

12 MODERNÍ PŘÍSTROJE A TECHNOLOGIE V GEODEZII

12.1 Totální stanice

Geodetické totální stanice jsou přístroje, které slouží k měření a vytyčování vodorovných a svislých úhlů a k registraci naměřených dat s možností matematických operací s těmito daty.

Tyto přístroje byly do praxe uvedeny v devadesátých letech dvacátého století. Pro jejich všestranné využití v geodezii byly označeny jako totální stanice. Velmi brzy se pro svoji všestrannost, přesnost, rychlost a jednoduchost měření staly nosnými výrobky předních světových výrobců geodetických přístrojů LEICA (Švýcarsko), TOPCON, NIKON, SOKKIA (Japonsko), Carl Zeiss Jena (Německo), Spectra Precision (Švédsko). Dva posledně jmenovaní výrobci se v současnosti stali součástí firmy Trimble (USA).

Totální stanice je souosé spojení elektronického teodolitu s elektrooptickým světelným dálkoměrem. Úhlové a délkové hodnoty lze odečítat přímo na displeji z tekutých krystalů a zároveň je zde možnost registrovat je ve vnitřní paměti přístroje a eventuelně provádět i matematické operace s nimi (např. převod šikmé délky na vodorovnou, převod polárních souřadnic na pravoúhlé, výpočet převýšení atd.). Pomocí totální stanice můžeme řešit i některé další geodetické úlohy např. určování výměr z měřených lomových bodů pozemku, určení nepřístupné výšky atd. Množství geodetických úloh, které lze totální stanicí řešit je závislé na použitém modelu přístroje a ovlivňuje jeho cenu.

Vnitřní paměť totální stanice má kapacitu až několik tisíc naměřených bodů. Po měření se přístroj propojí speciálním kabelem s počítačem a naměřená data se do počítače přenesou. Někteří výrobci řeší uložení naměřených dat na magnetické karty. Po zaplnění kapacity magnetické karty se karta vyjme z totální stanice, nahradí prázdnou a v kanceláři po zasunutí do zvláštního přehrávače se data ze zaplněné karty přenesou do počítače. Tento systém má výhodu, že není třeba přinést k počítači celou totální stanici. Nevýhodou je nebezpečí znehodnocení naměřených dat při průchodu zaplněné karty silným elektromagnetickým polem.

Totální stanice je elektronický přístroj. Při jeho využívání je třeba ho napájet elektrickou energií. V současné době slouží jako zdroj energie plynotěsný akumulátor často na bázi NiCd (nikl – kadmiové). Je nabíjecí a k totální stanici je dodávána i nabíječka ze síťového napětí 220 V. Kapacita akumulátoru stačí na několik hodin provozu totální stanice.

Pro provoz světelného elektronického dálkoměru, který je součástí totální stanice, je třeba proud střídavý. Proto je v totální stanici zabudován polovodičový měnič z proudu stejnosměrného (z akumulátoru) na proud střídavý.

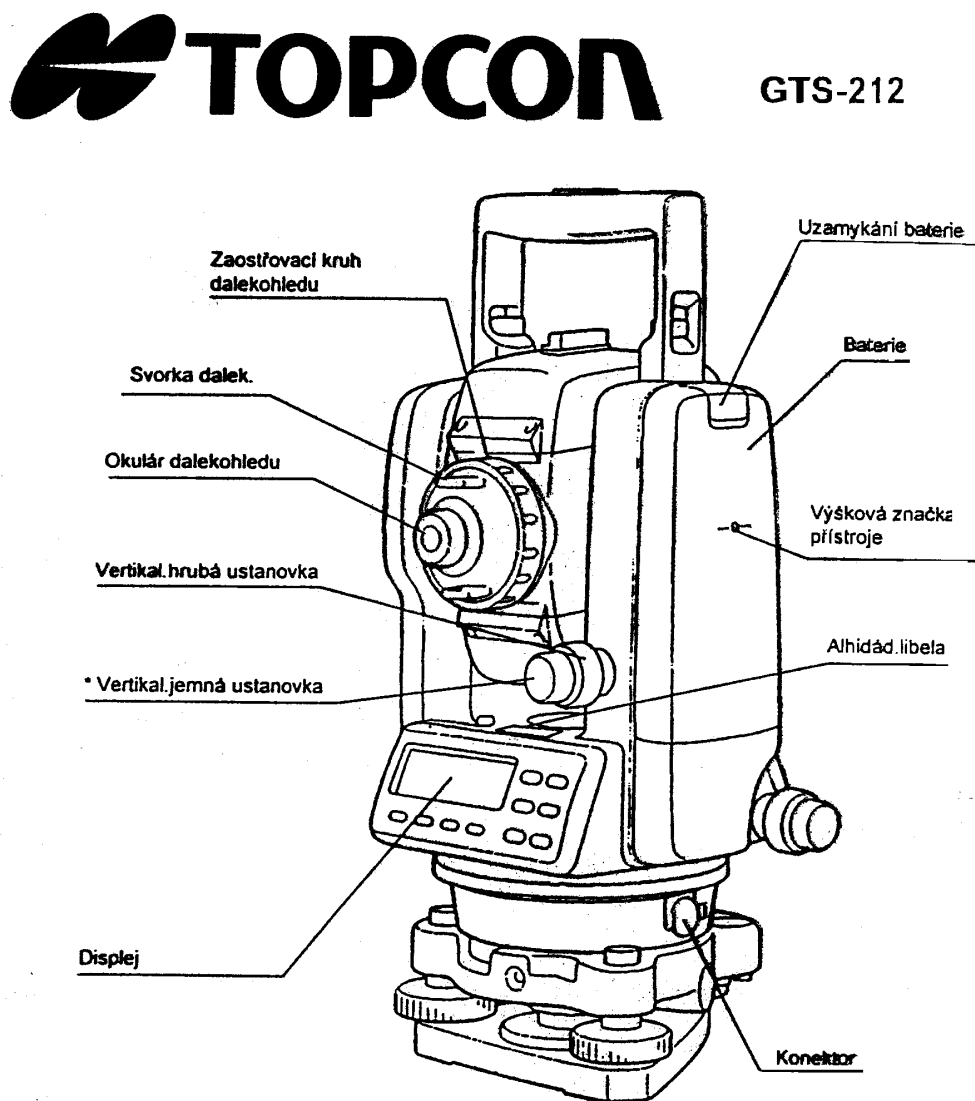
Postup měření s totální stanicí nebývá obtížný. Po krátkém zácviku a důkladném prostudování příloženého návodu k obsluze jej může provádět každý. Vzhledem k ceně přístroje, která představuje zhruba hodnotu nového osobního automobilu je však třeba, aby jeho obsluha věnovala převozu i práci s ním patřičnou pozornost.

Postavení přístroje na stativ nad stanoviskem měření se neliší od postupu popsaném při měření mechanickým teodolitem, stejně jako jeho centrace a horizontace. Při centraci se téměř bezvýhradně používá optický centrovač, který patří ke standardní výbavě stanice. Nedokonalou horizontaci signalizuje varování na displeji přístroje. Dražší typy totálních

