

8. APLIKÁCIE POZEMNEJ FOTOGRAMETRIE PRE ÚČELY DOPRAVNÉHO PROJEKTOVANIA

Opakovateľnosť stavebno-geodetických úloh vedie k štandardizácii technologických meračských postupov. Pritom rovnaké výsledky meračskej činnosti môžeme dosiahnuť rôznymi pracovnými metódami. Výber metódy merania volíme podľa požiadaviek na presnosť a hospodárnosť geodetických prác pri splnení všetkých požiadaviek na bezpečnosť práce. Metódy pozemnej fotogrametrie môžeme v plnom rozsahu zapojiť do mnohých úloh geodézie so špeciálnym charakterom. Prednosti pozemnej fotogrametrie sú hlavne tieto:

- znižovanie podielu ľudskej práce na úlohe v terénnych podmienkach,
- možnosť zapojenia výpočtovej a zobrazovacej techniky do vyhodnocovacieho procesu,
- trvalá dokumentácia zameriavaného objektu na fotogrametrických snímkach s možnosťou opätovného vyhodnotenia,
- možnosť vyhodnotenia, rôznymi postupmi alebo ich kombináciami atď.

V aplikáciách dvojsnímkovej a jednosnímkovej pozemnej fotogrametrie pre účely dopravného projektovania si ukážeme niektoré oblasti jej využitia súvisiace so stavbou, rekonštrukciou a dokumentáciou železničných a cestných objektov, meraním posunov a pretvorení, s údržbou tunelových rúr a vyhodnotenie fotoplánov.

8.1 Vyhodenie podkladov pre účely dopravného projektovania

Medzi grafické projekčné podklady zaraďujeme mapy a plány rôznych mierok a upotrebení, pôdorysy a nárysy objektov a profily. Číselné projekčné podklady vyhotovené fotogrametricky vo forme digitálneho modelu reliéfu (DMR) predstavujú v súčasnom období progresívny prvok v projektovaní komunikácií. Ako projekčný podklad vo fotografickom prevedení slúžia fotoplány plochých fasád objektov, napr. portálov železničných a cestných tunelov a fotogrametrické snímky s perspektívnym zákresom vrstevníc.



Obr. 8.1. Skalný zárez Podkriváň (znášanie nadložia tunela)

8.1.1 Mapové projekčné podklady

Mapové podklady vyhotovené fotogrametrickými metódami (najčastejšie analógovým vyhodnotením) realizujeme hlavne v skalných zárezoch (obr. 8.1), v priestoroch portálov tunelov (obr. 8.2), v predpolí mostných objektov, na skalných stenách (obr. 8.3), pri meraní vývoja zosuvného procesu ohrozujúceho komunikačné spoje (obr. 7.12), pri vyhodnotení výslednej formy zosunu

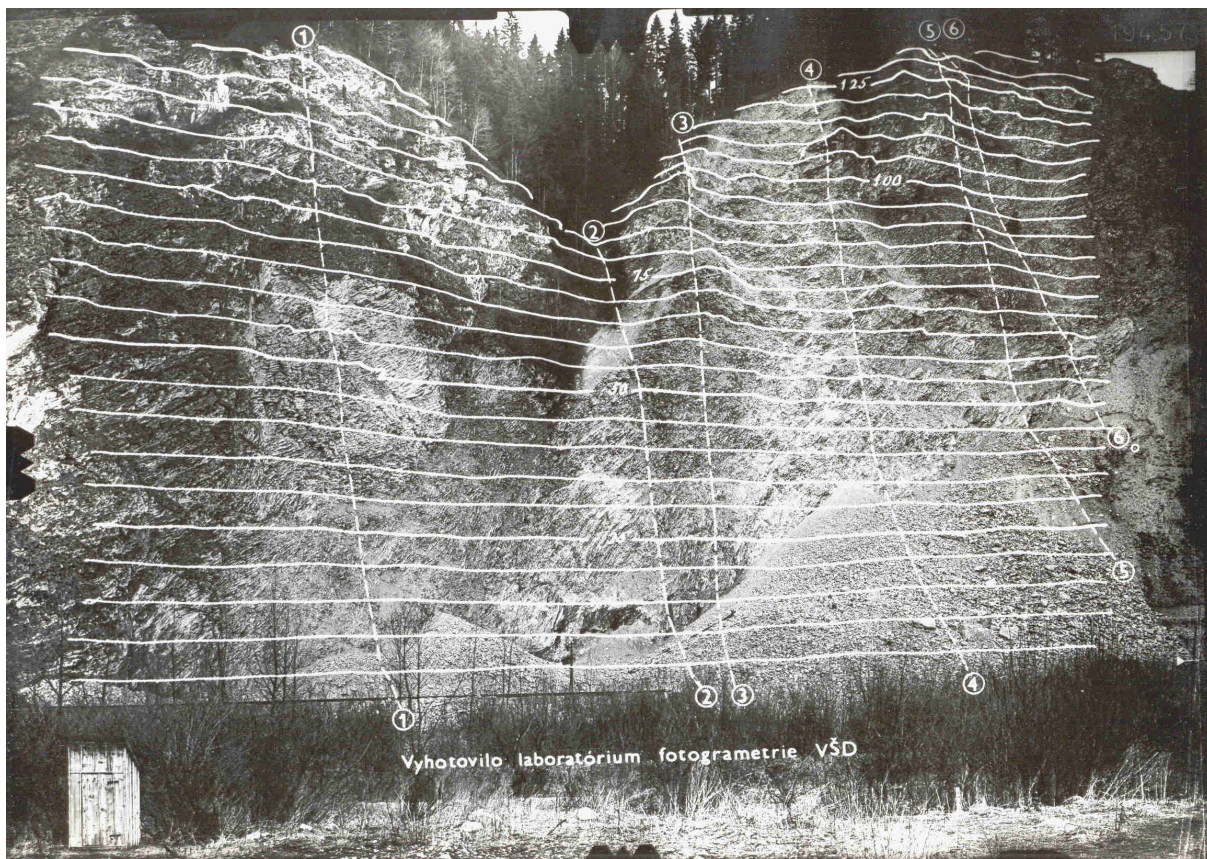
(obr. 8.4), pri určovaní objemov stavebných hmôt atď. Spravidla vždy ide o plošne obmedzené a vertikálne členenie záujmovej oblasti.



Obr. 8.2. Rekonštrukcia tunelového portálu



Obr. 8.3. Projekčné podklady pre sanáciu skalnej steny v Banskej Bystrici 2005



Obr. 8.4. Skalný zosun na železničnej trati pri Podbieli

Mapové projekčné podklady vyhodnocujeme v celej škále veľkých mierok od mierky 1:100 až po mierku 1:2000. Obsahujú polohopis, výškopis, kóty bodov a popis. Vyhotovujú sa spravidla vo forme účelovej mapy alebo plánu.

Zásady terénnych fotogrametrických prác a vyhodnotenie snímok pre tvorbu projekčných podkladov obsahuje 6. a 7. kapitola. Hospodárnosť prác na projekčných podkladoch závisí hlavne od úplnosti vyhodnotenia záujmovej oblasti.

Fotogrametricky vyhodnotené mapové podklady slúžia najmä pre potreby projekčnej činnosti. Pri vyhodnotení vývoja a výsledných foriem zosunu sa využívajú na hodnotenie rozsahu škôd a na návrh sanačných opatrení.

