SYLABUS 11. PŘEDNÁŠKY Z INŽENÝRSKÉ GEODÉZIE

(Měření posunů a přetvoření)

3. ročník bakalářského studia
studijní program G
studijní obor G

doc. Ing. Jaromír Procházka, CSc.

prosinec 2018

12. MĚŘENÍ POSUNŮ A PŘETVOŘENÍ

Posuny a přetvoření staveb je možno měřit různými fyzikálními metodami, mezi které patří i metody geodetické. Jejich předností je, že poskytují informace o chování objektů a jejich konstrukčních částí ve všech směrech, v daném čase, a to v „absolutních“ (konstrukcí vůči vztažné síti - posuny) a relativních hodnotách (částí konstrukcí vůči sobě vzájemně - přetvoření). Je důležité sledovat chování staveb z hlediska bezpečnosti, a to jak při výstavbě, tak zejména po jejich dokončení. Nesoulad statikem vypočteného (projektovaného) a skutečného (měřením určeného) chování stavební konstrukce může ukazovat na bezpečnostní rizika.

12.1. ZÁKLADNÍ POJMY O POSUNECH A PŘETVOŘENÍCH

12.1.1. Základní terminologické pojmy

Posun - prostorová změna v poloze stavebního objektu nebo jeho části oproti poloze v základní nebo předchozí (nebo i jiné) etapě měření vzhledem k vztažným bodům (posun vodorovný, svislý, prostorový).

Přetvoření - změna tvaru konstrukce objektu vůči tvaru v základní nebo předchozí (nebo i jiné) etapě měření. Při posunu objektu nemusí nastat přetvoření, ale vzhledem k tomu, že konstrukce zvláště většího rozsahu jsou pružná tělesa, tak většinou vznikají obě změny současně.

Sedání - svislá složka posunu směrem dolů (v důlním měřictví pokles), ve stavebnictví se používá pro sedání znaménko +.

Zdvih - svislá složka posunu směrem nahoru, ve stavebnictví znaménko -.

Náklon - výchylka svislé osy objektu od svislice.

Pootočení - úhlová odchylka objektu od jeho původní polohy, osa otáčení je obecně umístěná (může se jednat o pootočení prostorové, vyjádřitelné elementárními rotacemi kolem jednotlivých souřadných os).

Průhyb - přetvoření konstrukce objektu ve směru kolmém na převládající rozměr (např. průhyb vodorovného nosníku či svislého sloupu) .

Sesuv - jev vznikající účinkem zemské tíže při porušení stability svahů.

Absolutní posun - je vyjádřený v soustavě nezávislé na sledovaném objektu***.***

Relativní posun - posun vyjádřený vzhledem k relativní vztažné soustavě nebo vztažnému bodu; udává vzájemné změny v poloze jednotlivých dílčích částí objektu.

Vztažný bod - polohově nebo (i) výškově určený bod, k němuž jsou vztaženy projektované parametry či posuny.

Pozorovaný bod - (signalizovaný) bod na objektu, pomocí něhož se určují posuny nebo přetvoření.

Připojovací bod – slouží k polohovému nebo výškovému připojení a volí se co nejblíže pozorovanému objektu.

Stanoviskový bod – také pozorovací, stanovisko, ze kterého se měří na pozorované body.

Ověřovací bod - také zajišťovací, vztažný bod sloužící k ověření stálosti polohy připojovacích nebo stanoviskových bodů.

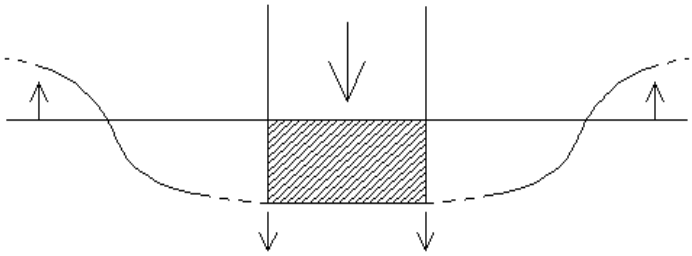
Orientační bod – slouží k orientaci měřených osnov směrů a volí se co nejdále od pozorovaného objektu.

Poloha stanoviskových a připojovacích bodů nebývá stabilní.

Poznámka: Body nikdy nemůžeme nazývat pevnými. Vzhledem k vždy omezené přesnosti měření můžeme prokázat nestabilitu a to ještě s určitou pravděpodobností (95%, 99% apod.), nikdy však nemůžeme prokázat, že bod je zcela stabilní!

12.1.2. Hlavní příčiny posunů a přetvoření stavebních objektů

Stabilitu stavebních konstrukcí ovlivňuje mnoho různých faktorů, které způsobují trvalé či dočasné poklesy základů objektů nebo přetvoření konstrukce objektu. Jednou z hlavních příčin je stlačitelnost podloží, která je značně různá podle druhu základové půdy (takřka nestlačitelné jsou štěrkopísky, naopak značně stlačitelná je hlína, cca 10x více). Při větším zatížení se vytlačuje základová půda do stran a může tak způsobovat zdvih objektů poblíž stavby (obr.1). Při kritickém zatížení jsou v rovnováze smykové síly pod základem a odpor zeminy. Zatížení základů musí být kvůli bezpečnosti několikanásobně nižší.



Obr.1 Vliv stlačitelnosti podloží na svislé posuny

Posuny a přetvoření jsou v zásadě způsobovány dvěma skupinami vlivů:

a) objektivními příčinami spojenými s inženýrsko – geologickými a hydrologickými podmínkami a fyzikálně – mechanickými vlastnostmi podloží (hmotnost stavby, velikost a tvar základů, hloubka a druh základové půdy, výška hladiny podzemní vody),

b) částečnými vlivy souvisejícími s nejistotou popř. s chybami v geologickém průzkumu, s poddolovaným územím, s účinky nových staveb na stávající, s vibracemi, s promrzáním půdy apod.

Měření posunů a přetvoření předepisuje projektant stavby.

12.1.3. Účel a cíl měření posunů a přetvoření

Účelem je:

- získávat podklady o chování podloží,
- prohlubovat teoretické vědomosti o chování stavebních konstrukcí,
- ověřovat správnost teoretických (statických) výpočtů,
- sledovat stav, funkční spolehlivost a bezpečnost stavebních konstrukcí,
- hodnotit vliv různých fyzikálních faktorů prostředí (teplota, teplotní gradient, vlhkost, vítr apod.) na chování konstrukcí.

Cílem je spolehlivá předpověď posunů a přetvoření staveb.

Posuny a přetvoření se měří při:

- laboratorních zkouškách modelů,
- zakládání staveb a v různých fázích výstavby (etapová měření),
- předání objektu do provozu (zatěžovací zkouška),
- provozu objektu (kontrola funkční spolehlivosti a bezpečnosti),
- zjištění změn na objektu (trhliny, náklon apod.),
- použití nových nebo neobvyklých konstrukcí či konstrukčních systémů,
- předpokládané citlivosti objektu na posuny a přetvoření, zejména je-li založen v nepříznivých geologických podmínkách,
- výstavbě v poddolovaném území (hodnotí se také význam objektu).