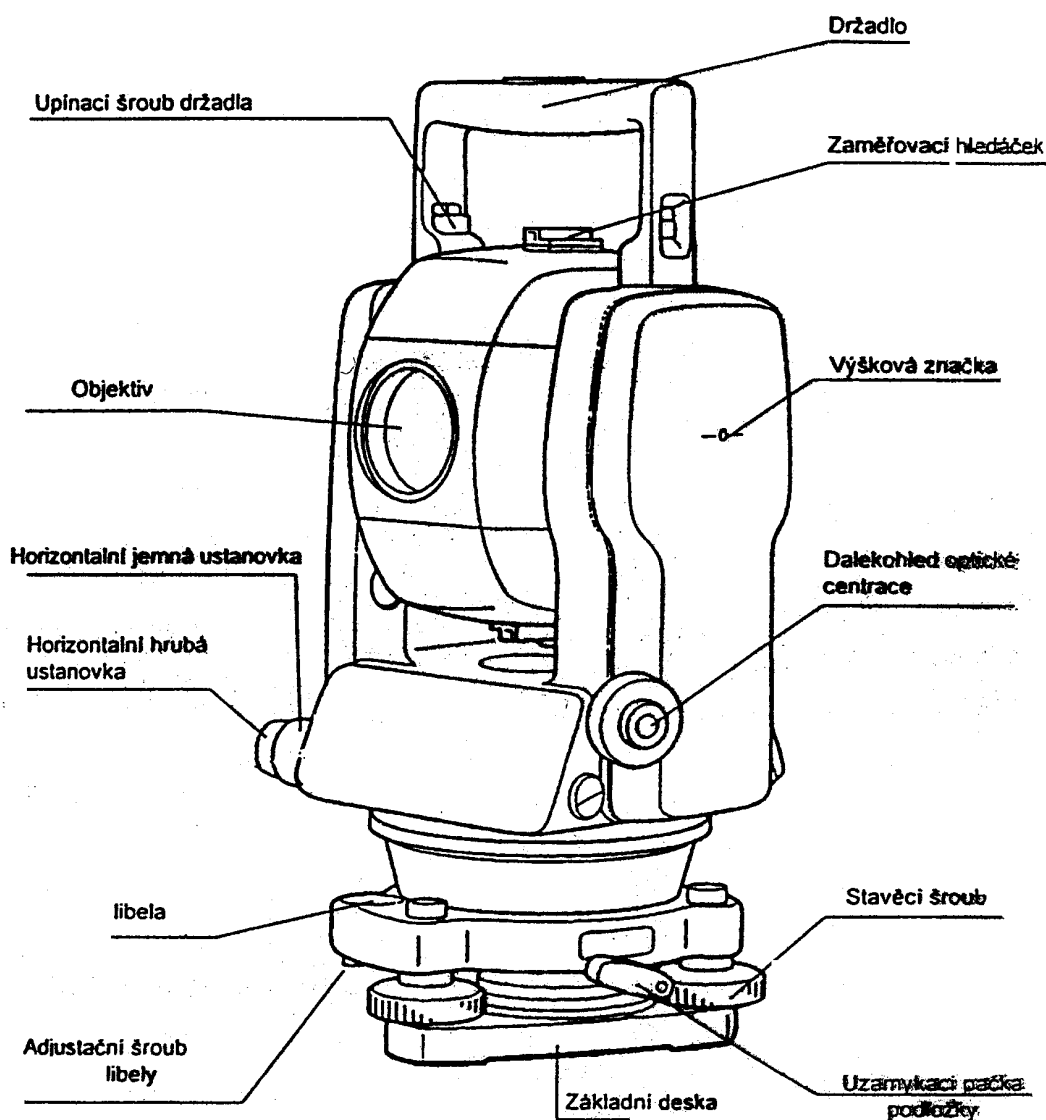
stanic mají vždy oddělitelnou třínožku s optickým centrovačem. Vlastní přístroj se ukládá do třínožky až po hrubé centraci a horizontaci třínožky, aby se zabránilo otřesům citlivých součástí přístroje.

U všech totálních stanic se k cílení používá analaktický dalekohled stálé délky. Před započítím měření je třeba, stejně jako u teodolitu zaostřit záměrný kříž (zaostřovací prsteneček záměrného kříže bývá těsně u okuláru). Při cílení na předmět je nutné používat zaostřovací prsteneček, umístěný na jiném místě dalekohledu. Pro hrubé zacílení je dobré používat hledáček na dalekohledu. Dva páry ustanovek se využívají při pohybu přístroje stejným způsobem jako u teodolitu. Jejich umístění je na schématu v návodu k obsluze. Nejdražší modely jsou ovládány automaticky od odrazného systému pomocí servomotorků a vytváří tak „stanici jednoho muže“.

Vlastní postup měření a registrace dat se natolik liší od výrobce k výrobcovi a od modelu k modelu totální stanice, že je třeba konkrétní postup vyčíst z příslušného návodu k obsluze. Na obr. 12.1 a 12.2 je schéma totální stanice japonské firmy TOPCON GTS 212.



Obr. 12.1



Obr. 12.2

12.2 Digitální nivelační přístroje

Automatizace a digitalizace se nevyhnula ani nivelačním měřením. Princip nivelace, jak byl popsán v kapitole 4.3 zůstává zachován, pouze odečítání naměřených převýšení na nivelačních latích neprovádí měřič u nivelačního přístroje, ale je automaticky zaregistrováno v digitálním nivelačním přístroji. Odpadá zde častá chyba z nesprávného odečtení na nivelační lati a také chyba z nesprávného odhadu milimetrů na lati dělené na centimetry. Aby bylo umožněno neosobní automatické odečítání hodnoty na lati, bylo třeba laťovou stupnici přizpůsobit. Namísto centimetrového dělení je laťová stupnice nivelační latě pro digitální nivelační přístroj tvořena čárovým kódem (viz obr. 12.3). Digitální nivelační přístroj nejprve urovnáme pomocí hrubé krabicové libely (jemné urovnání provede již automaticky kompenzátor).



Zacílíme vzad na příslušnou nivelační lať opatřenou čárovým kódem a na přístroji zaregistrujeme automaticky odečtenou hodnotu. Tímto způsobem provedeme i čtení vpřed na druhou lať. Celý postup opakujeme v celém nivelačním pořadu.

Digitální nivelační přístroj (viz obr. 12.4), je opatřen přehledným a rozsáhlým ovládacím panelem, registrace dat je prováděna na PC kartu (obdoba magnetické karty u totálních stanic). Pro měření na lať opatřenou čárkovým kódem stačí viditelnost na 30 cm lať. V programovém vybavení přístroje je i program pro vytyčování. Digitálně lze zjistit i vzdálenost od přístroje k nivelační lati s několika centimetrovou přesností.

Přesnost určení převýšení se u digitálních nivelačních přístrojů liší podle modelu. Nejjednodušší model svou přesností bohatě dostačuje pro pořady technické nivelace.

U některých nejnovějších modelů lze digitálně odečítat i vodorovné úhly.

Obr. 12.3

Elektronické odečítání převýšení je zpravidla umožněno ve vzdálenostech 1,5 – 100 m. Čárový kód na latích může být nanesen na invarové podložce. Použitím invarových latí zvýšíme přesnost měření. Zdrojem energie jsou opět plynotěsné dobíjecí akumulátory, které vydrží bez dobíjení několik dní provozu.

Jedinou nevýhodou je značná pořizovací cena digitálního nivelačního přístroje, která několikanásobně převyšuje cenu klasického nivelačního přístroje.



Obr. 12.4

12.3 GPS (Globální polohové systémy)

GPS – globální polohové systémy z anglického Global Positioning Systems jsou z geodetického hlediska jednou z metod kosmické geodezie. Z hlediska rozšíření v geodetické praxi patří k nejužívanějším metodám kosmické geodezie. **GPS je družicový systém, který poskytuje přesné informace o poloze, rychlosti a čase v jednotném referenčním systému na kterémkoli místě na Zemi.** Globálních polohových systémů byla vyvinuta celá řada např.:

- TRANSIT (vojenské námořnictvo USA),
- GLONASS (Rusko),
- NAVSTAR (USA),
- GALILEO (EU).

Posledně jmenovaný se teprve buduje. Systém NAVSTAR GPS (NAVigation Satellite Timing And Ranging) je z uvedených systémů nejrozšířenější a dosud nejspolehlivější. Další výklad bude proto o tomto systému.

Počátky NAVSTAR GPS spadají do roku 1973, kdy Ministerstvo obrany USA rozhodlo o vybudování nového družicového navigačního systému. Systém vznikl jako ryze vojenský. Po zvážení možností a výhod při využívání tohoto systému pro civilní sektor rozhodl Kongres USA o umožnění jeho bezplatného využívání s určitými omezeními hlavně v oblasti navigace. Již počátkem devadesátých let minulého století dochází k prudkému rozvoji tohoto technického odvětví a po celém vyspělém světě vznikají postupně výrobci stále dokonalejších přijímačů využívajících tento systém. V plném provozu je NAVSTAR GPS od prosince 1993.

GPS se nevyužívá jen pro potřeby geodezie. Mezi oblastí, ve kterých se využívá patří:

- vojenské využití,
- vědecké geodynamické aplikace,
- geodezie,
- tvorba a údržba Geografických informačních systémů (GIS),
- navigační a sledovací systémy v dopravě,
- monitorovací a komunikační systémy,
- automatizované řízení těžkých stavebních strojů,
- časová služba,
- turistika, sport, osobní navigace...

Výhodou GPS je, že přesné prostorové určení polohy a času se provádí na celém světě, v reálném čase, po celých 24 hodin, za jakéhokoliv počasí. USA si však vyhrazují právo degradace přesnosti systému pro libovolnou oblast při komerčním využití v případě vojenské potřeby.

12.3.1 Prvky GPS

GPS obsahuje tři části :

- kosmický segment,
- řídicí a monitorovací segment,
- uživatelský segment.

