



**Vysoká škola báňská-technická univerzita Ostrava  
Hornicko - geologická fakulta  
Institut geodézie a důlního měřictví**

# **FOTOGRAMMETRIE**

**učební texty**

**Autor: Ing. Jozef Böhm**

**Ostrava, 2002**

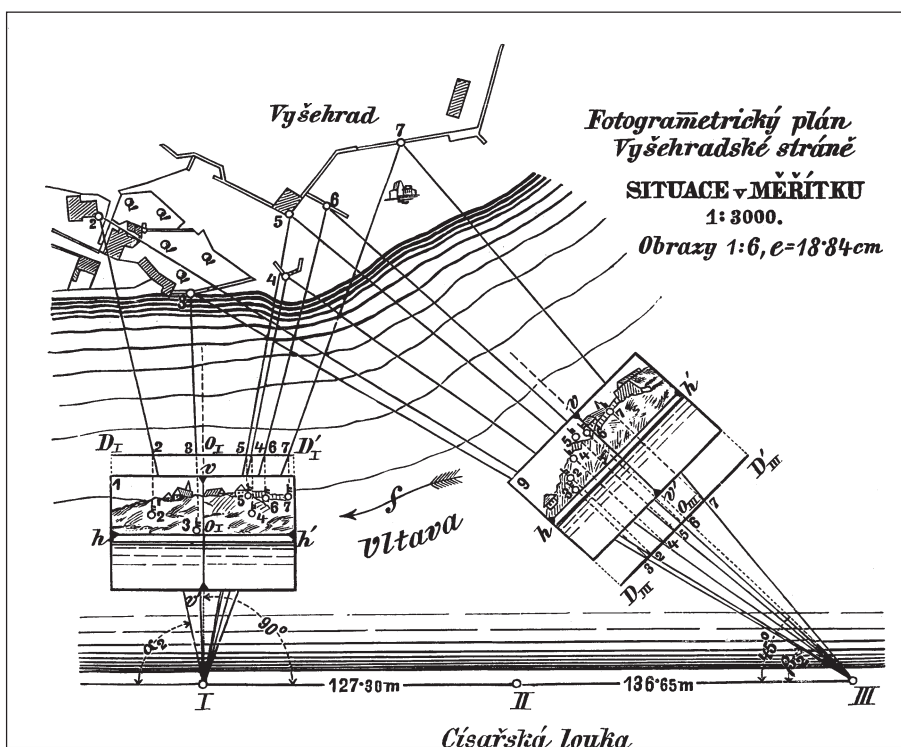
# OBSAH

<b>1</b>	<b>Vývoj fotogrammetrie</b>	
1.1	Klíčové body v historii .....	3
1.2	Současnost fotogrammetrie .....	4
<b>2.</b>	<b>Význam a využití fotogrammetrie</b>	
2.1	Pozemní fotogrammetrie .....	4
2.2	Letecká fotogrammetrie .....	5
<b>3.</b>	<b>Rozdělení fotogrammetrie .....</b>	<b>5</b>
<b>4.</b>	<b>Fotografický záznam</b>	
4.1	Vznik fotografického obrazu .....	7
4.2	Vlastnosti fotografického obrazu .....	7
4.3	Fotogrammetrické objektivy .....	7
<b>5.</b>	<b>Základní pojmy a vztahy ve fotogrammetrii</b>	
5.1	Centrální projekce .....	8
5.2	Vnitřní orientace snímky .....	9
5.3	Vnější orientace snímky .....	9
5.4	Základní rovnice stereofotogrammetrie .....	10
<b>6.</b>	<b>Použití pozemní fotogrammetrie</b>	
6.1	Přesnost použití pozemní fotogrammetrie .....	11
6.2	Použití ve stavebnictví .....	12
<b>7.</b>	<b>Digitální metody ve fotogrammetrii</b>	
7.1	Pozemní digitální fotogrammetrické kamery .....	13
7.2	Profesionální fotogrammetrické skenery .....	14
7.3	Profesionální vyhodnocovací zařízení .....	14
7.4	Ukázky digitálního zpracování .....	16

# 1. Vývoj fotogrammetrie

## 1.1 Klíčové milníky v historii

Počátky fotogrammetrie sahají daleko před vynález fotografie. Prvním, kdo uvedl do praxe centrální promítání, které je základní zobrazovací metodou ve fotogrammetrii, byl LEONADO DA VINCI (1452 - 1519). Ten popsal a sestrojil **dírkovou komoru**, která umožňovala překreslování pozorovaného předmětu pomocí centrální projekce. Tuto komoru opatřil spojnou čočkou JAN KEPLER a byla nazvána **camera clara**. Vynález fotografie, který reprezentoval NIEPCE A DAGUERRE, dále zdokonalil H.F. TALBOT, který jako první zavedl do technologie zpracování **proces negativ - pozitiv** a uskutečnil tak poprvé zhotovení většího počtu rovnakých fotografií z jednoho negativu. Do té doby byla každá fotografie neopakovatelným originálem. Dva roky po vynálezu fotografie zkonstruoval slovenský vědec prof. J. M. PETZVAL první moderní objektiv a zavedl do geometrické optiky exaktní výpočetní metody, čímž významně přispěl, mimo jiné, i k rozvoji fotogrammetrie.



obr. 1 Fotogrammetrický plán Vyšehradské stráně

Za zakladatele fotogrammetrie se pokládá francouz LAUSSE DAT, který krátce po vynálezu fotografie začal fotografické snímky využívat pro měřické účely. První fototeodolit zkonstruoval mechanik BRUNNER podle jeho návrhu v roce 1859. Krátce nato se český vědec Dr. K. KOŘISTKA na studijní cestě v roce 1862 s fotogrammetrií seznámil přímo u Laussedata. Po návratu zhotovil první fotogrammetrické měření u nás. Ze dvou stanovišť, na Hradčanech a Petříně, zhotovil fotografické snímky a průsekovou metodou určil polohu věží a jiných významných bodů na území Prahy (obr.1). Po něm se zabýval fotogrammetrií prof. F. STEINER, který napsal jednu z prvních učebnic fotogrammetrie (1891 - 1893). Velmi brzy došlo k uvědomění si významu této měřické metody a už v letech 1893 - 1897 bylo touto metodou uskutečněno mapování Vysokých Tater v měřítku 1:25 000 (průsekovou metodou).

