

10.6 Jednosnímkové vyhodnotenie leteckých snímok

So zmenou výšok bodov terénu sa mení aj mierka leteckej snímky. Táto zmena je dôsledkom rozdielu medzi centrálnou projekciou snímky a ortogonálnou projekciou mapy. Mierka snímky aj rovinného územia nie je na celej ploche rovnaká, ak smer fotografovania leteckej snímky nie je presne zvislý. Preto, aby sme mohli z meračskej snímky územia vyhotoviť polohopisnú zložku mapy, je potrebné snímku prekresľovať do vyžadovanej mierky mapy.

Využitie mozaiky jednotlivých meračských snímok je vo forme **fotonáčrtu**, alebo po ich prekreslení a montáži na vlícovacom podklade mapového listu vo forme **fotoplánu**. Výsledkom diferenciálneho prekreslenia snímky je obraz zobrazujúci polohopis v ortogonálnej projekcii ortofotosnímka (obr. 10.33).

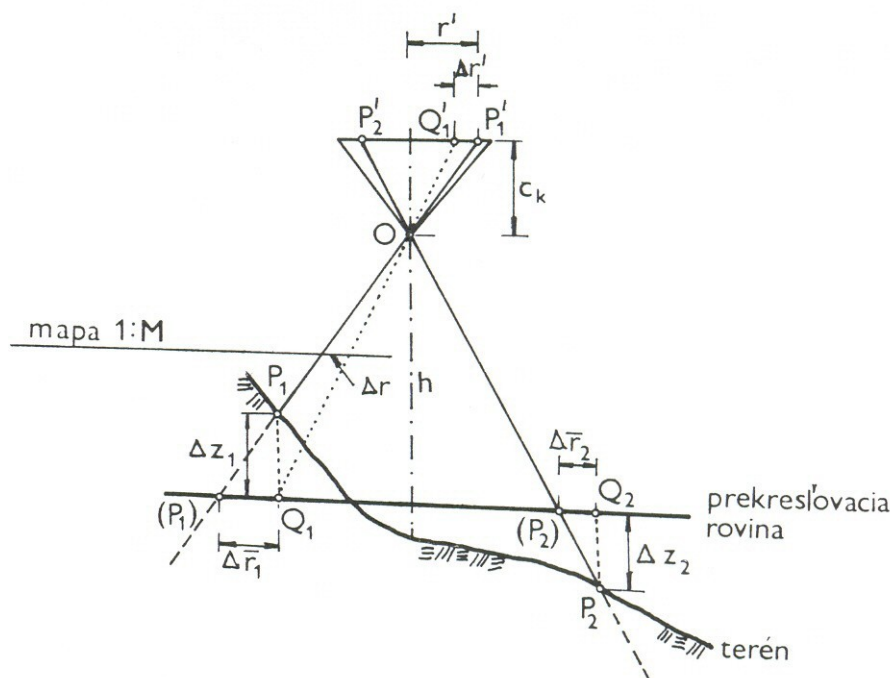
10.6.1 Vplyv terénneho reliéfu na zobrazenie

Nech bod P na terénnom reliéfe má prevýšenie Δz nad prekresľovacou (porovnávacou) rovinou. Bod Q je ortogonálny priemet bodu P na prekresľovaciu rovinu (obr. 10.16). Úsečka $(P)Q$ predstavuje radiálny posun Δr , ktorý je funkciou prevýšenia terénu Δz nad zvolenou prekresľovacou rovinou a polohy bodu P' vzhľadom na stred snímky. Podľa obr. 10.16 pre radiálny posun platí

$$\frac{\Delta \bar{r}}{\Delta z} = \frac{r}{h} = \frac{r'}{c_k}$$

a po úprave, keď radiálny posun vyjadríme v mierke mapy $\Delta \bar{r} = \Delta r M_s = \Delta r \frac{h}{c_k}$ dostaneme

$$\Delta r = \Delta z \frac{r'}{c_k M_s} = \Delta z \frac{r'}{h}. \quad (10.22)$$



Obr. 10.16. Vplyv terénneho reliéfu na zobrazenie na leteckej snímke

Neistotu v zobrazení polohopisu pri jednosnímkovej fotogrametrii limitujeme prípustnou toleranciou radiálneho posunu $\Delta r \leq 0,4 \text{ mm}$ (na styku dvoch susedných prekreslených snímok je

$\Delta r \leq 0,6 \text{ mm}$). Prípustné prevýšenie terénu na okraji snímky od prekresľovacej roviny pre príslušný radiálny posun vypočítame z rovnice

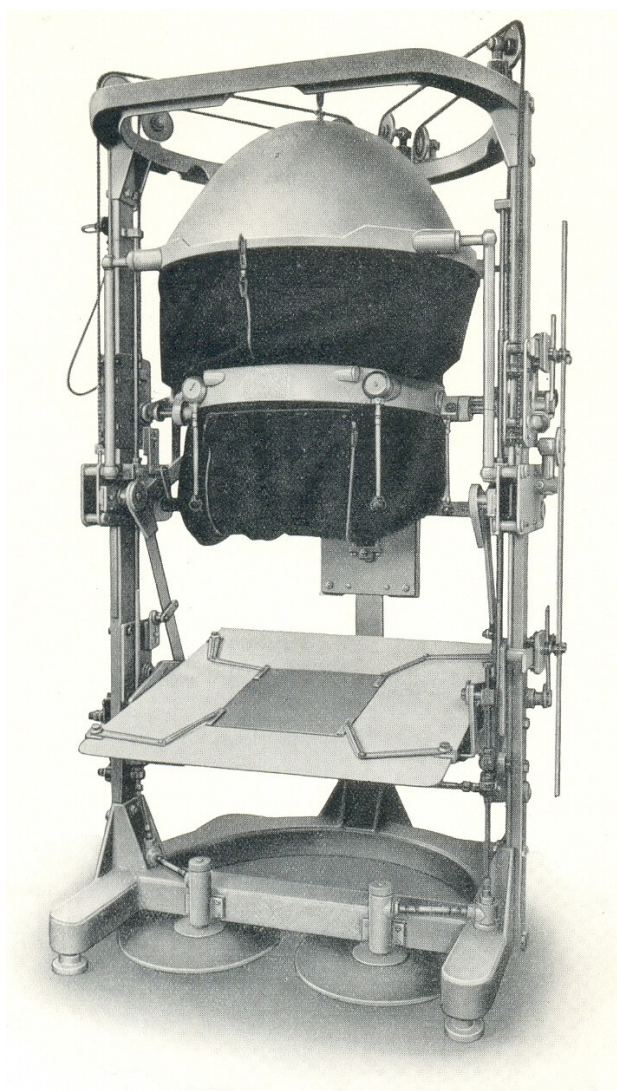
$$\Delta z_{\max} = \frac{\Delta r \cdot c_k \cdot M_s}{r'} \quad (10.16)$$