12.1.4. Projekt měření posunů a přetvoření

Pro každý objekt, na kterém se mají měřit posuny a přetvoření, se vypracuje projekt měření posunů a přetvoření. Jeho zpracování je záležitostí obvykle hlavního projektanta ve spolupráci s geologem, statikem, dodavatelem technologií, geodetem investora a popřípadě dalšími odborníky. Obvykle se připravuje ve dvou etapách – předběžný návrh (investiční příprava) a konečný návrh (pro realizaci).

Projekt obsahuje všechny důležité údaje jako:

- účel a význam měření,
- druh měření (etapová, periodická, kontinuální),
- geologické a hydrologické údaje,
- stručné údaje o způsobu založení, funkci a zatěžovacím postupu stavby,
- hodnoty očekávaných posunů a přetvoření v závislosti na čase,
- požadovanou přesnost měření,
- navržené metody včetně rozborů přesnosti,
- stabilizaci a signalizaci vztažných a pozorovaných bodů a způsob jejich ochrany.
- přístroje a pomůcky pro měření,
- harmonogram prací,
- způsoby zpracování výsledků,
- lhůty předání zpráv,
- rozpočet nákladů.

Zvláštní pozornost je třeba věnovat harmonogramu, aby byl plynule zachycený průběh posunů a přetvoření a okolností, které je způsobily (s ohledem na průběh výstavby, po uvedení do provozu, bezpečnost provozu, někdy dlouhodobě – např. přehrady).
Zvlášť pečlivě se měří základní etapa, ke které se vztahují všechny následující (někdy vyšší přesnost měření, např. dvojnásobný počet měření při různých vnějších podmínkách).

12.1.5. Přesnost a intervaly měření posunů a přetvoření

Požadovaná přesnost měření závisí na velikosti a charakteru posunů za určitý čas a dále na účelu, ke kterému má sloužit (pro zakládání staveb $\boldsymbol{\sigma_p}$≈1mm, pro statické výpočty či vědecké experimenty $\boldsymbol{\sigma_p}$≈ 0,1 – 0,3 mm, pro technické účely $\boldsymbol{\sigma_p}$≈ 5 – 10 % z ***p***). Za dostatečnou přesnost měření posunů se pokládá taková přesnost, kterou se při minimálních nákladech dosáhne účelu měření. Česká technická norma ČSN 73 04 05 „Měření posunů stavebních objektů“ (1997) charakterizuje požadovanou přesnost měření posunů **nových stavebních objektů** mezní odchylkou danou vztahem:

$$\delta_1 \leq \frac{2}{15} p \ , \tag{11.1}$$

kde ***p*** je očekávaný celkový posun nebo jeho složka v mm.

Pro objekty či zařízení se zvýšenými nároky na jeho stálost, spolehlivost, bezpečnost a ekonomiku provozu stanoví hodnotu mezní odchylky projektant.

Hodnota mezní odchylky měření svislého posunu nově navrhovaného stavebního objektu nemá podle charakteru základové půdy překročit hodnoty:

a) $\delta_2 \leq 1{,}0$ mm pro skalní a poloskalní horniny,

b) $\delta_3 \leq 2{,}0$ mm pro písčité, hlinité zeminy a zhutněné násypy,

c) $\delta_4 \leq 5{,}0$ mm pro nezhutněné násypy a silně stlačitelné zeminy.

Hodnota mezní odchylky měření posunů **užívaných stavebních objektů**, ovlivněných stavební činností v okolí, je dána vztahem:

$$\delta_5 \leq \frac{2}{5} p_k \ , \tag{11.2}$$

kde p_k je kritická hodnota posunu v mm, při jejímž dosažení dojde k ohrožení sledovaného objektu.

Otázky přesnosti by měly být vždy konzultovány s projektantem – statikem.

Je-li přesnost určení posunů, charakterizována dosaženou hodnotou úplné výběrové směrodatné odchylky s_s, zahrnující složku náhodnou i systematickou

$$s_s = \sqrt{s_n^2 + s_c^2}\ , \tag{11.3}$$

testuje se mezní výběrovou směrodatnou odchylkou s_M, nerovností $s_s \leq s_M$,

kde

$$s_M = \sigma\left(1 + \sqrt{\frac{2}{n'}}\right), \tag{11.4}$$

σ je základní směrodatná odchylka vypočtená z mezních odchylek δ_i *(str.4 a 5),*

n' je počet nadbytečných měření.

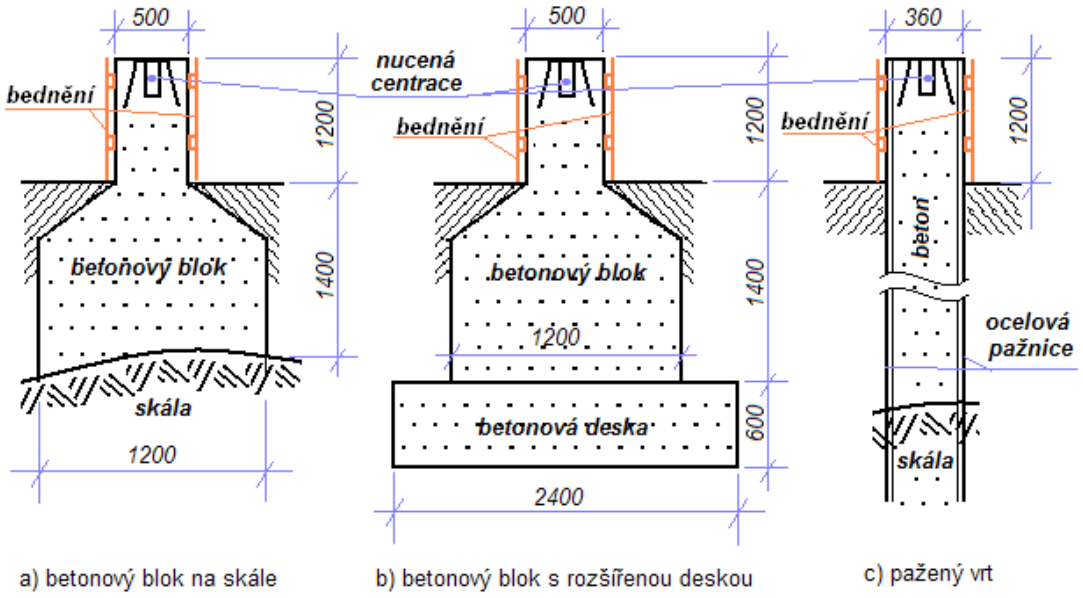
S přesností měření úzce souvisí **časový interval mezi etapami**. Měl by být volen tak, aby hodnota očekávaného etapového posunu byla v přiměřeném poměru k přesnosti měření. Obvykle se časový interval mezi etapami postupně prodlužuje (dochází k „usazení“ objektu).

V období výstavby se zpravidla volí etapy podle procentuálního zatížení základové desky hmotností stavby po 25%. Tedy 0%, 25%, 50%, 75%, 100%; pokud je umisťováno významné (z hlediska hmotnosti) technologické zařízení, pak ještě při zatížení technologickým zařízením 0%, 50%, 100%, a také před uvedením do provozu.

Po uvedení do provozu se intervaly etap volí podle charakteru objektu, geologických podmínek a také podle výsledků měření.