Kosmický segment se skládá z 24 umělých družic Země (UDZ), které krouží okolo Země ve vzdálenosti 20 200 km. Oběžná doba je 12 hodin. Minimální konfigurace je 21 funkčních a záložní UDZ. Číslovány jsou průběžně od čísla 1. Vzhledem k tomu, že časem zaniknou nebo se poškodí, jsou stále doplňovány na plný stav. Nové družice dostávají nová čísla, proto jsou ve vesmíru i družice s vyšším číslem než je 24. UDZ jsou vybaveny atomovými hodinami a radiovým vysílačem signálu GPS. **Družicový signál** se vysílá na základní frekvenci :

$$f_0 = 10,23 \text{ MHz.}$$

Signál obsahuje 3 složky :

- nosné vlny L1 (19 cm) a L2 (24 cm),
- pseudonáhodné kódy, modulující L1 a L2
 - CA kód (civil access) – pro civilní využití
 - P kód (precision) – pro armádní složky, je složitější a kvalitnější,
- navigační zprávu, která obsahuje údaje o efemeridách, což jsou přesné informace o dráze satelitu, almanach se základními orbitálními daty všech družic, informace o stavu družice a data nutné pro výpočty vzdáleností.

Mezi další vybavení UDZ GPS, sloužící k jejich činnosti, patří sluneční baterie, gyroskopy, procesory, raketové motory atd.

UDZ se pohybují v šesti oběžných rovinách na téměř kruhových drahách. Sklon dráhy k rovníku je 55° . Jejich rozložení umožňuje, aby na kterémkoliv místě planety byly viditelné minimálně 4 satelity s elevací větší než 15° , což je nutná podmínka pro určení polohy uživatelských přijímačů GPS. Do vesmíru jsou UDZ vynášeny jednak pomocí raketoplánů nebo raketou Delta II.

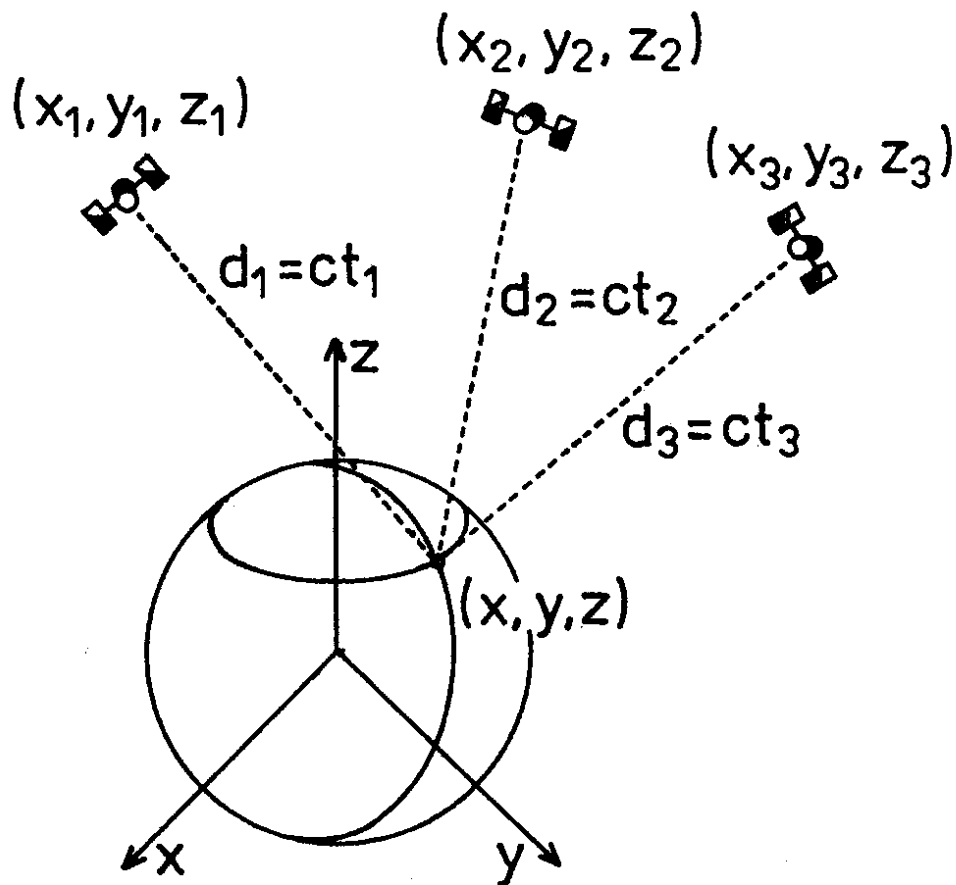
Řídící a monitorovací segment obsahuje pět monitorovacích stanic (Diego Garcia, Ascension, Kwajalein, Hawaii), zachycujících signály z družic. Jejich rozložení je zhruba pravidelné podél rovníku. Dále tento segment obsahuje tři pozemní řídicí stanice, které předávají data družicím a jednu hlavní řídicí stanici pro celý systém v Colorado Springs, kde se shromažďují data z monitorovacích stanic, počítají efemeridy (přesné polohy družic) a parametry družicových hodin.

Uživatelský segment je složen z uživatelských přijímačů GPS, které jsou pasivní (nevysílají žádný signál). Tento segment zahrnuje i organizace distribuující informace o GPS.

Pozn. Přijímače GPS musí být umístěny tak, aby měly volný horizont (výhled na oblohu). Družicový signál neprochází kovovými a pevnými předměty s velkou hustotou a vodní vrstvou. Průchod signálu je možný sklem, plasty a lehkou střešní krytinou. Lesní porosty a hluboká údolí jsou často překážkou pro kvalitní měření.

12.3.2 Princip určení polohy a času GPS

Základním principem určení polohy GPS je měření vzdálenosti (viz obr. 12.5). Na obrázku jsou patrné tři družice a poloha bodu na zeměkouli se určí protínáním z délek tzv. trilaterací.



Obr. 12.5

Vzdálenosti d_1 , d_2 a d_3 pro prostorové délkové protínání nám určí prostorovou polohu bodu (x, y, z) správně pouze tehdy, známe-li dostatečně přesně okamžitou polohu zmíněných tří družic.

Pro praktické určení 3D polohy (x, y, z) je však počet tří družic nedostatečný. Je třeba mít k dispozici měření na alespoň 4 satelity, neboť tento zdánlivě nadbytečný počet družic umožní eliminovat chyby ovlivňující výsledek měření, především přesnou synchronizaci hodin přijímače.

Družice GPS i přijímače GPS generují tutéž posloupnost pseudonáhodných kódů. Jejich porovnáním (synchronizací přijímače) zjistíme čas průchodu signálu mezi družicí a přijímačem a následně pseudovzdálenosti mezi přijímačem a družicemi.

12.3.3 Zdroje chyb GPS

Vzhledem ke složitosti celého systému je zdrojů chyb celá řada a různou měrou ovlivňují přesnost v určení polohy bodu. Chyba družicových hodin způsobí chybu cca 1,5 m, chyba vysílaných efemerid se projeví hodnotou cca 2,5 m, chyba způsobená atmosférickou refrakcí činí cca 6 m, šum přijímače je chyba závislá na kvalitě přijímače a zhruba představuje 0,3m, falešné odrazy (tzv. multipath) jsou zaviněny vícecestným šířením signálu v blízkosti vysokých budov či v lese a dosahují až několika metrů.

Největší velikosti dosahuje chyba úmyslné degradace přesnosti Selective Availability (S/A), která je způsobena vědomým zásahem do nastavení družicových hodin a zavedením nepřesností do vysílaných efemerid. Od 1.5. 2000 byla tato degradace přesnosti ukončena, což představovalo zvýšení přesnosti určení polohy bodů asi o 30 m. Stále však působí na měření pro civilní sektor Anti Spoofing (A-S), který způsobuje zašifrování vojenského kvalitnějšího P-kódu do podoby Y-kódu nedostupného pro nevojenské uživatele systému.

Systém NAVSTAR GPS poskytuje dvě služby o rozdílné přesnosti. **PPS – (Precise Positioning Service)** umožňuje autorizovaným uživatelům (armádě USA a armádám NATO) získávat maximálně kvalitní údaje o poloze určovaného bodu, používá se P-kód. V reálném čase může být bod určen s přesností až 1 m. **SPS – (Standard Positioning Service)** je služba poskytovaná všem ostatním uživatelům, je ovlivněna Anti Spoofingem (nelze při měření použít P-kód), přesnost určení bodu v reálném čase je i při použití stejně kvalitních přijímačů GPS nižší a dosahuje cca 10 m.

