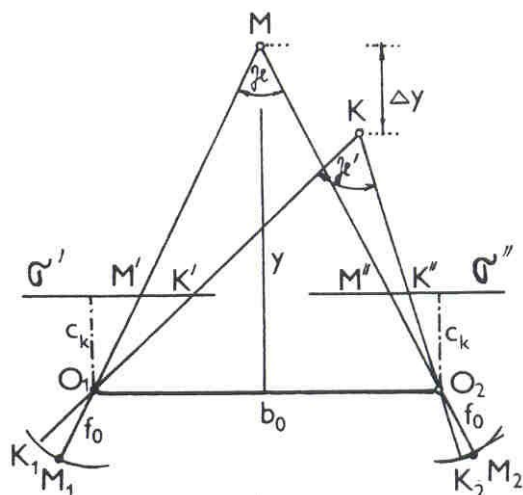


3. STEREOSKOPICKÉ VIDENIE A MERANIE

3.1 Prirodzené priestorové (stereoskopické) videnie

Pozorovanie dvoma očami (binokulárne pozorovanie), pri ktorom sa obrazy skutočného predmetu vnímajú priestorovo, nazývame **prirodzené priestorové videnie**.

Pri pozorovaní blízkeho bodu M usmerňujú oči tak, aby sa bod zobrazil v centrálnych jamkách očí (obr. 31), pričom optické osi očí vytvárajú pri bode M uhol γ , ktorý nazývame **konvergenčným uhlom**. Uhol γ sa nazýva tiež paralaktický uhol, y je vzdialenosť od očnej základnice po pozorovaný bod.



Veľkosť konvergenčného uhla γ určíme z rovnice:

$$\operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} = \frac{b_0}{2y} \quad (3.1)$$

Ak je uhol γ malý, platí približný vzorec:

$$\gamma^{cc} \approx \frac{b_0}{y} \rho^{cc}, \quad (3.2)$$

kde b_0 je očná základnica.

Ked' bude hodnota $y = 0,25$ m (vzdialenosť najlepšieho pozorovania) a očná základnica $b_0 = 65$ mm, maximálna hodnota konvergenčného uhla γ bude približne $16,5^\circ$.

Obr. 3.1. Binokulárne pozorovanie predmetov v rozličnej vzdialenosti

Predpokladajme, že pri pozorovaní bodu M súčasne vidíme aj bod K . Oba body sa zobrazia na sietnici v oblúkoch K_1M_1 a K_2M_2 . Rozdiel oblúkov sa nazýva fyziologická paralaxa Δp :

$$\Delta p = f_0(\gamma - \gamma') = f_0 \Delta \gamma, \quad (3.3)$$

ktorá sa bude vnímať ako hĺbkový posun bodu K vzhľadom k bodu M .

V rovnici (3.3) f_0 je ohnisková vzdialenosť oka.

Ked' chceme posúdiť ostrosť stereoskopického videnia, diferencujeme rovnicu (3.2) a dostaneme

$$\Delta \gamma^{cc} = -\rho^{cc} \frac{b_0}{y^2} \Delta y$$

z toho

$$\Delta y = -\frac{y^2 \Delta \gamma^{cc}}{\rho^{cc} b_0} \quad (3.3)$$

Určili sme takto prírastok vzdialenosti Δy , ak sa zmení uhol γ o $\Delta \gamma = \gamma - \gamma'$, t.j. ak sa prejde na iný bod v priestore zreteľného videnia.

Dosaďme do rovnice (3.4) priemernú hodnotu očnej základnice 65 mm, za uhol $\Delta \gamma$ hranicu presnosti určenia diferencie konvergenčného uhla γ , t.j. $\Delta \gamma = \pm 90^\circ$ a dostaneme hodnotu ostrosti stereoskopického videnia Δy .

Neistota prirodzeného priestorového videnia pri rôznych vzdialenostiach

Tabuľka 3.1

y	0,25 m	1 m	10 m	100 m	450 m
Δy	0,14 mm	2,2 mm	22 cm	22 m	450 m
γ	16,5 ^g	4,1 ^g	41 ^c	4 ^c	90 ^{cc}

Pri vzdialenosti 0,25 m (správna vzdialenosť videnia blízkych predmetov) môžeme pozorované body priestorovo zaradiť s presnosťou $\Delta y = \pm 0,14$ mm. Ako vidíme z tab. 3.1, 450 m je hranica dosahu priestorového videnia, od ktorej v dôsledku zhodnosti ľavého a pravého pozorovaného obrazu priestorový vnem zaniká a 450 m sa označuje za rádius priestorového videnia.