12.1.6. Stabilizace a signalizace bodů pro účely měření posunů

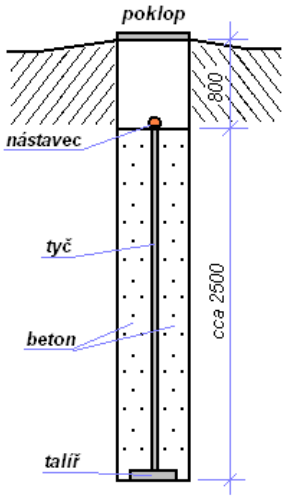
Rozmístění bodů vztažné sítě určuje zpracovatel projektu měření posunů, spolu se zpracovatelem průzkumu základové půdy. Velmi často se pro stabilizaci ***vztažných bodů*** používá tzv. těžká stabilizace se zabudovanou nucenou centrací (pokud se měří teodolitem). Obvykle se jedná o betonové bloky usazené na skále nebo s rozšířenou základnou. V písčitých půdách se používá vrt s pažnicí. Je vhodné pilíře obednit (např. dřevěným bedněním) kvůli vlivu oslunění, které způsobuje kroucení či stáčení pilíře. Při rovnoměrném ohřevu jsou vlivy na měření výrazně nižší (obr.2).



Obr.2 Stabilizace bodů vztažné sítě

Nucená centrace pak může být realizována těmito způsoby:

a) koule se šroubem, osazená ze spodní strany trojnožky teodolitu, se zasunuje do válcové zděře, *(koule je provrtaná nebo ve stěně válcové zděře je vyfrézována drážka kvůli úniku vzduchu, trojnožka se natáčí k označenému dorazu na hlavě pilíře tak, aby byla zachována stejná poloha přístroje v každé etapě měření)*,
b) otvor na stavěcí šroub a jeden zářez na směr, *(při odstraněné pérové podložce trojnožky teodolitu se vkládá špička označeného šroubu do otvoru a špička druhého šroubu do zářezu)*,
c) tři zářezy na směry, *(při odstraněné pérové podložce trojnožky teodolitu se špičky stavěcích šroubů vloží do zářezů)*,
d) zabetonovaný upínací šroub, *(natočení trojnožky teodolitu na doraz)*.



Obr.3 Hloubková stabilizace výškového bodu

Pro měření svislých posunů přesnou nivelací se pro osazení bodů vztažné sítě často používá tzv. hloubkové stabilizace. Na ocelovém talíři je umístěna ocelová tyč s bronzovým nástavcem, zabetonovaná v ocelové pažnici hloubkového vrtu (obr.3). Vztažné body lze též s výhodou stabilizovat přímo ve skále čepovou popř. hřebovou značkou (s hloubkovou stabilizací nejkvalitnější a nejspolehlivější způsoby stabilizace). Body lze osadit i na usazených masivních objektech čepovými nivelačními značkami (může být méně spolehlivé). Nejméně vhodné je použití nivelačních kamenů nivelačních sítí, které jsou pro tento účel co do stability nespolehlivé. Pokud dojde ke ***zničení*** některých vztažných bodů např. stavební činností, je třeba stabilizovat místo nich nové. Je-li zničení vztažného bodu předem známo, nebo dojde-li k nutné změně používaných přístrojů či pomůcek, je vhodné nejméně v jedné etapě provést měření z původního i náhradního bodu, či původním a novým přístrojem, aby byla zachována kontinuita sledování posunů.

Pozorované body jsou osazeny na sledovaném objektu a jejich poloha a hustota se volí tak, aby změna jejich polohy umožnila určit posuny a přetvoření pozorovaného objektu. Umístění a počet pozorovaných bodů na sledovaném objektu je vždy kompromisem mezi požadavky statika, možnostmi stavby na osazení značek do požadovaných míst a možnostmi geodeta, danými přístupem ke značkám, viditelností, terénními podmínkami, výběrem vhodné metody a požadavky na stabilizaci bodů vztažné sítě. Neméně důležité je i hledisko ekonomické, které je nutno přizpůsobit i významu a náročnosti stavby.

Pozorované body se signalizují podle účelu měření (vodorovné, svislé nebo prostorové posuny) vhodnými terči pro úhlová měření, odraznými terči pro měření vodorovných směrů, zenitových úhlů a délek, hřebovými či čepovými značkami (často i atypickými) pro měření svislých posunů apod.

Obr.4 Zakrytí cílové značky

Měřické znaky (cíle) pro úhlová měření se stabilizují nejlépe značkou v úpravě soustředných kruhů. Vzhledem k předpokládanému dlouhodobému použití se vyrábějí z ušlechtilých kovů. Průměr kruhu na cílení se volí v závislosti na průměrné vzdálenosti tak, aby ryskový kříž zakrýval pouze část kruhu (obr.4).

Obr.5 Odrazný terč Leica

Odrazné terče se vyrábějí v různých velikostech pro měření na různou vzdálenost, jsou samolepící a umožňují měřit vodorovné směry, zenitové úhly a délky pro prostorovou polární metodu (obr.5). Vzhledem k tomu, že odrazné terče obvykle nejsou osazeny tak, aby jejich plocha byla kolmá na záměru (obvykle jsou nalepeny na svislé ploše), je **nutno měřit délky ve dvou polohách dalekohledu** (osa dálkoměrného paprsku nemusí být totožná se záměrnou přímkou).

12.2. MĚŘENÍ SVISLÝCH POSUNŮ A PŘETVOŘENÍ

Metody měření svislých posunů

a) Geometrická nivelace
b) Hydrostatická nivelace
c) Trigonometrické měření
d) Pozemní fotogrammetrie
e) Fyzikální metody měření relativních posunů
f) GPS, metody DPZ

12.2.1. Metoda přesné nivelace

Používá se metoda přesné nivelace (PN), velmi přesné nivelace (VPN) a pro vědecké účely metoda zvlášť přesné nivelace (ZPN), např. pro zjišťování recentních pohybů zemské kůry apod.
Podstata metody je dobře známa a používá se pro měření relativních i „absolutních" posunů. Měření má však oproti běžnému určování výšek jistá specifika, spočívající ve skutečnosti, že se neurčují převýšení, ale jejich rozdíly. Základním předpokladem měření „absolutních" posunů je stálost vztažných bodů.
Stabilitu vztažných bodů je možno mezi jednotlivými etapami posuzovat pomocí mezního rozdílu:

$$\Delta_M = \sqrt{2} \cdot u_p \cdot \sigma_h \cdot \sqrt{n}\,, \tag{11.5}$$

kde: u_p …koeficient spolehlivosti,
σ_h …směrodatná odchylka převýšení určeného v jedné nivelační sestavě při měření tam a zpět,
n … počet nivelačních sestav.

Směrodatná odchylka σ_h je při přesné nivelaci za běžných podmínek rovna $7 \cdot 10^{-5}$ m (délka záměry do 25 m, dobré observační podmínky, kvalitní přístroj, invarové latě s půlcentimetrovým dělením, měření tam zpět, stabilizované představové body a zachování zásad PN, s výjimkami, které vycházejí z principu měření posunů). Odpovídá to přesnosti měření na jedné stupnici latě 0,1 mm . *(Novák,Procházka: Měření výškových posunů geometrickou nivelací. Sborník Brno 1997)*
Minimální počet vztažných bodů je 3, což umožňuje měřit 2 kontrolní převýšení. Je však vhodné jich volit více a případně je spojit do uzavřeného nivelačního pořadu, což zvyšuje přesnost výsledků. Je vhodné všechny přestavové body stabilizovat a označit umístění nivelačního přístroje.
Přesnost měření se ověřuje pomocí mezního rozdílu mezi měřením tam a zpět Δ_{Mh}. Jestliže se uvažuje přesnost měření jedné sestavy tam a zpět 0,07 mm, pak přesnost měření jedním směrem σ_{h0} = 0,1 mm a pak platí:

$$\Delta_{Mh} = \sqrt{2} \cdot u_p \cdot \sigma_{ho} \cdot \sqrt{n}\,, \tag{11.6}$$

u_p se v těchto případech volí 2.

