

Úloha 3.: URČENÍ SVISLOSTI STĚNY OBJEKTU

Hánek, P., převzato ze skript: Vorel, V. - Brychta, M. - Hánek, P. - Procházka, J.: Inženýrská geodézie - Návody ke cvičením. ČVUT FSV, Praha 1985, dotisk 1995, mírně upraveno.

3.1 Zadání

Určete svislost stěny stavebního objektu dvěma metodami - po upřesnění zadání protínáním vpřed, polární metodou s totální stanicí s pasivním odrazem, provažovačem nebo promítáním teodolitem - a proveďte jejich srovnání.

3.2 Předmět měření a základy metod

V této úloze jsou probírány a srovnávány tři způsoby určení odklonu stěny objektu od svislice pouze v kolmém směru k této stěně. Jedná se tedy o poměrně častý případ praxe, který je určitým zjednodušením zjišťování odlehlých bodů v obou hlavních směrech (vzhledem ke stěně), tj. vlastně určování souřadnic jednotlivých podrobných bodů ve vhodně voleném systému.

Základní řešení se obvykle provádí protínáním vpřed a často se ještě doplňuje trigonometrickým určováním výšek (tj. prostorovým protínáním), Příkladem je např. určování vřícovacích bodů pro účely pozemní fotogrammetrie. Metoda slouží často též ke kontrole geometrických parametrů zejména montovaných staveb.

Požadované zjištění odchylek bodů, ležících nad sebou zhruba na svislici, pouze ve směru kolmém ke stěně objektu, je možné provádět protínáním vpřed ze základny b rovnoběžné se stěnou objektu. Potom se uvažuje pouze jedna souřadnice, tj. x (viz obr. 3.1).

Určitou variantou je použití 3D polární metody za pomoci totální stanice, vybavené dálkoměrem s pasivním odrazem.

Druhou možností je promítání teodolitem, jehož záměrná rovina je rovnoběžná se stěnou objektu s čtením na speciální lati. Záměrná rovina je stabilizována 2 body.

Třetí možností je použití některého ze speciálních přístrojů pro optické provažování. Zde je možno volit některý z klasických provažovačů vyráběných známými geodetickými firmami (např. Zeiss PZL), popř. teodolitů nebo nivelačních přístrojů s hranolovou předsádkou objektivu (Zeiss Theo 010 B, Opton Ni 2) nebo laserové provažovače. Hranolové předsádky se nasazují na objímku objektivu dalekohledu a zalamují optickou osu přesně o 90° . Byla-li tato osa vodorovná, je záměrná přímka po průchodu správně umístěnou předsádkou svislá. Optické provažovače (s urovnáním svislé záměrné přímky kompenzátory nebo pomocí citlivých libel) bez ohledu na směr pozorování (k nadiru - dolů nebo k zenitu - nahoru) vyžadují čtení na speciální lati ze stanoviska; totéž platí pro přístroje s hranolovou předsádkou. U laserových přístrojů se naopak čte stopa paprsku přímo na stupnici vhodné latě přiložené k měřenému bodu. Jako laserového provažovače lze použít dříve uvedených typů geodetických přístrojů, doplněných laserovým okulárem a vláknovou optikou připojeným He-Ne laserem o výkonu asi 1 mW, nebo speciálních konstrukcí. Metoda je vhodná např. pro vedení posuvných bednění.

Pro použití optického provažování a pro promítání teodolitem musí být podrobné body, v nichž se svislost zjišťuje, vždy přístupné alespoň pro přiložení speciální krátké latě (u laserů i pro čtení). Body se obvykle volí poblíž oken nebo u provažování vnitřkem budovy po dobu výstavby se nechávají v podlahách a stropěch otvory potřebné velikosti (asi $0,15 \times 0,15$ m). Pro metodu protínání postačí splnění podmínky jednoznačné signalizace bodů bez nutnosti přístupu. Obvykle vyhoví rohy panelů, výrazné prvky pláště nebo signalizace stopou laseru. Potom je třeba provádět měření z obou konců základny současně a laser může být přímo spojen světlovodem s jedním z teodolitů (pomocí tzv. laser-okuláru) nebo může být pro tyto účely užit laserový přístroj, postavený mimo body základny. Tento přístroj slouží pouze k signalizaci nepřístupného bodu a může být proto postaven kdekoli mimo základnu na vhodném místě, tak, aby se jeho stopa po dopadu na cíl co nejméně deformovala.

