

## 10. METÓDY VYHODNOTENIA LETECKÝCH MERAČSKÝCH SNÍMOK

Metódy vyhodnotenia leteckých meračských snímok sú v podstate rovnaké ako u pozemných meračských snímok. Z nich si uvedieme:

- stereometrické vyhodnotenie,
- priestorové (stereofotogrametrické) analógové vyhodnotenie,
- jednosnímkové analógové vyhodnotenie snímok,
- priestorové a jednosnímkové digitálne vyhodnotenie.

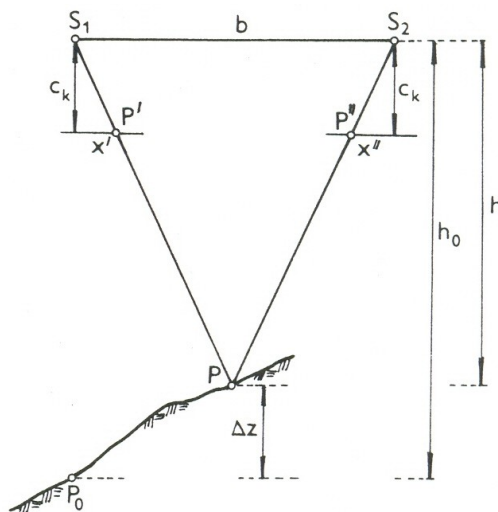
Osobitne si všimneme diferenciálne prekresľovanie pomocou ortofototechniky, ktorej princípy vyhodnocovania sú využité pri digitálnej technológii vyhotovenia ortofotomáp.

### 10.1 Stereometrické vyhodnotenie

Stereometrické vyhodnotenie leteckých meračských snímok zaraďujeme do skupiny jednoduchých metód vyhodnotenia snímok. Používa sa pre menej náročné práce. Princíp metódy vyhodnotenia je založený na aplikácii základnej rovnice stereofotogrametrie (4.2) upravenej pre dvojicu susedných radových leteckých meračských snímok, vyhotovených pri vodorovnom lete s približne zvislým smerom snímokovania.

Podľa obr. 10.1 výška letu nad bodom  $P$  sa určí z rovnice

$$h = \frac{b c_k}{p} \quad (10.1)$$



Obr. 10.1. Stereometrické určenie výškového rozdielu

Diferencovaním rovnice (10.1), podľa premennej  $p$  dostaneme

$$dh = \frac{b c_k}{p^2} dp = -dp \frac{h}{b} \frac{h}{c_k}. \quad (10.2)$$

Diferenciál  $dp$  predstavuje rozdiel paraláx odmeraných na bode  $P$  a  $P_0$  a diferenciál  $dh$  vyjadruje zmenu výšky letu, ktorú môžeme považovať za rozdiel výšok medzi bodmi  $P$  a  $P_0$

$$dz = z - z_0 = h - h_0 = -dh. \quad (10.3)$$

Bod  $P_0$  je východiskový výškový bod a predstavuje ho niektorý z vlícovacích bodov.

Po úprave rovnice (10.2), keď  $\frac{h}{c_k}$  nahradíme mierkovým číslom  $M_s$ ,  $h_0$ ,  $b$  a  $dz$  vyjadríme v metroch, dostaneme základný vzťah pre stereometrické vyhodnotenie prevýšení

$$dz = \frac{h_0 M_s}{1000 b} dp = k dp. \quad (10.4)$$

Rovnica (10.4) platí len pri malých výškových rozdieloch. Pri väčších výškových rozdieloch rozdiel výšok  $\Delta z$  vypočítame zo vzťahu

$$\Delta z = \frac{b c_k}{p_0} - \frac{b c_k}{p_0 + \Delta p},$$

ktorý po úprave a rozvoji do radu nadobudne tvar

$$\Delta z = \frac{b c_k}{p_0^2} \Delta p \left( 1 - \frac{\Delta p}{p_0} \right) = \frac{h_0 M_s}{1000 b} \left( 1 - \frac{\Delta p}{p_0} \right) = dz - \frac{\Delta z^2}{h_0}. \quad (10.5)$$

Rovnica (10.5) vyjadruje rozšírený vzťah na výpočet prevýšenia.

Na vylúčenie účinku chýb vyplývajúcich z deformácie optického modelu, spôsobenej nezávislým smerom snímokovania a nevodorovnou fotogrametrickou základnicou, priradíme k odmerným paralaxám opravy. Určíme ich z rozdielu medzi vypočítanými rozdielmi paraláx  $\Delta p$  a odmernými rozdielmi paraláx ( $\Delta p$ )

$$\delta p = \Delta p - (\Delta p).$$

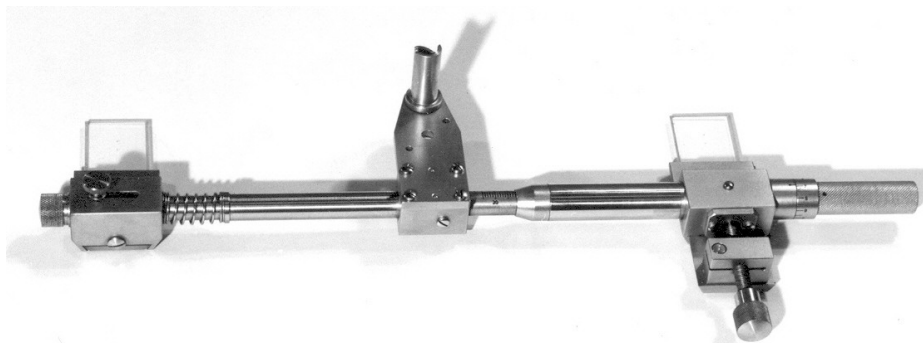
Čiary rovnakých opráv paraláx získame interpoláciou na priesvitke položenej na snímke (obr. 10.4). Podľa polohy vyhodnocovaného bodu k čiarom opráv paraláx, k meraným rozdielom paraláx pripočítame opravy podľa rovníc

$$dz = k(dp + \delta p), \quad \Delta z = k(\Delta p + \delta p) - \frac{\Delta z^2}{h_0}. \quad (10.6)$$

Stereometrické vyhodnotenie vykonávame spravidla na kontaktných kópiách meračských snímok.

### Pomôcky na stereometrické vyhodnocovanie

K základným pomôckam na stereometrické vyhodnocovanie patrí zrkadlový stereoskop (obr. 3.5), doplnený jednoduchým stereometrom (obr. 10.2). Stereometer sa skladá z dvoch sklenných doštičiek s polznačkami, ktoré sú spojené kovovou dvojdielnou tyčkou. Obidve časti tyčky sú prepojené mikrometrickým vretenom, ktorým meriame rozdiely horizontálnych paraláx. Vertikálnu paralaxu odstraňujeme posunom pravej meracej polznačky voči ľavej polznačke. Súprava stereoskopu a stereometra, doplnená kresliacim zariadením a rovnobežníkovým vedením, nazýva sa stereopantometer (obr. 10.3).