Pokud je pořad uzavřený, hodnotí se mezní odchylka uzávěru U_M, který se vypočítá z průměru měření tam a zpět):

$$U_M = u_p \cdot \frac{\sigma_{ho}}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{n} = u_p \cdot \sigma_h \cdot \sqrt{n} = \frac{\Delta_{Mh}}{2}\,. \tag{11.7}$$

Jsou-li stabilizovány všechny přestavové body, vypočítá se výběrová směrodatná odchylka s_{ho} jednoho převýšení měřeného jedním směrem z rozdílů převýšení tam a zpět ($\Delta h = h_T - h_Z$):

$$s_{ho} = \sqrt{\frac{\sum \Delta h^2}{2n}}\,, \tag{11.8}$$

kde n je počet nivelačních sestav.

Takto zjištěná výběrová směrodatná odchylka s_{h0} má odpovídat základní směrodatné odchylce σ_{h0} a lze ji otestovat pomocí kritéria mezní výběrové směrodatné odchylky:

$$s_{ho} \leq s_{Mh} \ , \tag{11.9}$$

kde

$$s_{Mh} = \sigma_{ho} \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{2}{n'}}\right) . \tag{11.10}$$

Pro uzavřený nivelační pořad, který se vyrovná rozdělením uzávěru úměrně počtu nivelačních sestav, platí přesnost určení převýšení (sestavy):

$$^{v}\sigma_{hi} = \sigma_h \cdot \sqrt{\frac{n-1}{n}} \ , \tag{11.11}$$

kde ***i*** je pořadí převýšení v pořadu,
n počet všech převýšení (sestav).

Při rozsáhlejších výškových měřeních se vytvářejí výškové sítě, které se vyrovnávají metodou MNČ. Výsledkem vyrovnání jsou kromě výšek (převýšení) také směrodatné odchylky měřených i vyrovnaných veličin.
Posouzení stability vztažných bodů mezi jednotlivými etapami (***i*** a ***n***) se provádí pomocí rozdílu převýšení $\boldsymbol{p = h_i - h_n}$. Pokud překročí hodnotu

$$\Delta_{Mp} = u_p \cdot \sqrt{\sigma_{hi}^2 + \sigma_{hn}^2} \ , \tag{11.12}$$

je bod podezřelý z posunu. Někdy se volí přesnost základní etapy vyšší, pokud je stejná jako ostatní, lze psát

$$\Delta_{Mp} = u_p \cdot \sqrt{2} \cdot \sigma_h \ . \tag{11.13}$$

Naopak pokud danou mez nepřekročí, nelze prokázat posun a bod považujeme za stabilní. Stabilita bodu se pokládá za ověřenou, jestliže dosažený rozdíl nepřekročí hodnotu mezního rozdílu u dvou sousedních převýšení. Určit stabilitu bodu je někdy velmi obtížné, některé body podléhají tzv. sezónní posunům, kdy vlivem trvalejších změn počasí (a s tím i třeba výšky hladiny spodních vod) se mění výška bodů.

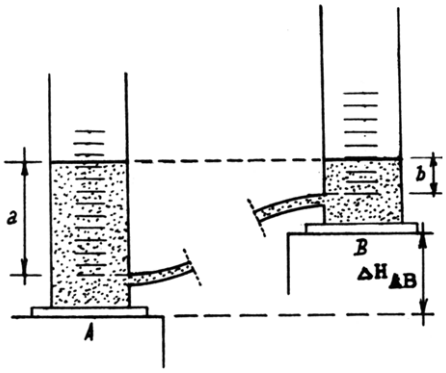
Poznámky:
Podmínky často vyžadují měření s nestejně dlouhými záměrami, což vyžaduje aktuální zjištění opravy z nevodorovnosti záměrné přímky a její zavádění do výpočtu převýšení. Pokud se ovšem dodrží stejné podmínky při měření – stabilizace přestavových bodů i stanovisek přístroje a měření etap se děje v krátkém časovém úseku (např. zatěžovací zkouška mostu), není nutné opravu zavádět, neboť má systematický vliv a při výpočtu posunu se odečte.
Systematické chyby při měření v zásadě nevadí – pokud je možno předpokládat, že se po celou dobu měření (tedy v čase od základní po poslední etapu nezmění).
Pokud jsou v prostoru měření vibrace (např. způsobené chodem strojů), které působí na kompenzátor přístroje, je nutno použít libelový přístroj.
V současné době je možno využít pro měření nivelační přístroje, které automaticky čtou na lati s čárovým kódem. V Německu byl dokonce realizován systém, který automaticky (motoricky poháněným automatickým nivelačním přístrojem) několikrát denně sledoval svislé posuny části latí s čárovým kódem.

12.2.2. Metoda hydrostatické nivelace

Využívá principu spojitých nádob, jedná se o přesnou hadicovou vodováhu, tzn. že jsou-li dvě nádoby spojeny trubicí, pak hladina v obou je stejně vysoko.
Platí Bernouliho rovnice:

$$p_1 + \rho_1 \cdot g_1 \cdot h_1 = p_2 + \rho_2 \cdot g_2 \cdot h_2, \tag{11.14}$$

kde p_1, p_2 jsou atmosférické tlaky,
ρ_1, ρ_2 jsou hustoty kapalin,
h_1, h_2 jsou relativní výšky kapaliny,
g_1, g_2 je tíhové zrychlení.



Obr.6 Princip hydrostatické nivelace

Pozorované body se zajistí zvláštními čepy, jejichž rozměr a opracování odpovídá vysokým požadavkům na přesnost měření (0,015 mm). Na tyto čepy se osazují měřící válce spojené hadicí, jejichž nádoby se plní kapalinou. Každé převýšení se měří ve dvou polohách (záměna měřících válců), v každé poloze 2x po vypuštění malého množství kapaliny (změna horizontu). Za použití elektronických dotykových snímačů je možné změny měřit automaticky v potřebných intervalech do záznamového zařízení.
Metoda je vhodná pro měření změn výšek těžko přístupných výškových bodů, pro pravidelná (nepřetržitá) měření.
Omezením metody je maximální délka hadic cca 30 m, nutnost zajistit stejnou teplotu po celé trase, měřící rozsah cca 100 mm (± 50 mm).
Dosažitelná přesnost je od 0,1 mm do 0,01 mm (špičkové zařízení, vyvinuté VÚGTK).

12.2.3. Trigonometrické měření

Posun se určuje na základě změn zenitových úhlů při etapovém měření a při známé délce záměry. Výška pozorovaných bodů se v i-té etapě vypočte z rovnice:

$$H_i = H_S + v_{pi} + d \cdot \operatorname{cotg} \zeta_i + o \ , \tag{11.15}$$

kde $\boldsymbol{H_S}$ je výška stanoviska,
$\boldsymbol{v_{pi}}$ je výška přístroje,
$\boldsymbol{d}$ je vodorovná délka záměry,
$\boldsymbol{o}$ je oprava ze zakřivení Země a z refrakce.