Průseková fotogrammetrie byla v mnoha ohledech nepraktická. Uplatněním jednoduchého principu stereoskopie za začátku 20. století byly mnohé z problémů průsekové metody rázem odstraněny. Průkopníkem stereofotogrammetrie byl Dr. C. PULFRICH, který v roce 1901 zkonstruoval první přístroj na stereoskopické měření snímkových souřadnic - **stereokomparátor**. Tento přístroj položil základy složitějším přístrojům pro analogové (opticko-mechanické) vyhodnocování.

S fenoménem létání se současně začala rozvíjet i letecká fotogrammetrie. První snímky ze vzduchu pořídil francouz NADAR už v roce 1858. Velký rozmach zaznamenala letecká fotogrammetrie ale až během první světové války pro účely sledovací a interpretační. Nastal velmi rychlý vývoj jak fotorammetrických kamer, tak i vyhodnocovacích přístrojů.

U nás se první letecké stereofotogrammetrické mapování uskutečnilo v roce 1921 na území města Trutnova. Obrovský význam letecké fotogrammetrie pro mapování si můžeme uvědomit z následující skutečnosti: Vojenský zeměpisný ústav do r. 1938 zmapoval pozemní fotogrammetrií cca 1600 km<sup>2</sup> a leteckou přes 67 000km<sup>2</sup>.

## 1.2 Současnost fotogrammetrie

S rozvojem výpočetní techniky se do popředí vyhodnocení fotogrammetrických snímků jednoznačně dostává analytická metoda. Tato byla známá již dříve, ale nebyla z důvodu velké početní náročnosti používána. Princip analytického stroje na základě řešení přímého vztahu mezi snímkovými a geodetickými souřadnicemi byl patentován finským fotogrammetrem Dr. Uki Helavou již v roce 1957. Úspěšná konstrukce přístroje, schopného vyhodnocovat touto metodou, byla realizována až o dvacet let později. Základem analytického stroje je stereokomparátor s motorickým pohybem snímků, digitální odečítání polohy ovládacích prvků a výkonný počítač s obslužným programem, Analytické přístroje se velmi rychle začaly vyvíjet po roce 1980, kdy výpočetní technika dosáhla použitelných rychlostí zpracování a dostatečné kapacity uchovávání naměřených dat. Raketový vývoj počítačových technologií koncem 80-tých let umožnil vznik prvních digitálních systémů a vznikla nová oblast - digitální fotogrammetrie.

## 2. Význam a využití fotogrammetrie

### 2.1 Pozemní fotogrammetrie

Vzhledem k tomu, že pozemní fotogrammetrie je nejvhodnější pro použití ve výškově členitém terénu, její pole působnosti je při mapovacích pracích značně omezené. Ze začátku se uplatňovala především při mapování ve vysokohorském terénu. Mnohem větší význam má při určování kubatur těžby (a to i v současnosti) v povrchových dolech, měření pohybů mostů a těles hrází a ve velké míře ve stavebnictví při dokumentování fasád, kleneb a to historických, nebo jinak důležitých budov. Dále se využívá v kriminalistice při dokumentování místa trestného činu nebo dopravních nehod, kde je známá pod pojmem **blízká fotogrammetrie**.

## 2.2 Letecká fotogrammetrie

Nejširší praktické využití nachází letecká fotogrammetrie při zhotovování map nejrůznějších měřítek a použití a pro jejich aktualizaci. Jsou to mapy nejen malých a středních měřítek od 1:100 000 až po 1:10 000, ale taky mapy měřítek 1:2000, 1:1000, případně i větších. Tyto mapy se pak používají pro projektování stavebních děl nebo pro hospodářsko-technické úpravy pozemků a evidenci půdy. Schopnost fotografického snímku - zachytit ve zlomku vteřiny celou zájmovou oblast - je nenahraditelná při dokumentování rychle se měnících dějů, jako je dokumentace území postižených povodněmi, vichřicemi, požáry a podobně. Její nenahraditelnost je v těžko přístupných nebo nepřístupných oblastech, kde se jiná měřická metoda ani nedá použít.

## 3. Rozdělení fotogrammetrie

Fotogrammetrii jako takovou dělíme zpravidla podle následujících kritérií:

1) *Podle polohy stanoviska*, z něhož byl snímek pořízen na:

- a) pozemní
- b) leteckou

ad 1a)

Při pozemní fotogrammetrii je fotogrammetrická komora umístěna na pevném, geodeticky zaměřeném bodě. Náročnost na technické i fotografické vybavení je v těchto případech mnohem menší než u fotogrammetrie letecké. Je možno exponovat delšími expozičními časy a není tak náročná na stav počasí (oblačnost, vítr ap.). Její nevýhodou je skutečnost, že předměty měření se častokrát zakrývají a snímek tak obsahuje velké procento nevyhodnotitelných oblastí. Hodí se tedy pro objekty, které jsou přibližně ve stejné vzdálenosti od přístroje a jsou převážně výškově členité (fasády budov, stěny lomu, skalnatý terén). Dosah pozemní fotogrammetrie je závislý na typu měřické komory a rámcově se pohybuje kolem 500 m.

ad 1b)

Při této metodě je stanovisko pořizovaného snímku umístěno v pohyblivém se nosiči (letadlo, vrtulník, letecký model). Snímek zobrazuje větší plochu a za jednotku času se fotograficky zpracuje mnohem větší oblast zájmového území.