Obr. 10.2. Jednoduchý stereometer



Obr. 10.3. Stereopantometer Zeiss

**Príklad 10.1: Stereometrické vyhodnotenie snímok.** Na každej snímke označíme vpichom polohu hlavného snímkového bodu a jeho obrazu na susednej snímke. Orientáciu snímok vykonáme podľa zásad uvedených v kap. 3.2 (obr. 3.2). V tomto príklade pri vyhodnotení dvojice snímok vyhotovených komorou MRB 15/2323 poznáme: konštantu fotokomory  $c_k = 151,73$  mm, základnicu  $b = 370$  mm, výšku letu  $h_0 = 760$  m vzťahnutú k vlícovaciemu bodu 3 s nadmorskou výškou 315 m.

Výšky vlícovacích bodov a čítania na stereometri sú uvedené v tab. 10.2.

Vypočítané rozdiely paraláx určíme z rovnice

$$\Delta p = \frac{dz}{k} + \frac{\Delta z^2}{h_0}, \quad (10.7)$$

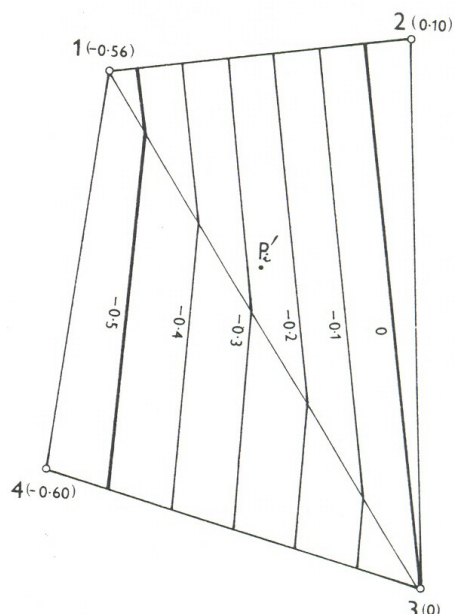
keď

$$k = \frac{h_0 M_s}{1000 b} = \frac{760}{1000} \frac{5000}{370} = 10,27.$$

Výpočet opráv paraláx

Tabuľka 10.1

Číslo bodu	Čítanie na stereometri [mm]	Meraný rozdiel paraláx ( $\Delta p$ ) [mm]	Výška bodu [m]	Výškový rozdiel $\Delta z$ [m]	Vypočítaný rozdiel paraláx $\Delta p$ [mm]	Opravy $\delta p = \Delta p - (\Delta p)$ [mm]
1	27,25	+0,81	317,6	2,6	+0,25	-0,56
2	26,56	+1,50	3310,7	24,7	+1,60	+0,10
3	25,75	0	315,0	0	0	0
4	26,68	+0,103	318,4	3,4	+0,33	-0,60



Podľa vyčíslených opráv vykonštruujeme čiary rovnakých opráv paraláx (obr. 10.4). K odmeraným rozdielom paraláx (napr. u bodu  $P_i$  ( $\Delta p_i$ ) = 0,62 mm) pripočítame opravu ( $\delta p_i$  = -0,27 mm) a podľa rovnice (10.6) vypočítame rozdiel výšok

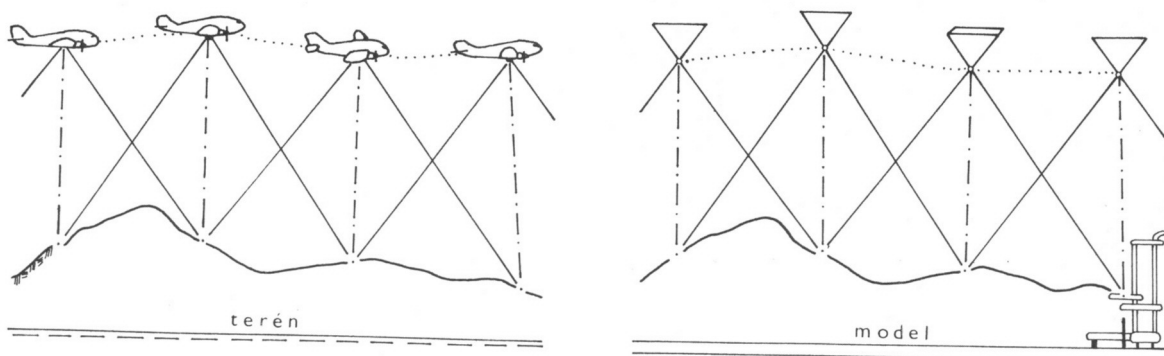
$$\Delta z = dz - \frac{\Delta z^2}{h_0} = 10,27 \quad (0,62 - 0,27) - \frac{3,59^2}{760} = 3,6 \text{ m}$$

a výšku bodu  $z_{P_i} = z_3 + \Delta z = 318,6 \text{ m}$ .

Obr. 10.4. Čiary rovnakých opráv paraláx

## 10.2 Priestorové analógové vyhodnotenie leteckých snímok

Z leteckých meračských snímok, vyhotovených radovými komorami so stereoskopickým prekrytom, vyhodnocujeme mapy priamym vymeňaním geometrického modelu v priestorových vyhodnocovacích prístrojoch. Vyhodnotenie je založené na exaktnej analógii fotografovacieho procesu (obr. 10.5). Vo vyhodnocovacom prístroji rekonštruujeme vnútornú a vonkajšiu orientáciu snímkovej dvojice, t.j. dvom susedným meračským snímkam priradíme takú polohu v projektoroch, akú mali snímky v komorách pri ich expozícii. Vtedy sa určujúce lúče priestorovo pretínajú a vytvárajú geometricky podobný a mierkovo zmenšený model zobrazeného územia. Priestorové vyhodnotenie leteckých snímok je ťažiskom fotogrametrických prác a na ňom sa najvýraznejšie prejavuje mechanizácia a automatizácia mapovacích prác.



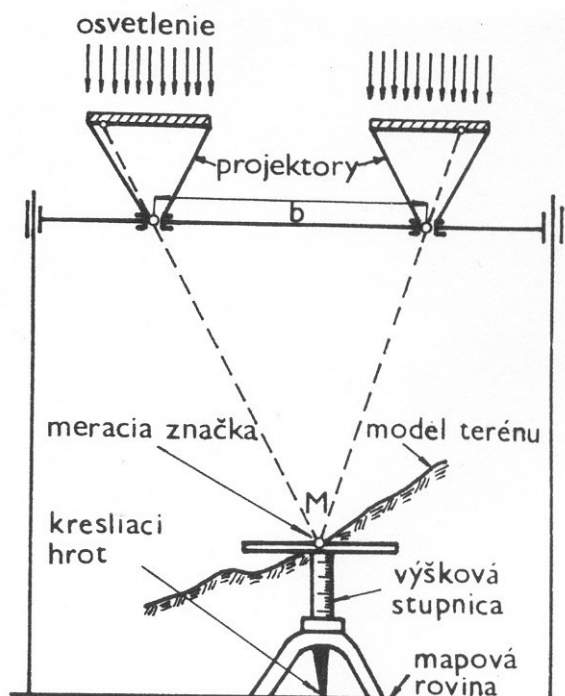
Obr. 10.5. Geometrická analógia medzi snímkovacím a vyhodnocovacím procesom

### Všeobecný princíp priestorového vyhodnotenia

S priestorovým vyhodnotením sme sa už stretli v pozemnej fotogrametrii, kde dvojice snímok mali navzájom rovnobežné a horizontálne osi záberu. Naproti tomu dvojice leteckých snímok sú usporiadané ako všeobecný prípad, pri ktorom prvky vonkajšej orientácie ľavej a pravej snímky sú navzájom odlišné.

