementu každého takého štvorca dlaždice je priemerom jasu všetkých obrazových elementov, ktoré daný štvorec reprezentujú.

12.9 Ortofotozaika

Vytvorená ortofotosnímká nemusí v plnom rozsahu pokryť záujmovú oblasť v rámci sekčných čiar mapového listu. Vtedy digitálny obraz ortofotomapy vytvárame spájaním ortofotosnímkov. Spájanie a orezovanie ortofotosnímkov sa nazýva **mozaikovanie**.

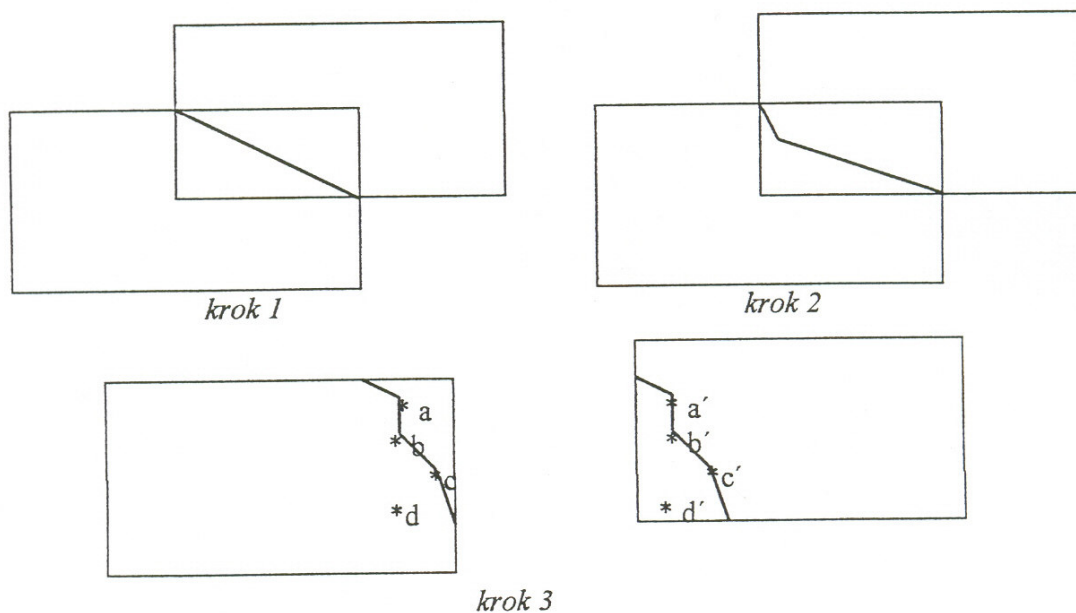
Po geometrických a rádiometrických korekciách digitálnych ortofotosnímkov sa vyberie určitá časť z prekrytu snímkov a na základe vybranej deliacej čiary sa čiastkové ortofotosnímky pospájajú do výslednej ortofotomozaiky. Ortofotomozaika sa vytvára manuálne, keď spojovaciu čiaru vyberá fotografometer alebo automatizovane, použitím funkcie snímkového priradovania.

Manuálna tvorba spojovacej čiary. Cieľom je, aby na výslednej mozaike prechod medzi obrazmi susedných ortofotosnímkov nebol príliš viditeľný, deliaca čiara je vedená po líniách, ktoré predstavujú výrazné farebné rozhrania na snímkovom obraze. Sú to napr. cesty, hranice porastov a poľnohospodárskych kultúr, vodné plochy a pod.

Automatická tvorba spojovacej čiary. Na začiatku sa zistí vzájomný prekryt susedných mozaikovaných obrazov. Vykoná sa výber spojovacích bodov, ktoré vytvoria spojovaciu čiaru mozaikovaných obrazov. Na spojovacej čiare sa vykonajú geometrické a rádiometrické korekcie.

Spojovaciu čiaru tvoria body, ktoré sú vybraté podľa určitých kritérií. Vzdialenosť medzi bodmi by mala byť minimálna, mali by to byť body s minimálnym geometrickým skreslením (minimálnymi radiálnymi posunmi) a sú to body s najväčšou hodnotou koeficientu korelácie.