2) *Podle počtu vyhodnocovaných snímků* dělíme fotogrammetrii na:

- a) jednosnímkovou
- b) dvousnímkovou

ad 2a)

Při této metodě se využívá pouze samostatných měřických snímků. Protože na snímku můžeme měřit pouze rovinné souřadnice, lze jednosnímkovou metodou určit opět jen rovinné souřadnice předmětu. Tato skutečnost ale dává dostatečný prostor pro snímání téměř rovinných objektů, jako jsou již zmiňované fasády domů a tak její pole působnosti je tak především ve speciálních případech ve stavebnictví, archeologii a architektuře. V letecké fotogrammetrii lze tuto metodu využít pro polohopisnou složku rovinnatého území a to jak za snímků svislých, tak i se šikmou osou záběru.

ad 2b)

Pomocí dvousnímkové fotogrammetrie lze vyhodnit z dvojice snímků prostorové souřadnice objektu. Předmět měření musí být současně zobrazen na obou snímcích. Pokud se k vyhodnocení snímků využívá stereoskopického vjemu, mluvíme o stereofotogrammetrii. Stereofotogrammetrie je vzhledem ke svým univerzálním vlastnostem nejvíce využívána v dnešní době.

3) *Podle způsobu zpracování snímků*, t.j. převod snímkových souřadnic na rovinné nebo prostorové souřadnice ve zvoleném souřadnicovém systému, můžeme fotogrammetrii rozdělit na:

- a) metody analogové
- b) metody analytické
- c) metody digitální

ad 3a)

Tato metoda využívá pro vyhodnocení opticko-mechanických zařízení. Tyto přístroje vytváří modelový stav jako při vlastním snímání. Přístroje jsou velmi složité a k vyhodnocování na nich je potřebný dlouhodobý zácvik speciálně vyškolených pracovníků aby vyhodnocení bylo dostatečně přesné a produktivní.

ad 3b)

Metoda analytická převádí snímkové souřadnice do geodetických pomocí prostorových transformací, které se řeší na počítačích. Takto se dají zpracovat prakticky libovolné snímky (pořízené různými typy komor, různě stočené), nicméně pro stereofotogrammetrické zpracování jsou vhodné snímky s alespoň přibližně rovnoběžnými osami záběru a dostatečným překrytem.

ad 3c)

Tato metoda je využívá jako vstupní informace digitální obraz. Tento může být naskenovaný klasický snímek, nebo snímek pořízený přímo digitálním fotoaparátem. Snímkové souřadnice se měří přímo na obrazovce. Pro vytvoření prostorového vjemu obrazu na monitoru počítače je potřebný speciální hardware a software.

4) *Podle druhu záznamu výstupních hodnot* fotogrammetrického vyhodnocení snímků lze rozdělit fotogrammetrické metody na:

- 1) grafické
- 2) číselné (numerické)

ad 4a)

Při tomto způsobu vyhodnocení snímků je k vyhodnocovacímu přístroji připojen kreslicí stůl na kterém se v reálném čase vykreslují vyhodnocená data. Grafické metody vyhodnocení jsou relativně rychlé ale vyžadují zkušeného vyhodnocovatele. Při mapovém vyhodnocování tak přímo vzniká originál polohopisné, případně i výškopisné složky mapy. Nevýhodou je, že tento výstup nelze dále přímo zpracovávat výpočetní technikou a jeho reprodukce a editace je taktéž nekvalitní. Přesnost takto vyhodnocených snímků je taky poměrně malá (přibližně  $\pm 0,2$  mm v měřítku mapy).

ad 4b)

Číselný způsob vyhodnocení se zakládá na automatické registraci zájmových souřadnic jednotlivých vyhodnocovacích bodů buď přímo do paměti počítače nebo na jiné paměťové

médium. Výsledkem je vektorový nebo bitmapový soubor, který se dá na počítači dále zpracovávat (například za účelem vytvoření digitálního modelu terénu).

## 4. Fotografický záznam

### 4.1 Vznik fotografického obrazu

Fotografický obraz vzniká působením světla na halové sločeniny stříbra, obsažené ve fotografické emulzi. Fotografická emulze je želatina s jemně rozptýlenými drobnými krystaly halových prvků (chlorid stříbrný, bromid stříbrný). Tato je nanášena na podložku (nosič) kterou může být v praxi buď skleněná deska nebo celuloidový pás. Po expozici (osvětlení) vzniká ve fotografické emulzi latentní (skrytý) obraz, který ještě není viditelný lidským okem. To nastane až při vyvolávání, což je proces, při kterém se světlem zasažené krystaly halogenidů stříbra redukuje na černá zrna. Neosvětlené krystaly se rozpustí v ustalovači. Poté se fotografická deska nebo film musí vyprat v čisté vodě, aby se tyto rozpuštěné krystalky z fotografické emulze odstranili. Dále se takto ustálený film/deska musí usušit v bezprašném prostředí a nechat nějakou dobu skladovat, aby se dosáhlo jejich rozměrové stálosti. Tomuto fotografickému záznamu říkáme *negativ*. Jeho kopírováním nebo zvětšováním na stejný nebo papírový materiál dostaneme snímek nazývaný *pozitiv*.

### 4.2 Vlastnosti fotografického obrazu

Fotografický snímek je i v současnosti nejvýznamnější nositel fotogrammetrických informací. Množství informací, které v sobě nese, je přímo úměrné jeho kvalitě. Proto musí:

- mít schopnost zaznamenat velmi rozdílnou intenzitu osvětlení
- reagovat na široké spektrum vlnových délek
- mít velkou rozlišovací schopnost
- mít dostatečnou citlivost
- být rozměrově stálý

Větší nároky na fotografický materiál jsou v letecké fotogrammetrii, protože zde musí splňovat protichůdné požadavky: mít velkou rozlišovací schopnost a současně velkou citlivost. U pozemné fotogrammetrii jsou nároky menší, protože nejsme limitováni krátkou expoziční dobou, tudíž je možné používat méně citlivých fotografických materiálů, které mají obecně větší rozlišovací schopnost.