12.3.4 Přesnost určení polohy bodu GPS

Přesnost určení polohy bodu při využívání služby SPS závisí na metodě měření a zpracování naměřených dat.

Máme-li k dispozici autonomní měření s jedním přijímačem bude přesnost určení polohy zhruba 10 m. Tato přesnost je vhodná např. pro turistickou navigaci či sledovací dopravní systémy.

Chceme-li přesnost zvýšit, je třeba využít dvou přijímačů GPS. Jeden, základnový, umístíme na bod o známých souřadnicích, vytvoříme tím tzv. referenční stanici. Druhý přijímač GPS představuje pracovní stanici a s ním obcházíme určované body. Tato metoda měření se nazývá diferenční GPS (DGPS). Jestli postačuje přesnost 0,5 - 5 m použijeme pro zpracování kódovou složku signálu (tato kvalita postačuje např. pro sběr dat do GIS či mapování). Při zpracování fázové složky signálu a metodě DGPS lze při použití nejkvalitnějších přijímačů GPS dosáhnout až centimetrové přesnosti, což plně vyhovuje pro potřeby geodzie např. pro budování geodynamických sítí.

Princip DGPS spočívá v tom, že na referenční stanici přijímáme data z družic GPS a určujeme nepřetržitě polohu této stanice. Porovnáváme ji s předem známou přesnou polohou referenční stanice. Rozdíl obou hodnot určuje opravy (korekce DGPS), které posíláme buď okamžitě (v reálném čase - Real-time metoda), nebo dodatečně (postprocesní zpracování) na pracovní stanici. Tyto korekce nám zpřesní určení polohy pracovní stanice.

Při zpracování DGPS v reálném čase musíme mít k dispozici komunikační pojítko, které zprostředkuje okamžité získání korekcí DGPS z referenční stanice. Může to být radiový přijímač, mobilní telefon. Lze také využít satelitních DGPS korekcí (komunikační satelity systémů Land Star, Omni STAR, EGNOS).

Pro DGPS lze využívat veřejných referenčních stanic, které za úplaty poskytují korekce DGPS v reálném čase nebo pro postprocesní zpracování. Jednou takovou referenční stanicí je stanice spravovaná elektrofakultou ČVUT, která je umístěna na střeše její budovy v Praze Dejvicích.

Nevýhodou jednotlivých referenčních stanic je poměrně malý okruh pro působení pracovních stanic. Dobrých výsledků dosáhneme, nepřekročí-li vzdálenost referenční stanice od pracovní 30 km. Z tohoto důvodu je v České republice po vzoru Německa budována síť referenčních stanic (zatím je dokončena pro oblast Prahy a jejího okolí). Soukromá firma By/S@T chce v horizontu několika let pokrýt území celé České republiky signálem z homogenní sítě referenčních stanic. Umožní tak i nejpřesnější geodetické aplikace DGPS založené na zpracování fázových měření v reálném čase. Kvalita síťových korekcí, jak bylo ověřeno v Německu i na torzu již vybudované sítě v okolí Prahy je vyšší, než při využití pouze jednotlivých referenčních stanic (dochází k vyrovnání hodnot korekcí).

Významný vliv na výslednou přesnost určení bodu může mít nevhodná konfigurace (rozložení) dostupných družic GPS na obloze. Přijímač GPS v takovém případě oznamuje špatnou geometrii družic. Vzhledem k tomu, že se polohy družic GPS v průběhu měření neustále mění, mnohdy stačí vyčkat na bodu, dokud se konfigurace družic nezlepší.

Kvalitu určení polohy bodu ovlivní i zvolený geodetický přijímač GPS. Lacinější, méně přesný, **jednofrekvenční** přijímá méně dat a vyžaduje delší observaci na jednom bodu. V případě, že použijeme jednofrekvenční přijímač i pro referenční stanici je omezená vzdálenost mezi pracovní stanicí a referenční stanicí, protože tyto přijímače neeliminují vliv ionosférické refrakce. **Dvoufrekvenční** přijímač je rychlejší a umožňuje tedy kratší observace. Měření na dvou frekvencích eliminují vliv ionosférické refrakce. Pořízení dvoufrekvenčního přijímače je však nákladnější.

Přijímačů GPS existuje obrovské množství. Na ČZU máme dva přijímače, jeden jednoduší s interní (vnitřní) přijímací anténou GeoExplorer 3 (viz obr.12.6) od firmy Trimble z USA a GPS Pathfinder Power s externí (vnější) přijímací anténou (viz obr. 12.7) od téže firmy. Oba přístroje jsou určeny především pro sběr výchozích dat pro GIS.



Obr. 12.6



Obr. 12.7

12.3.5 Nejnovější trendy GPS

GPS se stává nejprogresivnější technologií současnosti. Ve světě jsou dvě firmy, jejichž přijímače GPS jsou na vrcholu v kvalitě a přesnosti pro geodetické aplikace. V USA je to firma Trimble a ve Švýcarsku firma Leica.

Trendem současnosti je „integrováná geodezie“, kombinace GPS a terestrických přístrojů, které umožňují použití všech geodetických metod. Komplexy totálních stanic GPS a klasických totálních stanic jsou řízeny univerzálními ovládacími jednotkami. Softwarově jsou ošetřeny tak, aby byla možná „bezešvá“ kombinace terestrických (pozemních) metod s metodami GPS, čímž se takový přístroj stává univerzálním.

13 FOTOGRAMMETRIE A DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ

13.1 Historie a rozdělení fotogrammetrie

Fotogrammetrie je vědním oborem, který je součástí geodzie. Zabývá se využitím **měřických fotografických snímků** k určení tvaru, velikosti a umístění předmětů měření v prostoru. Obyčejný fotografický snímek k tomuto účelu obvykle nepostačuje, protože u něj není zajištěna geometrická vazba mezi snímkem a objektem.

První fotografický snímek vznikl v roce 1839. Ve své podstatě je každý fotografický snímek středovým (centrálním) průmětem předmětu před objektivem na rovinu snímku.

První pokusy s fotografickými snímky se zaměřením na fotogrammetrii prováděl v roce 1851 Francouz A. Laussedat. Již v roce 1859 vzniká průseková fotogrammetrie, jejíž princip je aplikován až do roku 1900. V Čechách se o výzkumy A. Laussedata zajímal profesor pražské techniky Dr. K. Kořistka.

V roce 1901 Němec Dr. C. Pulfrich pokládá základy stereofotogrammetrie a má své následovníky: E. Orla, Th. Scheimfluga a mnohé další. Stereofotogrammetrie v pojetí z roku 1901 je analogová metoda, která je zdokonalována až do roku 1970, kdy nastupují fotogrammetrické přístroje analytické. Po patnácti letech, v roce 1985, vzniká s bouřlivým rozvojem výpočetní techniky éra digitální fotogrammetrie.

Podle polohy stanoviště fotografické komory dělíme fotogrammetrii na:

- **pozemní fotogrammetrii** - stanoviště je pevné, umístěné na Zemi,
- **leteckou fotogrammetrii** - stanoviště fotografické komory je mimo povrch Země, umístěné na letícím nosiči (letadle, balónu, rogalu atd.),
- **družicovou fotogrammetrii** - stanoviště fotografické komory je ve vesmíru na umělé družici Země (UDZ).

Podle počtu měřických snímků potřebných pro určení tvaru, velikosti a umístění předmětů měření v prostoru dělíme fotogrammetrii na:

- **jednosnímkovou** - využívá se jednotlivých snímků, lze vyhotovit pouze fotoplán tj. pouze polohopisnou složku mapy,
- **vícesnímkovou** – tato fotogrammetrie vyžaduje nejméně dva vzájemně se překrývající snímky. V místě překrytu lze pro vyhodnocení použít buď průsekovou metodu mající konvergentní osy záběru, nebo využít stereoskopického vjemu a vytvořit pomocí tzv. stereofotogrammetrie trojrozměrný obraz terénu (lze vyhotovit mapu s výškopisem). U stereofotogrammetrie jsou osy záběru rovnoběžné.

13.2 Základy fotogrammetrie

Fotografický měřický snímek je základním zdrojem informací, proto je třeba určit požadavky na jeho kvalitu. Patří sem:

- citlivá vrstva musí mít co největší rozlišovací schopnost,
- snímek musí zobrazit předmět geometricky co nejvěrněji; jeho rozměrová stálost je nejlépe zajištěna skleněnou podložkou, na které je nanášena citlivá vrstva. V současné době nahradil skleněné desky kvalitní nesrážlivý planfilm na PET podložce.