8.1.2 Vyhodnotenie profilov

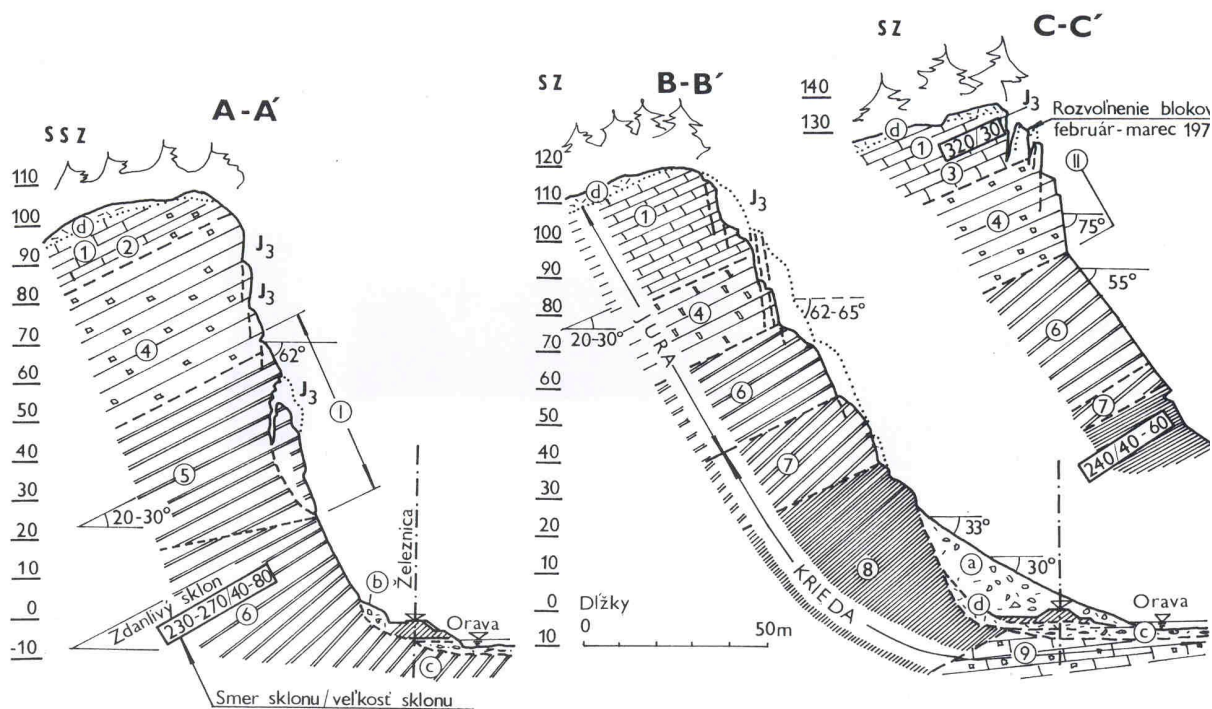
Vyhodnotenie pozdĺžneho profilu a priečných rezov vykonávame analógovým numerickým vyhodnotením alebo analyticky. Najhospodárnejšie je možné vyhodnotenie vykonať analógovým vyhodnocovacím prístrojom.

Vyhodnotenie profilov sa vykonáva spravidla po ich zakreslení do mapy vyhodnotenej taktiež fotogrametricky. Polohopis profilov býva v rovnakých odstupoch (obr. 8.5), alebo len na charakteristických miestach skalných stien (obr. 8.3). Postup prác je nasledovný:

Kartírovací hrot koordinatografu sa postupne nastavuje na čiaru vrysovaného polohopisu profilu, pričom vyhodnocovateľ vo vyhodnocovacom prístroji nasadzuje meračskú značku na geometrický model a zároveň kontroluje či sa nachádza na charakteristickom mieste terénu, resp. vyhodnocovaného prvku, napr. na trhlíne skalnej steny (obr. 8.6). Koordináciou pohybov vzájomne spojeného analógového prístroja a koordinatografu sa hľadá taká pozícia meracej značky na geometrickom modeli, ktorej zodpovedá poloha kresliaceho hrotu na profilovej čiare. Množiny takto

The drawing is a technical cross-section of a dam. The dam body is shown in the center, with a spillway on the left and abutments on the right. The drawing includes contour lines, elevation markers, and a north arrow. The dam is labeled 'D-2' and 'D-3'. The spillway is labeled 'S-1' and 'S-2'. The abutments are labeled 'A-1' and 'A-2'. The drawing is oriented vertically on the page.

92



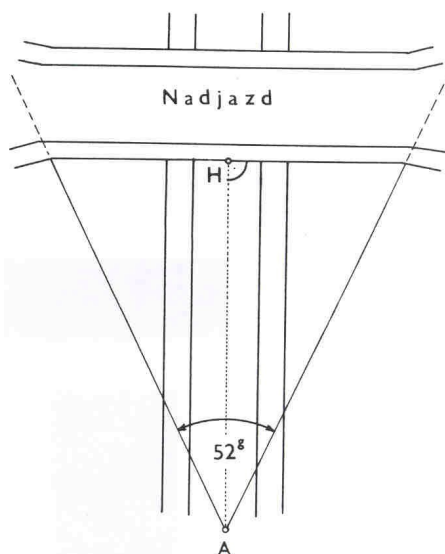
Obr. 8.6. Analógové bodové vyhodnotenie geologických profilov na skalnom zosune v Podbieli

Konstrukciu profilu vykonáme na podklade odsunutých staničení z plánu, napr. na koordinatografe, alebo pomocou skleného meradielka a výšok bodov, pri využití náčrtu vyhotoveného v priebehu vyhodnotenia. Fotogrametricky vyhodnotené profile po geologickej interpretácii snímok dostávajú charakter geologických profilov (obr. 8.6).

8.1.3 Vyhodnotenie nárysu objektu

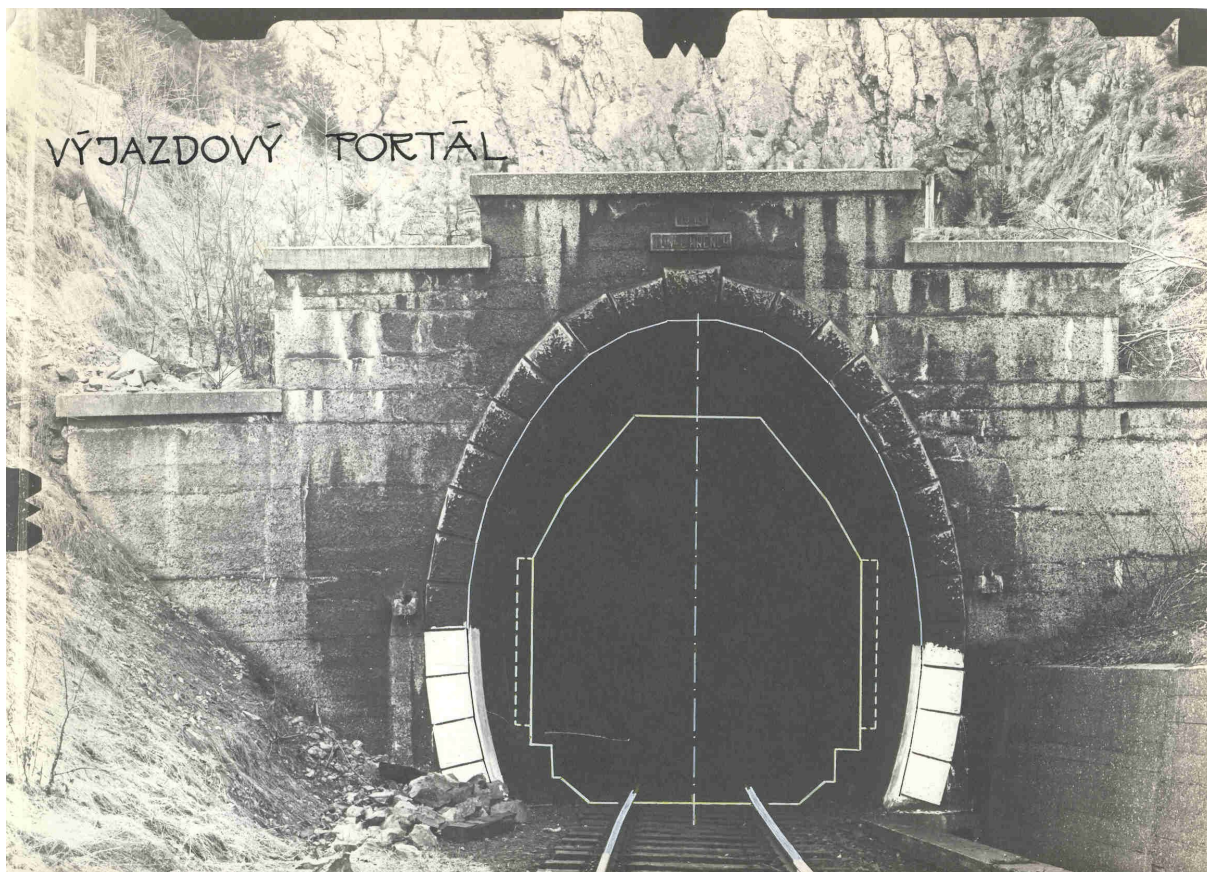
Postup vyhodnotenia nárysu objektu volíme podľa členitosti fasády. Jednosnímkové vyhodnotenie je vhodné u objektov s málo členitou fasádou. Výsledkom vyhodnotenia je prekreslená snímka vo forme fotoplánu. Priestorovo členené objekty vyhodnocujeme numerickým analógovým vyhodnotením, ak máme k dispozícii vyhodnocovací prístroj s možnosťou prevodov pohybov y a z na koordinatografe. Vyhodnotenie nárysu priestorovo členeného objektu môžeme tiež vykonať diferencovaným prekreslením snímok. Princíp tejto vyhodnocovacej metódy je uvedený v kap. 9.*