Vyhodnotenie leteckých snímok je založené na princípe dvojitej projekcie, ktorá je, ako sme už uviedli, exaktnou analógiou fotografovacieho procesu (obr. 10.5). Fotografovací proces napodobníme

tak, že meračskú snímku (negatív alebo pozitív) vložíme do projektora s rovnakou vnútornou orientáciou, akú mala komora, ktorou sa vyhotovili snímky. Snímky osvetlíme odzadu a zväzok lúčov vystupujúci objektívom je potom rovnaký, aký bol zväzok lúčov, ktorý vstúpil do komory a vytvoril obraz. Rovnakým postupom sa premieta druhým projektorom aj susedná stereoskopicky sa prekrývajúca meračská snímka.

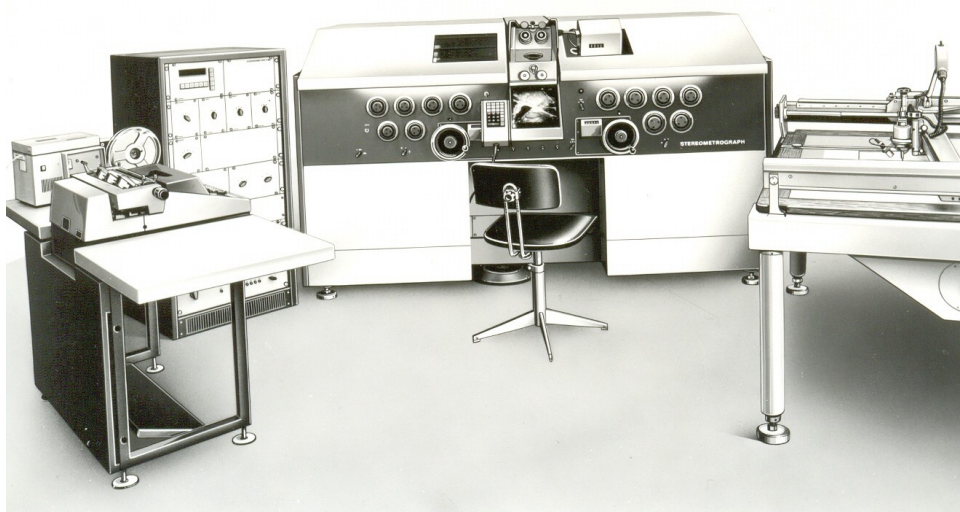


Obr. 10.5. Princíp dvojitej projekcie

V nasledujúcom pracovnom postupe vykonáme **vzájomnú orientáciu snímok**, pri ktorej projektory resp. fotogrametrické zväzky lúčov privedieme do vzájomnej polohy, že združené určovacie lúče sa pretínajú v priestore a vytvárajú optický model terénu. Pri vzájomnej orientácii snímok každým projektorom môžeme vykonať tri rotácie okolo projektorových súradnicových osí  $X, Y, Z$  (pozdĺžny sklon  $\varphi$ , priečny sklon  $\omega$  a pootočenie  $\kappa$ ), ako aj tri posuny v smere osí  $X, Y, Z$  (základnicové zložky  $b_x, b_y$  a  $b_z$ ).

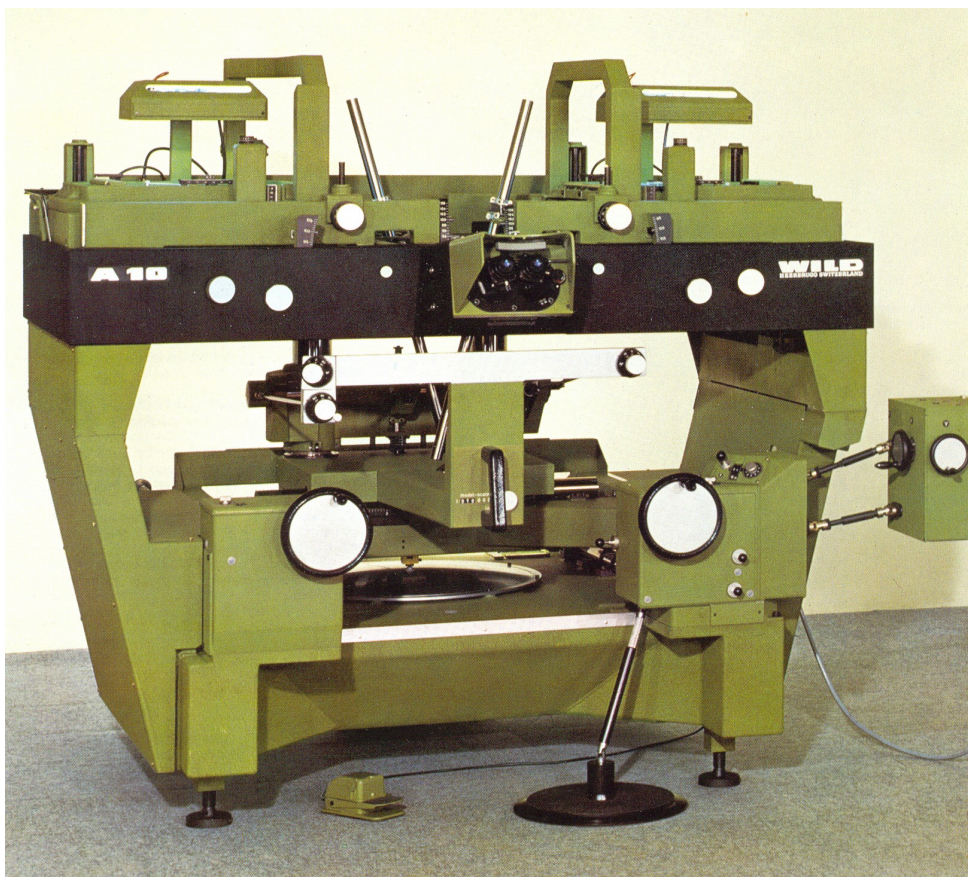
**Mierku optického modelu**, vytvorenú po vzájomnej orientácii, určíme porovnaním dĺžok na optickom modeli a na vlícovacom podklade (mapovom liste). Úpravu mierky modelu vykonáme zmenou dĺžky prístrojovej základnice. Spoločnými sklonmi obidvoch projektorov môžeme optický model nakláňať v pozdĺžnom a priečnom smere a dosiahnuť stotožnenie výšok vlícovacích bodov na optickom modeli a geodeticky určenými výškami, čím vykonáme tzv. **horizontáciu modelu**.

Úprava mierky modelu a jeho horizontácia sa označuje ako absolútna orientácia modelu. Na vykonanie absolútnej orientácie jedného modelu potrebujeme poznať tri vlícovacie body určené súradnicami  $x, y$  a  $z$ , ktoré neležia na jednej spojnici. Najvýhodnejšie je, ak sa nachádzajú v rohoch optického modelu, ako sme si to ukázali na obr. 9.11. Zvýšenie presnosti absolútnej orientácie, ako aj možnosť zníženia účinku deformácie modelu, poskytuje používanie piatich vlícovacích bodov pre každý model (obr. 9.11).