### 4.3 Fotogrammetrické objektivy

Objektivy, používané ve fotogrammetrických komorách, musí být konstruovány tak, aby optické vady byly omezeny na minimum. Přesto neexistuje dokonalý objektiv, který by neměl žádné optické vady. U amatérských objektivů pro běžnou fotografii tyto vady v praxi ani nepostřehneme. U fotogrammetrických objektivů musí být zůstatkové vady kalibrovány a následně zaneseny do vyhodnocování.

Fotografické objektivy obecně dělíme na:

- a) základní
- b) širokouhlé
- c) teleobjektivy
- d) transfokátory

Ad a)

Charakteristickým prvkem základního objektivu je skutečnost, že délka jeho ohniskové vzdálenosti se přibližně rovná velikosti úhlopříčky snímkového formátu.

Obrazový úhel základních objektivů se pohybuje v závislosti na daném formátu od 40 do 60 stupňů.

Ad b)

Širokouhlé objektivu se vyznačují obrazovým úhlem větším než 60 stupňů.

Ad c)

Teleobjektivy jsou určeny pro snímání vzdálených předmětů. Jejich význačnou vlastností je tedy to, že mají velkou ohniskovou vzdálenost. Teleobjektivy se vyznačují obrazovým úhlem menším než 40 stupňů.

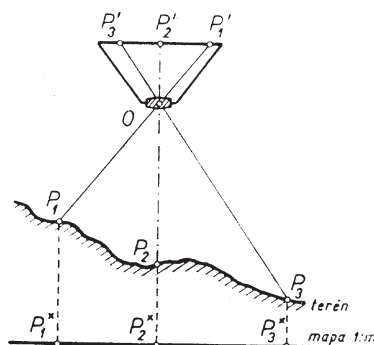
Ad d)

Zoom objektivu neboli transfokátory jsou objektivu zvláštní konstrukce, kterých ohniskovou vzdálenost a tím i obrazový úhel je možno plynule měnit, přičemž obraz je tvořen ve stejné obrazové rovině. Ve fotogrammetrii se nepoužívají právě z důvodu změny ohniskové vzdálenosti, která musí být u těchto přístrojů konstantní a přesně známá.

## 5. Základní pojmy a vztahy ve fotogrammetrii

### 5.1 Centrální projekce

Fotografický snímek předmětu je jeho centrální projekcí, přičemž středem promítání je střed objektivu a obrazovou rovinou je citlivá vrstva filmu/desky. Všechny paprsky od předmětových bodů  $P_1, P_2, \dots$  prochází fotografickým objektivem (který považujeme za střed promítání) a pokračují přímočaře dále a tvoří na fotografické vrstvě perspektivní obraz  $P'_1, P'_2, \dots$ . Souhrn těchto paprsků označujeme jako fotogrammetrický svazek paprsků. Aby jsme mohli převést centrální projekci na paralelní rovinu mapy, musíme znát tvar a polohu fotogrammetrického svazku paprsků (obr.2).

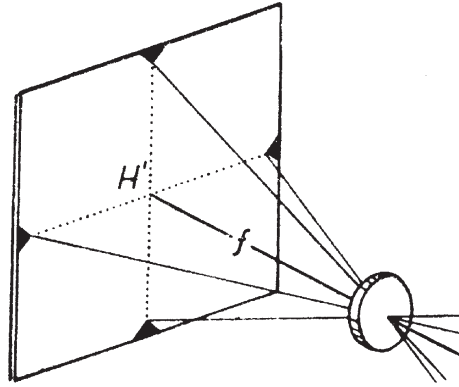


obr. 2 Projekce mapy a snímku



## 5.2 Vnitřní orientace snímky

Tvar fotogrammetrického svazku paprsků definuje vnitřní orientace snímky, kterou se vyjadřuje vztah **projekčního centra** (střed objektivu fotokomory) k obrazové rovině. Prvky vnitřní orientace jsou obrazová vzdálenost, t.j. délka kolmice spuštěné z projekčního centra na obrazovou rovinu a poloha paty této kolmice na obrazové rovině, t.j. **hlavní bod**  $H'$  (obr.3).

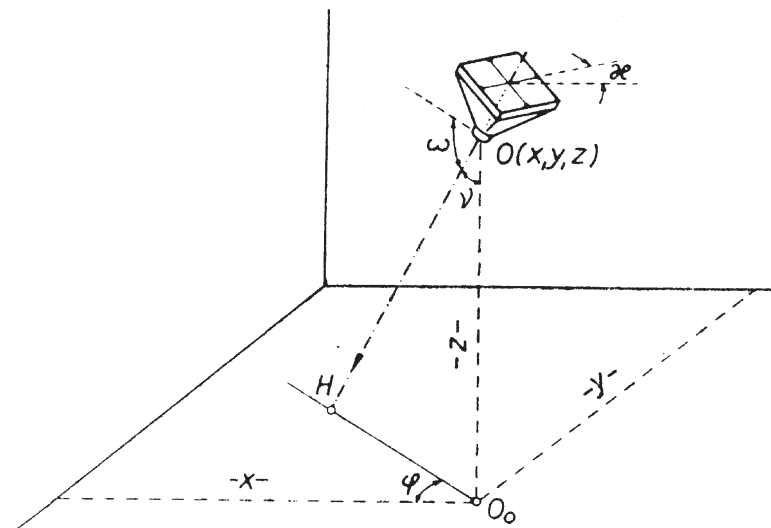


obr. 3 Vnitřní orientace snímky

Fotogrammetrické kamery jsou zaostřeny na nekonečno, takže obrazová vzdálenost je totožná s ohniskovou vzdáleností  $f$  objektivu. Poloha hlavního bodu na snímku je určena průsečíkem spojnic rámových značek, které se při každé expozici naexponují na snímek. Fotografický snímek, kterého prvky vnitřní orientace známe, označujeme jako **měřický snímek**.