Hranicu prirodzeného priestorového videnia môžeme zvýšiť

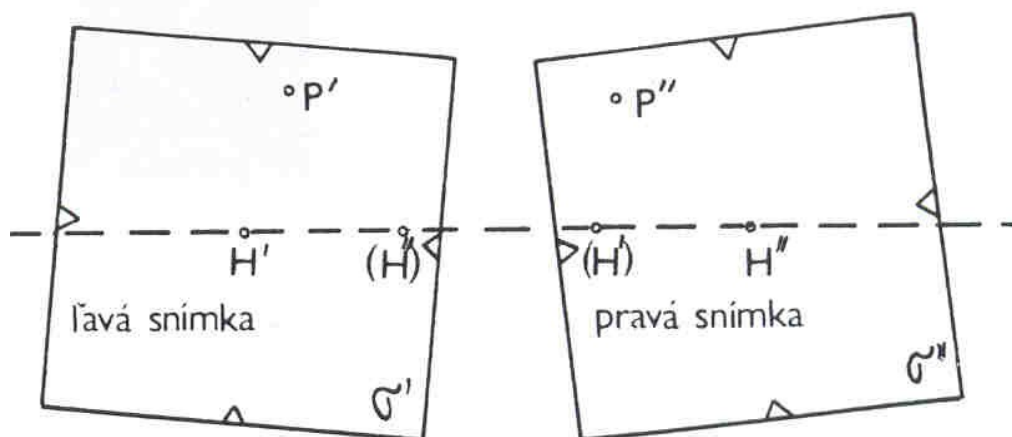
- zväčšením očnej základnice zrkadlami alebo hranolmi,
- zlepšením ostroty pozorovania zväčšením, ako je to pri použití triedra.

3.2 Umelé stereoskopické videnie

Umelé stereoskopické videnie vzniká nahradením zorného poľa prirodzeného priestoru pozorovaním nakreslených obrazov alebo snímok tak, že ľavému oku priradíme ľavý obraz (snímku) a pravému oku pravý obraz (snímku), ktoré vyhovujú podmienkam stereoskopického videnia. (Pozri na obr. 3.1 pozíciu snímok σ , σ'' a body M' , M'' , K' , K''). Pri súčasnom pozorovaní snímok hlavné body H' , H'' a ich obrazy (H'), (H'') sa musia nachádzať na priamke rovnobežnej s očnou základnicou (obr. 3.2). Splnenie podmienok stereoskopického videnia nazývame orientácia snímok.

Spôsob vytvorenia stereoeffectu na obr. 3.2 nazývame priamy, čiže ortoskopický efekt. Výškové resp. vzdialenostné pomery medzi bodmi zodpovedajú skutočným pomerom ako pri priamom pozorovaní odфотографovaných predmetov.

Obrátený, čiže pseudoskopický stereoeffect, má obrátené priestorové usporiadanie stereoskopického modelu voči skutočnému. Vzniká zamenou snímok snímkovej dvojice, keď ľavú snímku pozorujeme pravým okom a pravú snímku ľavým okom.



Obr. 3.2. Orientácia snímok pri stereoskopickom videní

3.2.1 Pomôcky na stereoskopické videnie

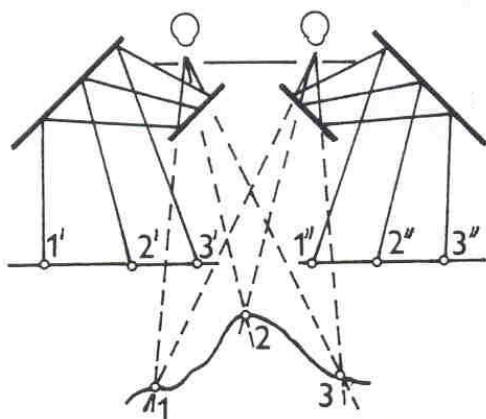
Pozorovanie stereoskopických snímok voľnými očami je namáhavé, pretože ťažko oddelíme automatickú (podvedomú) konvergenciu očných osí od akomodácie (zaostrenia) oka. Z pomôcok, ktoré nám umožňujú pohodlné stereoskopické pozorovanie snímok, sú to najmä stereoskopy a anaglyfy. Digitálna fotogrametria používa polarizačné systémy na stereoskopické pozorovanie.

Stereoskopy

Stereoskopy sú optické pomôcky na pozorovanie fotografických snímok. Umožňujú oddeliť konvergenciu očných osí pri pozorovaní blízkych obrazov. Najjednoduchším z nich je šošovkový stereoskop (obr. 3.3), pre snímky do formátu 9 x 9 cm. Pozostáva z jednoduchých šošoviek asi s trojnásobným zväčšením. Na pozorovanie snímok väčších rozmerov sa používa zrkadlový stereoskop (obr. 3.4 a 3.5).