Obr. 10.6. Stereometrograf G Zeiss





Obr. 10.7. Autograf A 10 Wild

Vo fotogrametrickej praxi sa používajú prístroje rôznej konštrukčnej úpravy a presnosti. Všetky prístroje tohto druhu v podstate pozostávajú zo zariadenia na uskutočnenie dvojitej projekcie, t.j. projektorov a kresliaceho zariadenia. Používajú sa stereoplanigrafy firmy Zeiss s optickou projekciou a stereometrografy s mechanickou projekciou (obr. 10.6), ďalej tiež autografy firmy Wild, ktoré majú taktiež mechanickú projekciu (obr. 10.7).

Uvedené prístroje umožňujú vyhotovenie máp s najvyššou presnosťou a používajú sa najmä na vyhodnotenie máp 1:1000 až 1:10 000. Mapy, na presnosť ktorých sú kladené nižšie požiadavky, možno vyhotoviť s použitím prístrojov jednoduchšej konštrukcie.

Prístroje, ktoré umožňujú vyhodnotenie polohopisu a výškopisu zo snímkových dvojíc, sa nazývajú **univerzálne vyhodnocovacie prístroje**. Podľa týchto prístrojov metódu priestorového vyhodnotenia nazývame **univerzálna metóda**.

### 10.3 Priestorové vyhodnotenie leteckých snímok na analógových prístrojoch

Polohopis na analógovom prístroji sa vyhodnocuje tak, že stereoskopickou značkou kopírujeme jednotlivé charakteristické časti optického modelu, napr. cesty, vodstvo, stavby atď. Výškopis vyhodnocujeme pohybom stereoskopickej značky v horizontálnej rovine pri neustálom kontakte meračskej značky s terénom, čím pomocou zobrazovacieho systému vyhodnocujeme vrstevnice.

Samotnému vyhodnocovaniu polohopisu a výškopisu, ako už bolo uvedené v predchádzajúcej kapitole, predchádza orientácia snímok. Predstavuje obnovenie prvkov vnútornej a vonkajšej orientácie obidvoch snímok snímkovej dvojice. Znamená to, že snímky nastavujeme v projektoroch vyhodnocovacieho prístroja do takej polohy, akú zaujímali pri fotogrametrickom snímkovaní. Prvky vnútornej orientácie nastavujeme na analógovom prístroji podľa ich definície na snímkach.

### 10.3.1 Orientácia snímok

Obnovenie prvkov vnútornej orientácie sa vykoná nastavením konštánt snímok komory  $c_k$  a centráciou snímok v projektoroch vyhodnocovacieho prístroja. Centráciou snímok v projektoroch sa obnovia súradnice hlavných snímkových bodov  $x'_H, y'_H$ , resp.  $x''_H, y''_H$ .

Na projektoroch analógového prístroja je potrebné pred orientáciou snímok nastaviť tzv. efektívnu konštantu snímky  $f_s$ . Hodnota konštanty snímky  $f_s$  závisí najmä od zrážky materiálu, ktorú určíme napr. z porovnania rozmerov rámových značiek fotokomory  $d_k$  a snímkovej vzdialenosti rámových značiek  $d'$ . Vypočítame ju podľa vzťahu

$$f_s = c_k \frac{d'}{d_k}, \quad (10.8)$$

kde  $c_k$  je konštanta fotokomory.

Centraciu snímok v projektoroch analógového prístroja vykonáme tak, že snímky vložíme do projektorov emulziou nadol. Rámové značky snímky stotožníme so značkami na podkladnom skle projektorov.

Obnovenie prvkov vonkajšej orientácie vyžaduje osobitné orientačné postupy, pričom sa využívajú perspektívne vzťahy, ktoré platia medzi bodmi optického modelu a zodpovedajúcimi bodmi skutočného objektu. Účelom obnovenia vonkajšej orientácie je uviesť snímky do takej polohy, akú zaujímali pri snímkaní a takto vytvoriť zmenšený priestorový optický model zobrazeného terénu.

Pri rekonštrukcii priestorovej polohy snímok je potrebné pre každú snímku snímkovej dvojice určiť šesť prvkov vonkajšej orientácie. Pre snímkovú dvojicu obnovujeme spolu dvanásť prvkov vonkajšej orientácie. Sú to

- súradnice projekčných centier  $x_{01}, y_{01}, z_{01}; x_{02}, y_{02}, z_{02}$ ,
- pozdĺžne sklony snímok  $\varphi_1$  a  $\varphi_2$ ,
- priečne sklony snímok  $\omega_1$  a  $\omega_2$ ,
- pootočenie snímok  $\kappa_1$  a  $\kappa_2$ .

Orientáciu snímok na analógových vyhodnocovacích prístrojoch riešime v dvoch pracovných etapách, a to:

- vzájomnou (relatívnou) orientáciou,
- absolútnou orientáciou.

Pri riešení úlohy vzájomnej orientácie využívame poznatok projektívnej geometrie, že ak existuje 5 párov zodpovedajúcich si bodov v dvoch útvaroch  $3^\circ$ , potom existuje zodpovedajúci aj 6. až nekonečný pár bodov. V procese vytvárania priestorového optického modelu hľadáme päť párov vhodne rozmiestnených bodov v priesečníkoch určovacích lúčov jednej a druhej snímky snímkovej dvojice. Ak sa nám to podarí ich určiť, potom ostatné zodpovedajúce páry určovacích lúčov v ich priesečníkoch vytvoria zmenšený priestorový optický model objektu. Túto vzájomnú polohu dvoch snímok stereoskopickú dvojicu dosiahneme vzájomným otáčaním (rotáciou) a posunmi (transláciou) snímok v projektoroch analógového prístroja. Vzájomnou orientáciou určujeme tvar optického modelu.

Priestorový optický model po vzájomnej orientácii, nemá presnú mierku a orientáciu vzhľadom na geodetický súradnicový systém. Mierku optického modelu určuje základnicová zložka  $bx$ . Jej predbežnú hodnotu určíme z odmeranej vzdialenosti medzi hlavnými snímkovými bodmi  $b'$  podľa rovnice

$$bx = b' \frac{M_s}{M_m}, \quad (10.9)$$

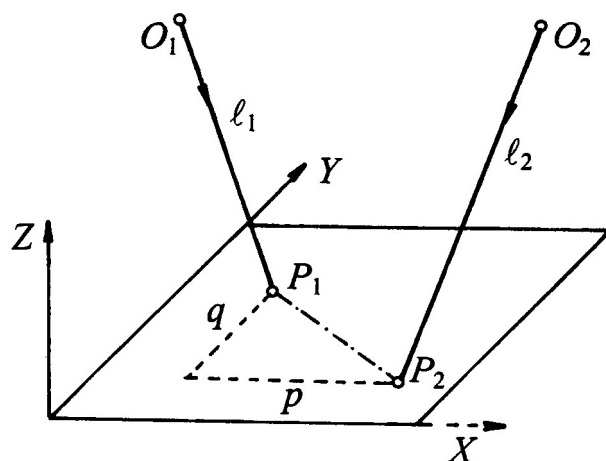
kde  $M_m$  je mierka modelu.