## 5.3 Vnější orientace snímky

Polohu fotogrammetrického svazku paprsků v prostoru určuje šest prvků vnější orientace (obr.4).



obr. 4 Prvky vnější orientace snímku

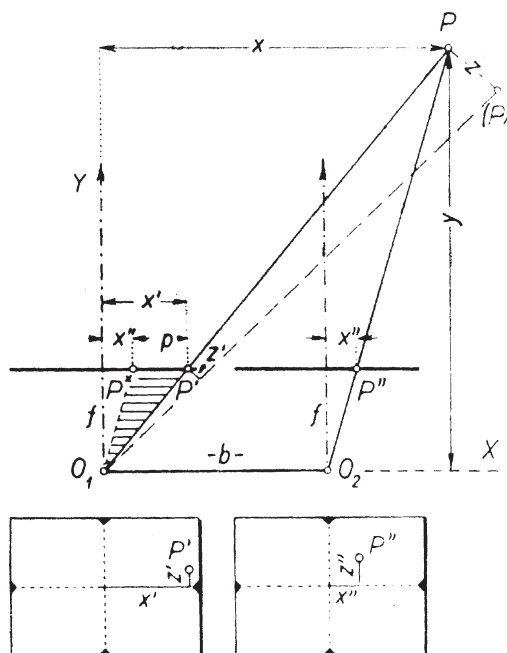
Jsou to:

- tři prostorové souřadnice  $x, y, z$  stanoviště, t.j. středu promítání
- směr osy záběru, resp. stočení, t.j. vodorovný úhel  $\alpha$ , který svírá průmět osy záběru s určitým stanoveným směrem,
- sklon osy záběru  $\beta$ , měřený ve vzhledné rovině od horizontály, nebo jeho doplněk  $\beta'$ , (nadirová vzdálenost) měřený od vertikály,
- pootočení  $\gamma$ , t.j. úhel, který vyjadřuje otáčení snímky ve vlastní rovině kolem osy záběru.

## 5.4 Základní rovnice stereofotogrammetrie

Stereofotogrammetrické snímky (dvojice snímků) umožňují nejenom prostorové pozorování fotografovaného prostoru, ale je možné na jejich podkladě ze snímkových souřadnic vypočítat prostorové souřadnice zobrazených bodů.

V praxi je nejdůležitější tzv. normální případ stereofotogrammetrie, kdy jsou snímky vyhotovené na koncových bodech základnice  $b = O_1O_2$  tak, že osy záběru jsou navzájem rovnoběžné a kolmé na základnici (obr.5).



obr. 5 Normální případ stereofotogrammetrie

Pro odvození vzorců pro prostorové souřadnice zobrazených bodů zvolíme souřadnicový systém, kterého počátkem je stanoviště  $O_1$ . Osa  $X$  se stotožní se základnicí a osa  $Y$  padne do osy záběru prvního snímku. Bod  $P$  je zobrazen na levém i pravém snímku v bodě  $P'$  a  $P''$ . Na snímcích se změří snímkové souřadnice  $x'$  a  $x''$  a kromě nich se na levém snímku změří souřadnice  $z'$ . Z těchto tří hodnot je možné vypočítat prostorové souřadnice  $x, y, z$  bodu  $P$ . Stanovištěm  $O_1$  vedeme rovnoběžku se směrem  $O_2P$  a dostaneme šrafovaný trojúhelník  $O_1P'P''$ . Stranu tohoto trojúhelníku

$$P'P^x = x' - x'' = p \quad (1)$$

nazýváme *horizontální paralaxí*.

Z podobnosti trojúhelníků

$$O_1P'P^x \approx O_1O_2P \quad \text{vychází:}$$

$$\frac{y}{f} = \frac{b}{p}; \quad y = \frac{bf}{p} \quad (2)$$

$$x = \frac{x'y}{f}; \quad x = \frac{bx'}{p} \quad (3)$$

Pro určení souřadnice  $z$  sklopíme bod  $P'$  do půdorysu a z podobnosti trojúhelníků dostaneme:

$$\boxed{z = \frac{z'y}{f}; \quad z = \frac{bz'}{p}} \quad (4)$$

Jednoduchý vztah (4) představuje *základní rovnici stereofotogrammetrie*.

## 6. Použití pozemní fotogrammetrie

### 6.1 Přesnost použití pozemní fotogrammetrie

Přesnost jednosnímkové fotogrammetrie při zpracování snímků na překreslovačích můžeme charakterizovat středními chybami v poloze bodů na plánu  $\pm 0,3$  až  $0,4$  mm.

Přesnost bodového vyhodnocení stereofotogrammetrie se pohybuje v rozmezí středních chyb  $m_y = 0,5 \text{ ‰} \cdot y$ ,  $m_x = 1/2 - 0,8 \cdot y$ ,  $m_z = 0,3 - 0,6 \cdot m_y$ .

Přesnost vyjádření vrstevnic lze charakterizovat středními chybami:

v poloze vrstevnice

$$m_{\text{pol.}} = 1,4 \text{ ‰} \cdot y + 0,4 \text{ ‰} \cdot y \cot g$$

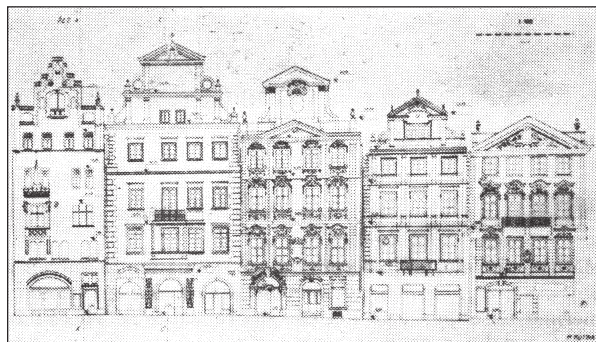
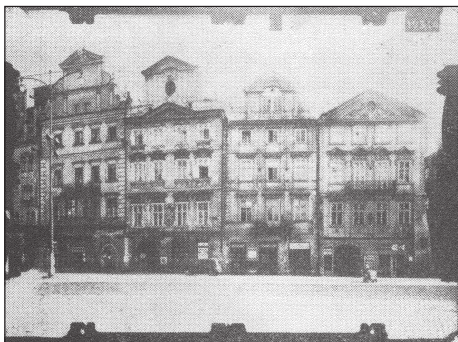
ve výšce vrstevnice