Obr. 3.3. Šošovkový stereoskop



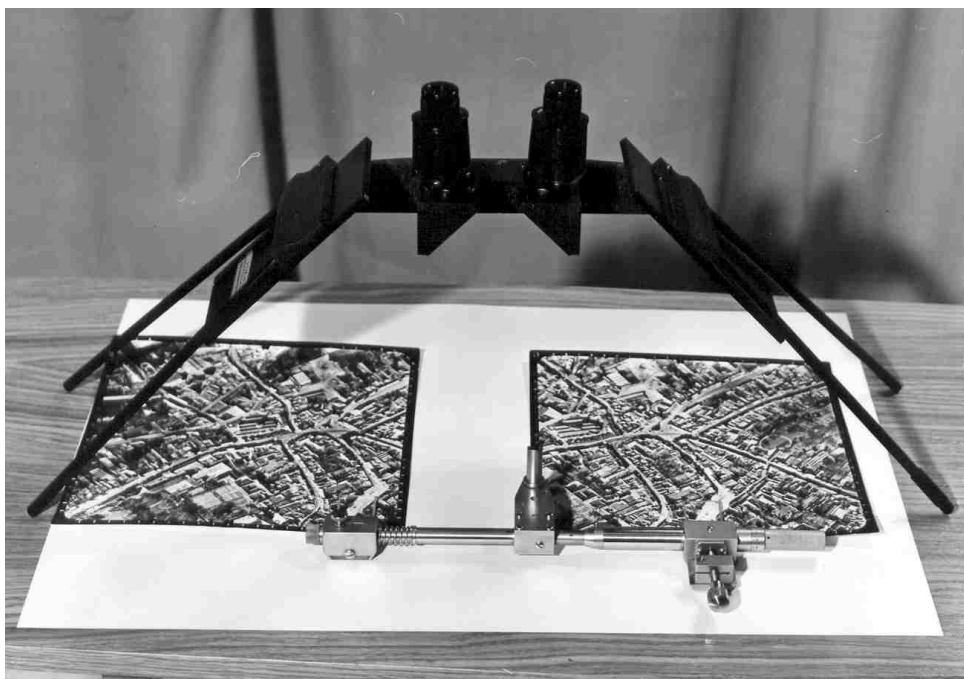
Obr. 3.4. Chod svetelných lúčov zrkadlovým stereoskopom

Ako je vidieť z obrázku 3.4, ľavým okom cez systém dvoch vzájomne rovnobežných zrkadiel, inštalovaných oproti smeru pozorovania na uhol 50° , pozorujeme len ľavú snímku. Pravým okom cez druhý pár zrkadiel pozorujeme pravú snímku. Zdanlivý stereoskopický model sa nachádza v priesečníku predĺžených určovacích lúčov spájajúcich modelové body (body 1, 2, 3 atď.) a snímkové body (body 1', 2', 3', 1'', 2'', 3'' atď.). Zväčšenie obrazu sa docieľuje pomocou lúp a mikroskopov, ktoré sa vkladajú medzi zrkadlo.

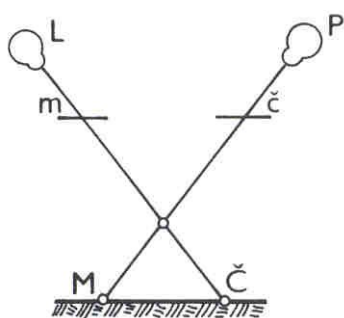
Anaglyfický spôsob stereoskopického pozorovania

Anaglyf je obraz zmiešaný z dvoch komplementárnych farieb, ktorý vznikol zo stereoskopického dvojice.

Anaglyfický spôsob stereoskopického pozorovania sa používa pri pozorovaní obrazov premietnutých na priemetňu projektorom (multiplex), alebo natlačených, príp. nakreslených obrazov (obr. 3.6).



Obr. 3.5. Zrkadlový stereoskop



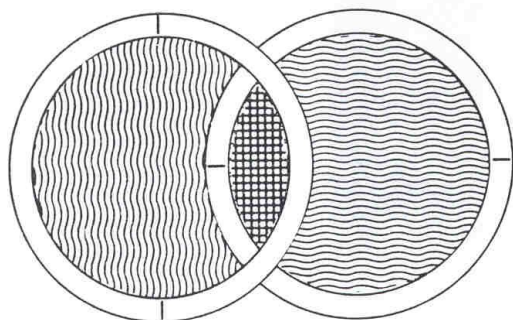
Takéto zmiešané obrazy pozorujeme filtermi tých istých komplementárnych farieb. Každé oko vidí komplementárne zafarbený obraz, kým obraz rovnakej farby sa odfiltruje.