Mierka modelu sa volí podľa vzťahu mierky snímky k mierke mapy. Pri voľbe optimálnej mierky modelu sa zohľadňujú možnosti prevodov medzi vyhodnocovacím prístrojom a koordinatografom. Orientáciu a presný rozmer optického modelu ako celku určíme v priebehu absolútnej orientácie. Absolútnu orientáciu optického modelu dosiahneme zmenšovaním alebo zväčšovaním mierky optického modelu a otáčaním optického modelu ako celku vzhľadom na osi  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  modelového súradnicového systému. Absolútna orientácia sa vykonáva prostredníctvom vlíčovacích bodov.

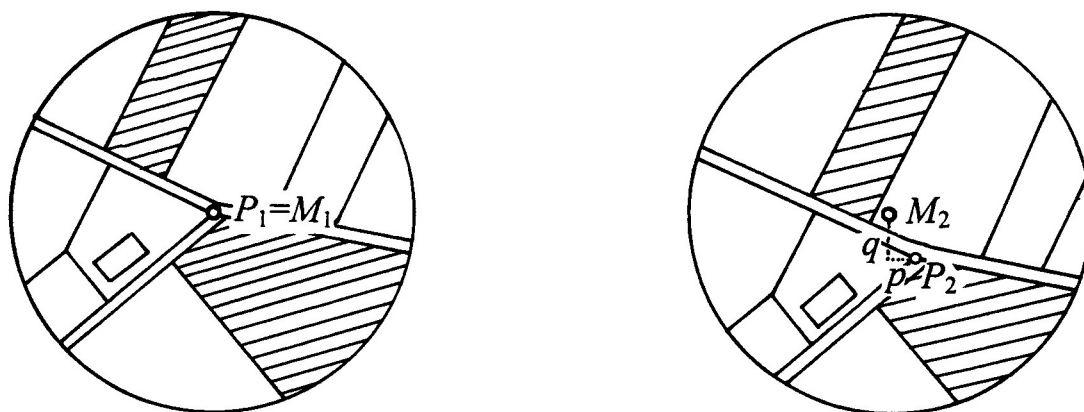
### 10.3.2 Vzájomná orientácia snímok

Po nastavení prvkov vnútornej orientácie snímok nastavením konštánt  $f_s$  a centrácie snímok v projektoroch analógového prístroja začíname vzájomnú orientáciu snímkovej dvojice. Fotogrametrické zväzky lúčov uvedieme do polohy presného normálneho prípadu, kedy rotácie obidvoch snímok nastavíme na nulové hodnoty. V tomto nastavení sa jednotlivé združené určujúce lúče zodpovedajúcich si bodov nepretínajú na daných bodoch.

Ak pretneme dvojicu takýchto združených lúčov  $l_1$  a  $l_2$  vodorovnou rovinou  $XY$ , (obr. 4.1) dostaneme priesečníky  $P_1$  a  $P_2$ .



Obr. 10.8. Vznik horizontálnej a vertikálnej paralaxy



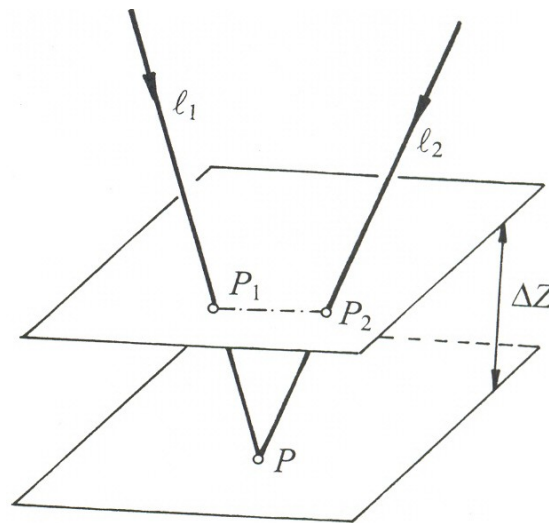
Obr. 10.9. Horizontálna a vertikálna paralaxa v dvojitom okulári analógového prístroja

Ortogonalná zložka úsečky  $P_1$  a  $P_2$  v smere osi  $X$  predstavuje horizontálnu paralaxu  $p$ , v smere osi  $Y$  vertikálnu paralaxu  $q$ . Účelom orientačného postupu je stotožniť meraciu značku  $H_1$  s bodom  $P_1$  a meraciu polznačku  $H_2$  s bodom  $P_2$  (obr. 10.9).

Orientačný postup je založený na odstraňovaní horizontálnych a vertikálnych paralax na vybraných bodoch optického modelu. Podľa obr. 10.10 je zrejmé, že združené určovacie lúče sa v

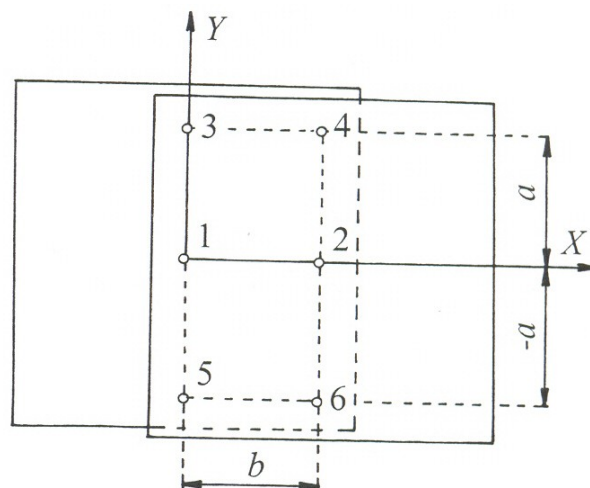


priestore pretnú, ak bude vertikálna paralaxa  $q = 0$ . Pritom horizontálnu paralaxu  $p$  odstránime posunom projekčnej roviny o hodnotu  $\Delta z$ . Viditeľná vertikálna paralaxa predstavuje odchýlku od správnej vzájomnej orientácie v mieste pozorovania. Vertikálne paralaxy odstraňujeme rotáciami alebo transláciami projektorov analógového prístroja.



Obr. 10.10. Odstránenie horizontálnej paralaxy

Odstraňovaním vertikálnych paraláx na piatich orientačných bodoch určíme päť orientačných zmien projektorov. Body optického modelu, na ktorých odstraňujeme vertikálne paralaxy, nazývame orientačnými bodmi. Sú to vybrané markantne zobrazené body na snímkach, napr. rohy parciel, križovatky, malé kontrastné plôšky a pod. Vybrané body slúžia len na presné odstraňovanie vertikálnych paraláx počas vzájomnej orientácie. Rozloženie orientačných bodov v stereograme volíme podľa obr. 10.11. Body 1 a 2 zvolíme v blízkosti hlavných bodov ľavej a pravej snímky. Body 3 a 4 volíme na kolmiciach k spojnici bodov 1 a 2 vo vzdialenosti  $+a$ , body 5 a 6 zvolíme na opačnú stranu od spojnice bodov 1 a 2 vo vzdialenosti  $-a$ . Vertikálne paralaxy odstraňujeme len na piatich bodoch, šiesty bod slúži na kontrolu vykonanej vzájomnej orientácie, kde po dokončení orientácie  $q \rightarrow 0$ .



Obr. 10.11. Rozloženie orientačných bodov v stereograme

Vzájomnú orientáciu snímkovej dvojice zaistíme:

- opticko - mechanicky,
- numericky.