Formát snímku pro pozemní fotogrammetrii bývá 13 x 18 cm, u leteckých snímků 23 x 23 cm nebo 18 x 18 cm. (Rozměr 18 x 18 cm se používal do sedmdesátých let 20. století.)

Klasické černobílé fotografické materiály dělíme na **ortochromatický** a **panchromatický**. Jejich citlivost k barvám se mění příměsemi speciálních barviv do citlivé vrstvy negativu. Při fotografování je třeba používat filtry, které potlačí vliv krátkovlnného záření a zdůrazní tu část spektra, pro niž je materiál zcitlivěn. Pro fotogrammetrii se dnes používá jen panchromatický materiál.

Všeobecná citlivost udává množství světla, kterého je třeba k tomu, aby citlivá vrstva začala černat. Stupně citlivosti vyjadřují stupnice, jako ČSN, DIN, GOST nebo ASA.

Fotografické materiály pro pozemní fotogrammetrii jsou zpravidla jemnozrné, ale málo citlivé – asi 10/10 DIN. Malou citlivost si můžeme dovolit, protože můžeme mít delší čas expozice snímku, fotografická komora není v pohybu. U letecké fotogrammetrie je třeba volit citlivější fotografický materiál 17/10 až 30/10 DIN. Zde jsou třeba krátké expoziční časy snímku, fotografická komora je v pohybu.

Gradace fotografického materiálu je závislost černání materiálu na expozici. Udává se pro citlivé vrstvy tzv. gradační křivkou.

Rozlišovací schopnost citlivého materiálu má rozhodující vliv na množství odlišitelných detailů na snímku. Jedno z kritérií je měření počtem čárek na 1mm, které lze na snímku ještě rozlišit. Materiály používané pro fotogrammetrii, mají rozlišovací schopnost 50 - 125 čar / mm.

Kromě klasických černobílých materiálů se pro speciální práce ve fotogrammetrii používá i materiálů umožňujících zachytit speciální, na běžném materiálu nerozlišitelné informace. Používá se:

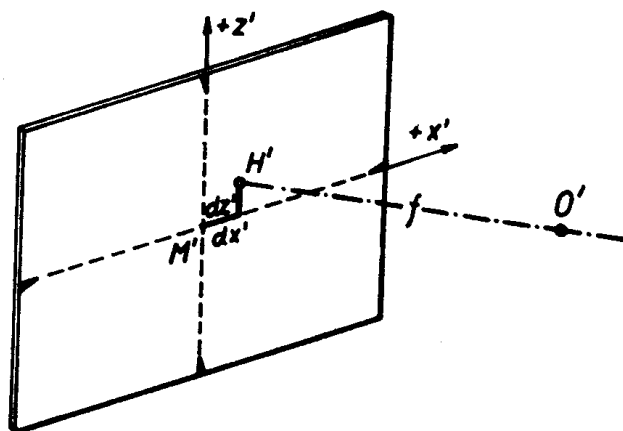
- **infracografie**: dlouhovlnné paprsky lépe pronikají ovzduším i za ztížených atmosférických podmínek (oparem, jemnou mlhou, kouřem), mají značně menší rozptyl v atmosféře. Snímky jsou jasnější a bohatší na kontrasty. Obloha a vodní plocha jsou velmi tmavé a snímky nemají běžný vzhled. Jeví se jako při měsíčním osvětlení. Velmi dobře se však dají rozlišit jednotlivé druhy porostů, díky rozdílnému množství chlorofylu v jejich listové zeleni, který právě infračervené světlo a světlo blízké infračervenému odráží.
- **barevná fotografie**: tyto materiály se používají zvláště pro interpretaci v geologii, lesnictví, zemědělství apod. Barevné filmy

však mají menší expoziční pružnost, jejich zpracování je dražší a složitější. V současné době se již běžně používají u letecké fotogrammetrie.

- **spektrozonální fotografie:** jde o dvouvrstvý filmový materiál, jehož každá vrstva je citlivá pro určitý obor záření. (Minimálně jedna vrstva je citlivá k infračervenému záření.) Vrstvy jsou zbarveny, takže vzniká pseudobarevný snímek, který neodpovídá barvám předmětu fotografování. Spektrozonální materiál se užívá především k interpretaci v různých oborech, např. ve vojenství.

Měřické fotografické snímky jsou pořizovány **fotogrammetrickými komorami**. Kvalita těchto komor je závislá na konstrukci objektivu. Objektiv tvoří zpravidla větší počet čoček, které jsou voleny a počítány tak, aby se co nejvíce potlačily optické vady a snímek byl v celé své ploše dostatečně osvětlený a ostrý. Také zkreslení (distorze) objektivu $\Delta r'$ má být u fotogrammetrických objektivů minimální, aby se blížilo co nejvíce středovému promítání fotografovaného předmětu do roviny snímku. Vzniká tak **optické zobrazení**. Fotogrammetrické snímky se liší od běžných fotografických snímků i rámovými značkami různých tvarů podle výrobce komory, které jsou vyznačeny na středech protilehlých okrajů snímků, slouží k definování snímkových souřadnic.

Prvky vnitřní orientace nám umožní zkonstruovat trs paprsků, kterým byl předmět v prostoru promítnut do roviny snímku. Jsou tři :



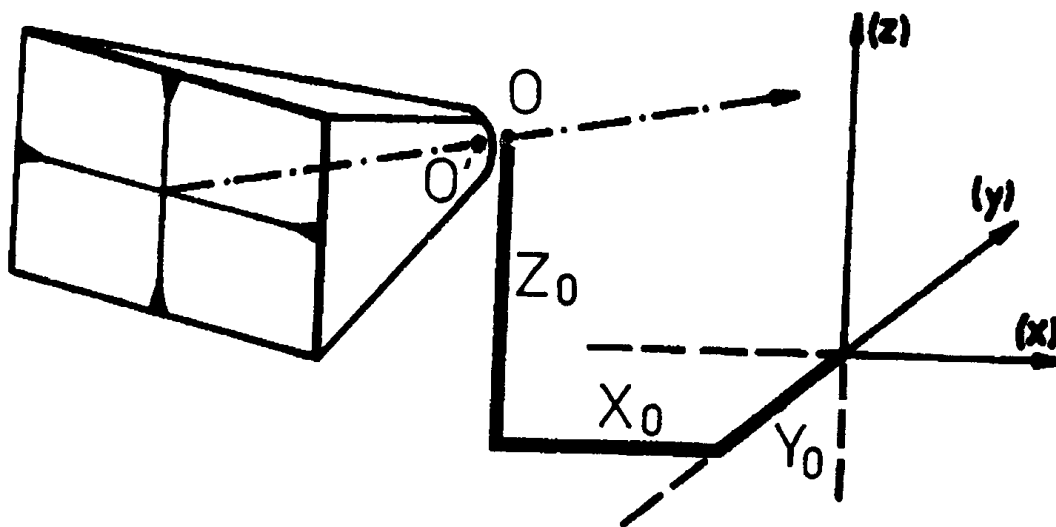
Obr. 13.1

- konstanta komory f (ohnisková vzdálenost),
- poloha hlavního snímkového bodu H' na snímku (dx' , dz' v pozemní fotogrammetrii, dx' , dy' v letecké fotogrammetrii) vzhledem k středu snímku M' , viz obr. 13.1). Střed snímku M' vznikne jako průsečík protilehlých rámových značek snímku.
- znalost průběhu radiálního zkreslení (distorze) $\Delta r'$.

Tyto prvky udávají polohu středu promítání (středu výstupní pupily objektivu fotogrammetrické komory). Každá fotogrammetrická komora musí mít přesně známy všechny tři prvky vnitřní orientace.