$$m_{\text{výš.}} = 0,4 \text{ ‰} \cdot y + 1,4 \text{ ‰} \cdot y \text{ tg}$$

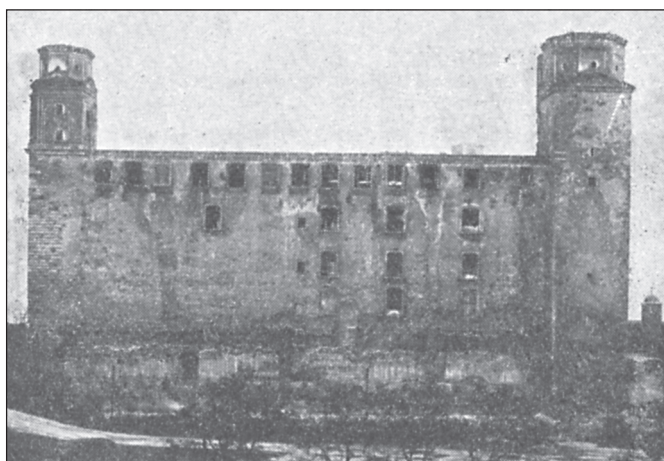
kde  $g$  je sklon terénu. Pozemní fotogrammetrie se velmi výhodně proto uplatní při měření strmých, neporostlých svahů.

## 6.2 Použití ve stavebnictví

Ve stavebnictví se pozemní fotogrammetrie používá především pro dokumentaci stavebních objektů, ať již památkových, anebo nových. Lze ji využít jak pro zaměřování exteriérů, tak i interiérů. Dokumentace stavu kleneb, které by se jinak těžko zaměřovaly, je pomocí pozemní fotogrammetrie velmi rychlá a snadná. Pro rovinné stavební objekty se využije jednosnímkové fotogrammetrie, pro dokumentaci prostorově členitých staveb stereofotogrammetrie (obr.6, 7).



obr. 6 fotogrammetrický snímek průčelí a jeho překreslení metodou pozemní fotogrammetrie



obr. 7 Fotoplán bratislavského hradu před rekonstrukcí

Fotogrammetricky lze sledovat i deformace staveb při zatěžovacích zkouškách či jejich sedání při výstavbě, určovat rozměry a tvary objektů ve výstavbě. Dvojitých komor lze používat i k zaměřování kulturních památek (soch, plastik). Při vyhodnocení lze získat nejen pohledy na tyto objekty, ale vykreslovat i rovnoběžné svislé řezy (vrstevnice ve svislé rovině) a podle nich vyhotovit kopie soch.

Jiné uplatnění se nabízí při sledování rovinných deformací, které probíhají při zatěžkávacích zkouškách ocelových mostů anebo při návrhu různých konstrukcí. Zde používáme metodu časové základny. Její princip spočívá v tom, že ze stejného místa pořizujeme snímky o stejných prvcích vnitřní a vnější orientace v průběhu celé zkoušky. Začne-li se objekt prohýbat, projeví se průhyb změnou snímkových souřadnic. Ve stereokomparátoru se průhyb projeví změnou horizontální paralaxy (deformační paralaxy  $p$ ). Jsou-li roviny snímku a deformační přesně rovnoběžné, stačí pak měřenou deformační paralaxu vynásobit měřítkovým číslem snímku  $m_s$ .

$$\text{Průhyb: } z = m_s \cdot p,$$

kde  $m_s$  určíme pomocí vlicovacích bodů v rovině deformací.

# 7. Digitální metody ve fotogrammetrii

## 7.1 Pozemní digitální fotogrammetrické kamery

### a) kamery s pohyblivým CCD senzorem

V pozemní fotogrammetrii je na rozdíl od letecké, bezproblémové použití kamer, které obsahují místo pevného CCD čipu pohyblivou matici CCD senzorů. Zde je kamera umístěna pevně na stativu a je určena pro snímání především nepohyblivých objektů, tudíž není problémem případná delší expozice. Tato technologie má proti nepohyblivému čipu jednu výhodu – je tak možno získat při dnes dosahovaném rozlišení CCD čipů mnohem větší objem dat.

K zástupcům tohoto typu profesionální fotogrammetrické kamery patří Rollei RSC. Kamera je konstruovaná pro kontrolu kvality, deformační analýzu v průmyslu a své uplatnění by mohla najít i při velmi přesných měřeních v hornictví, stavebnictví, geologii a jiných oborech (obr. 8).



obr.8 Digitální fotogrammetrická kamera Rollei RSC

### b) kamery s pevným CCD senzorem

Nejrozšířenější kategorií digitálních přístrojů jsou fotoaparáty s jedním, pevným maticovým CCD čipem. Zajímavým modelem této kategorie je profesionální fotogrammetrická kamera Rollei d7 Metric. Obsahuje CCD čip o velikosti 1280x1024 pixelů, jedná se o kalibrovaný fotogrammetrický přístroj. Její využití je směřováno do blízké fotogrammetrie, kde je tolerována nižší přesnost vyhodnocení (obr. 9).



obr.9 Digitální fotogrammetrická kamera Rollei d7 Metric

## 7.2 Profesionální fotogrammetrické skenery

Jako příklad uvádím profesionální digitální fotogrammetrický skener DSW500 od firmy LH systems (obr. 10). Skener této konstrukce byl poprvé představen na kongresu ISPRS ve Vídni v roce 1996. Na tomto skeneru je možno skenovat jak z role tak z nařezaných snímků. Princip skenování spočívá v tom, že ve spodní části je umístěna digitální kamera s plošným CCD čipem. Nad objektivem kamery je pohyblivý nosič snímků a v nejvrchnější části je vyústění světlovodu. Obraz je tedy snímán po čtvercích, které představují jeden záběr digitální kamery. Přesnost skenování je ovlivněna hlavně pohyblivým nosičem, jehož encodery mají rozlišení 0.5 mikrometru a přesnost pohybu je 2 mikrometry. Maximální rozlišovací schopnost skeneru závisí na použité kameře a pohybuje se od 4 – 15 mikrometru. K osvětlení je použita xenonová lampa a čtyři filtry – tři pro základní barvy modelu RGB a jeden čirý pro černobílé skenování. Doba osvětlení je regulována přímo u světelného zdroje pomocí záblesků. Co se týče rychlosti skenování, tak jeden barevný letecký snímek se skenuje 7 – 9 minut s rozlišením 12.5 mikrometru a černobílý snímek pod 4 minuty.