Opticko - mechanický spôsob vzájomnej orientácie je založený na priamom odstraňovaní vertikálnych paralax rotáciami a transláciami jednotlivých projektorov na orientačných bodoch. Numerický spôsob vzájomnej orientácie je založený na výpočte orientačných zmien projektorov na základe meraných vertikálnych paralax na orientačných bodoch. Tento postup orientácie sa aplikuje v digitálnej fotogrametrii, kde je aj programovo automatizovaný.

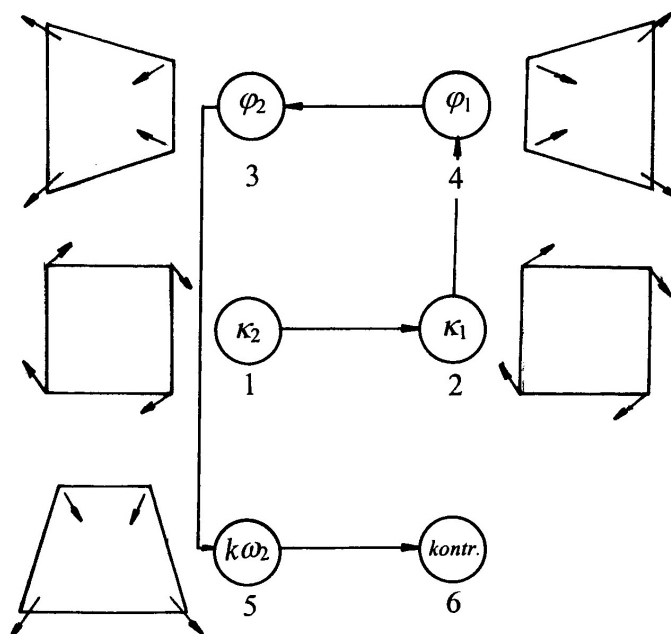
### Opticko - mechanický postup vzájomnej orientácie

Spôsoby vzájomnej orientácie:

1. vzájomná orientácia *nezávislej* snímkovej dvojice pri použití rotácií projektorov  $\kappa_1$ ,  $\kappa_2$ ,  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ , a  $\omega_1$  alebo  $\omega_2$ ,
2. vzájomná orientácia s *priradením* snímky, kedy jeden projektor nemení svoju polohu. Druhú snímku vloženú v druhom projektore priradíme k prvému pevnému projektoru pomocou rotácií,  $\varphi_2$ ,  $\omega_2$ ,  $\kappa_2$  a translácií:  $b_{y_2}$ ,  $b_{z_2}$ .

### Vzájomná orientácia nezávislej snímkovej dvojice

Vertikálne paralaxy odstraňujeme postupne podľa obr. 10.12.



Obr. 10.12. Vzájomná orientácia nezávislej snímkovej dvojice

- na bode 1 pootočením  $\kappa_2$ ,
- na bode 2 pootočením  $\kappa_1$ ,
- na bode 4 stočením  $\varphi_1$ ,
- na bode 3 stočením  $\varphi_2$ ,
- na bode 5 nasadíme sklon  $\omega_2$ , s tzv. prekorigovaním.

Po odstránení paralaxy na bode 2 kontrolujeme, či sa neobjavila paralaxa na bode 1. Paralaxu v bode 4 odstraňujeme až keď na bodoch 1 a 2 nie sú vertikálne paralaxy. Takto postupne opravujeme paralaxy až prejdeme na bod 5.

Prekorigovanie znamená, že viditeľnú vertikálnu paralaxu pomocou rotácie  $\omega_2$  najprv odstránime a  $k$ -krát zväčšíme (prekorigujeme) na opačnú stranu. Faktor prekorigovania  $k$  je funkciou konštanty komory a snímkovej vzdialenosti  $a'$ . Nadobúda hodnoty  $k = 1$  až 5. Faktor prekorigovania spravidla aplikujeme podľa empirických skúseností.

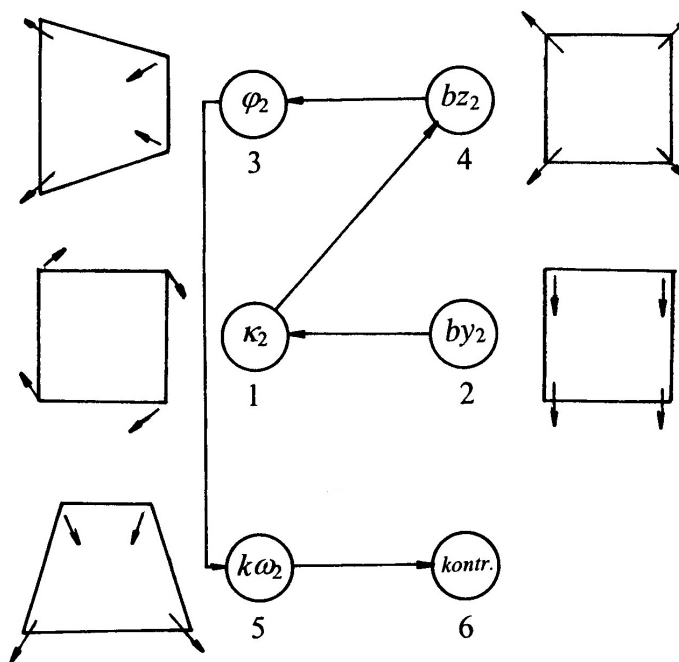
Po prekorigovaní na bode 5 zostanú na ostatných bodoch nové, avšak podstatne menšie vertikálne paralaxy, ktoré sa zmenšia ďalším cyklom opráv. Uvedený postup vzájomnej orientácie sa opakuje, kým hodnota vertikálnej paralaxy na kontrolnom bode 6 neklesne pod hodnotu  $1/4$  veľkosti meracej značky.

### Vzájomná orientácia s priradením snímky

Poloha prvého projektora zostáva nezmenená, menia sa len orientačné prvky druhého projektora. Rotácie  $d\kappa_1$  a  $d\varphi_1$  (obr. 4.6) sa nahradia transláciami druhého projektora s podobnými účinkami. Túto funkciu spĺňajú translácie  $db_{y_2}$  a  $db_{x_2}$  druhého projektora.

Vertikálne paralaxy odstraňujeme v tomto poradí (obr. 4.7):

- na bode 2 posunom  $by_2$ ,
- na bode 1 pootočením  $\kappa_2$ ,
- na bode 4 posunom  $bz_2$ ,
- na bode 3 stočením  $\varphi_2$ ,
- na bode 5 sklonom  $\omega_2$  s prekorigovaním,
- na 6. bode kontrolujeme zvyškovú chybu vzájomnej orientácie.



Obr. 10.13. Vzájomná orientácia s priradením snímky

### 10.3.3 Absolútna orientácia optického modelu

Optický model po vzájomnej orientácii snímok dostaneme do vyžadovanej mierky a správnej polohy vzhľadom na geodetický súradnicový systém pri absolútnej orientácii. Pritom určíme sedem orientačných prvkov snímkovej dvojice:

- mierku modelu,
- tri posuny  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  a jednu rotáciu  $K$ , optického modelu voči mapovému podkladu,
- dve rotácie  $\Phi$ ,  $\Omega$  optického modelu okolo priestorových osí modelového systému analógového prístroja.