Jednosnímkové vyhodnotenie plochej fasády objektu

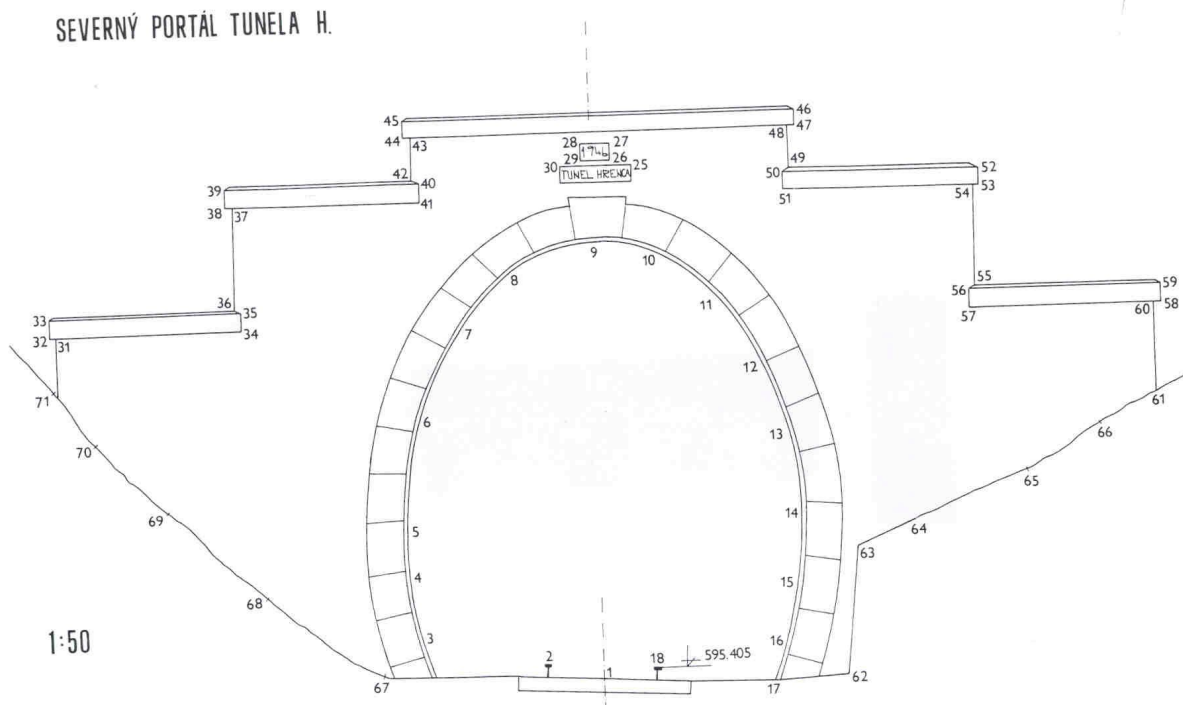


Najjednoduchší pracovný postup je vtedy, keď máme možnosť vytýčiť os záberu fototeodolitu kolmo na zvislú rovinu objektu (obr. 8.7), potom je snímková rovina rovnobežná s rovinou objektu a jeho nárys dostaneme jednoduchým zväčšením snímky do vyžadovanej mierky. Tento spôsob použijeme najmä vtedy, keď nemáme k dispozícii prekresľovač snímok (kap. 9.*), ale len obyčajný zväčšovací prístroj s formátom negatívu 130 x 180 mm. Nárys dostaneme ako fotografickú zväčšeninu, pričom pri zväčšení vychádzame z originálnych mier odmeraných na objekte, ktoré porovnávame s vličovacím podkladom na projekčnej ploche v príslušnej mierke.

Obr. 8.7. Os záberu fototeodolitu kolmá na vertikálnu rovinu objektu



Obr8.8. Fotoplán fasády portálu tunela



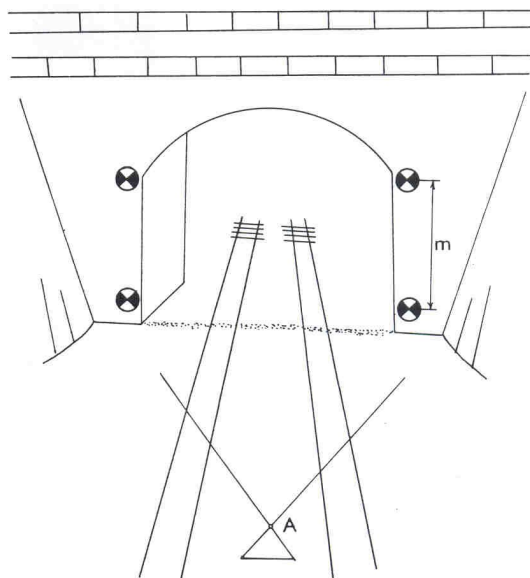
Obr. 8.9. Nárys portálu tunela vyhodnotený metódou dvojsnímkovej fotogrametrie

Keď máme k dispozícii prekresľovač snímok, postup pri vyhotovení snímky je jednoduchší, lebo nemusíme vytyčovať os záberu do presne kolmého smeru na objekt a os záberu môže byť aj mierne šikmá. Potom nárys objektu dostaneme prekreslením snímky, pri ktorom snímku zväčšíme na prekresľovači do vyžadovanej mierky so súčasným odstránením perspektívneho skreslenia obrazu

(obr. 8.8). Snímku prekresľujeme na štyri vlícovacie body (obr. 8.10), ktorých vzájomné vzdialenosti sme určili priamy odmeraním na objekte. Vlícovacie body označíme vhodným signálom tak, aby sa dobre zobrazili aj na snímke.

Vzhľadom na to, že fotografický papier podlieha vplyvom fotolaboratórneho procesu zrážke, vyhotovujeme zväčšeniny na tzv. zaistený papier napr. s hliníkovou vložkou.

Ak rozmer objektu nie je veľký, overujeme si, či fotogrametrickú snímku nemôžeme vyhotoviť priamo vo vyžadovanej mierke. Vtedy postupujeme tak, že stanovisko fotografovania na kolmici k objektu volíme vo vzdialenosti $y = c_k M_s$, kde M_s je mierkové číslo fotoplánu. Nárys objektu vtedy získame kontaktným prekopírovaním negatívu fotogrametrickej snímky.



Obr. 8.10. Poloha vlícovacích bodov na objekte

Numerické analógové vyhodnotenie nárysu

Numerické analógové vyhodnotenie nárysu vyžaduje rovnakú voľbu veľkosti fotogrametrickej základnice a počet vlícovacích bodov ako pri grafickom analógovom vyhodnotení. Vyhodnotenie sa zjednodušuje, ak volíme základnicu rovnobežne s fasádou objektu. Keď nemôžeme docieľiť túto požiadavku, musíme vyhodnotenú súradnicu x_M a y_M transformovať do sústavy nárysu objektu. Rozmiestnenie vlícovacích bodov v smere osi záberu volíme v súlade s rozmerom a priestorovým členením objektu.