Prvky vnější orientace určují polohu středu vstupní pupily objektivu měřické komory v souřadnicovém systému a orientaci záběru v prostoru. Tvoří je šest hodnot :

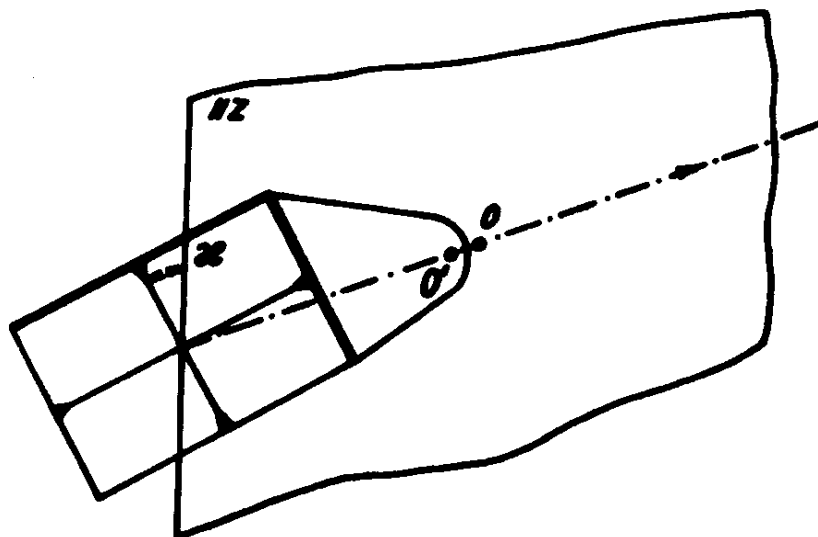
- a) tři souřadnice Y_0 , X_0 , Z_0 vstupní pupily v daném geodetickém souřadnicovém systému (viz obr. 13.2)



Obr. 13.2

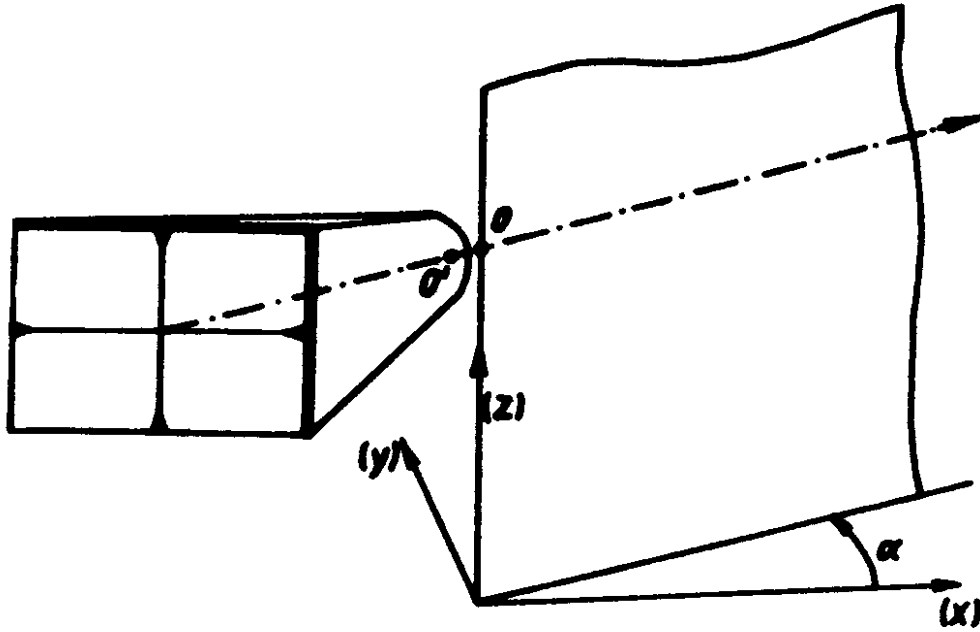
b) tři úhly rotace (úhly χ , α , ν)

- 1) **pootočení snímku ve vlastní rovině** (úhel χ), v pozemní i letecké fotogrametrii je určeno úhlem, který svírá spojnice rámových značek s vertikální rovinou proloženou osou záběru (viz obr. 13.3).



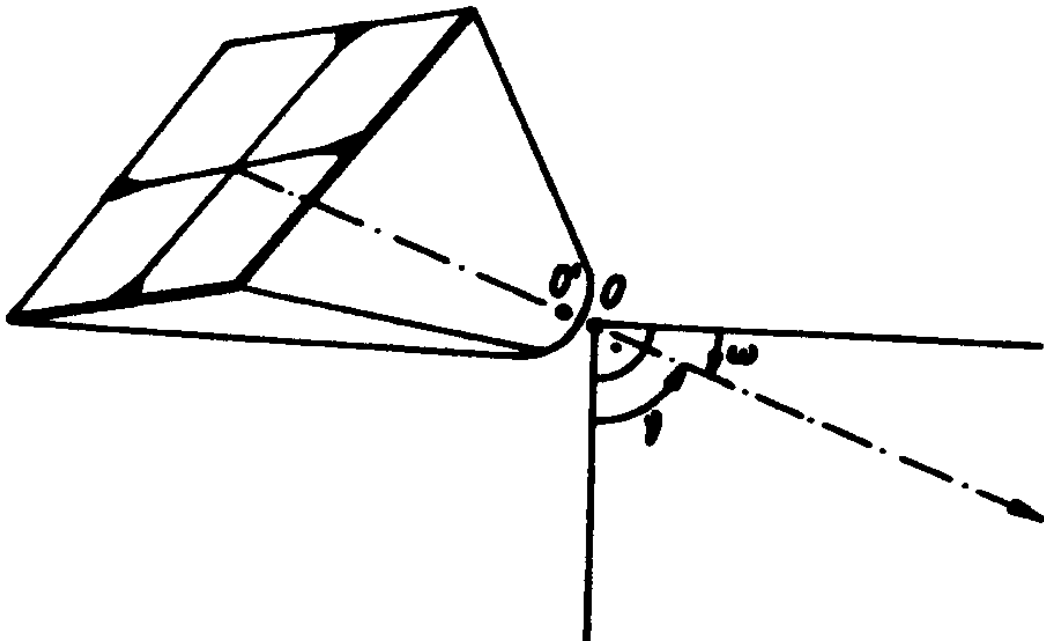
Obr. 13.3

- 2) **směr osy záběru** (úhel α) je dán horizontálním průmětem osy záběru do roviny (X, Y) daného souřadnicového systému (viz obr. 13.4). V pozemní fotogrametrii jej určujeme jako úhel, který svírá průmět osy záběru s kolmicí k fotogrammetrické základně a nazýváme jej úhlem stočení φ .



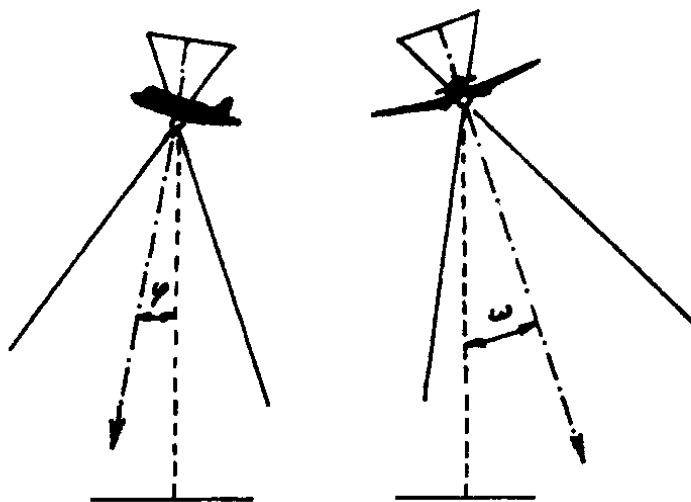
Obr. 13.4

- 3) **sklon osy záběru** (úhel ν) je určen úhlem, který svírá osa záběru se svislicí spuštěnou ze středu vstupní pupily (viz obr. 13.5).



Obr. 13.5

V pozemní fotogrammetrii používáme častěji pro sklon osy záběru úhel od vodorovné roviny $\omega = 100^s - \nu$. V letecké fotogrammetrii se obvykle rozloží sklon osy záběru do dvou složek - ve směru letu - podélný sklon ϕ , určený průmětem osy záběru do osy letu a napříč směru letu - příčný sklon ω (viz obr. 13.6).



Obr. 13.6

Prvky vnější orientace u pozemní fotogrammetrie, kde je pevné stanoviště fotografování se určí bez obtíží. Souřadnice vstupní pupily fototeodolitu vhodnou geodetickou metodou a úhly rotace potom pomocí libel úhломěrným zařízením fototeodolitu.

V letecké fotogrammetrii, kdy je nosič fotogrammetrické komory v pohybu během expozice snímku, nelze určit prvky vnější orientace s dostatečnou přesností přímo. K jejich určení je třeba provádět na leteckých snímcích dodatečně poměrně rozsáhlá měření.

13.3 Měřické fotogrammetrické komory

U měřických komor je třeba rozlišovat, zda se jedná o měřické komory, určené pro pozemní či leteckou fotogrammetrii.