Určovacie prvky pre absolútnu orientáciu získame z priestorových súradníc vlícovacích bodov, ktoré vykreslíme na mapový podklad.

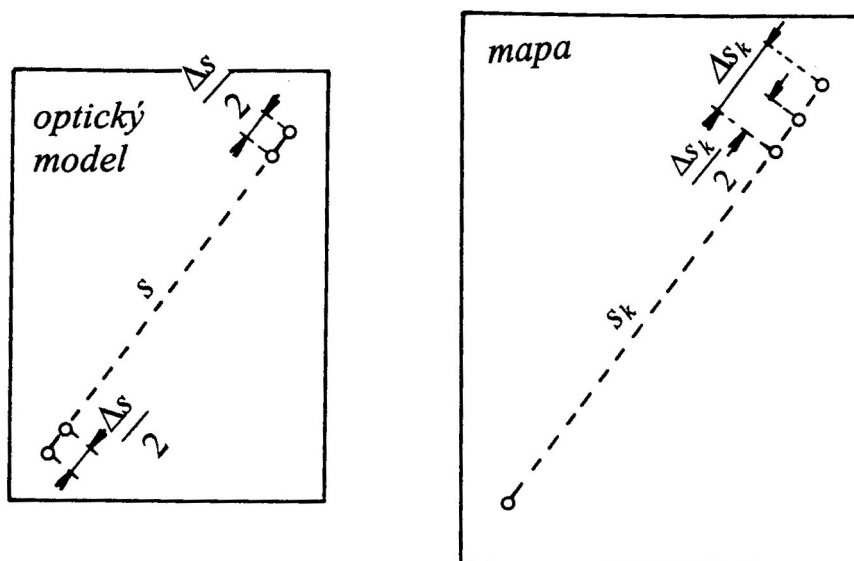
Pre účely absolútnej orientácie optického modelu potrebujeme poznať minimálne tri vlícovacie body, ktoré neležia na jednej priamke. Pomocou dvoch vlícovacích bodov, daných súradnicami  $x, y, z$  určíme šesť neznámych parametrov absolútnej orientácie, pomocou výšky  $z$  tretieho vlícovacieho bodu určíme siedmy orientačný prvok.

Vo fotogrametrickej praxi využívame štyri vlícovacie body (obr. 9.11), umiestnené približne v rohoch stereogramu. Pre kontrolu výškových deformácií optického modelu volíme piaty vlícovací bod v strede stereoskopického modelu.

Absolútnu orientáciu riešime v dvoch etapách: najprv spresníme mierku optického modelu a potom horizontujeme optický model.

### Spresnenie mierky optického modelu

Najčastejšie aplikujeme graficko-empirický spôsob spresnenia mierky modelu. Vtedy orientujeme mapový podklad s vynesenými vlícovacími bodmi vzhľadom k najdlhšej spojnici medzi vlícovacími bodmi (obr. 10.14). Stereoskopickú značku nastavíme na vlícovací bod optického modelu. Stred mikroskopu pravouhlého koordinátografu nastavíme na vykreslený vlícovací bod a pripojíme pravouhlý koordinátograf k analógovému prístroju. Prejdeme stereoskopickou značkou na druhý vlícovací bod. Mapový podklad pootočíme okolo prvého vlícovacieho bodu, pričom na druhom zistíme odchýlku  $\Delta s_k$ . Kotúčmi koordinátografu nastavíme stred mikroskopu na  $\Delta s_k / 2$ . Zmenou základnicovej zložky  $b_x$  a Z-ovým kotúčom analógového prístroja opäť nastavíme stereoskopickú značku na príslušný vlícovací bod optického modelu. Účinok opravy kontrolujeme na 1. vlícovacom bode. V prípade potreby spresnenia mierky optického modelu opakujeme.



Obr. 10.14. Spresnenie mierky optického modelu

### Horizontácia optického modelu

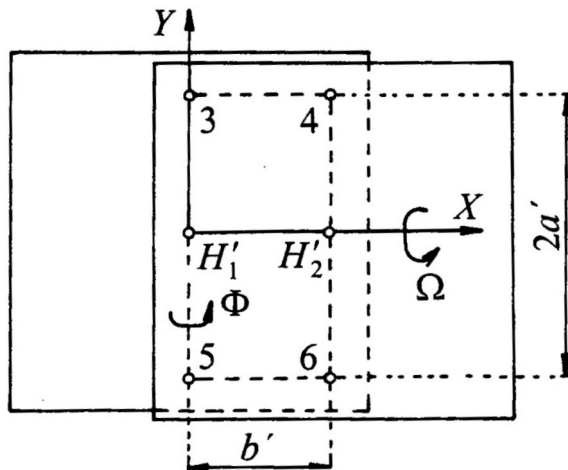
Optický model so spresnenou mierkou je potrebné otočiť okolo osí  $X$  a  $Y$  modelového súradnicového systému analógového prístroja o uhly  $\Phi$  a  $\Omega$ . Pracovný postup, keď určujeme hodnoty  $\Phi$  a  $\Omega$ , sa nazýva horizontácia optického modelu. Vstupnými údajmi sú fotogrametricky odmerané výšky na vlícovacích bodoch.

Zvyčajne máme k dispozícii štyri vlícovacie body, ktoré sú umiestnené približne v rohoch stereogramu (obr. 9.11). Stereoskopickú značku stotožníme, napr. s vlícovacím bodom 4 a na výškovej

stupnici nastavíme geodeticky odmeranú výšku vličovacieho bodu 4 (obr. 10.15). Potom odmeriame fotogrametrické výšky bodov 3, 5 a 6.

Na základe geodetických výšok  $z_{4g}$ ,  $z_{3g}$ ,  $z_{5g}$ ,  $z_{6g}$  a fotogrametrických modelových výšok  $z_{4f}$ ,  $z_{3f}$ ,  $z_{5f}$ ,  $z_{6f}$  určíme rozdiely:

$$\Delta z_4 = z_{4g} - z_{4f} \quad \Delta z_3 = z_{3g} - z_{3f} \quad \Delta z_5 = z_{5g} - z_{5f} \quad \Delta z_6 = z_{6g} - z_{6f} . \quad (10.10)$$



Obr. 10.15. Horizontácia modelu na štyri vličovacie body

Spojnice bodov 1, 2 je snímková základnica  $b'$  a približne sleduje smer osi  $X$  modelového systému. Použijeme ju ako náhradu za vzdialenosť 3 - 4 a 5 - 6. Spojnica bodov 3, 5 resp. 4, 6 je vzdialenosť  $2a'$  a približne sleduje smer osi  $Y$ . Na základe obr. 10.15 je možné pre pozdĺžny a priečny sklon písať

$$\Phi_1 = \frac{\Delta z_4 - \Delta z_3}{b' m_s}, \quad \Phi_2 = \frac{\Delta z_6 - \Delta z_5}{b' m_s}, \quad (10.11)$$

$$\Omega_1 = \frac{\Delta z_5 - \Delta z_3}{2a' m_s}, \quad \Omega_2 = \frac{\Delta z_6 - \Delta z_4}{2a' m_s}. \quad (10.12)$$

### Oprava základnicových zložiek

Na analógových prístrojoch sú projektory umiestnené na pevnej základnici. Hodnoty spoločného pozdĺžneho sklonu  $\Phi$  a priečného sklonu  $\Omega$  je potrebné nastaviť na oboch projektoroch. Pri takomto nastavení spoločných rotácií sa zmenia pôvodné hodnoty základnicových zložiek, ktoré opravíme podľa rovníc:

$$\begin{aligned} dbz &= bx \Phi + by \Omega, \\ dby &= bz \Omega, \\ dbx &= bz \Phi. \end{aligned} \quad (10.13)$$

V praxi základnicové zložky opravujeme empiricky podľa veľkosti rozdielov  $\Delta z$  v pozdĺžnom a priečnom smere.