Výšku horizontu přístroje je možno určit přímo trigonometricky záměrou zpět na výškový vztažný bod. Při nucené centraci se stálá výška horizontu přístroje dosahuje neměnností výšky jednoho stavěcího šroubu. Stejnou délku záměry mezi etapami je možno rovněž zajistit nucenou centrací. Vzhledem k tomu, že při etapovém měření se měří ze stejných stanovisek, oprava ze zakřivení Země má stálý systematický charakter (a navíc je malá i vzhledem k délkám záměr) a není třeba ji zavádět. Refrakce se mění s atmosférickými podmínkami a je vhodné jednotlivé etapy měřit za pokud možno stejných podmínek, případně je možno měřit teplotní gradient a zavádět opravy. To je však dosti nespolehlivé.
Jestliže mezi etapami předpokládáme neměnnou výšku přístroje, délku záměry a refrakční koeficient (možno použít pro kratší záměry), posun $\boldsymbol{p}$ se vypočítá ze vztahu:

$$p = d \cdot (\operatorname{cotg} \zeta_z - \operatorname{cotg} \zeta_i) \ . \tag{11.16}$$

Směrodatná odchylka posunu je pak

$$\sigma_p^2 = \sigma_d^2 \cdot \left(\frac{p}{d}\right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{\sigma_\zeta}{\rho}\right)^2 \cdot d^2 \cdot \frac{1}{sin^4 \zeta} \ . \tag{11.17}$$

Provede se úprava: $\frac{1}{\sin^4 \zeta} = \frac{\left(\sin^2 \zeta + \cos^2 \zeta\right)^2}{\sin^2 \zeta \cdot \sin^2 \zeta} = \frac{\sin^4 \zeta}{\sin^4 \zeta} + \frac{\cos^4 \zeta}{\sin^4 \zeta} + \frac{2 \cdot \sin^2 \zeta \cdot \cos^2 \zeta}{\sin^2 \zeta \cdot \sin^2 \zeta}$,

$$\frac{1}{\sin^4 \zeta} = 1 + \operatorname{cotg}^4 \zeta + 2 \cdot \operatorname{cotg}^2 \zeta = (1 + \operatorname{cotg}^2 \zeta)^2$$

Po dosazení:

$$\sigma_p^2 = \left(\sigma_d \cdot \frac{p}{d}\right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{\sigma_\zeta \cdot d}{\rho}\right)^2 \cdot (1 + \operatorname{cotg}^2 \zeta)^2 \ . \tag{11.18}$$

Zjednodušení nastane, jestliže $\boldsymbol{p/d}$ je malé nebo předpokládáme stabilitu stanoviska (nucená centrace, krátký časový odstup mezi měřeními – např. zatěžovací zkouška mostní konstrukce, pak vypadne první člen). Pokud je zenitový úhel $\boldsymbol{\zeta}$ blízký 100 gon, lze vzorec (11.18) zjednodušit na tvar:

$$\sigma_p = \sqrt{2} \cdot \frac{d \cdot \sigma_\zeta}{\rho} \tag{11.19}$$

Přesnost měření zenitového úhlu v jedné skupině lze určit ze vztahu

$$\sigma_\zeta = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot (\sigma_c^2 + \sigma_o^2 + \sigma_i^2)} \ , \tag{11.20}$$

kde $\boldsymbol{\sigma_c}$ je směrodatná odchylka v cílení (pro Theo 010A $\boldsymbol{\sigma_c} = 6^{cc}$),
$\boldsymbol{\sigma_o}$ - směrodatná odchylka v odečtení (pro Theo 010A $\sigma_o = 4^{cc}$),
$\boldsymbol{\sigma_i}$ - směrodatná odchylka v urovnání indexu (pro Theo 010A $\sigma_i = 1^{cc}$).

Přesnost měření zenitového úhlu v jedné skupině přístrojem Zeiss Theo 010A je pak dána $\sigma_\zeta = 5{,}1^{cc}$. Přesnost samozřejmě závisí na prostředí, kvalitě přístroje a také cílovém znaku. Při plánování měření je třeba vědět, že záměra nízko nad terénem nebo blízko překážek může být výrazně ovlivněna refrakcí, která její přesnost znehodnocuje.
Lze dosáhnout přesnosti cca 0,1 mm na 20 m, z toho lineárně např. 1 mm na 200 m. Odpovídá to zhruba měření ve čtyřech skupinách, je zde výhodné volit dvojí cílení pro zrychlení měření.

12.2.4. Metody fotogrammetrické

Měření probíhá pořízením snímku ze stanoviska. Výhodou metody je zachycení okamžitého stavu během velmi krátké doby a zároveň zachycení stavu libovolného množství bodů. Vlastní měření probíhá na měřických snímcích v laboratoři na vyhodnocovacích přístrojích. Výsledky tedy nelze získat okamžitě na místě měření, ale je nutné vyvolání negativů atd.
Pro měření se používají dva postupy, s *reálnou* a *časovou* základnou.

Časová základna znamená, že se ze stejného stanoviska pořídí pro každou etapu jeden snímek. Vyhodnocují se pouze posuny bodů, které jsou v rovině snímku (tedy souřadnice ***x, z***). Posuny se pak počítají

$$\Delta x = (x_i - x_o) \cdot m_s = p \cdot m_s \ , \qquad (11.21)$$

$$\Delta z = (z_i - z_o) \cdot m_s = q \cdot m_s \ , \qquad (11.22)$$

kde x_i, z_i jsou snímkové souřadnice i-té (či základní) etapy,
m_s je měřítko snímku,
p, q jsou měřené (tzv. deformační) paralaxy.

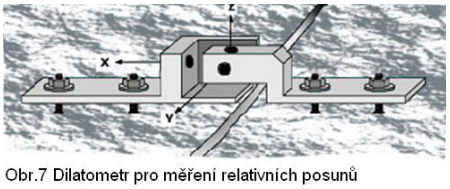
Na jednosnímkovém komparátoru (monokomparátoru) lze dosáhnout směrodatné odchylky určení paralaxy až 0,0015 mm, na stereokomparátoru 0,003 až 0,005 mm.

Reálná základna vyžaduje nejméně dvě stanoviska pro pořízení snímků. Pro zvýšení přesnosti se využívá většího počtu snímků. Tento postup umožňuje průsekové nebo stereoskopické vyhodnocení všech tří rozměrů (souřadnice ***x, y, z***) ze snímkových dvojic.
Vyhodnocení a hodnocení přesnosti již není jednoduchou záležitostí. Fotogrammetrie na větší vzdálenosti nedosahuje přesnosti klasických geodetických měření, umožňuje však zaměřit velký počet bodů v krátkém čase, vyhodnocení lze kdykoli opakovat.

12.2.5. Metody fyzikální

Tenzometr je měřidlo přetvoření v malé oblasti zatěžovaného tělesa, které umožňuje odečítat velmi malé délkové změny. Tenzometry jsou mechanické, optické, elektrické, akustické, pneumatické, případně kombinované. Běžné jsou tenzometry elektricky odporové, u nichž se namáháním mění elektrický odpor měrného drátku, a to působením přetvoření měřeného objektu. Drátek (nebo fólie či polovodičová destička) přilepený na povrchu tělesa, je napájený elektrickým proudem, jehož změny se měří, registrují a vyhodnocují speciálními přístroji.