Napríklad pri vyhotovení fotoplánu v mierke 1:10 000, ak uvažujeme $\Delta r \leq 0,4 \text{ mm}$ $c_k = 200 \text{ mm}$ a $r' = 80 \text{ mm}$, maximálne prevýšenie na snímke od prekresľovacej roviny môže byť

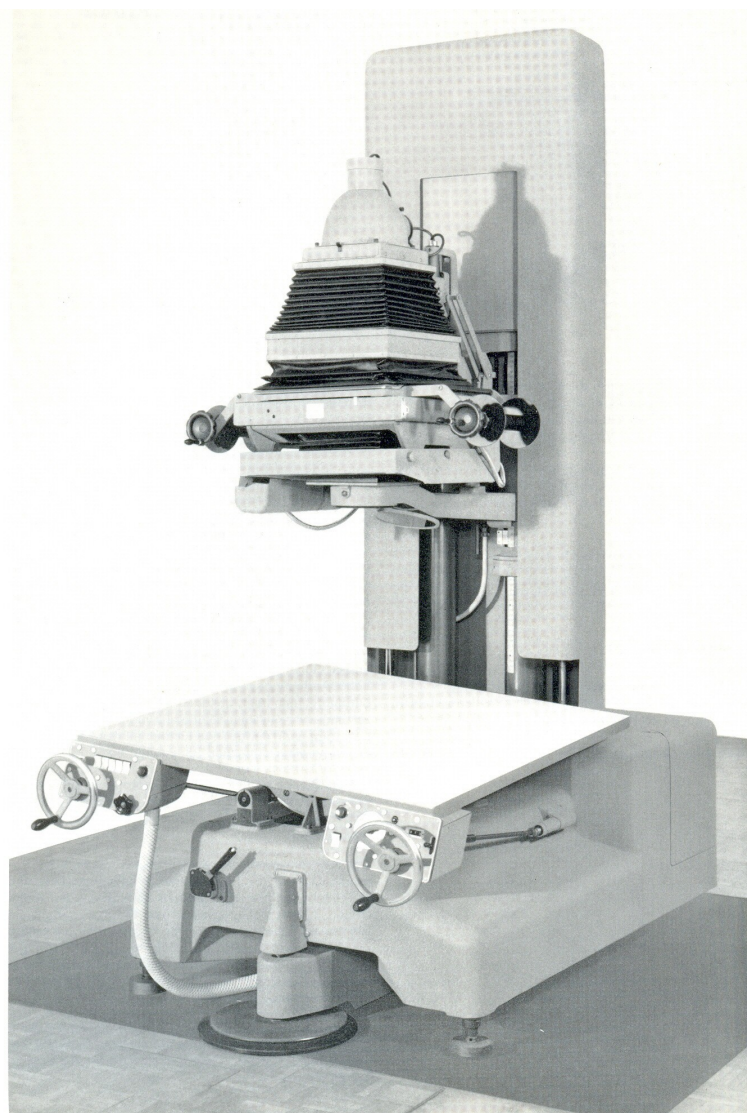
$$\Delta z_{\max} \leq \frac{0,4 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm} \cdot 10\,000 \text{ mm}}{80 \text{ mm}} \leq 10 \text{ m}.$$

Za rovinné územie považujeme také územie, ktorého prevýšenie na snímke v zmysle (10.22) neprekračuje $2\Delta z_{\max}$. Ak prevýšenie na snímke prekročí hodnotu $2\Delta z_{\max}$, snímku nemôžeme už prekresľovať na jednu prekresľovaciu rovinu, ak chceme splniť požiadavku, aby radiálny $\Delta r \leq 0,4 \text{ mm}$. Prekresľovanie takéhoto územia môžeme vykonať

- po vrstvách,
- v rovnobežných profilových pruhoch tzv. diferenciálnym prekresľovaním snímok.



Obr. 10.17. Prekresľovač SEG-I Zeiss



Obr. 10.18. Wildov prekresľovač E 4

10.6.2 Metódy prekresľovania meračských snímok

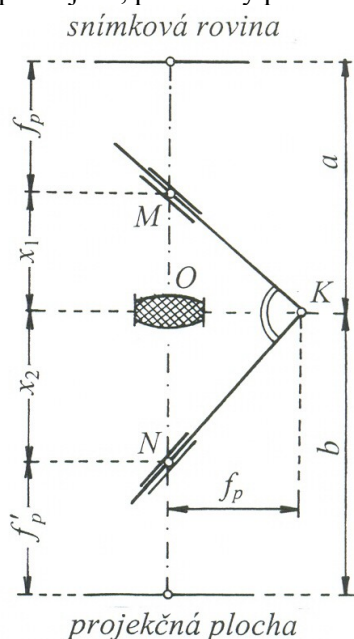
Princíp prekresľovania meračských snímok spočíva v tom, že optickou projekciou premeníme centrálnu projekciu snímky na projekciu, ktorá zodpovedá ortogonálnej projekcii mapy. Prekresľovanie meračských snímok rovinného územia sa vykonáva prekresľovačmi, prekresľovanie členeného územia diferenciálnymi prekresľovačmi.

Prekresľovač je prístroj, ktorý opticko-mechanickým spôsobom odstraňuje skreslenie vzniknuté sklonom snímky a súčasne upravuje snímku do vyžadovanej mierky. V podstate pracuje ako veľký zväčšovací prístroj (obr. 10.17 a 10.18), s možnosťou: náklonu projekčnej plochy a hlavnej roviny objektívu alebo snímkovej roviny, zmeny vzdialenosti medzi projektorom a projekčnou plochou a posunu, resp. otáčania negatívu. Zaostrenie obrazu sa vykonáva automaticky pri zmene zväčšenia zariadením nazývaným inverzor.