13.3.1 Měřické komory pro pozemní fotogrammetrii

V pozemní fotogrammetrii se měřické komory nazývají zpravidla **fototeodolity**, tyto se dělí podle svých možností na:

- fototeodolity s vodorovnou optickou osou – nelze sklápět optickou osu,
- fototeodolity se sklonitelnou optickou osou – lze sklápět optickou osu,
- dvojité měřické komory – jedná se o dvě shodné měřické komory, které jsou pevně spojeny. Základna těchto přístrojů bývá dlouhá 40 nebo 120 cm.
- speciální měřické komory – kusová výroba pro speciální účely, např. pro astrometrická pozorování, sledování UZS apod.

Všechny zmíněné měřické komory musí splňovat vysoké nároky na měřický fotografický snímek, musí zaručit stálost prvků vnitřní orientace a umožnit rychlé a jednoduché určení prvků vnější orientace měřického snímku, proto bývají tyto komory často spojovány s teodolitem (odtud jejich název – fototeodolity). U starších modelů fototeodolitů

se měřické snímky pořizovaly na skleněné desky u novějších je možno používat i filmů. Mezi přední výrobce fototeodolitů patří německá firma Carl Zeiss a švýcarská firma Wild (dnes Leica). Tyto klasické komory jsou dnes stále více nahrazovány v blízké fotogrametrii digitálními profesionálními komorami.

13.3.2 Letecké měřické komory

Letecké měřické komory můžeme rozdělit podle několika hledisek:

a) podle použitého fotografického materiálu na:

- **deskové komory** – používají skleněných fotografických desek, mají vynikající přesnost, ale velkou hmotnost a jsou křehké. Používaly se do roku 1940.
- **filmové komory** – používají k pořizování měřických snímků fotografický film. Jsou běžně používány, je s nimi snadnější manipulace.
- **digitální letecké komory** – jsou ve vývoji.

b) podle způsobu obsluhy měřické komory je dělíme na:

- **ruční** – všechny úkony se provádí ručně. Používají se zřídka, zpravidla pro dokumentační účely při pozemní fotogrametrii.
- **poloautomatické** – některé úkony jsou prováděny automaticky (obvykle převinutí filmu a natažení uzávěrky). Exponování se provádí zvlášť ručně (např. Rollei). Tyto komory nejsou zpravidla schopny zabezpečit požadované parametry leteckého snímkování a používají se jen pro pozemní fotogrametrii a interpretaci.
- **řadové komory**, které se dnes používají téměř výhradně pro leteckou fotogrametrii. Jsou to takové komory, jejichž funkce je ovládána pomocnými zařízeními plně automaticky. Těmito zařízeními jsou: zařízení pro určení správné délky základny, zařízení pro pootočení snímku ve vlastní rovině, zařízení pro určení geodetických souřadnic Y_0 a X_0 vstupní pupily, zařízení pro určení výšky letu, zařízení pro určení sklonu osy záběru φ a ω .

c) podle obrazového úhlu dělíme komory na:

- **komory s extrémně malým obrazovým úhlem** (2β do 45°) se používají pro mapování zastavěných částí ve velkých měřítkách (promítací paprsky se příliš neodklánějí od osy záběru),
- **komory s normálním obrazovým úhlem** ($2\beta = 63^\circ$) se hojně využívají pro mapování ve všech měřítkách,
- **komory širokoúhlé** ($2\beta = 90^\circ$), slouží pro mapování polních tratí (extravilánu) v rovinatém terénu (zobrazí na jednom snímku větší plochu terénu),
- **komory zvlášť širokoúhlé** ($2\beta = 120^\circ$), těchto komor se používá pouze pro mapování v malých měřítkách.

Mezi přední výrobce leteckých měřických komor opět patří německá firma Carl Zeiss a švýcarská firma Wild (nyní Leica).

13.4 Jednosnímková fotogrammetrie

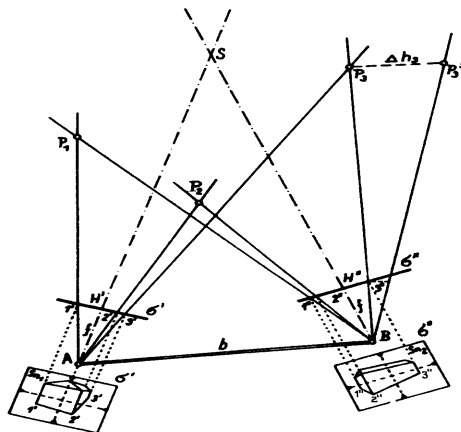
Při této fotogrammetrické metodě se jedná o kolineární projektivní transformaci. Její pomocí převedeme perspektivně zkrácený obraz na měřickém snímku do kolmého průmětu požadovaného měřítka mapování. Aby z měřického snímku vznikl fotoplán, je třeba, aby v terénu byly před snímkováním signalizovány a geodeticky zaměřeny alespoň 4 tzv. **vlíčovací body**, nejlépe rozmístěné tak, aby byly v rozích snímku. Vlíčovací body musí být na snímku jednoznačně identifikovatelné a musí ležet v jedné rovině.

Vyhodnocení měřických snímků může probíhat buď grafickou metodou (**pomocí projektivních sítí**), opticko-grafickou metodou jednoduchou fotogrammetrickou pomůckou – **obkreslovačem** nebo se pracuje metodou opticko-mechanickou s přístrojem, který nejvíce připomíná fotografický zvětšovací přístroj a nazývá se **překreslovač**. V dnešní době se jednosnímková fotogrammetrie řeší na počítači kolineární transformací rastrového obrazu.

Pořizujeme-li fotoplán rovinného území, stačí k vyhotovení fotoplánu použít jednoduchého překreslení. V kopcovitých terénech je třeba užít tzv. diferenciálního překreslení (po jednotlivých vrstvách).

13.5 Vícesnímková fotogrammetrie

Do vícesnímkové fotogrammetrie patří **průseková fotogrammetrie**. Jedná se o metodu pozemní fotogrammetrie, která se dnes ve své původní podobě již prakticky nepoužívá. Jde v principu o grafické nebo početní protínání vpřed pomocí snímků, které musí být pořizeny z dostatečně dlouhé základny. Úhly průseků odpovídajících si paprsků musí být dostatečně velké. Délka základny se volí o velikosti asi 1/3 střední vzdálenosti mapovaného území od fototeodolitu. Osy záběru se volí vodorovné a orientují se tak, aby se protínaly asi uprostřed zaměřovaného území (viz obr. 13.7).

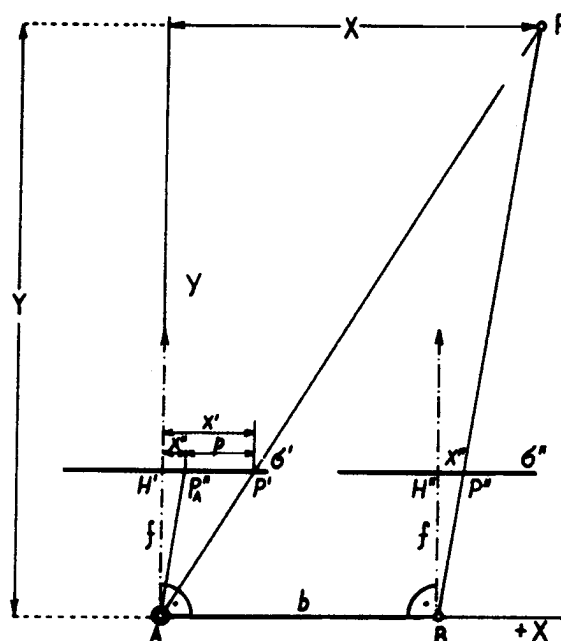


Obr. 13.7

Body **A** a **B** na obrázku představují stanovisko fotografování, průsečík os záběru, který musí být znám v geodetických souřadnicích, je označen **S**. Délka základny je **b**, konstanta komory **f**, symboly σ' a σ'' jsou označeny stopy levého a pravého snímku. Dnešní průseková fotogrammetrie se řeší početně na počítači.