Vlastné vyhodnocovanie nárysu uskutočňujeme tak, že postupne nasadzujeme meráciu značku na charakteristické body objektu a čítame modelové súradnice x_m , y_m a výšku z . Výhodný je tiež postup, keď pomocou presného meradielka čítame staničenie vyhodnocovacích bodov od zvolenej vertikály, napr. od osi objektu. Súbežne s vyhodnocovaním vyhotovujeme náčrt merania, do ktorého zaznamenávame čísla vyhodnocovaných bodov a schematický tvar objektu. Nárys objektu vynesieme na koordinatografe na podklade odsunutých alebo vypočítaných staničení a výšok (obr. 8.9).

Postupy prác v kap. 8.12 a 8.13 platia pre stereoautograf s mechanickým prevodom na kresliaci stôl. Na stereoautografe so selsynovými prevodmi sa nárys alebo profily môžu vykresľovať súčasne pri vyhodnocovaní.

Vyhodnotenie nárysu môžeme vykonať aj na stereokomparátore, ak máme k dispozícii meračskú snímku, ktorej smer fotografovania bol kolmý na rovinu fasády. V ľavom snímkovom nosiči sa zorientuje snímka. Zo vzdialenosti medzi vlícovacími bodmi m a ich obrazových vzdialeností m' (obr. 8.10) sa vypočíta konštanta k pre transformáciu snímkových súradníc do vyžadovanej mierky, ktorou sa vynásobia všetky odmerané snímkové súradnice vyhodnocovaného objektu.

Výpočet sa vykoná podľa rovníc:

$$M_s = \frac{m}{m'} 1000, \quad (8.1)$$

$$k = \frac{M_s}{M}.$$

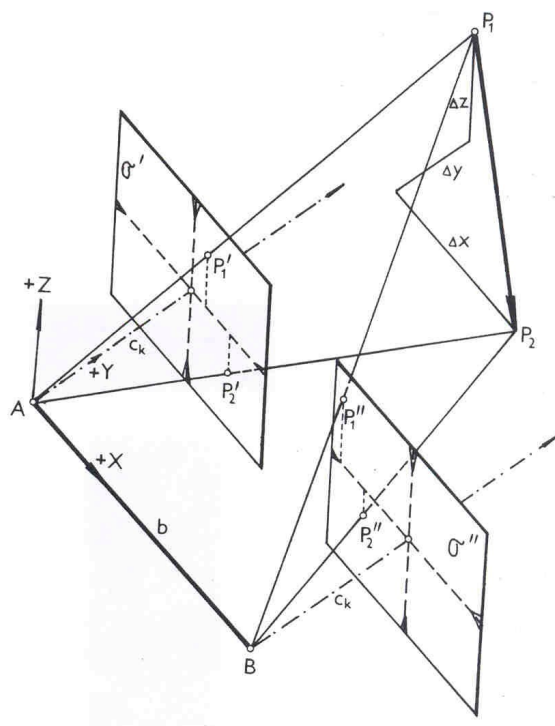
8.2 Vyhodnotenie posunov a pretvorení fotogrametrickými metódami

V dopravnej prevádzke sa každoročne vyskytuje potreba merania rôznych druhov posunov a pretvorení. Medzi ne zaraďujeme meranie pretvorení mostných konštrukcií, rôznych stavebných objektov na železnici, lanových a žeriavových dráh ako aj zosuvných procesov. Pri výstavbe tunelov sa vykonáva meranie na lokalizáciu výskytu pretvorení. Určujú sa relatívne prípadne i absolútne hodnoty pretvorení tvaru ostenia tunelovej rúry. V experimentálnom výskume sú tiež časté merania pretvorení na modeloch tunelov z ekvivalentných materiálov.

Fotogrametrické metódy vyhodnotenia posunov a pretvorení vyžadujú opakované snímkovanie, pričom stanovisko fototeodolitu a orientácia osí záberu musia byť v rámci prípustných odchýlok zhodné s predchádzajúcim etapovým meraním. Ak to nie je možné dodržať, aplikujeme analytické vyhodnotenie metódou kolineárnej transformácie. Z vymeraných prvkov identickej množiny bodov na snímkach vyhotovených v dvoch etapových meraniach môžeme odvodiť veľkosť a smer pretvorenia. Zmeny polohy pozorovaných bodov vyhodnocujeme vo všetkých smeroch priestorových osí, alebo len v jednom smere, zvyčajne vo zvislom smere.

Vyhodnotenie posunov a pretvorení fotogrametrickými metódami vykonávame z reálnej (fotogrametrickej) a časovej základnice v rozsahu topografického ($y > 12\text{ m}$) a netopografického priestoru vyhodnocovania (aplikácie blízkej fotogrametrie, $y < 12\text{ m}$).

V prípade metódy s reálnou základnicou dostaneme optický priestorový model zameriavaného objektu pozorovaním snímkov, vyhotovených z koncových bodov fotogrametrickej základnice. Metódu s reálnou základnicou môžeme aplikovať stereofotogrametrickým vyhodnotením, alebo vo forme priesekovej fotogrametrie.



Obr. 8.11. Vyhodnotenie pretvorení metódou reálnej základnice

Pri metóde s časovou základnicou vyhotovujeme snímky z toho istého stanoviska, ale z rôznych etapových meraní. Pozorovaním dvojice snímkov, z ktorých jedna je napr. z prvého etapového merania

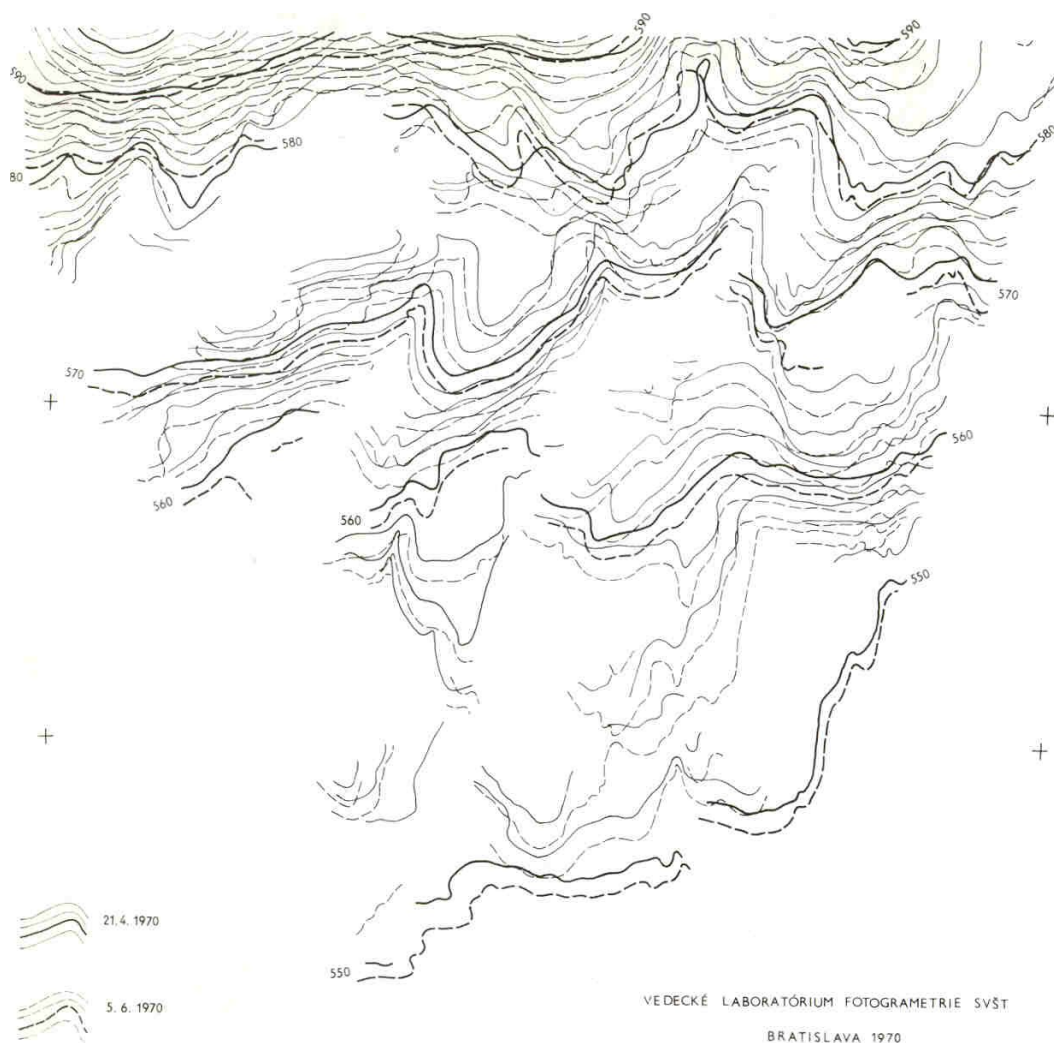
a druhá z n -tého etapového merania, dostaneme nepravý priestorový optický model, vytvorený tými vyhodnocovanými bodmi, u ktorých nastala zmena z' -ových snímkových súradníc.