Inverzor

Inverzor je zariadenie na prekresľovanie snímok, ktoré plynulo zachováva optické podmienky prekreslenia. Zaostruje premietnutý obraz pri každej zmene zväčšenia alebo sklonu. Inverzormi sú vystrojené automatické prekresľovače.

V zmysle optických podmienok prekreslenia pre ostré zobrazenie pravouhlý inverzor reguluje vzdialenosť objektívu od snímkovej a projekčnej roviny podľa šošovkovej rovnice. Schému zobrazenia znázorňuje obr. 10.19. Okolo bodu K , ktorého vzdialenosť od premietacieho objektívu sa rovná jeho ohniskovej vzdialenosti f_p , otáča sa tyčka zalomená do pravého uhla. Vzdialenosť bodov M a N tejto tyčky od snímkovej roviny, resp. od projekčnej plochy sa tiež rovná ohniskovej vzdialenosti f_p premietacieho objektívu. Ak sa body M a N kľžu súčasne po zalomenej tyčke a aj po optickej osi, pre každý pomer zväčšenia (zmenšenia) platí šošovková rovnica.



V trojuholníku MKN pre každú plochu zalomenej tyčky platí:

$$x_1 x_2 = f_p^2, \quad (10.23)$$

čo predstavuje aj Newtonov tvar šošovkovej rovnice. Podľa (10.23) platí

$$x_1 = a - f_p, \quad x_2 = b - f_p.$$

Keď tieto hodnoty dosadíme do rovnice (10.23), dostaneme:

$$f_p^2 = ab - af_p - bf_p + f_p^2, \quad \text{resp. } ab = f_p(a + b),$$

čo dokazuje platnosť šošovkovej rovnice

$$\frac{1}{f_p} = \frac{a + b}{ab} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}. \quad (10.24)$$

Obr. 10.19. Pravouhlý mierkový inverzor

Prekresľovanie snímok a montáž fotoplánu

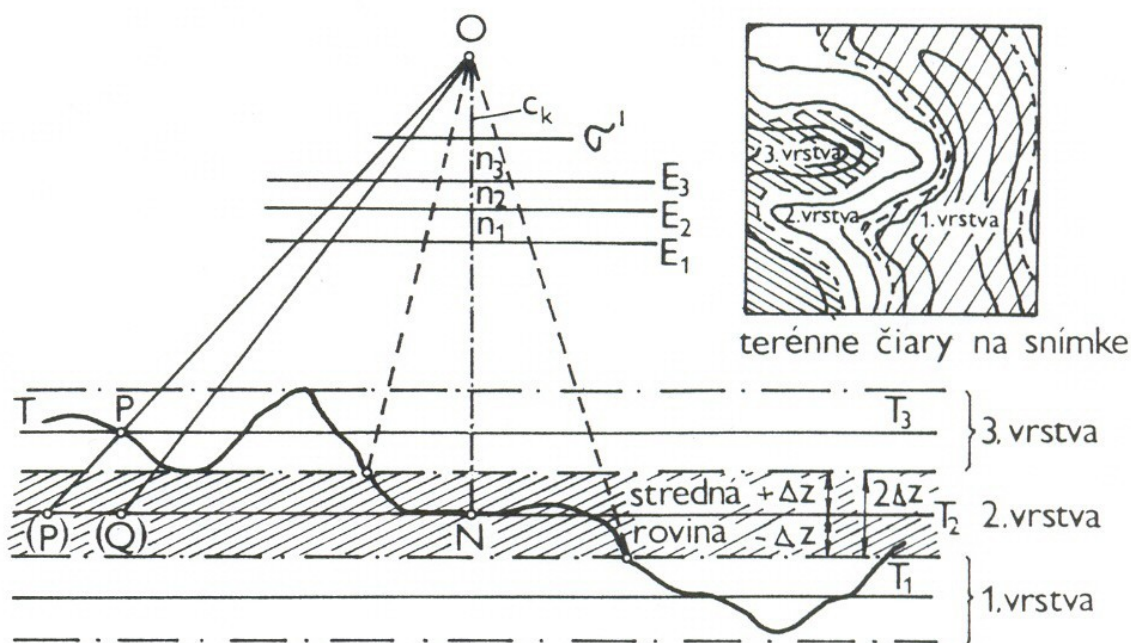
Najvýhodnejší pracovný postup prekresľovania snímok je s využitím štyroch vlícovacích bodov, rozmiestnených v rohoch meračskej snímky. Vlícovacie body vynesené vo vyžadovanej mierke na vhodnej podložke tvoria vlícovací podklad, na ktorý premietame obraz meračskej snímky. Využitím vzájomných pohybov projekčnej plochy a projektoru môžeme doceliť v rámci určitej presnosti

stotožnenie premietnutých bodov so zodpovedajúcimi bodmi vličovacieho podkladu. Vtedy proces úpravy mierky snímky a perspektívneho skreslenia pokladáme za ukončený a vličovaci podklad nahradíme fotografickým materiálom, na ktorý exponujeme meračskú snímku.

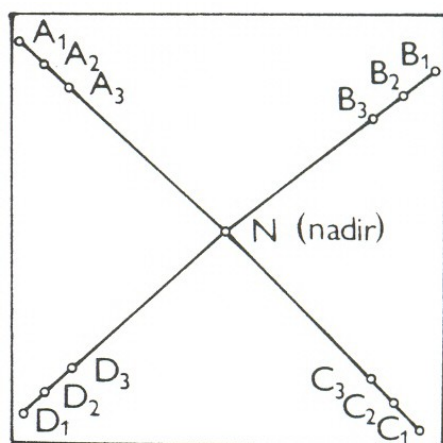
Prekreslené meračské snímky postupne prikladáme na vličovaci podklad, pričom stotožňujeme vličovacie body na snímkach s bodmi na vličovacom podklade. Po stotožnení susedných snímok s vličovacím podkladom vykonáme vo vhodných miestach rezy, ktorými odstránime okraje snímok. Nalepené snímky na vličovaci podklad a opatrené popisom, štvorcovou sieťou a sekčným rámom tvoria fotoplán.