Běžně je v pozemní a také i v letecké fotogrammetrii využíváno **stereofotogrammetrie**, při které se využívá vlastnosti lidských očí vnímat skutečnosti plasticky (třírozměrně). Ve své podstatě je to opět protínání vpřed z fotogrammetrické

základny. Tato základna může být podstatně kratší než u průsekové fotogrammetrie (měla by mít pro $f = 200$ mm velikost zhruba $1/10$ střední vzdálenosti fotografování). Osy záběru musí být na rozdíl od průsekové fotogrammetrie vzájemně rovnoběžné (zpravidla kolmé k fotogrammetrické základně). Také výškový rozdíl horizontů snímků (nadmořské výšky měřických komor) musí být poměrně malý. Na obr. 13.8 je patrné, jak lze získat modelové souřadnice x, y, z ze základních fotogrammetrických rovnic, symbolika je stejná jako u obr. 13.7. Symbolem p označujeme horizontální paralaxu. Čárkovaně jsou označeny snímkové souřadnice. Modelový souřadný systém má počátek v levém stanovisku, osa y je vložena do osy záběru levého snímku.



Obr. 13.8

$$y = \frac{b \cdot f}{x' - x''} = \frac{b \cdot f}{p}$$

$$x = y \frac{x'}{f} = \frac{b \cdot x'}{p}$$

$$z = y \frac{z'}{f} = \frac{b \cdot z'}{p}$$

Modelové souřadnice x, y, z se převedou do geodetického systému X, Y, Z prostorovou transformací.

V praxi se uvedený postup provádí pomocí speciálních vyhodnocovacích přístrojů. **Analogové vyhodnocovací přístroje** umožňují obnovit prvky vnitřní orientace, dále na nich lze provést relativní (vzájemnou) orientaci snímkové dvojice a vytvořit tak stereoskopický model a konečně lze za pomoci kreslicího stolu a vřícovacího originálního podkladu provést absolutní (geodetickou) orientaci, při které se stereoskopický model uvede do požadovaného měřítká, posune, pootočí a nakloní v prostoru tak, aby poloha a výška vřícovacích bodů v modelu souhlasila s předem geodeticky určenou polohou a výškou těchto bodů. To lze řešit i početně.

Provedením relativní a absolutní orientace určíme neznámé prvky vnější orientace a můžeme zahájit podrobné vyhodnocení snímků. Určujeme buď přímo modelové souřadnice **x, y, z**, ty registrujeme v měřítku modelu, nebo je transformujeme do měřítku mapy kreslené na připojeném kreslicím stole.

Použijeme-li pro analogii chodu paprsků od objektu měření ke snímku světelný paprsek, potom hovoříme o vyhodnocovacích přístrojích s principem optické projekce. Jestliže nahradíme paprsek kovovými pravítky nebo tyčemi, hovoříme o vyhodnocovacích přístrojích s mechanickým principem. Kombinací obou principů vznikají vyhodnocovací přístroje s opticko-mechanickou projekcí.

Po roce 1970 jsou konstruovány **analytické vyhodnocovací přístroje**. Od analogových se liší především tím, že výchozími hodnotami pro další zpracování jsou pouze snímkové souřadnice, měřené na skloněných snímcích. Snímkové souřadnice se měří v principu stejně jako na **stereokomparátorech** nebo **monokomparátorech**, značně jednodušších konstrukcí než jsou analogové vyhodnocovací přístroje. Proto jsou tato zařízení přesnější a vstupní hodnoty pro další řešení (snímkové souřadnice) jsou získávány s řádově vyšší vnitřní přesností. Další zpracování vstupních hodnot se provádí na počítačích. Vyhodnocovatel ovládá modelové souřadnice **x, y, z**, snímkové souřadnice se vypočtou na základě řešených orientací snímkové dvojice a na tyto vypočtené souřadnice se nastaví snímky. Zároveň se prostorovou transformací vypočtou geodetické souřadnice. To se děje „on line“ 50x za sekundu. Pokud je kromě číselného řešení požadován i grafický výstup, lze k počítači připojit kreslicí stůl nebo plotr.

V posledních dvaceti letech v souvislosti s nástupem digitalizace, vzniká **digitální fotogrammetrie**, při které se snímky převádí do číselového (digitálního) vyjádření. Další zpracování probíhá pomocí příslušného softwaru na výkonných počítačích. Výstup je opět buď v číselné podobě, nebo po připojení periferní jednotky (zpravidla plotru) grafický.

13.6 Dálkový průzkum Země – DPZ

Za **dálkový průzkum Země (DPZ)** považujeme sběr průzkumových dat o území realizovaný z kosmického nebo letadlového nosiče a následné zpracování těchto dat za účelem získání informací o stavu, poloze a druhu objektů a jevů na zemském povrchu.

Při DPZ stejně jako u fotogrammetrie dochází k bezdotykovému sběru dat. Na rozdíl od fotogrammetrie neslouží k záznamu průzkumových dat pouze fotografická emulze, ale různé elektronické snímače (scannery), spektrometry, bolometry, skaterometry, lidary atd. Jak z vyjmenovaných přístrojů pro sběr dat a z definice vyplývá, jedná se o záznam podstatně širší škály informací než zprostředkovává fotogrammetrie.

V DPZ se pracuje s obrazovou informací, která může mít dvojí charakter:

- vizuální (je zobrazena na fotografickém snímku),
- digitální (je uložena na paměťovém médiu).

Nejmenší rozlišitelnou ploškou je vizuální bod (zrno fotografické emulze) nebo digitální bod (**pixel** – Picture Element).

Kromě geometrických vztahů (rozměr, relativní nebo absolutní souřadnice apod.), kterými jsme se podrobněji zabývali v části věnované fotogrammetrii, získáváme ze snímačů spektrální charakteristiku (odrazivost - denzitu) zkoumaného terénu. Denzitu můžeme určovat v různých, běžně 256 úrovních. Získáváme tak další rozměr pro popis a charakteristiku území.

Pomocí těchto informací můžeme provádět interpretaci buď vizuálně pomocí interpretačního klíče nebo digitálně na počítačích, pomocí klasifikačních postupů.

13.6.1 Nosiče kamer a snímačů DPZ

Nejrozšířenějšími nosiči jsou družicové systémy, které dělíme na:

- **systémy s malým rozlišením** do 1 km (bývají to meteorologické družice, např. **METEOSAT**),
- **systémy s vysokým rozlišením** od 100 m a lepším (tyto systémy byly vyvinuty pro komerční využití DPZ, např. **LANDSAT** (USA) funkční od roku 1974, rozměr jednoho záběru (scéna) 185 x 185 km, rozlišení 30 m, **SPOT** (Francie) funkční od roku 1984, scéna 60 x 60 km, rozlišení 10 nebo 20 m.

13.6.2 Speciální snímače DPZ

Televizní systémy se používaly do roku 1974 pro méně náročné účely DPZ. Jejich nosiči byly kromě UDZ vrtulníky nebo letadla. Mezi tyto systémy patří **televizní kamera**, umožňující přímý, kontinuální přenos obrazu, **videokamera** se záznamem a **RBV systém** (Return Beam Vidicon), což je televizní systém nesený na družicích Landsat. Obraz se zde snímá z polovodičové desky elektronicky na magnetické médium a přenáší se do přijímacích stanic na Zemi.

Pasivní radiometry a spektrometry měří množství odraženého nebo emitovaného záření pomocí detektorů. Rozkládají snímání obrazu na jednotlivé prvky (pixely). Patří sem **radiometry**, které měří intenzitu vlastního nebo odraženého záření prvku na Zemi v rozsahu detektoru. **Spektrometry** slouží k měření záření v úzkých částech spektra pomocí představených optických nebo elektrických filtrů. Detektory, které jsou součástí těchto přístrojů jsou polovodičové prvky, měnící optický signál na elektrický. Označují se též jako fotonové detektory. **Bolometry** jsou snímače pro termální měření, kde záření mění vodivost materiálu detektoru. Elektrický odpor je funkcí teploty.

Radiometry a spektrometry mohou být nezobrazující. Ty se používají na družicích a v letadlových laboratořích pro měření teploty vody, povrchu Země, složení vzduchu apod.

Zobrazujícím radiometrům říkáme **skenery** (scannery). Je to řádkové rozkladové zařízení, umožňující měření odraženého záření v řádcích nebo plochách, jeho digitalizaci a záznam na médium. To umožňuje další zpracování na počítači nebo vyhotovení analogového záznamu (fotografického snímku).

Mezi další snímače informací patří **radary bočního obzoru** nezávislé na osvětlení Země, pracují i v noci (systém SLAR – Side Looking Airborn Radar, nebo SAR - Syntetic Aperture Radar). Dále **skaterometry**, určené pro detekci povrchu moří, šíření vln a měření větrů a **lidary** (u kterých je zdrojem záření výkonný LASER) jsou určeny pro průzkum aerosolů a mraků.