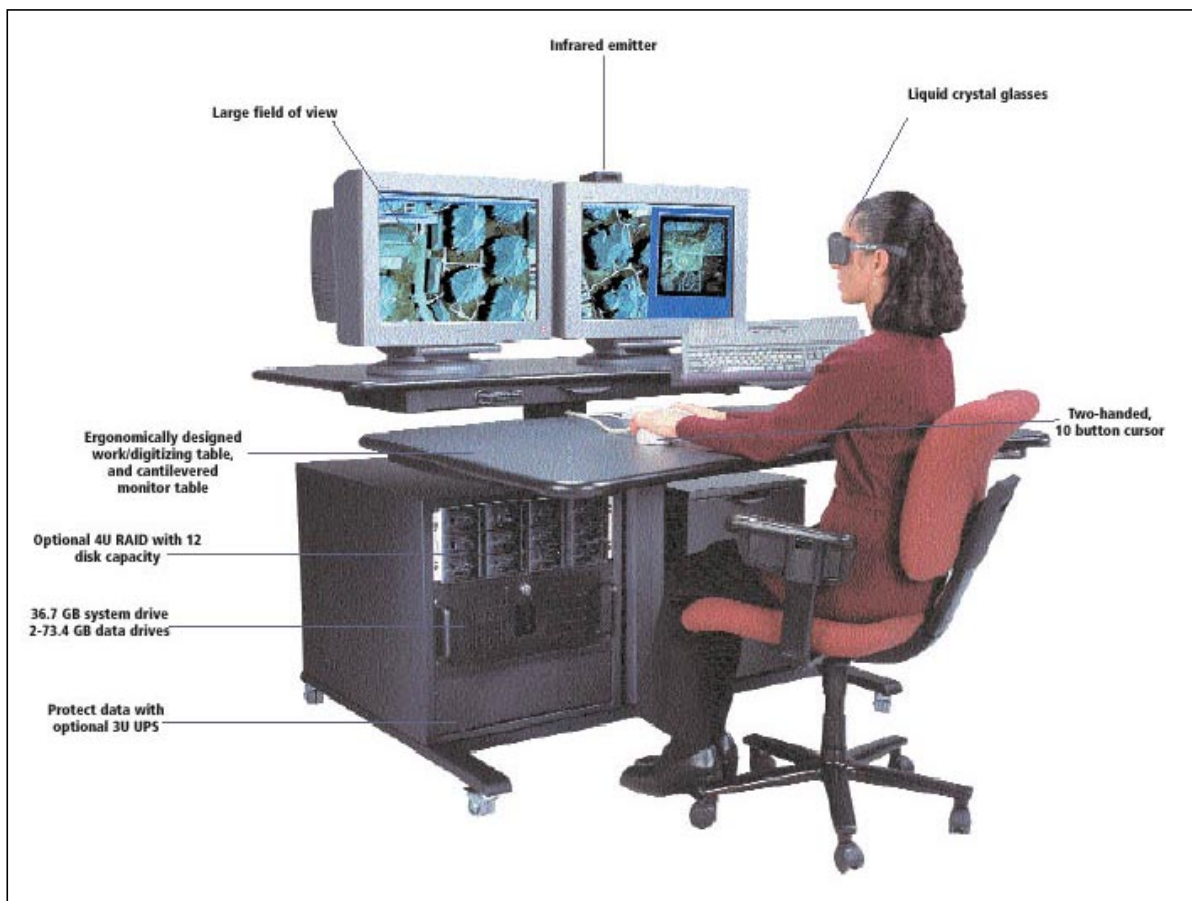


obr.10 Digitální fotogrammetrický skener DSW500 firmy LH Systems

## 7.3 Profesionální vyhodnocovací zařízení

Měřické snímky v digitální podobě je potřeba digitálně vyhodnotit. K tomuto účelu je dnes nabízen software i speciální pracoviště od několika firem.

Všechny programy spojuje jeden charakteristický rys – jsou modulárně koncipovány. To znamená, že si koupíte základní jádro softwaru který můžete postupně doplňovat o ty moduly, které ve své praxi potřebujete. Každá z těchto firem nabízí velké množství jednotlivých modulů. Pro ilustraci uvedu produkt firmy LH Systems. Základem je jádro s názvem Helava se základním modulem Core. Toto jádro je možné rozšířit o moduly pro stereoskopickou vizualizaci, import/export snímků, orientaci a triangulaci snímků, generování digitálního modelu terénu, vyhodnocení vektorové kresby a jiné. Vyhodnocování se uskutečňuje pomocí brýlí s pasivními polarizačními filtry (LH Systems) nebo brýlemi s tekutými krystaly, jak je to například u produktu firmy ERDAS Imaging. Princip spočívá v tom, že na monitoru se střídavě zobrazuje pravý a levý snímek stereodvojice s frekvencí 85 Hz za vteřinu. Pomocí synchronizačního zařízení se v brýlích současně střídavě zatemňuje a zprůhledňuje levá nebo pravá strana podle toho, který snímek je v daný okamžik právě na monitoru. Výslední stereovjem je dokonalý a s tímto zařízením se dá plnohodnotně vyhodnocovat (obr. 11).



obr.11 Vyhodnocovací pracoviště firmy ERDAS – fotogrammetrická stanice ERDAS Imaging