Prekresľovanie snímok po vrstvách

Prekresľovanie po vrstvách sa aplikuje v mierne členitom území a to maximálne na tri prekresľovacie vrstvy (obr. 10.20). Výška vrstvy sa určuje podľa vzorca (10.22) pre vymedzenú hodnotu radiálneho posunu (pri prekresľovaní po vrstvách je $\Delta r_{\max} \leq 0,7$ mm). Každá vrstva sa prekresľuje osobitne na vličovaci podklad, v ktorom je poloha vličovacích bodov radiálne posunutá úmerne prevýšeniu vličovacieho bodu nad zvolenou porovnávacou rovinou (obr. 10.21).



Obr. 10.20. Prekresľovanie po vrstvách



Presnosť fotoplánu závisí od starostlivosti, s akou sme vykonali prekresľovanie snímok a ich montáž a od presnosti, s akou sme určili vličovacie body. Radiálne posuny bodov terénneho reliéfu sú najväčším zdrojom chýb fotoplánu. Presnosť fotoplánu môžeme najlepšie prekontrolovať v miestach rezov medzi susednými prekreslenými snímkami, resp. medzi jednotlivými vrstvami prekreslenia. Odchýlky by nemali prekročiť prípustné medze $\Delta r_{\max} \leq 0,4$ mm, resp. 0,7 mm.

Obr. 10.21. Oprava polohy vličovacích bodov pri prekresľovaní po vrstvách

10.6.3 Diferenciálne prekresľovanie snímok

Podstata diferenciálneho prekresľovania snímok spočíva v tom, že letecká meračská snímka sa rozdelí na úzke pruhy rovnobežné s jednou snímkovou stranou (obr. 10.22). Podľa týchto pruhov sa prostredníctvom úzkej štrbiny ortoprojektora obraz meračskej snímky premieta postupne v malých ploškách, pričom mierka zobrazenia sa mení úmerne výške práve nastaveného diferenciálneho plošného elementu. Prekresľovanie snímky v malých plošných elementoch vyžaduje určenie priestorového priebehu jednotlivých profilov, podľa ktorých sa vykoná mierková úprava prekresľovania plošných elementov.

Vzhľadom na potrebu určenia tvaru profilov, diferenciálne prekresľovanie spája dva pracovné postupy a to vymeranie optického modelu (vymeranie tvaru profilov) a prekresľovanie snímok.

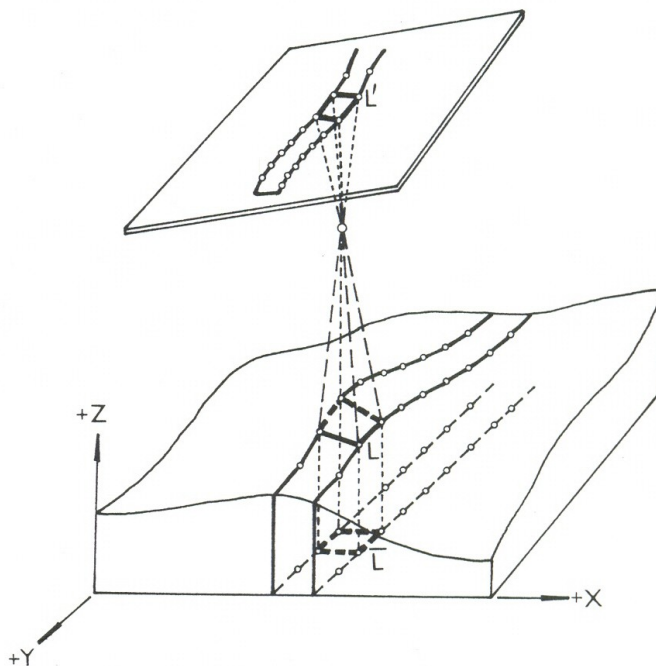
Z vymeraných profilov čiar je možné odvodiť tvar vrstevníc a v jednom pracovnom postupe tak získať polohopis a výškopis vyhodnocovaného územia (integrovaná metóda mapovania).

Diferenciálne prekresľovanie snímok môžeme uskutočniť aj pracovným postupom bez záznamu tvaru profilov. Vtedy vedením značky po profile terénneho reliéfu meníme výšku projektora v smere osi Z a štrbinou v priebehu vyhodnotenia diferenciálne prekresľujeme snímku.

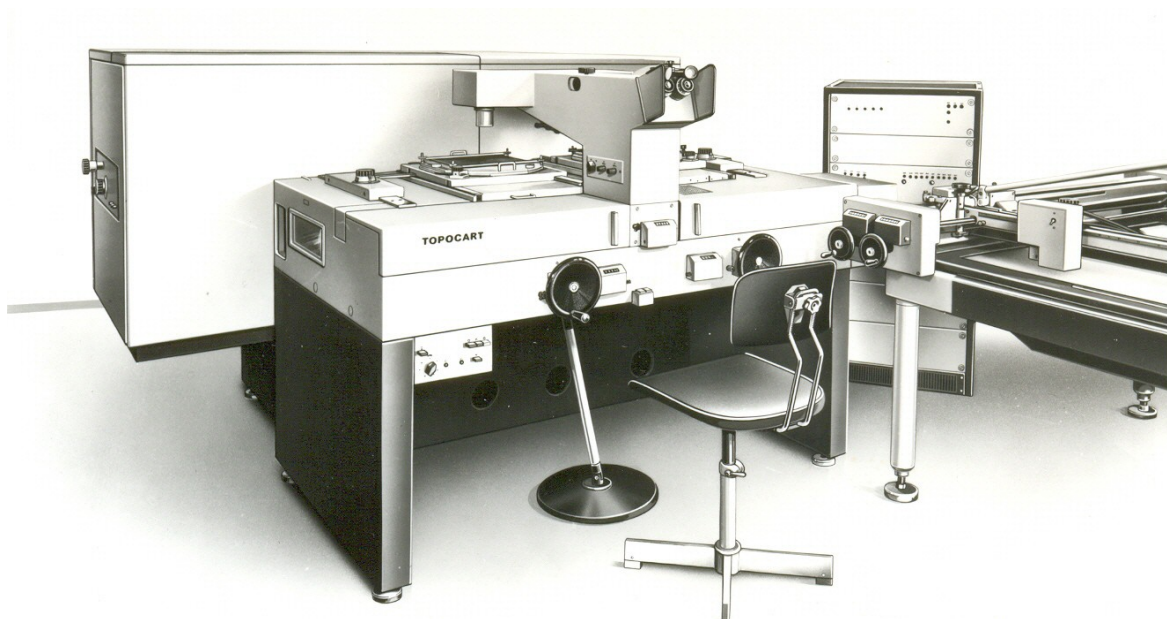
Diferenciálne prekresľovanie sa uskutočňuje **diferenciálnymi prekresľovačmi**, ktoré z konštrukčného hľadiska delíme na samostatné a prídavné diferenciálne prekresľovače.