Najčastejšie používané komplementárne farby sú červená-modrá a červená-zelená.

Obr. 3.6. Anaglyfický spôsob stereoskopického pozorovania

Stereoskopické pozorovanie s polarizovaným svetlom

Rozdelenie obrazu na stereoskopické pozorovanie polarizovaným svetlom našlo uplatnenie v digitálnej fotogrametrii s vyhodnotením na obrazovom pracovisku PC (ImageStation), v literatúre tiež označovanom digitálna stereofotogrametrická stanica. Projekčné zväzky lúčov ľavej a pravej snímky sa polarizátorom synchronizujú na filtroch z tekutých kryštálov pred monitorom PC. Zväzky lúčov sú polarizované lineárne a na seba kolmo z ľavej a pravej snímky. Na obrazovke PC sa objaví obraz, ktorý sa prakticky nelíši od obrazu vytvoreného bez polarizácie. Obraz ale má horizontálne paralaxy, ktoré sú spôsobené priestorovým rozložením pozorovaných bodov.



Obr.3.7. Schéma stereoskopického pozorovania s polarizovaným svetlom

Obraz pozorujeme cez filtre (analyzátory) s polarizačnými filtermi, z ktorých jedno prepúšťa vertikálne a druhé horizontálne polarizované svetlo, čím sa oddeľujú obrazy na pozorovanie ľavým a pravým okom. Na monitore PC sa striedavo vysiela obraz ľavej a pravej snímky. Ktorý obraz je zobrazovaný ten sa vysiela nad monitorom do filtrov okuliarov, ktoré reagujú tak, že striedajú prechodnosť obrazov do ľavého a pravého oka. Napr. ak sa vysiela ľavý obraz, prechodnosť obrazu do pravého oka je zastavená

(obraz zhasne) a naopak (obr. 3.7). Pri frekvencii striedania obrazov nad 25 Hz ľudské oko zmenu vníma kontinuálne, a to vyúsťuje do priestorového videnia.

Výhodou stereoskopického pozorovania s polarizovaným svetlom je, že stereoskopické pozorovanie je umožnené naraz viacerým osobám.

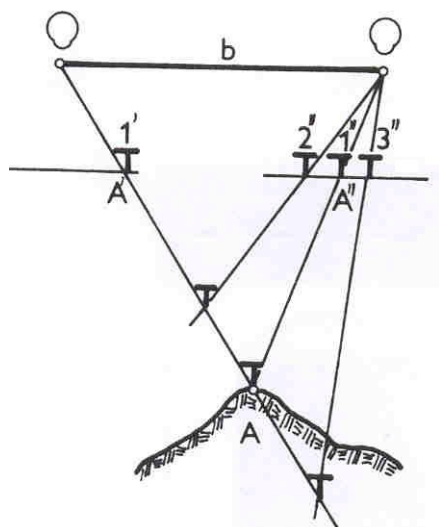
3.2.2 Stereoskopické meranie

Stereoskopické meranie súradníc bodov na meračských snímkach, alebo súradníc bodov priestorového optického modelu vo vyhodnocovacích prístrojoch, sa vykonáva pomocou meracích značiek. Značka sa stotožňuje s bodmi snímky alebo optického modelu a na zodpovedajúcich stupniciach sa čítajú hodnoty súradníc.

Podľa druhu priestorového modelu (optický alebo geometrický) vymeriavame model reálnou alebo stereoskopickou značkou. Reálnu značku v tvare hrotu, svetelného bodu a pod., ktorá sa môže pohybovať v priestore, používame na priestorové meranie objektívne vnímaného (skutočného) optického modelu, vytvoreného napr. prístrojom mupltiplex.

Podstatou merania stereoskopickou značkou je vymeriavanie paraláx modelu v snímkových rovinách, pričom meranie na ľavom a pravom polobraze priestorového modelu robíme samostatnou polznačkou tak, aby obidve čiastkové značky pri stereoskopickom pozorovaní splynuli v jednu priestorovú, čiže stereoskopickú značku, ako vyplýva z ďalšej úvahy.

Nech sa s bodom A' ľavej snímky stotožní ľavá polznačka a s bodom A'' pravej snímky pravá polznačka – poloha 1 (obr. 3.8). Potom pri stereoskopickom pozorovaní dvojice snímok uvidíme zdanlivý priestorový model a meráciu značku stotožnenú s bodom A stereomodelu.