Dále se používá tzv. ***dilatometr***, což je mechanický přípravek, umožňující relativní měření posunů ve třech osách. Na obrázku je typ s rozsahem měření 15 mm a přesností 0,02 mm.



Obr.7 Dilatometr pro měření relativních posunů

Pro měření svislých posunů (či náklonů) lze také použít ***přesných libel*** (až 2'', tj. 0,001 mm /m), v současnosti nejčastěji elektronických. Rozsah bývá v mezích cca ±20 mm, citlivost 0,01 mm/m. Měří se sklon (resp. jeho změna) a převádí se na svislý posun pomocí známé délky základny.
Pro měření délkových změn s vysokou přesností je také možno v laboratorních podmínkách využít interferometru.

12.2.6. GPS a DPZ

Metoda vhodná pro měření větších posunů a přetvoření na rozsáhlejším území, vzdálenost do 10 km není problém. Dosažitelná přesnost je však nižší, cca 3 – 5 mm v jedné souřadnici při dlouhých observacích (10 hodin).

Kromě již zmíněných metod se mohou využít i metody jako **letecká fotogrammetrie či DPZ** – např. při měření poklesů poddolovaného území, kde se jedná někdy až o metry za rok.

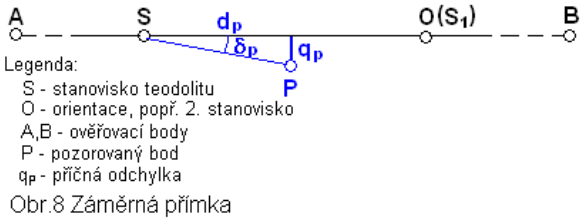
12.3. MĚŘENÍ VODOROVNÝCH POSUNŮ A PŘETVOŘENÍ

Metody měření vodorovných posunů

a) Záměrná přímka (Alignement)
b) Polygonové pořady
c) Trigonometrické metody (úhlové protínání)
d) Délkové protínání (elektronické dálkoměry)
e) Prostorová polární metoda
f) Pozemní fotogrammetrie
g) Fyzikální metody
h) GPS, metody DPZ

12.3.1. Metoda záměrné přímky (Alignement)

Velmi rychlá a jednoduchá metoda. Určují se posuny pozorovaných bodů kolmo na záměrnou přímku danou dvěma body, stanoviskem a orientačním bodem. Předpokladem použití je stabilita těchto dvou bodů a nucená centrace a také možnost ověření stability.



Obr.8 Záměrná přímka

Příčnou odchylku ***q*** je možno určovat:

- na transverzálním měřítku,
- na transverzálním měřítku s posuvným terčem,
- měřením „paralaktického“ úhlu ***δ***.

Na měřítku se čte podle ryskového kříže (vhodné pro vzdálenosti do cca 50m).

Posuvný terč se nastavuje do směru a podle indexu se čte posun na stupnici.

Při použití úhlového měření se měří velmi malý úhel ***δ***, mezi vztažným a pozorovaným bodem, a to v polovičních laboratorních jednotkách, podobně jako úhel paralaktický. Vzhledem k tomu, že orientační bod O a pozorovaný bod P nejsou ve stejné výšce a dochází i k přeostření dalekohledu měří se vždy v obou polohách dalekohledu.

K měření posunů od záměrné přímky s posuvným terčem se využívá vysoce přesných přístrojů, byly dokonce vyrobeny speciální přístroje s velkým zvětšením dalekohledu (bez vodorovného kruhu). Použití této metody je omezeno velikostí posunů (cca 100 mm).

Pro měření posunů od záměrné přímky je možno použít též laserových přístrojů s terči pro detekci středu svazku paprsků pomocí difrakčních kroužků. *(Více v předmětu Základy automatizace v IG“).*

U „paralaktické“ metody je nutno znát i vzdálenost. Za předpokladu, že se měří ze stanoviska s nucenou centrací a „paralaktický“ úhel je velmi malý, stačí délku určit s nižší přesností, a to pouze v základní etapě. Požadovanou přesnost měření délky lze v tomto případě určit ze vzorce analogického vzorci (11.17), přičemž za σ_q se dosadí hodnota, která neovlivní přesnost určované příčné odchylky ***q***, tedy např. $\sigma_q = 1.10^{-4}$ m:

$$\sigma_d = \sigma_q \cdot \frac{d}{q} . \qquad (11.23)$$

Příčná odchylka q_i bodu i od přímky se počítá ze vzorce:

$$q_i = \frac{s_i \cdot \delta_i}{\rho} = k_i \cdot \delta_i \ . \qquad (11.24)$$

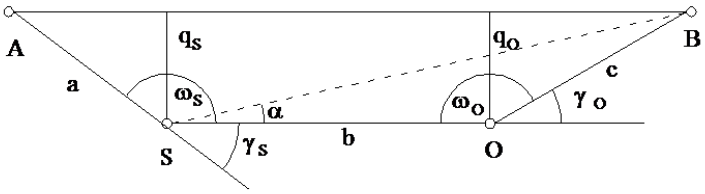
Posun mezi etapami pak bude:

$$\Delta q_i = q_i - q_o = k_i \cdot \Delta\delta_i \ . \qquad (11.25)$$

Směrodatná odchylka posunu je:

$$\sigma_{\Delta qi} = k_i \cdot \sigma_{\delta i} \cdot \sqrt{2} \ . \qquad (11.26)$$

Poloha stanovisek se ověřuje měřením úhlů ve čtyřúhelníku (obr.9). Příčné odchylky se vypočítají ze známých délek **a, b, c** a měřených úhlů ω_S a ω_O, resp. γ_S, γ_O. Hodnoty q_S, q_O se určí v základní etapě ze vzorců (11.27, 11.28) a jejich velikost se testuje s výsledky měření v dalších etapách.



Obr.9 Ověření polohy stanovisek záměrné přímky

$$q_s = \frac{a \cdot [(b+c) \cdot \gamma_s + c \cdot \gamma_o]}{\rho \cdot (a+b+c)} \ , \qquad (11.27)$$

$$q_o = \frac{c \cdot [(a+b) \cdot \gamma_o + a \cdot \gamma_s]}{\rho \cdot (a+b+c)} \ . \qquad (11.28)$$

Odvození:

$$2P = a \cdot (b+c) \cdot \sin(\omega_s - \alpha) = (a+b+c) \cdot q_s \Rightarrow q_s = \frac{a \cdot (b+c) \cdot \sin(\omega_s - \alpha)}{\rho \cdot (a+b+c)} \qquad (11.29)$$

kde pro α platí :

$$\sin\alpha = \sin\gamma_o \cdot \frac{c}{b+c} \ . \qquad (11.30)$$

Vzorec lze odvodit za předpokladu, že celý obrazec je štíhlý, a lze jej „zjednodušit“ do tvaru uvedeného výše:

$$\sin(\omega_s - \alpha) = \sin(\gamma_s + \alpha) \approx \frac{\gamma_s + \alpha}{\rho} \ , \qquad (11.31)$$

$$\hat{\alpha} \approx \sin\alpha = \sin\gamma_o \cdot \frac{c}{b+c} \approx \gamma_o \cdot \frac{c}{b+c} \ . \qquad (11.32)$$

$$q_s = \frac{a \cdot (b+c) \cdot \left(\gamma_s + \frac{c}{b+c} \cdot \gamma_o\right)}{\rho \cdot (a+b+c)} = \frac{a \cdot [(b+c) \cdot \gamma_s + c \cdot \gamma_o]}{\rho \cdot (a+b+c)} \ . \qquad (11.33)$$