Vytváranie spojovacej čiary sa začína v jednom rohu snímkového prekrytu. V tejto oblasti sa nájde najbližší vhodný bod a ten sa využije ako lomový bod vytváranej spojovacej čiary (bod *a* obr. 12.10). Vybraný bod sa spojí s rohom prekrytu. Medzi vybranými bodmi sa postupne vytvorí spojovacia čiara s ktorou sa prejde až do druhého rohu prekrytu. Spojovacia čiara sa vytvára zvlášť pre ľavú a zvlášť pre pravú mozaikovanú ortofotosnímkovú.

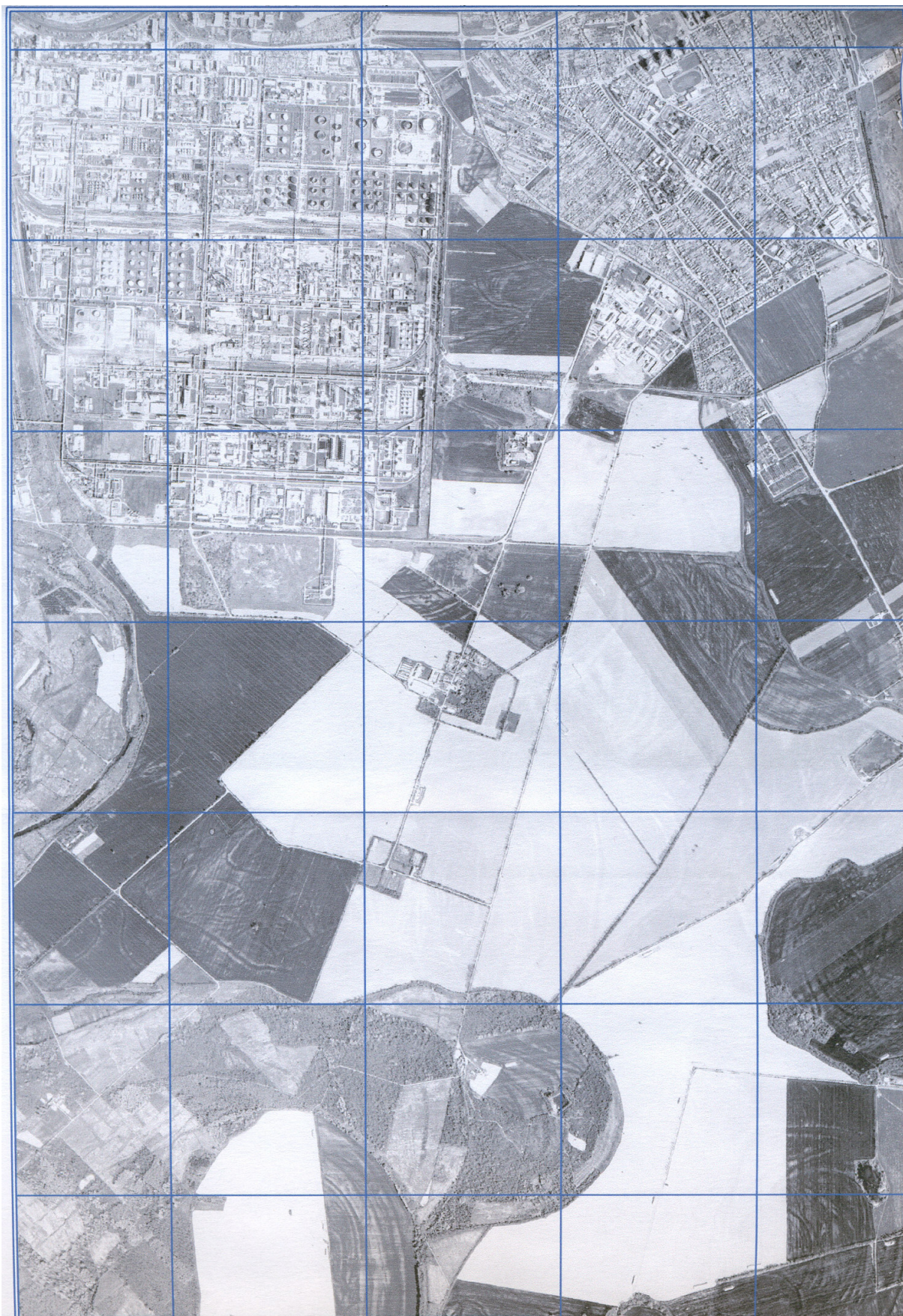


Obr. 12.10. Postupnosť vytvárania deliacej čiary

Na budúcej mozaike sa vytvárajú okrajové čiary. Sú to čiary rovnobežné s nájdenou spojovacou čiarou. Vzdialené sú od nej o určitú konštantu obrazových elementov (100 elementov). Oblasť medzi spojovacou čiarou a okrajovou čiarou sa nazýva okrajová zóna. V okrajovej zóne sa vytvorí spojovacia trojuholníková sieť. Na jej základe sa vypočíta nová poloha spojovacej čiary ako priemer polohy bodov spojovacej čiary na ľavej a pravej mozaikovanej snímke. Pre novú polohu spojovacej čiary sa vytvorí nová trojuholníková sieť, u ktorej sa hrany trojuholníkov ležiacich na okrajových čiarach zachovávajú, zmení sa ale poloha bodov, ktoré ležia na spojovacej čiare. Tým sa uskutoční konečné geometrické spojenie mozaikovaných obrazov do jedného celku.

Nasleduje rádiometrická korekcia mozaikovaných obrazov v okrajových zónach.

Záverečnú úpravu vytvorenej ortofotomozaiky predstavuje retušovanie vytvoreného digitálneho obrazu. Je to v podstate pohľadová revízia celej oblasti ortofotomozaiky. V lokálnych oblastiach



Obr. 12.11. Ortofotomapa (Mgr. M. Kožuch)