Obr. 3.9. Tvary meracích značiek

Obr. 3.8. Stereoskopické meranie

V prípade, že pravá polznačka nebude stotožnená s bodom A'' , rozdiel horizontálnych paraláx (poloha 2 alebo 3) sa prejaví ako rozdiel vo vzdialenosti. Pojem horizontálnej paralaxy je vysvetlený v časti 4.1.

Na obr. 3.9 sú rôzne tvary meracích značiek.

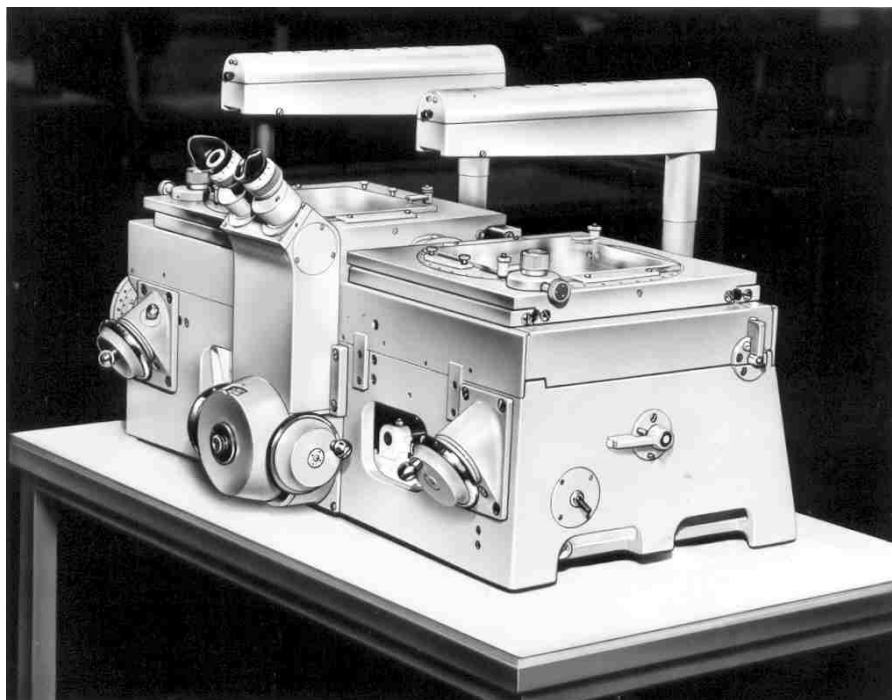
3.2.3 Pomôcky na meranie snímkových súradníc

Na meranie pravouhlých snímkových súradníc používame rôzne druhy prístrojov, ako sú: jednoduchý stereometer, jednosnímkový komparátor a stereokomparátor. V ďalšom popíšeme princíp

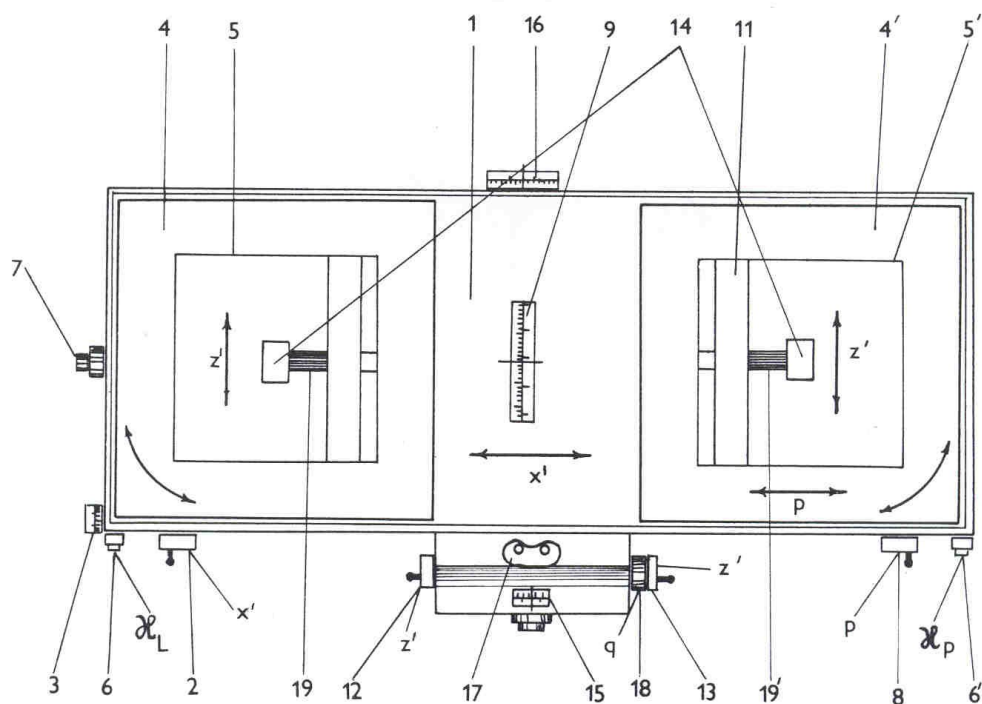
konštrukcie a postup merania snímkových súradníc na stereokomparátore Zeiss 1818. Popis jednoduchého stereometra uvedieme v kap. 9.31.