8.2.1 Vyhodnotenie posunov a pretvoreni metódou reálnej základnice

Priestorové zmeny polohy bodov pri vyhodnocovaní metódou reálnej stereofotogrametrickej základnice z dvojíc snímok z dvoch etáp merania prejavujú sa zmenou snímkových súradníc x' , z' a p , ako to vyplýva obr. 8.11 pre normálny prípad pozemnej stereofotogrametrie. Vyhodnotenie zmien súradníc Δy , Δx a Δz medzi dvoma etapovými meraniami môžeme vykonať:

- analytickým vyhodnotením,
- numerickým analógovým vyhodnotením a
- grafickým analógovým vyhodnotením.

Pri analytickom vyhodnutí vymeriame snímkové súradnice pozorovaných bodov a vličovacích bodov na dvojiciach snímok z rozdielnych etapových meraní. Ak aplikujeme analytické vyhodnotenie priesekovej fotogrametrie, snímkové súradnice vymeriavame monokulárne. Zložky priestorového pretvorenia Δy , Δx , Δz vyčíslujeme z rozdielov súradníc medzi dvoma etapovými meraniami podľa príslušných rovníc pre použitú metódu analytického vyhodnotenia, keď spresnenie orientačných prvkov uskutočňujeme prostredníctvom vličovacích bodov.



Obr. 8.12. Vyhodnotenie pretvoreni terénneho reliéfu vo forme vrstevníc

Numerické analógové vyhodnotenie používame v prípadoch, keď priestorové zložky pretvorenia sú väčšie ako 100 mm. Súradnice vyhodnocovaných bodov získame z modelových súradnic transformáciou.

Na registráciu pretvorenia zosuvného a stekavého charakteru používame metódu grafickej analógovej pozemnej fotogrametrie. Vyhodnotenie môžeme vykonať vo forme vrstevníc (obr. 8.12), priečnych a pozdĺžnych profilov. Konfrontácia grafických čiarových elaborátov, vyhotovených z rôznych etapových meraní, poskytuje komplexný obraz o presune hmoty a jej úbytku a celkovú tendenciu pohybu, a to v celom rozsahu záujmovej oblasti. Perspektívne zákresy vrstevníc alebo profilov používame vtedy na ich lokalizáciu na snímke.

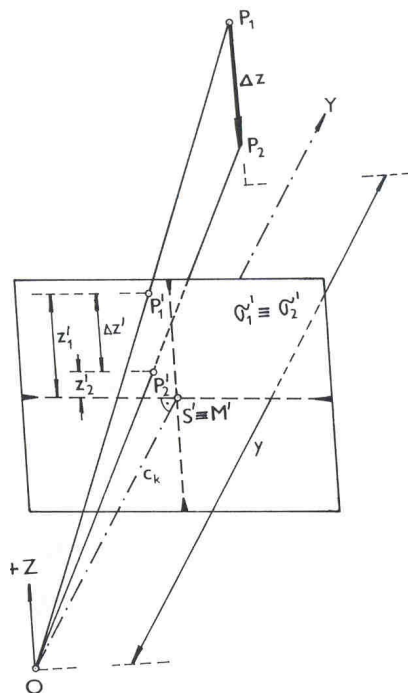
8.2.2 Vyhodnotenie zvislých posunov a pretvorenia metódou časovej základnice

Metódu časovej základnice najčastejšie aplikujeme na vyhodnotenie zvislých posunov stavebných objektov a ich modelov. Zvislý posun sa nám prejaví, ako je zrejme z obr. 8.13, zmenou snímkovy súradnice z' , ktorá je úmerná veľkosti zvislého posunu a vzdialenosti vyhodnocovaného bodu od stredu premietania (projekčného centra). Vzdialenosti y potrebné pre vyhodnotenie, meriame v smere osi záberu. Zvislú deformáciu vyčíslime z rozdielov z -ových súradníc, vypočítaných podľa základnej rovnice pozemnej fotogrametrie (4.4).

Pre dve etapové merania určíme zvislý posun, za predpokladu, že zmena v súradnici y je zanedbateľná, podľa rovnice

$$\Delta z = z_1 - z_2 = \frac{y}{c_k} (z'_1 - z'_2) = M_s \Delta z'$$

Podiel vzdialenosti ku konštante fotokomory $\frac{y}{c_k}$ je mierkové číslo snímky v mieste vyhodnocovaného bodu. Deformačné paralaxy, t.j. rozdiel snímkových súradníc $\Delta z' = (z'_1 - z'_2)$, vyjadrujúci zvislý posun bodu, môžeme účelne merať na stereokomparátore pri pootočení snímok o 100° , na nepravom geometrickom modeli, ktorý tvoria body so zmenenými snímkovými súradnicami z' .



Obr. 8.13. Vyhodnotenie zvislých posunov metódou časovej základnice

Orientáciu snímok overujeme na vĺčovacích bodoch, nachádzajúcich sa mimo oblasti posunov. Pri splnení požiadavky totožnej orientácie snímok budú mať vĺčovacie body rovnaké snímkové súradnice. V prípade rozdielov snímkových súradníc, ktoré môžu tiež vzniknúť aj netesným pritláčaním fotografickej platne k obrazovému rámu fototeodolitu, opravujeme vymerané deformačné paralaxy vyhodnocovaných bodov podľa veľkosti odmeraných paraláx na vĺčovacích bodoch.

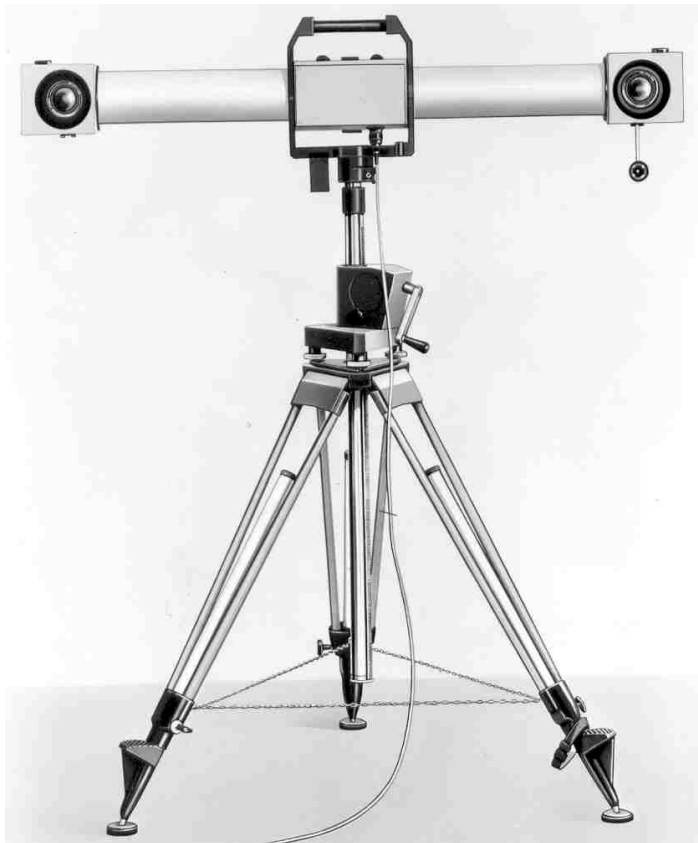
8.2.3 Využitie fotogrametrie v experimentálnom výskume

Pri úlohách súvisiacich s vývojom stavebných konštrukcií a technológií, vystupujú požiadavky na meranie posunov alebo pretvorení vybraných bodov na modeloch jednotlivých stavebných dielcov alebo celej konštrukcie, prebiehajúce v rovine, alebo takých pretvorení, ktoré sú spôsobené účinkami statického alebo dynamického zaťaženia. Napríklad: meranie priehybov nosníkov, pretvorenie modelov konštrukcií, kmitanie prútov a dosiek, pretvorenie modelov ostenia v tunelovej rúre atď. U všetkých aplikácií ide spravidla vždy o malé objekty, ktoré ak máme vyhodnotiť s optimálnou presnosťou, musíme fotografovať z blízkej vzdialenosti a z primerane veľkej fotogrametrickej základnice a súčasne dvoma meračskými komorami. Podľa malej vzdialenosti fotogrametrickej komory od fotografovaného predmetu toto odvetvie fotogrametrie dostalo aj názov blízka fotogrametria.