Samostatné diferenciálne prekresľovače sú jednoúčelové stereofotogrametrické vyhodnocovacie prístroje, na ktorých môžeme len diferenciálne prekresľovať a priebeh vrstevníc zaznamenávať vo forme profilových šráf alebo segmentov vrstevníc.

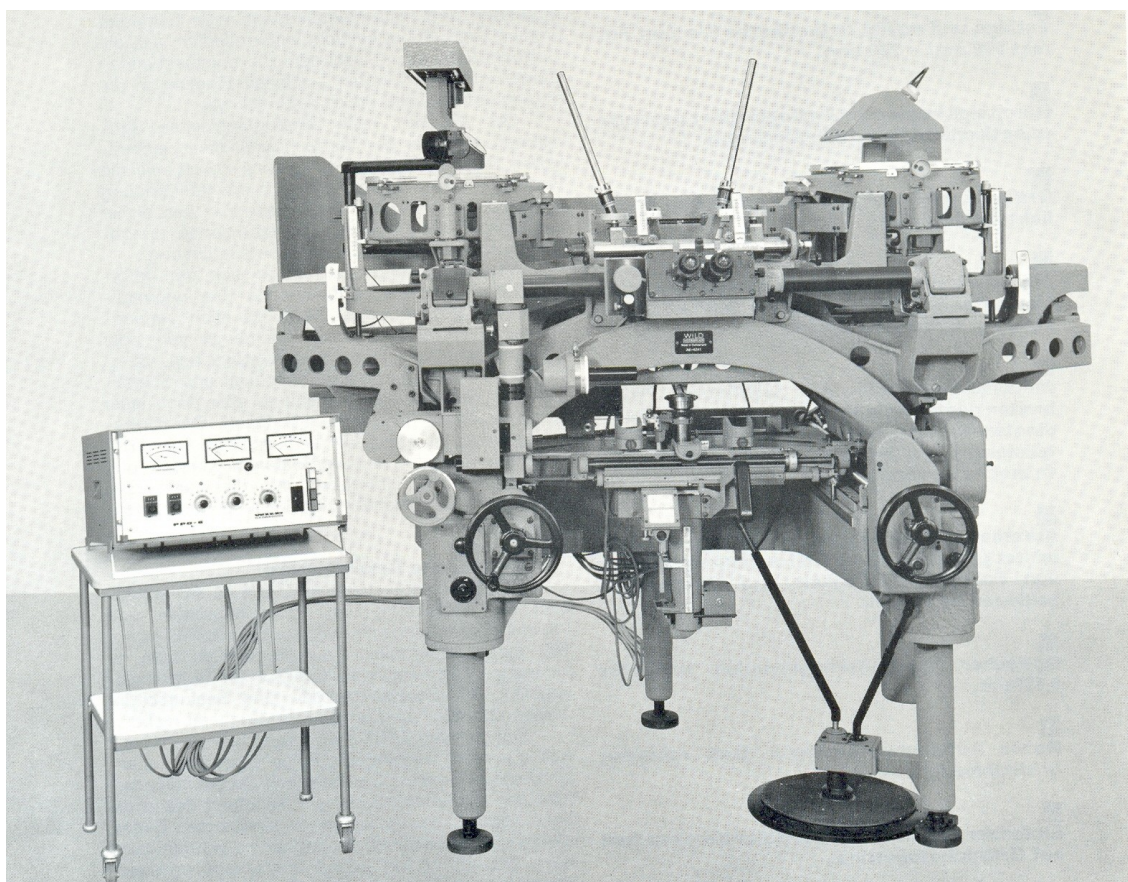
Prídavné diferenciálne prekresľovače sa môžu pripojiť k určitým stereofotogrametrickým vyhodnocovacím prístrojom. Majú výhodu v tom, že vyhodnocovací prístroj sa dá pritom používať na priestorové vyhodnocovanie. Vyžadujú však vyhotovenie jednej meračskej snímky navyše zo snímkovej dvojice, ktorá sa diferenciálne prekresľuje. Do tejto skupiny prístrojov zaraďujeme napr. Topocart C s diferenciálnym prekresľovačom Orthophot C (obr. 10.23), Wild A 8 s diferenciálnym prekresľovačom Orthophot PPO-8 (obr. 10.24) a Orthoprojektor GZ 1 Opton (obr. 10.25).



Obr. 10.22. Prekresľovanie v profilových pruhoch: L' – element plochy na snímke, L – element plochy na reliéfe, \bar{L} – ortogonálny priemer elementu plochy



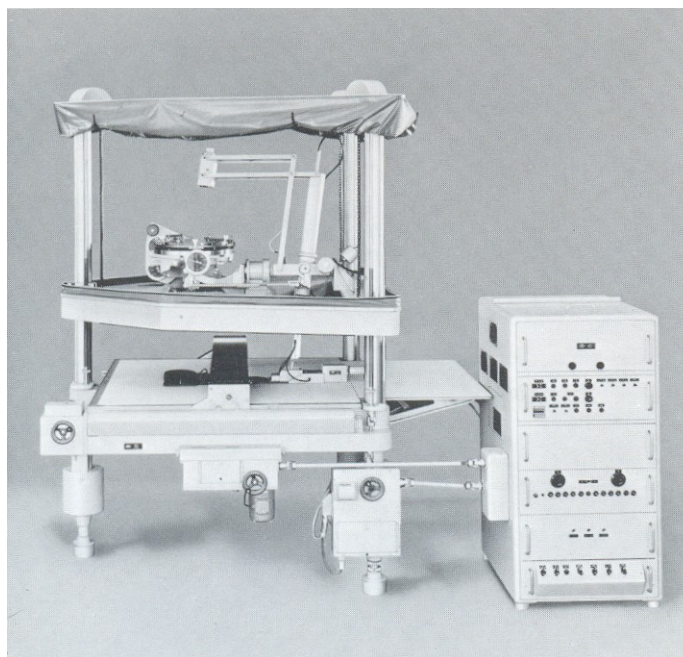
Obr. 10.23. Topocart C a diferenciálny prekresľovač Orthophot C Zeiss