#### 10.3.4 Grafické vyhodnocovanie na analógových prístrojoch

Vo väčšine úloh technickej praxe spravidla stačí grafické vyhodnotenie s priamym kartírovaním polohopisu a výškopisu. Pre Základnú mapu veľkej mierky (ZMVM) registrujeme modelové úradnice, ktoré transformujeme do S-JTSK.

Priestorový optický model vyhodnocujeme graficky obyčajne v dvoch fázach: najprv vykreslíme výškopis a potom polohopis. Výšky vyhodnocujeme nastavovaním stereoskopickej značky na jednotlivé charakteristické body (vrchol, sedlový bod, vodný predel a pod.). Odčítané výšky a výškové



kóty zapíšeme priamo do mapového podkladu. V plochom teréne pri sklone terénu menšom ako  $3^\circ$  je plynulé kartírovanie vrstevníc obtiažne a málo presné. Preto namiesto plynulej kresby kartírujeme jednotlivé výšky bodov, podľa ktorých interpolujeme vrstevnice, alebo sa uspokojíme len s výškovými kótami. V členitom teréne vyhodnocujeme vrstevnice v intervaloch, v ktorých sa zobrazujú na mape.

Polohopis začíname vyhodnocovať (kartírovať) pri markantných objektoch, ako sú budovy, cesty, železnice a pod. Podľa účelu mapy kartírujeme hranice kultúr, vlastnícke hranice atď. Pri priamočiarych hraniciach kartírujeme lomové body, pri dlhších priamkach jeden-dva body v strede priamky.

Na prvotnú kresbu mapy sa používajú tuhy rôznych farieb, napr. polohopis je čierny, vodné toky a jazerá modré, vrstevnice hnedé, lesy a lesné kultúry zelené a pod.

#### 10.4 Numerické vyhodnotenie

Numerické vyhodnotenie s registráciou modelových súradníc sa využíva najmä pri mapovaní vo veľkých mierkach a pri fotogrametrickej tvorbe digitálneho modelu reliéfu (DMR), t.j. pri tvorbe bázy údajov o topografickej ploche v pamäti počítača pre účely tvorby geografického informačného systému (GIS).

Pri mapovaní vo veľkých mierkach ide spravidla len o vyhodnotenie polohopisu. Výsledkom fotogrametrického vyhodnotenia sú modelové súradnice polohopisných bodov. Na základe geodetických súradníc vĺčovacích bodov sa vykonáva transformácia fotogrametrických bodov polohopisu do geodetického systému S-JTSK.

#### 10.5 Presnosť a hospodárnosť analógového priestorového vyhodnotenia

##### Polohová presnosť

Pre modelové súradnice  $x, y$  platí

$$x = \frac{h}{c_k} x' = M_s x', \quad y = \frac{h}{c_k} y' = M_s y'. \quad (10.14)$$

Po diferencovaní a prechode na stredné chyby dostaneme:

$$m_x = M_s m'_x, \quad m_y = M_s m'_y. \quad (10.15)$$

##### Presnosť vyhodnotenia výšok bodov

Pri analógovom priestorovom vyhodnotení sa realizuje približne normálny prípad leteckej stereofotogrametrie. Pre rozbor chýb môžeme použiť vzťah pre normálny prípad

$$h = \frac{b c_k}{p}. \quad (10.16)$$

Ak uvedený vzťah derivujeme podľa  $p$ , dostaneme:

$$dh = -\frac{b c_k}{p^2} dp. \quad (10.17)$$

Po prechode na stredné chyby a úprave platí:

$$m_h = \frac{h}{b} \frac{h}{c_k} m_p, \quad (10.18)$$

kde  $\frac{h}{b}$  je základnicový pomer,

$\frac{h}{c_k}$  mierkové číslo snímky,

$m_p$  stredná chyba horizontálnej paralaxy .

### **Presnosť vrstevníc**

Pri kartírovaní vrstevníc sa prejavuje vplyv polohovej ako aj výškovej chyby. Na vyjadrenie strednej chyby vrstevnice  $m_v$  sa využíva Koppeho vzorec

$$m_v = a + b \operatorname{tg} \alpha \quad (10.19)$$

alebo Raabov vzorec

$$m_v = \sqrt{A^2 + (B \operatorname{tg} \alpha)^2}, \quad (10.20)$$

pričom koeficienty  $a$ , resp.  $A$  vyjadrujú hodnotu výškovej chyby  $m_h$ , koeficienty  $b$ , resp.  $B$  vyjadrujú hodnoty strednej polohovej chyby  $m_{xy}$  grafického vyhodnotenia,  $\alpha$  je sklon terénu v okolí uvažovaného bodu.

### **Príklady presnosti analógového priestorového vyhodnotenia:**

a) *topografické mapovanie v mierke 1:25 000,*

vyhodnocovací prístroj - stereometrograf,

snímková mierka  $1 : M_s = 1 : 26\,000$ ,

základnicový pomer  $\frac{h}{b} = 3,0$ ,

konštanta fotokomory  $c_k = 200$ , formát snímky 180 x 180 mm,

$m_{xy} = 0,67$  m ,  $m_h = 0,9$  m ,  $m_p = 12$   $\mu$ m ,  $m_v = (0,7 + 1,8 \operatorname{tg} \alpha)$  m.

b) *mapovanie vo veľkých mierkach 1:2000,*

vyhodnocovací prístroj - topokart,

snímková mierka  $1 : M_s = 1 : 8\,000$ ,

základnicový pomer  $\frac{h}{b} = 1,5$ ,

konštanta fotokomory  $c_k = 150$  mm, formát snímky 230 x 230 mm,

$m_{xy} = 0,09$  m ,  $m_h = 0,10$  m ,  $m_p = 8$   $\mu$ m ,  $m_v = 0,16$  m.

### **Hospodárnosť analógového priestorového vyhodnotenia**

Presnosť analógového priestorového vyhodnotenia nie je možné určiť bez ohľadu na hospodárnosť. Zvyšovaním presnosti analógového vyhodnotenia zväčšujeme najmä nároky na veľkosť mierky snímky. Tým sa zväčšuje počet snímkov. Zväčšovaním mierky snímky síce zvyšujeme presnosť vyhodnotenia, ale zároveň klesá hospodárnosť.

Hospodárnosť analógového vyhodnotenia výrazne ovplyvňujú okrem uvedeného aj investičné náklady na zakúpenie analógového prístroja. Takýto prístroj vo fotogrametrickej prevádzke, vyžaduje využitie aspoň v dvoch smenách.

Fotogrametrické analógové vyhodnocovanie je významným pomocníkom pri mapovaní v stredných a malých mierkach.