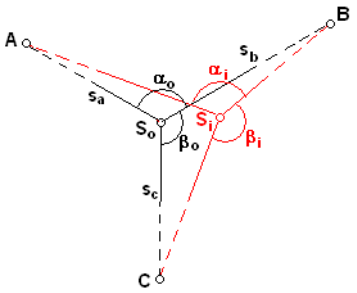
Hodnoty příčných odchylek se testují mezi etapami, kritériem jsou směrodatné odchylky, odvozené ze vzorců:

$$\sigma_{qs} = \frac{\sigma_\gamma \cdot a \cdot \sqrt{[(b+c)^2 + c^2]}}{\rho \cdot (a+b+c)} \ , \qquad (11.34)$$

$$\sigma_{qo} = \frac{\sigma_\gamma \cdot c \cdot \sqrt{[(a+b)^2 + a^2]}}{\rho \cdot (a+b+c)} \ . \qquad (11.35)$$

Pokud rozdíl základní a i-té etapy překročí mezní rozdíl, je prokázán posun v příčném směru a musí se zavádět opravy do vypočítaných posunů mezi etapami a příslušně upravit kritéria prokázání posunu. Předpokládá se, že body A a B jsou stálé (pevné).

Ověření polohy stanoviska lze obecněji ověřovat také pomocí nejméně 3 bodů zvolených v okolí, pokud možno pravidelně. Předpokládá se jejich neměnnost. Ověření lze provést např. porovnáním měřených úhlů mezi etapami, případně je možno výpočtem volného stanoviska (protínáním zpět) určit a porovnat jeho souřadnice.



Obr.10 Ověření polohy stanoviska úhlovým měřením

12.3.2. Polygonový pořad

Princip spočívá v přesném měření úhlů a délek ve vhodně umístěném polygonovém pořadu na měřeném objektu. Nejvhodnější jsou přímé oboustranně orientované pořady se stejnými délkami. Příčné posuny pozorovaných bodů (stanovisek) se počítají z úhlových změn mezi základní a měřenou etapou, nebo ze souřadnicových rozdílů. Používají se tam, kde je obtížné použít záměrné přímky, tj. u dlouhých zemních přehrad nebo v tunelech a chodbách. Předpokladem je nucená centrace, v podzemí na konzolách.
Používají se dva postupy:
a) Úhly se měří teodolitem (u delších stran),
b) Úhly se určují pomocí vzepětí (u krátkých stran do 10 m – v podzemí).
Při hodnocení se používá porovnání úhlů (vzepětí - v chodbách přehrad) mezi etapami, zpravidla se jedná o vetknutý pořad přímý a posuny se určují pouze kolmo na směr pořadu.
Pokud není k dispozici nucená centrace, lze dosáhnout i tak vysoké přesnosti orientací teodolitu do určitého (ve všech etapách stejného směru) a při pečlivé centraci (je třeba velikostně blízký kroužek na kroužek) v příčném směru. Lze dosáhnout směrodatné odchylky v centraci až 0,1 mm.

12.3.3. Trigonometrická metoda

Je možno určovat prostorové změny v poloze pozorovaných bodů, a to zpravidla úhlovým protínáním ze 2 – 4 stanovisek. Obvykle se určují relativní posuny vůči základní etapě.
U staveb menšího rozsahu postačí 3 body (zajištěné dalšími ověřovacími body), osnovy směrů se mohou orientovat na body signalizované ve větší vzdálenosti.
U staveb většího rozsahu (např. přehrady) se buduje kompletní síť vztažných bodů, která se proměřuje celá, včetně pozorovaných bodů. Vytváří se zpravidla jako volná, připojením se případně určuje její umístění do prostoru, rozměr a orientace. Vzhledem k tomu, že se určují posuny (tedy rozdíly souřadnic v řádu cm) postačí určit rozměr sítě (daný např. jednou délkou) s relativní přesností 1 : 500.
Pro známou metodu měření, se určuje velikost a směrník posunu ze souřadnic. Z modelu geodetické úlohy se vypočítá kovarianční matice a pomocí ní směrodatná odchylka posunu z funkce vyrovnaných neznámých. Pro případ dvourozměrného řešení bude kovarianční matice ve tvaru:

$$M = A^T \cdot \begin{pmatrix} \sigma_{x1}^2 & cov & 0 & 0 \\ cov & \sigma_{y1}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{x2}^2 & cov \\ 0 & 0 & cov & \sigma_{y2}^2 \end{pmatrix} \cdot A \ . \qquad (11.36)$$

Posun lze pokládat za prokázaný tehdy, jestliže jeho velikost překročí mezní odchylku $\delta_{Mp} = u_p \cdot \sigma_p$, kde $\boldsymbol{u_p}$ se zpravidla volí 2,5.
Účelem vyrovnání je určení nejpravděpodobnější aktuální polohy pozorovaných bodů vzhledem k bodům ověřovacím, a dále jejich posunů vůči základní (případně předchozí) etapě.
Vzhledem k vysoké požadované přesnosti se síť počítá v místní soustavě, u které se 2 body volí za výchozí, obvykle nejvzdálenější od místa předpokládaných deformací – např. od přehradní hráze. Vyrovnáním MNČ se určí souřadnice všech bodů.
Nejprve se zaměří základní etapa, často s vyšší přesností, potom postupně etapy další. Před samotným vyrovnáním je třeba analýzou měřených směrů (úhlů) určit vztažné body podezřelé z nestability, a to porovnáním rozdílů měření v základní a n-té etapě s mezními odchylkami. *(Podrobněji v ING2).*

Z hlediska dalšího postupu výpočtu jsou v zásadě používána dvě řešení:

a) Provede se společné vyrovnání základní a n-té etapy. Body považované za stabilní se ve vyrovnání počítají souhrnně z měření v obou etapách, body podezřelé z nestability vstupují do vyrovnání 2x, a to jako bod v první etapě a bod ve druhé etapě. Výsledkem vyrovnání jsou souřadnice, ze kterých je možno určit velikost a směr posunu a také kovarianční matice, ze které je možno určit směrodatnou odchylku posunu. Velikost posunu se pak testuje mezní odchylkou. Takto lze provést vyrovnání všech etap současně. Nevýhodou tohoto postupu je, že se souřadnice i základní etapy stále mění. Stabilní body jsou po více etapách určeny se zvyšující se přesností.
b) Provede se samostatné vyrovnání základní etapy. Další etapy se zpracovávají tak, že body považované za stabilní (nebyl prokázán posun) mají pevné souřadnice základní etapy a body podezřelé z posunu (a pozorované body) jsou vyrovnávány. Souřadnice základní etapy zůstávají stálé. Stabilní body mají stále stejnou přesnost.
   Při rozborech přesnosti je nutno uvažovat vliv prostředí (refrakce, boční refrakce). Dosažitelná přesnost v určení posunu při délkách záměr od 100 do 350 m je 0,3 – 0,5 mm (přesná měření na přehradách).