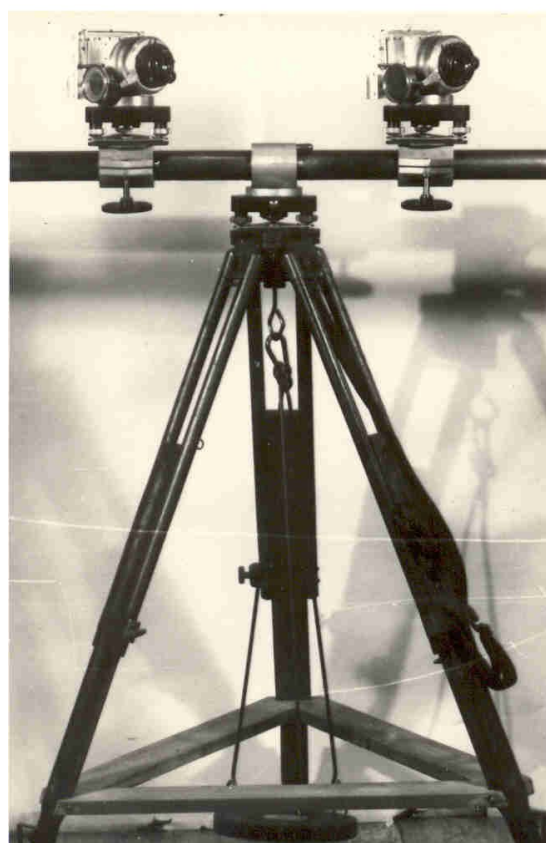
Metódy vyhodnotenia blízkej fotogrametrie v sa podstate neodlišujú od metód vyhodnotenia, ktoré sme si uviedli v kap. 7. Ich realizácia však vyžaduje osobitné prístrojové vybavenie pre snímkovanie a vyhodnotenie.

Pri meraní dynamických javov, sa vyžaduje od komôr bezchybná synchronizácia expozície.

Komory pre blízku fotogrametriu, ako sme si už uviedli, vznikajú stavebníkovým spôsobom napr. dvojité meračská komora UMK 10/1318 Zeiss (obr. 6.3), alebo sú kompaktné konštrukcie napr. stereoskopická meračská komora SMK 5,5/0808/40 a SMK 5,5/0808/120 Zeiss (obr. 8.14). Na Vysokej škole dopravnej (VŠD) sme v roku 1964 skonštruovali dvojité meračskú komoru (obr. 8.15)



Obr. 8.14. Stereoskopická meračská komora SMK 5,5/0808/120 Zeiss



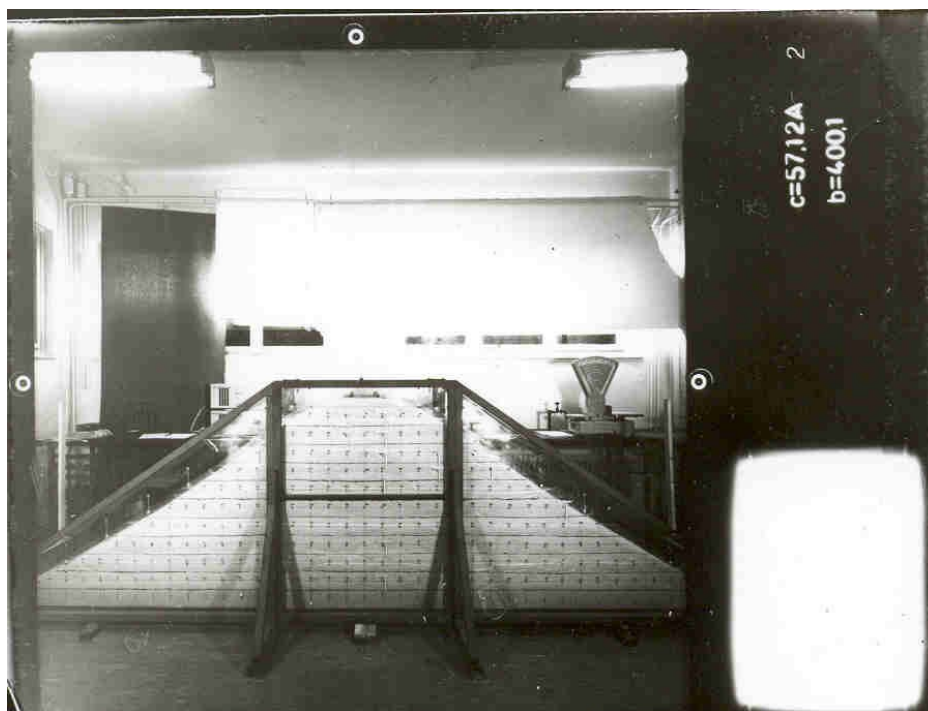
Obr. 8.15. Dvojité meračská komora VŠD (Bitterer, L.– Novák, P.)

Dvojitá meračská komora UMK 10/1318 Zeiss sa skladá z dvoch univerzálnych meračských komôr UMK 10/1318, ktoré sú upevnené na samostatných podstavcoch s možnosťou voľby troch rozmerov fotogrametrickej základnice ($b = 320, 580$ alebo 840 mm). Vzdialenosť medzi komorami sa volí podľa vzdialenosti vyhodnocovaného objektu.

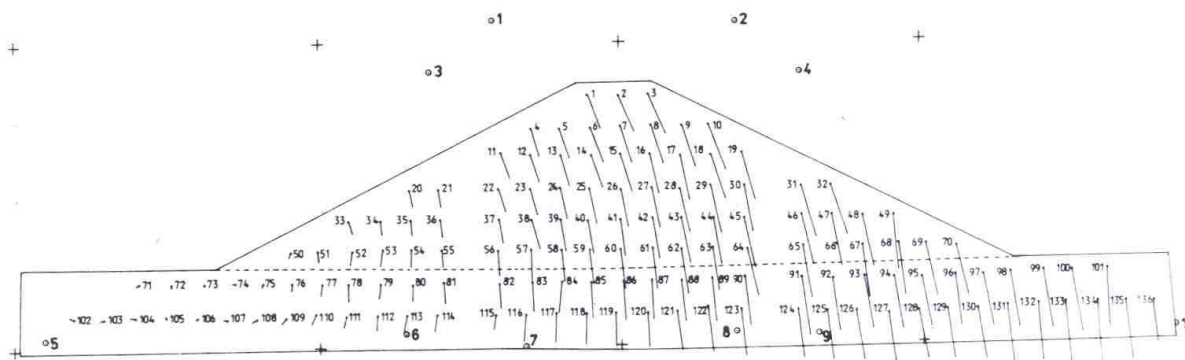
Stereoskopická meračská komora SMK 5,5/0808 Zeiss sa vyhotovuje v dvoch prevedeniach s pevnou fotogrametrickou základnicou ($b = 0,4$ a $1,2$ m). Na koncoch základnice sú trvalo zabudované dve rovnorodé komory s objektívmi Lamegon o ohniskovej vzdialenosti cca 56 mm, ktoré vo vzdialenosti 4 m (prístroj so základnicou $0,4$ m) a 8 m (prístroj so základnicou $1,2$ m) majú skreslenie $5 \mu\text{m}$. Smer osi záberu oboch komôr je rovnobežný a kolmý k základnici. Kontrola vodorovného smeru fotografovania sa vykonáva pomocou nasadzovacích libiel. Na fotografovanie sa používajú sklenené platne formátu 9×12 cm, alebo plochý film, ktorý sa pritláča k planoparalelnej sklenenej doske nachádzajúcej sa v obrazovej rovine komory. Orientácia komory smerom na fotografovaný objekt vykonáva sa hľadáčikom.