3.3 Stereokomparátor Zeiss 1818

Stereokomparátor typu 1818 (obr. 3.10) slúži na meranie pravouhlých snímkových súradníc x' , z' a ich rozdielov (paralaxy p a q) na dvojiciach stereofotogrametrických snímok. Schéma prístroja a označenie jednotlivých častí je na obr. 3.11.



Obr. 3.10. Stereokomparátor 1818 Zeiss



Obr. 3.11. Schéma stereokomparátora

Negatívne snímky pri meraní ležia na snímkových nosičoch (5, 5') vedľa seba vo vodorovnej polohe a sú osvetlené zhora. Pozorujeme ich zo spodu dvojíťm mikroskopom (17) s meracími polznačkami pre stereoskopické vymeranie snímkových bodov.

Po zorientovaní snímok musia spojnice hlavných bodov ľavej a pravej snímky, ako aj ich obrazov, ležať na jednej spojnici (pozri obr. 3.2), ktorá je rovnobežná s osou X stereokomparátora. Keď snímky zaujímajú túto polohu, vidíme obraz sfotografovaného predmetu priestorovo a môžeme ho stereoskopicky merať. Konštrukcia prístroja umožňuje zorientovanie snímok v zmysle tejto podmienky.

Základný vozík stereokomparátora (1) sa pohybuje po koľajničkách v smere osi X' prístroja, súčasne umožňuje v tomto smere spoločný posun oboch snímkov, ktoré sú uložené na snímkových vozíkoch (4, 4'). Posun v smere X' dosiahneme otáčaním ručného kolieska (2), veľkosť posunu čítame na stupnici x' (3) s presnosťou 0,01 mm. Snímkové vozíky (4, 4') majú ešte tzv. sekundárny, čiže samostatný, posun v smere osi X' , pre posun ľavej snímky voči pravej a naopak. Posun vozíka (4) skrutkou (7) slúži pri nastavení nulovej hodnoty horizontálnej paralaxy. Táto mikrometrická skrutka nemá stupnicu. Posun vozíka (4') ručným kolieskom (8) sa používa pri meraní horizontálnej paralaxy p , čiže rozdielu snímkových súradníc x' a x'' ľavej a pravej snímky. Paralaxy čítame na stupnici (9) s hodnotou na 0,001 mm.

V smere osi Z' sa snímky neposúvajú. Pohyb v tomto smere nahradzuje posun optických častí dvojitého mikroskopu (14), umiestneného vnútri prístroja. Pohyb obstarávajú kolieska (12), resp. (13) a jeho veľkosť čítame na stupnici (15) s presnosťou 0,01 mm. Sekundárny pohyb pravej snímky voči ľavej v smere osi Z' na odstránenie alebo vymeranie vertikálnych paralax nahradzuje pohyb pravej časti mikroskopu, ktorý sa uskutočňuje otáčaním skrutky p_z (18). Čítanie sa vykoná na stupnici (16) s hodnotou na 0,002 mm.

Nosiče snímok (5, 5') pri orientácii snímok možno pootáčať skrutkami (6, 6') o uhly κ_L a κ_P v rozsahu $\pm 5^\circ$.

Dvojíť mikroskop (17) má 8-násobné zväčšenie, dáva ostré a kontrastné obrazy. Priemer zorného poľa objektívu je 16 mm. Okuláre sa dajú otáčaním očných objímok zaostriť v medziach ± 5 dioptrií a tiež prispôbiť očnej základnici pozorovateľa. Na meranie používame stereoskopickú meraciu značku, pozostávajúcu z dvoch polznačiek, umiestnených v obrazovej rovine okulárov.

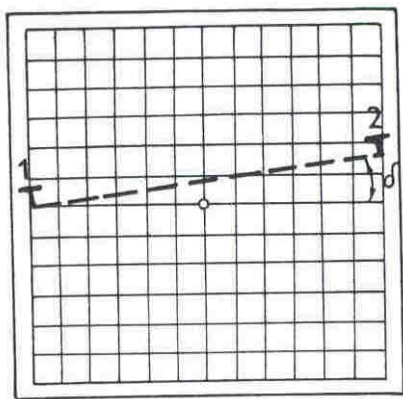
Každá snímka sa zaostruje osobitne otáčaním vrúbkovaných objímok (19, 19') na kolimátoroch, ktoré sú prístupné z prednej strany telesa stereokomparátora.