ortofotomozaiky sa vyčistí obraz od rôznych nečistôt, odstráni sa poškodený snímkový materiál, odstránia sa utajované snímkové objekty na miesto ktorých sa nakopíruje náhradný objekt.

Na záver sa ortofotomozaika podľa určitých rezov rozdelí do formátov mapových listov, doplní kilometrovou sieťou a popisom. Takto vytvorený digitálny obraz v sekčných čiarach mapy predstavuje ortofotomapu (obr. 12.11). DMR môžeme využiť na konštrukciu vrstevníc vhodným grafickým editorom (Atlas), ktorý spojíme s ortofotomapou (obr. 12.13).



Obr. 12.13. Ortofotomapa s DMR. Analýza povodní v ČR z roku 1997.

12.10 Presnosť digitálnej ortofotomapy

Presnosť digitálnej ortofotomapy závisí od kalibračných vlastností prístrojov, ktoré sú použité na vytvorenie snímkového obrazu. Rektifikačný proces z centrálnej do ortogonálnej projekcie ovplyvňujú vláčovacie body, ich presnosť, počet, signalizácia a rozloženie. Ďalej presnosť ovplyvňuje postup aerotiangulácie, kvalita DMR a pracovný postup ortorektifikácie.

Presnosť ortofotomapy overíme napr. porovnaním polohy identických prvkov na ortofotomape a v teréne. Štatistické vyhodnotenie rozdielov vyjadří presnosť ortofotomapy.

Na ortofotomape kontrolujeme snímkovú kvalitu obrazu, ktorá sa mohla zhoršiť ortorektifikáciou a mozaikovaním. Do hodnotenia snímkovej kvality zahŕňame tiež jasové a kontrastové zmeny medzi mozaikovanými snímkami.

Kvalitu ortofotomapy zásadne ovplyvňuje veľkosť obrazových elementov (pixelov). Veľkosť obrazových elementov má vzťah k mierke ortofotomapy. V reálnej veľkosti obrazu obrazový element predstavuje rozmer o 0,25 až 1 m.