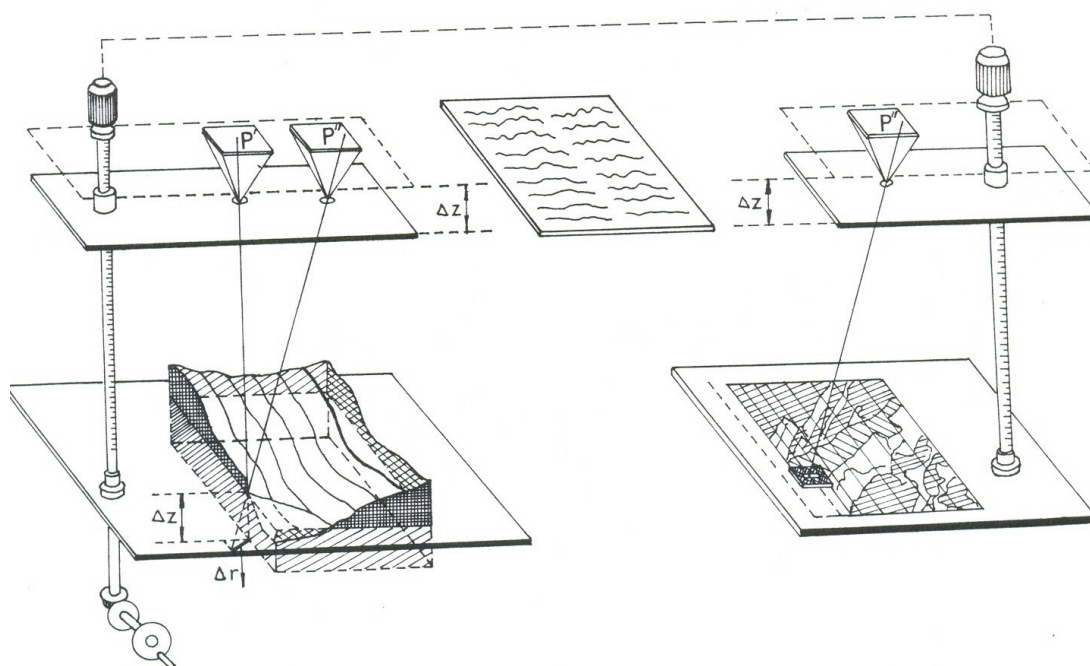
Obr. 10.24. Wild A 8 s diferenciálnym prekresľovačom Orthophot PPO-8

Prídavné diferenciálne prekresľovače pracujú väčšinou v priamom spojení s vyhodnocovacím prístrojom, pričom zmena zväčšenia a posun plošného elementu (štrbiny) je priamo riadená vyhodnocovacím prístrojom. Diferenciálny prekresľovač GZ 1 môže byť riadený samostatne a jeho prevádzka je oddelená od vyhodnocovacieho prístroja. Výhoda takéhoto pripojenia je v tom, že vyhodnotené profily terénu dajú sa zaznamenať vo forme modelových súradníc.

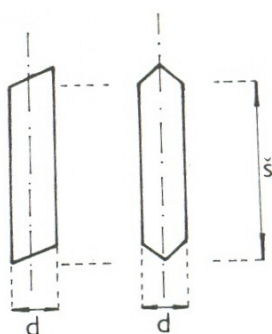
Záznam tohto druhu sa potom dá kedykoľvek využiť na diferenciálne prekreslenie.