Dvojitá meračská komora VŠD (obr. 8.15) bola skonštruovaná adaptáciou doskových fotografických komôr, z ktorých boli použité objektívy s uzávierkami. Telesá komôr dostali novú konštrukciu. Plynulé zaostrenie komôr od $1,2$ m do ∞ umožňujú objímky nesúce objektív. Zmena obrazovej vzdialenosti sa číta na indikátorových hodinkách. Na zadnej stene komory je rám obrazovej roviny s rámovými značkami, ku ktorému sa pritláča fotografická platňa pružinami. Formát snímok je 9×12 cm. Na stereoskopické snímkovanie bol skonštruovaný základnicový nosník, ktorý za účelom voľby sklonu osi záberu ω je otočne upevňovaný na stojane. Veľkosť základnice pri súčasnom snímkovaní dvoma komorami na základnicovom nosníku je v rozsahu $28 - 116$ cm.

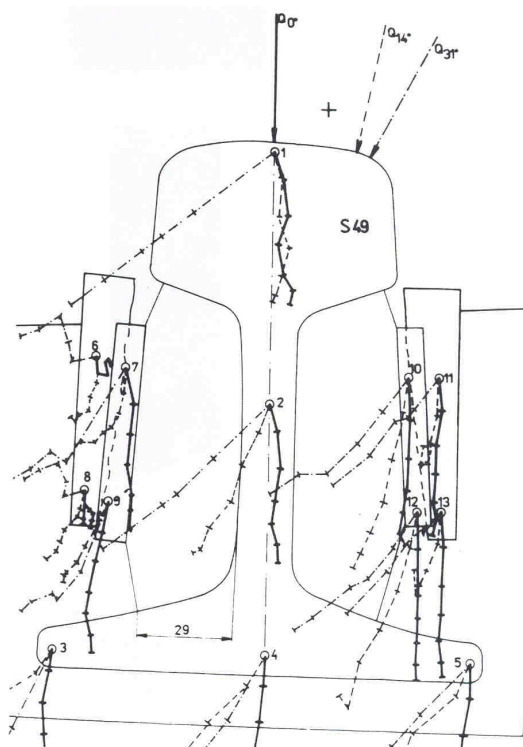
Fotogrametrické vyhodnotenie niektorých javov v experimentálnom výskume súvisí so spôsobom vyhodnotenia snímok a viaže sa na vyhotovujúce prístrojové vybavenie. Napríklad snímky vyhotovené prístrojmi SMK a UMK vyhodnocujeme na prístroji technocart (obr. 7.7). Na prístroji stereoautograf snímky vyhotovené komorou SMK nemôžeme vôbec vyhodnotiť a snímky vyhotovené komorou UMK len s určitým obmedzením. Ak nemáme k dispozícii analógový vyhodnocovací prístroj, ktorý svojimi parametrami zodpovedá meračskej komore, pracovnú technológiu orientujeme na analytické metódy vyhodnotenia.



Obr. 8.16. Snímka modelu vysokého železničného násypu



Obr. 8.17. Vyhodnotenie pretvorenia modelu vysokého železničného násypu



Obr. 8.18. Pretvorenie koľajnicového pásu pri pružnom upevnení

Laboratórium fotogrametrie Žilinskej univerzity vyhodnocovalo aplikácie blízkej fotogrametrie metódou kolineárnej transformácie programom ANVYFO (Bitterer, L.) . Vyhodnocované boli rovinné i priestorové pretvorenia etapovite zaťažovaných modelov dopravných objektov, vysoké železničné násypy na nespevnenom podloží (obr. 8.16, obr. 8.17), pretvorenia modelu nadložia nad tunela až do deštrukcie modelu, pretvorenia koľajnicových pásov v pružnom (obr. 8.19) a spružnenom upevnení. Priestorové vyhodnotenia boli orientované na pretvorenia skriňových modelov mostných konštrukcií. Etapovite vykonávané snímkovania boli vykonávané pri statickom a dynamickom zaťažení.

Pri krajných chybách geodetických súradníc 0,1 mm, krajných chybách snímkových súradníc 0,01 mm pre priestorové vyhodnotenie a 0,005 mm pre rovinné vyhodnotenie, fotogrametrickej základnici $b = 0,4$ m v rozsahu snímkovania $y = 2,5 \sim 3,5$ m, presnosť analytického vyhodnotenia metódou kolineárnej transformácie vyjadruje nasledovná tabuľka:

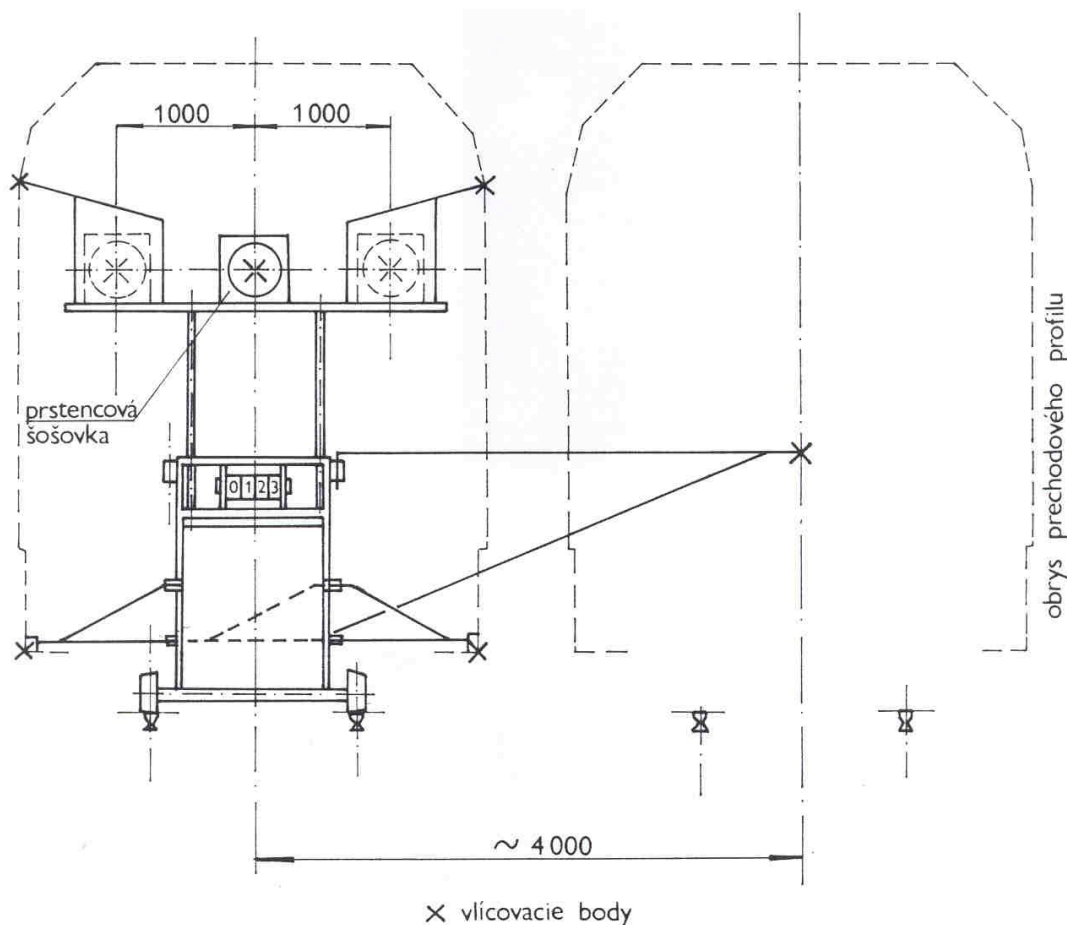
Transformácia	Počet vlícovacích bodov	$\sigma_{x,y,z}$ [mm]	Počet vlícovacích bodov	$\sigma_{x,y,z}$ [mm]
priestorová	6	0,1 ~ 0,3	> 6	0,1 ~ 0,2
rovinná	4	0,1 ~ 0,2	> 4	0,1 ~ 0,15

8.3 Meranie priečných rezov v tunelovej rúre

Podľa predpisu ČSD S-6 “Správa o udržiavaní tunelov” sa vykonáva periodické meranie priečných rezov tunelov pomocou pozemnej fotogrametrie a svetelných rezov, vytvorených prstencovou (toroidovou) šošovkou. Svetelný zdroj (výbojka), umiestnený v ohnisku prstencovej šošovky, vytvára svetelnú stopu na tunelovej rúre, ktorá sa fotografuje. Prekreslenie snímok do vyžadovanej mierky v prekresľovači sa uskutočňuje pomocou vĺčovacích bodov. Na meranie sa používa súprava FST-2.