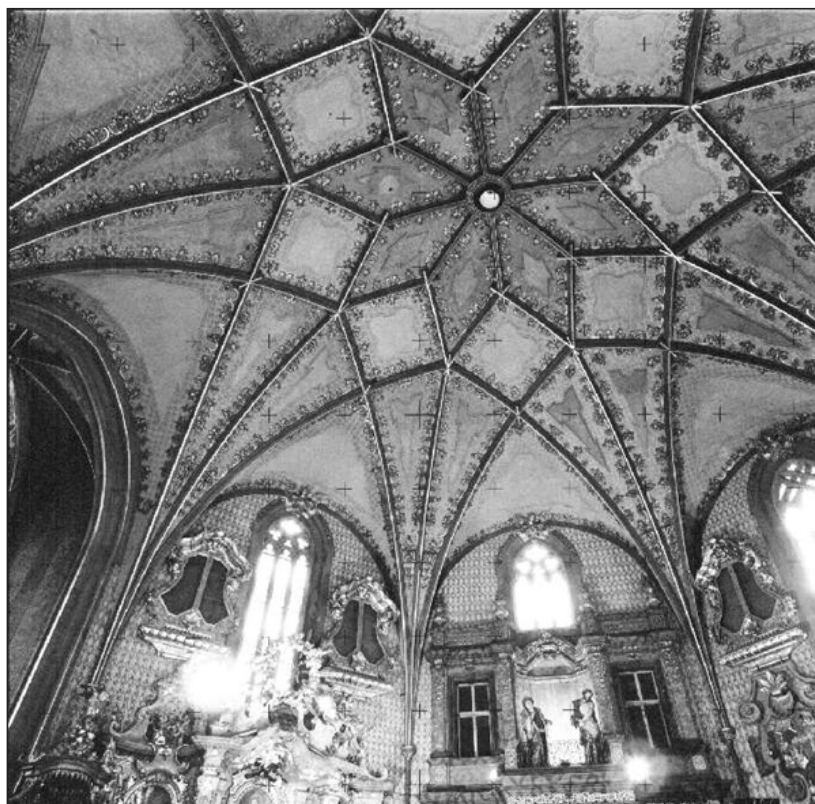
Podobné řešení nabízí firma Z/I Imaging. Základem je promyšlené hardwarové modulární řešení stanice Image Station 2000. Toto umožňuje díky montáži do 19" rackové skříně její rozšiřování se vzrůstajícími potřebami uživatele. Srdcem systému je dvojice procesorů Intel Pentium III na 866 MHz. Stanice je dále vybavena v základní verzi 512 MB RAM, rozšiřitelné na 1 GB i více, jedním systémovým 18.3 GB a dvěma datovými 36.7 GB disky (všechny vyjímatelné), pracuje pod operačním systémem Windows NT. Stereovjem je založen na technologii využívající infračerveně řízené polarizační brýle Crystal Eyes. Širokoúhlé 28" nebo 24" monitory nabízejí velmi plynulý posun obrazu ve stereo scéně (obr. 12).



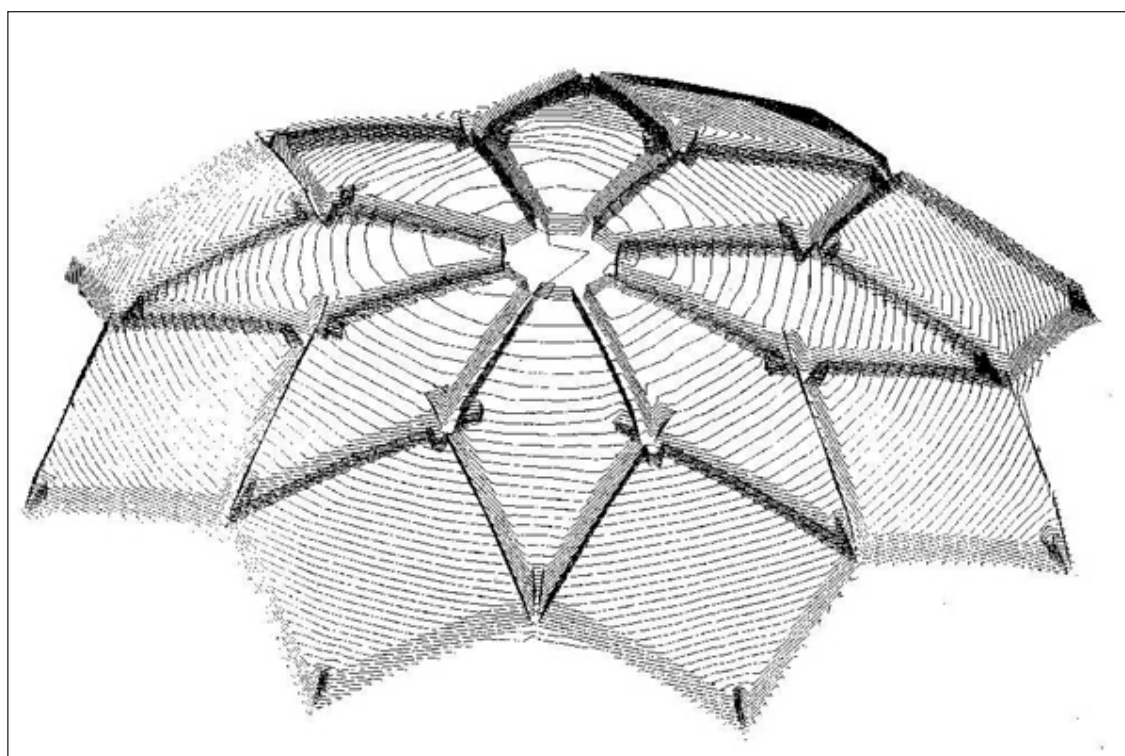
obr.12 Plně digitální fotogrammetrická stanice ImageStation 2000 (vlevo) a vyhodnocovací hardware (vpravo)

## 7.4 Ukázky digitálního zpracování

Zde je uvedena ukázka využití klasické pozemní fotogrammetrie (obr. 12) a jejího digitálního vyhodnocení (obr. 13).



obr.12 Fotografie klenby kostela



obr.13 Vrstevnicový plán klenby (s žebry) - izometrický pohled