Obr. 10.25. Orthoprojektor GZ 1 Opton



Obr. 10.26. Schéma funkcie ortoprojektora GZ 1



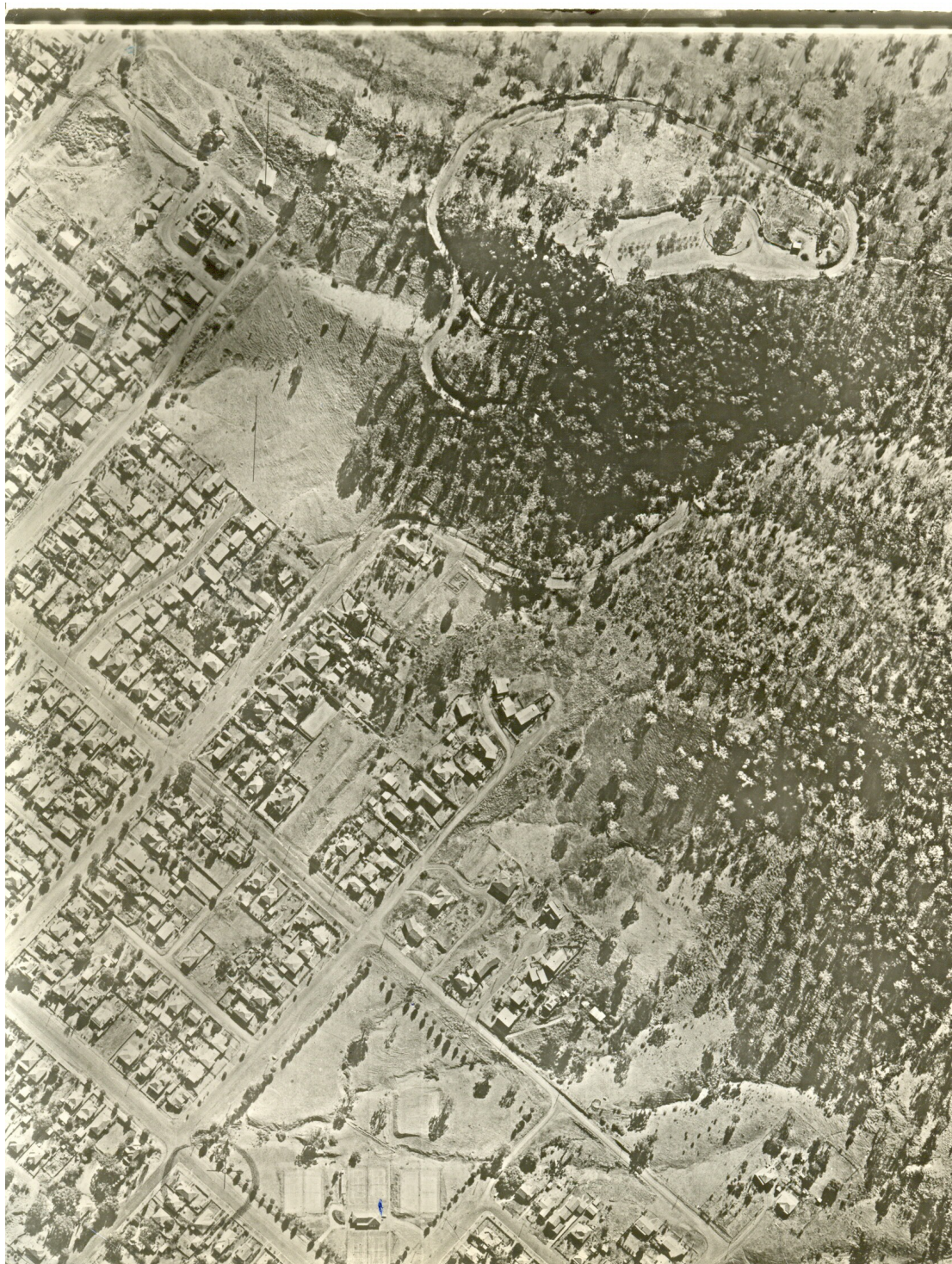
Na obr. 10.26 je naznačená schéma funkcie ortoprojektora GZ 1. Pohyby v priestorovom súradnicovom systéme sú rozdelené tak, že štrbina vykonáva v smere osí X a Y a pohyb v smere Z vykonáva projektor. Štrbina obchádza v meandrových pohyboch projekčnú plochu s filmom, ktorý sa postupne exponuje. Rýchlosť pohybu môže byť konštantná, alebo sa dá upravovať podľa členitosti terénu. Krok profilov v smere osi X je totožný s dĺžkou štrbiny. Rozmery a tvar štrbiny sa volia rôzne (obr. 10.27). Dĺžka štrbiny sa zvyčajne volí 4 mm a šírka 2 mm.

Obr. 10.27. Tvar štrbín

Počas prechádzania štrbiny po projekčnej ploche sa mierka premietanej časti meračskej snímky mení v závislosti na terénnom reliéfe, zvislým pohybom vozíka nesúceho projektor v smere osi Z . Pohyb je plynulý a synchronizovaný s pohybom meracej značky vyhodnocovacieho prístroja vedenej vyhodnocovateľom.

Vyhodnotenie výškopisu pri diferenciálnom prekresľovaní

Informácie o terénnom reliéfe pri diferenciálnom prekresľovaní v tvare profilov sa využívajú na konštrukciu konvenčnej vrstevnicovej mapy.



Obr. 10.28. Diferenciálne prekreslená meračská snímka – ortofotosnímka

Pri vyhodnocovaní profilov terénu, meracia značka prechádza jednotlivými výškovými vrstvami z_i v bodoch, ktoré ležia na profilovej stope (obr. 10.29). Pri prechode meracej značky výškovou vrstvou vo vyhodnocovacom prístroji (na jeho Z-ovom stĺpe) sa osobitným kontaktným zariadením vyvolá impulz, ktorý sa prenesie na kresliaci hrot a od vrstvy po vrstvu sa upravuje tak, že kreslí čiary rôznych hrúbok. Tak vznikne záznam označovaný ako **profilový výškopis** (obr. 10.30), z ktorého získame vrstevnice tým, že sa pospájajú koncové body zodpovedajúcich profilových čiar (obr. 10.31). Zariadenie na kresbu výškopisného záznamu profilov sa nazýva **orograf**.



Obr. 10.29. Princíp vyhodnotenia výškopisu

Pre oddelene pracujúce diferenciálne prekresľovače (GZ 1) sa vyvinulo zdokonalenie kresby výškopisu zariadením pre kreslenie segmentov vrstevníc medzi profilmi. Princíp zariadenia spočíva v tom, že čítač vyberá z pamäťovej jednotky súčasne dva susedné profile a interpoluje segment vrstevnice medzi susednými vrstevnicami. Výsledkom je kresba vrstevníc, ktoré vyžadujú ešte úpravu pred vykreslením (obr. 10.32).