Súprava FST-2 je konštruovaná ako samohybná jednotka v motorovom voze rady M 152.0. Na prednej časti motorového voza je pracovný priestor, kde je umiestnený špeciálny nosič pre komoru UMK FF. Nosič trvalo zaisťuje kolmosť osi záberu komory na rovinu priečného rezu a pri stereoskopickom snímkovaní udržiava osi záberu oboch komôr neustále v rovnobežnej polohe.

Prstencová šošovka s rámom nesúcim vĺčovací kríž (obr. 8.19) sa nachádza na špeciálnom vozíku, ktorý je v dopravnej polohe umiestnený pod motorovým vozidlom a v pracovnej polohe je predsunutý pred čelo voza. Prstencová šošovka môže zaujímať tri pozície na vozíku vĺčovacích značiek. Premiestňuje sa podľa druhu snímkovanej tunelovej rúry. U jednokoľajového tunela je umiestnená v strednej polohe a u dvojkoľajových tunelov sa prekladá bližšie k osi protismernej koľaje. Optická sústava prstencovej šošovky má clonku, ktorou sa docieľuje ostré ohraničenie stopy roviny svetelného rezu. Od vĺčovacích bodov sa vyžaduje, aby ležali v rovine svetelného rezu a boli vzájomne v závislej polohe (v tvare vĺčovacieho kríža) tak, aby bolo možné jednoduchým spôsobom z nich vytvoriť vĺčovací podklad na prekreslenie snímok. Vĺčovací kríž (obr. 8.19) sa skladá zo štyroch základných bodov a jedného pomocného bodu pre dvojkoľajné tunely. Základné body sú umiestnené na charakteristických miestach predpísaného prechodového profilu 1 SM, čím sa súčasne kontroluje jeho pozícia k ostenu tunelovej rúry.



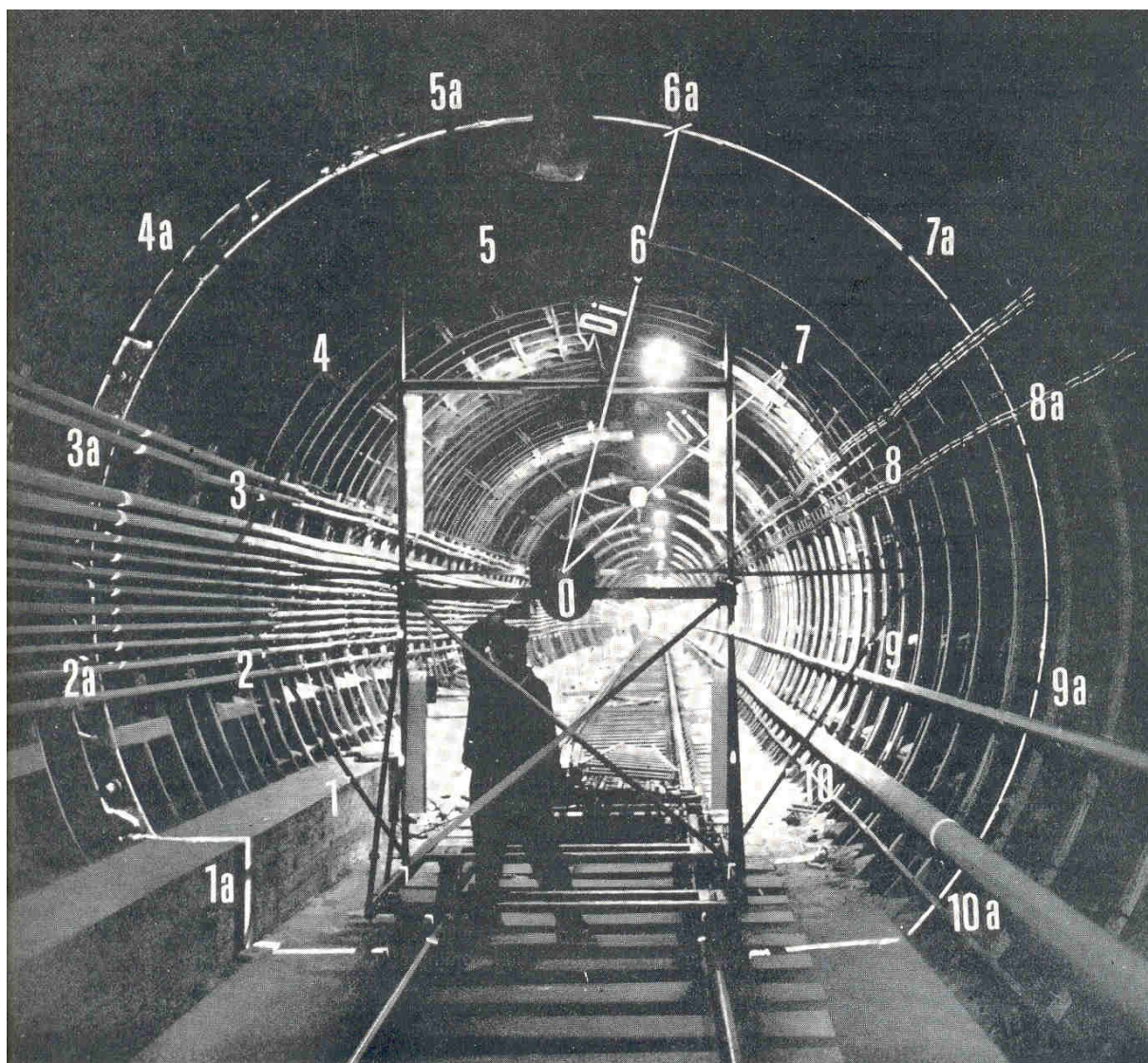
Obr. 8.19. Schéma vozíka s prstencovou šošovkou

Snímkovanie jednotlivých priečných rezov sa ovláda buď ručne, alebo je plne automatizované podľa vzdialenosti priečných rezov. Priečne rezy sa môžu exponovať po 5 sekundách, čo umožňuje kontinuálne snímkovanie pri 2 až 3 km/h rýchlosti súpravy. Rozlišovanie snímok priečných rezov sa uskutočňuje podľa registrovaného štvormiestneho čísla. Snímkovanie sa vykonáva v mierke 1:100.

Fotografacie práce sa vykonávajú v noci (obr. 8.20), pretože denné svetlo zasahuje do tunelovej rúry až do vzdialenosti 50 až 100 m a presvetľuje svetelnú stopu.

Okrem merania priečných rezov, súpravou je možné vyhotovovať stereoskopické dvojice snímok. Tunelová rúra sa osvetľuje reflektormi, snímkovacia súprava pri exponovaní je v kľude. Snímky sa vyhodnocujú grafickou analógovou metódou alebo analyticky. Analytické vyhodnotenie sa aplikuje pri meraní pretvorenia ostenia tunelovej rúry. Vlíčovacie body pre toto vyhodnotenie sú trvale stabilizované.

Presnosť jednosnímkového vyhodnotenia priečných rezov súpravou FST-2 je 2 cm. Analytickým vyhodnotením signalizovaných bodov docieľuje sa presnosť 5 mm.



Obr. 8.20. Snímka svetelnej stopy v tunelovej rúre