Presnosť merania závisí od kvality snímok a od definície snímkových bodov. Pre snímkové súradnice je asi 0,01 mm, pre horizontálne paralaxy až 0,003 mm.

3.3.1 Overenie justáže stereokomparátora

Základnou požiadavkou správnej funkcie stereokomparátora je, aby pohyby v smere X' a Z' , p a q boli navzájom kolmé. Pohyby X' a p , Z' a q musia byť navzájom rovnobežné a priamočiare. Otáčanie koliesok musí byť ľahké a vláčne.

Kontrola týchto požiadaviek a prípadná justáž sa vykonáva pomocou meracích mriežok. Meraciu mriežku predstavuje sklenená doska s navzájom rovnobežnými plochami. Na jednej strane je s vysokou presnosťou nanesená mriežka s odstupom po 5 mm. Pred overovacím postupom mriežky sa vložia do nosičov snímok prístroja (plochou, ktorá má mriežku dole) a orientujú sa podľa osi X' nasledovne: Meracia polznačka sa nastaví (monokulárne) na okraj bočnej strany mriežky (poloha 1) (obr. 3.12). Skrutkou x' sa presunie značka do druhej krajnej polohy. Polovica odchýlky δ v polohe 2 sa odstráni pootočením nosiča snímky skrutkou κ_L a druhá polovica skrutkou z' . Potom znova premiestnime značku do polohy 1. Orientáciu opakujeme dovtedy, kým značka nebude klzať po čiare. Súčasne kontrolujeme priamosť pohybu po osi X' . Podobne orientujeme mriežku na pravom snímkovom nosiči, pričom používame skrutku κ_P a skrutku q .



Keď pri otáčaní skrutky p značka sleduje čiaru mriežky, potom aj pohyb p je priamy a je rovnobežný s osou X' prístroja.

Skrutkou z' (12 alebo 13) sa premiestňuje značka pozdĺž ľubovoľnej priečnej čiar. Keď pritom značka nesklzá z čiar mriežky, posun je priamočiary a kolmý na os X' prístroja. Prípadný odklon značky pri priečnom pohybe od rysky vyžaduje zásah úpravy kolmosti k osi X' a môže ho upraviť mechanik.

Obr. 3.12. Meracia mriežka

3.3.2 Orientácia snímok a postup merania na stereokomparátore

Na meranie snímkových súradníc x' a z' (x' a y' v leteckej fotogrametrii) a horizontálnej paralaxy p prípadne aj vertikálnej paralaxy q z negatívov, položia sa snímky na nosiče snímok s emulziou nadol, pričom ľavá snímka sa vloží do ľavého nosiča a pravá snímka do pravého nosiča snímok. Pri meraní na diapozitívových snímkach vymeníme (pravú do ľavého nosiča a naopak). Snímky na nosičoch sa prichytávajú svorkami.

Orientácia snímok je založená na požiadavke, aby snímky zaujímali takú polohu, ktorou sa vytvorí stereoskopický model. Je to vtedy, keď osi X' a Z' snímok sú rovnobežné so zodpovedajúcimi osami stereokomparátora, a keď body a ich obrazy budú ležať na jednej spojnici. Osi X' a Z' snímok, ako je známe, sú určené spojnicami protíahlych rámových značiek snímky. Orientácia snímok sa vykoná oddelene pre ľavú a pravú snímku, postupom vysvetleným pri justácii stereokomparátora. Pri orientácii snímok značku nastavujeme na bočné rámové značky. Ľavej a pravej krajnej polohe na meracej mriežke zodpovedajú ľavá a pravá rámová značka.

Pravouhlý súradnicový systém má počiatok v strede snímky (obr. 2.9). Aby sme dostali čítania x' , z' na stupniciach stereokomparátora v kladných hodnotách, posunieme počiatok prístrojového súradnicového systému zvyčajne tak, aby stred snímky mal hodnoty $x'_0 = 100,00$ mm, $z'_0 = 100,00$ mm. Po nastavení meracej značky na stred snímky (obr. 3.13 a obr. 3.14) prestavíme číselníky stupníc (3), (15) (obr. 3.11) na uvedené hodnoty. Snímkové súradnice potom vyjadruje rovnica