12.3.4. Protínání z délek

K měření délek se používá elektronických dálkoměrů nejvyšší přesnosti. Nejpřesnější býval např. Kern Me 5000 – Mekometr (později Wild Di 2002) se směrodatnou odchylkou σ_d = 0,2 mm + 2 ppm.
Délky se měří tam a zpět (kontrola, lepší představa o skutečné přesnosti), měří se šikmé a je třeba je redukovat na vodorovné, opravovat o vliv sbíhavosti tížnic a převádět do zvolené výškové hladiny. Nutno při tom uvažovat výšky cílů, přístroje, a pokud není koaxiální, tak i dálkoměru.

U sítí protáhlého tvaru (např. u údolních přehrad) způsobuje úhlové měření změnu rozměru v podélném směru, délkové ve směru příčném.

12.3.5. Kombinované sítě

Zpracování je obdobné jako u úhlových sítí s tím rozdílem, že pro hodnocení jsou k dispozici ještě délky. Vhodnost použití délek závisí na dostupném dálkoměru a na délkách záměr (přesná totální stanice má na 100 m σ_d=1 mm, z úhlového měření vychází srovnatelná chyba 0,5 mm při přesnosti měření úhlu 0,3 mgon, a zvýšením počtu skupin lze dosáhnout přesnosti lepší). Vlivem nehomogennosti měření nejsou s tímto typem sítí na přehradách nejlepší zkušenosti.

12.3.6. Prostorová polární metoda (trigonometrická metoda)

Význam prostorové polární metody vzrostl se zavedením samolepicích odrazných terčů, na které je možno s vysokou přesností měřit vodorovné směry, délky i zenitové úhly. Odraznými terči lze trvale osadit pozorované body na sledovaném objektu. Měří se ve dvou polohách dalekohledu k eliminaci chyby způsobené nesouhlasem záměrné přímky s osou svazku dálkoměrných paprsků (může být přístroj od přístroje různý).

12.3.7. Pozemní fotogrammetrie

Metody, výhody a nevýhody jsou stejné jako při měření svislých posunů (kap.12.2.4).

12.3.8. Fyzikální metody

K měření velmi malých délkových změn s vysokou přesností se používají stejné typy pomůcek jako pro měření svislých posunů (tenzometry, deformetry, dotyková měřidla apod.- kap.12.2.5). K měření náklonů se používá optických či laserových provažovačů nebo ve svislých šachtách přehradních hrází velmi přesných mechanických kyvadel.

12.3.9. Laserové skenování

Metoda je v počátcích svého využití, vhodná dnes spíše pro měření relativních přetvoření. Příkladem může být mostní pole, naskenované před, při a po zatížení. Z mračen bodů je možno analyzovat chování konstrukce, dosažitelná přesnost je 2 – 5 mm.

12.4. VLIV PROSTŘEDÍ NA PŘESNOST VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

Zvýšení přesnosti geodetických přístrojů přispělo ke zvýšení vnitřní přesnosti výsledků měření. Čím vyšší je přesnost výsledků, tím více se uplatňují náhodné, ale zejména systematické chyby proměnlivého charakteru způsobené vnějším prostředím, především změnami atmosférických podmínek. Ty ovlivňují nejen měření jako takové (refrakce, změna přístrojů a pomůcek vlivem teploty), ale působí i na měřený objekt (teplotní roztažnost, změna vlhkosti apod). Z těchto důvodů se často měří v noci, aby se působení těchto vlivů zmírnilo.
Ze všech výzkumů konaných v této oblasti vyplynulo, že je nutno zaznamenávat nejen měření, ale také stavební, provozní a atmosférické podmínky, které mohou výrazně ovlivnit přesnost výsledků měření. Je proto vhodné volit termíny a dobu etapových měření takové, aby se měření konalo v pokud možno stejných podmínkách (roční období, objekt bez provozu, v noci apod.).

12.5. INTERPRETACE VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

Za předpokladu, že výsledky měření jsou zatíženy pouze náhodnými chybami se směrodatnou odchylkou σ, platí:

a) $p < \sigma_p$: posun není prokazatelný,
b) $\sigma_p < p < 2\,\sigma_p$: bod je podezřelý z posunu,
c) $p > 2\,\sigma_p$: posun je prokázán s rizikem 5%.

Je možno použít jinou pravděpodobnost (obvykle ještě 1%).

12.6. APLIKACE GEODETICKÝCH METOD NA MĚŘENÍ POSUNŮ RŮZNÝCH DRUHŮ STAVEBNÍCH OBJEKTŮ

12.6.1. Měření posunů na pozemních stavbách

Nejčastěji se měří sedání základů, přetvoření nosných konstrukcí, náklony objektů popřípadě změny přilehlého území vlivem výstavby nového objektu.
Používané metody: geometrická či hydrostatická nivelace, trigonometrická metoda, záměrná přímka, fotogrammetrie.

12.6.2. Měření posunů na mostních objektech

Jednak krátkodobé měření při zatěžovacích zkouškách mostů, jednak dlouhodobé sledování posunů a přetvoření po dobu provozu.
Měří se sedání základů podpěr, vodorovné posuny podpěr nebo hlavních nosných konstrukcí, průhyby nosných konstrukcí, náklony podpěr, kroucení podpěr i nosných konstrukcí a změny v geometrii nosných i podpěrných konstrukcí.
Všechny metody, nejčastěji nivelace, trigonometrie, fotogrammetrie.

12.6.3. Měření posunů výškových objektů

Výškové budovy, komíny, vysílací věže, sila, pece, stožáry vysokého napětí apod. Měří se sedání základů, náklon a přetvoření svislé osy objektu.
Používá se nivelace, trigonometrie, fotogrammetrie, provažovače optické i laserové.

12.6.4. Měření posunů na vodohospodářských dílech

Nejpodrobněji zpracovaná metodika, především pro přehrady. Měří se sedání, přetvoření přehradních těles, náklony, vodorovné posuny atd.
Metody: Nivelace, trigonometrie, fotogrammetrie, záměrná přímka a různé relativní fyzikální metody.

12.6.5. Měření posunů a přetvoření průmyslových technologických zařízení

Různé speciální metody sloužící k rektifikaci průmyslových zařízení pro zajištění bezporuchového provozu. Dochází k přetvoření základů a geometrických parametrů vlivem statických i dynamických účinků (tlak, rázy apod.). Např. turbogenerátory, rotační pece, válcovací stolice, jeřábové dráhy apod.

12.6.6. Měření změn poddolovaných území

Má dvojí účel: zjištění účinků poddolování na terén a objekty (bezpečnost, určení báňských škod), získání podkladů charakterizujících parametry krajiny**.**

12.6.7. Měření dynamiky sesuvů půdy

Z důvodů poznání zákonitostí svahových pohybů a jejich dynamiky a samozřejmě z důvodu bezpečnosti. Z geodetických metod: nivelace, trigonometrie, dálkoměry, fotogrammetrie, polygonometrie, záměrná přímka i další.
Posuny se mohou zobrazovat vrstevnicemi, profily a řezy ve vodorovném a svislém směru, nebo vektory pohybu pozorovaných bodů