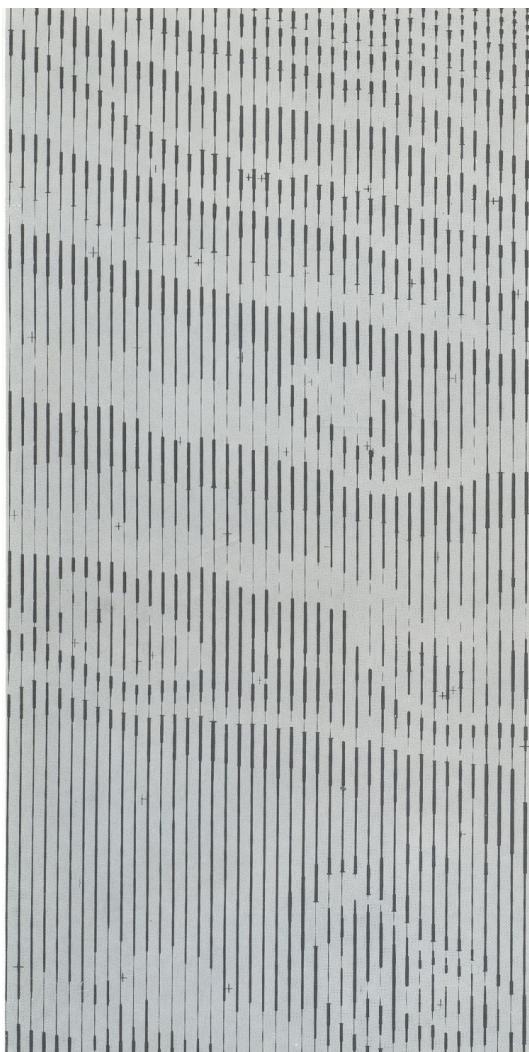
10.6.4 Integrovaná metóda mapovania

Na princípoch ortofotografia je založená mapovacia metóda nazvaná integrovaná metóda mapovania. Všetky informácie potrebné na vypracovanie polohopisnej a výškopisnej zložky mapy sa získavajú v priebehu jedného vyhodnocovacieho postupu. Polohopis sa získa vo forme diferenciálne prekreslených meračských snímok (ortofotosnímkov) a výškopis vo forme profilových šráf alebo segmentov vrstevníc (obr. 10.32). Takto vyhotovená mapa nesie označenie **ortofotomapa**. (**Poznámka.** Pri digitálnom vyhodnutení, je výškopis skonštruovaný SW z digitálneho modelu reliéfu.)

Ortofotomapy nahradzujú doterajšie obrysové mapy. Vyžaduje sa však pri tom poučenie užívateľov máp ako sa majú tieto nové kartografické produkty používať. Prednosťou ortofotomáp je rýchlosť a hospodárnosť ich vyhotovenia. V súčasnom období vyhotovovanie digitálnych ortofotomáp predstavuje ťažisko všetkých fotogrametrických prác. Do technológie ich vyhotovovania je zapojená digitálna aerotriangulácia, ktorá ešte viac zefektívňuje ich vyhotovenie.

Ortofotomapy sa odporúčajú používať pri tvorbe a údržbe máp stredných a veľkých mierok, pre prípravu veľkoplošných projektov (pozemkové úpravy, meliorácie, dopravné stavby), vyhotovenie podkladov pre podrobné územné plány, zákresy projektov atď. Ortofotomapy sa môžu vyhotovovať aj z pozemných meračských snímok.

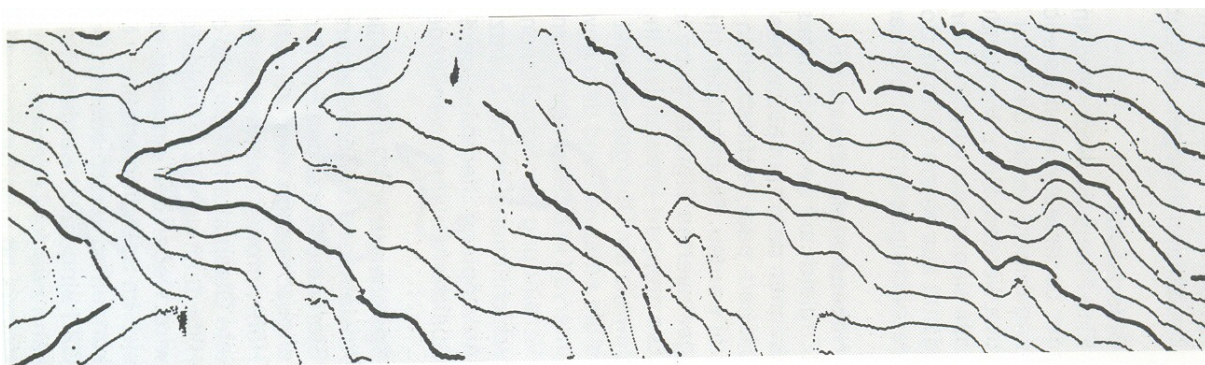
Integrovaná metóda mapovania prekročila u nás rámec technologického prepracovania a overovacích skúšok. Stala sa súčasťou digitálneho vyhodnocovania snímok.



Obr. 10.30. Profilový výškopis



Obr. 10.31. Vrstevnice odvedené z profilového výškopisu



Obr. 10.32. Ukážka elektronického vyhodnotenia vrstevníc

10.7 Presnosť a hospodárnosť analógovej leteckej fotogrametrie

Pri skúmaní použiteľnosti niektorej mapovacej metódy rozhodujúca je otázka presnosti a hospodárnosti dosiahnutých výsledkov. Vysoké požiadavky na presnosť vyžadujú nákladné pracovné metódy, zložitejšie a drahšie pomôcky a naopak, nízke požiadavky na presnosť umožňujú rýchly a menej nákladný postup práce. Použiteľnosť mapového diela je potom obmedzená.

Univerzálna metóda leteckej fotogrametrie je dnes čo do presnosti rovnocenná s geodetickými mapovacími metódami, ba v členitých terénoch aj tieto metódy predčí. Stredná polohová chyba m_{xy} a stredná výšková chyba m_z pri zvislých snímkach zhotovených normálnymi komorami sa vyjadruje na základe teórie chýb leteckej fotogrametrie, ako aj výsledkov praxe vzťahmi

$$m_{xy} = 0,015 M_s \text{ [mm]}, \quad m_z = 0,025 M_s \text{ [mm]}. \quad (10.25)$$



Obr. 10.33. Diferenciálne prekreslená snímka doplnená vrstevnicami

Z hľadiska hospodárnosti použitie tejto metódy v čase jej nasadenia znamenalo veľkú časovú a finančnú úsporu. Všeobecne sa pri prácach vo veľkých mierkach 1:1000 a 1:2000 uvádzala časová úspora asi 70 % a finančná úspora asi 40 %, kde sú započítané pomerne vysoké náklady na zadováženie a amortizáciu univerzálnych vyhodnocovacích prístrojov.

Presnosť analógových ortofotomáp závisí predovšetkým od sklonu terénneho reliéfu, výšky letu a veľkosti prekresľovacej štrbiny. Podľa experimentálnych skúšok pre mierku mapy 1:2000 strednú polohovú a výškovú chybu ortofotomáp môžeme vyjadriť vzťahmi

$$m_{xy} = 0,05 M_s \text{ [mm]}, \quad m_z = 0,09 M_s \text{ [mm]}. \quad (10.26)$$