$$x' = x'_m - x'_0 \quad (3.5)$$

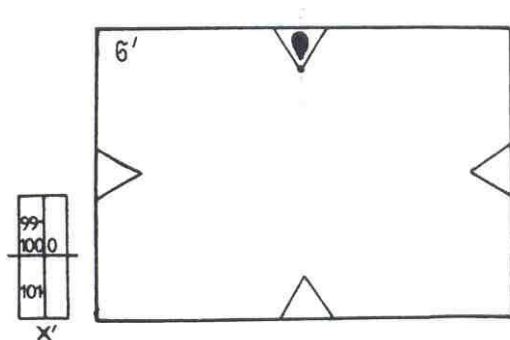
$$z' = z'_m - z'_0,$$

kde x'_m , z'_m sú hodnoty snímkových súradníc odmerané v posunutom súradnicovom systéme stereokomparátora.

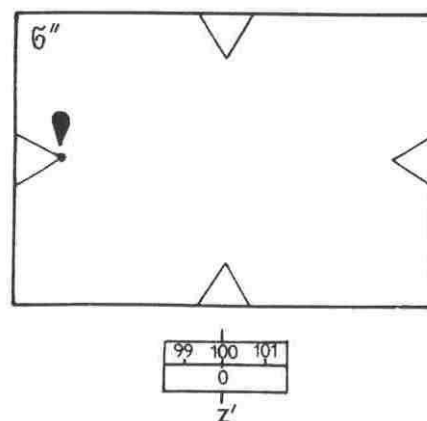
Východiskovú – nulovú hodnotu horizontálnej paralaxy nastavíme v hodnote $p = 0,000$ mm. Po nastavení nuly na stupnici paralaxy (9), potom posunieme základný vozík (1) skrutkou (2) tak, aby pravá meracia polznačka bola na vertikálnej rámovej značke pravej snímky. Súčasne nastavíme ľavú polznačku posunom skrutky (7) na vertikálnu rámovú značku ľavej snímky (obr. 3.14). V tejto polohe nastavíme na číselníku (3) hodnotu $x'_0 = 100,00$ mm, ako sme spomenuli v predošlom odstavci.

Takto je ukončená príprava na meranie snímkových súradníc a paralaxy a môžeme prikráčať k vymeriavaniu bodov.

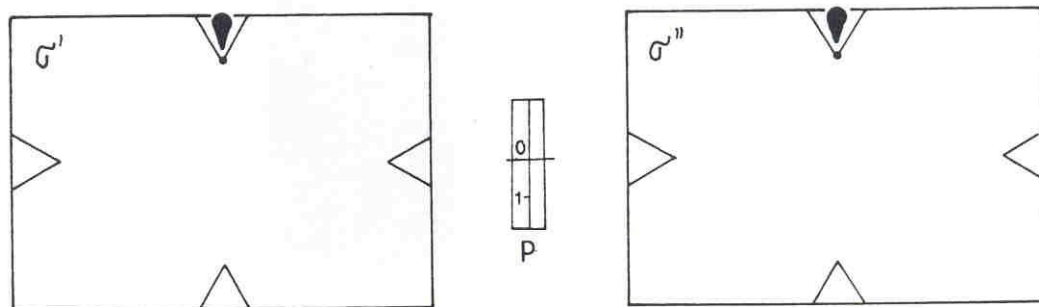
Pri vymeriavaní pozemných meračských snímok údaje na stupnici vertikálnych paralaxy (16) nezapisujeme. Vertikálnu paralaxu na tom-ktorom bode, spôsobenú výškovým rozdielom medzi ľavým a pravým projekčným centrom, len odstraňujeme skrutkou (18). V prípade merania na leteckých snímkach hodnoty vertikálnych paralaxy zaraďujeme do ďalších výpočtov a registrujeme ich.



Obr. 3.13. Nastavenie nulovej hodnoty stupnice z'



Obr. 3.14. Nastavenie nulovej hodnoty stupnice x'



Obr. 3.15. Nastavenie nulovej hodnoty stupnice p

Meranie snímkových súradníc a paraláx, sa tak ako každá metóda merania v geodézii, neuspokojuje s jedným nastavením stereoskopickkej značky na bod a čítaním na príslušných stupniciach. Nastavenia sa opakujú 2 až 3-krát a priemerné hodnoty čítaní sa zaznamenávajú do zápisníka. Aby sa odstránil vplyv prípadných mŕtvych chodov stereokomparátora, značku pri každom nastavení nasadzujeme na bod rovnakým smerom.

Súradnice stredu snímky $S'(x'_0, z'_0)$ a paralaxy sa čítajú pred a po odmeraní súradníc bodov. Opakovaním tohto merania sa kontroluje nemennosť orientácie a nulové polohy stupníc.