Totální stanice s pasivním odrazem si body signalizuje sama, ovšem tehdy, postačí-li měření pouze v 1 poloze.

Tato hlediska, vedoucí k výběru vhodné metody, je třeba uvážit u novostavby ještě před výstavbou. U všech staveb přistupují ještě hlediska bezpečnostní.

Rozčlenění bodů do výškových úrovní se na svislicích obvykle řídí polohou podlaží.

Řešení všech možných metod určení bude provedeno obecně v dalším textu, metoda polární

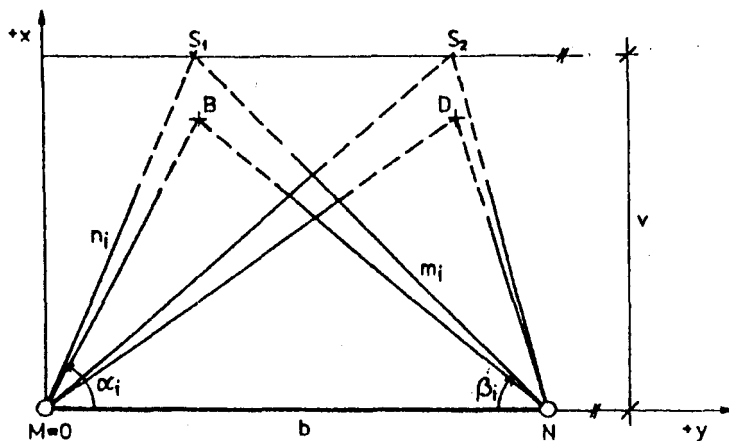
bude odvozena při přípravě na cvičení. Pro vlastní cvičení, jehož zadání vyžaduje vzájemné srovnání metod protínání vpřed a provažování, bude postup konkretizován v závěru. V podstatě jde o zaměření pouze dvou svislic, vzájemně vzdálených asi 15 m. Vzájemné převýšení činí zhruba 30 m.

Ve všech uvažovaných případech se výsledky vztahují k nejnižší měřené úrovni.

3. 3 Protínání vpřed

3. 3. 1 Přípravné práce a postup při měření

Podrobné body, uspořádané a vyznačená ve dvou svislicích, (v **obr. 3.1** ozn. B, D, s_1, s_2) se zaměřují úhlově dvouvrteřinovým teodolitem ze základny volené přibližně rovnoběžně s měřenou stěnou objektu. Pro určení svislosti (náklonu) stěny stačí potom počítat jen souřadnice na kolmé ose $+x$. Počátek místní souřadnicové soustavy je vložen do levého stanoviska M a osa $+y$ leží v základně b . Tato volba zajišťuje jednoduchý vypočet bez nutnosti případných transformací a neproblematické srovnání s ostatními metodami.



Obr. 3.1. Protínání vpřed

Označení obr. 3.1. odpovídá zvyklostem označení rovinného trojúhelníka v matematice.

Optimální tvar protínacího trojúhelníku se zdůvodněním je podrobně diskutován v dostupné literatuře a v odstavci přesnosti metody. Pro tuto úlohu platí, že délka základny b musí být úměrná vzdálenosti svislic s_1, s_2 tak, aby úhly α, β , k ní přilehlé (obr. 3.1) byly menší nežli 90° . Výška v trojúhelníku (tj. bočný odstup) má být taková, aby sklon nejstrmějších záměr umožňoval ještě pohodlnou observaci, zejména pokud nejsou ve výbavě teodolitu lomené okuláry. Důležité je pamatovat na to, že s klesající hodnotou zenitového úhlu prudce vzrůstá vliv přístrojových vad. Protože však bočný odstup, tj. výška v trojúhelníku MNS , je podle obr. 3.1 totožný se souřadnicí x_i měřených bodů i , nelze jej podle rovnice (3.9), která má minimum pro $x_i = 0$, příliš zvětšovat. Ve shrnutí obvykle postačí volit bočný odstup v hodnotě

$$0,4 b \leq v \leq 1,3 b, \quad (3.1)$$

b je zvolená délka základny.

Vzájemné rovnoběžnosti základny a stěny objektu se podle rovnice (3.11) rozboru přesnosti dosáhne některou z jednoduchých úloh, např. odměřením pásmem. Základna se stabilizuje dočasným způsobem, přiměřeným terénu a provozu (kolíkem, hřebíkem, křížkem barvou či křídou). Požadovaná přesnost jejího měření je dána rovnicí (3.8).

3. 3. 2 Výpočty

Souřadnice x_i jednotlivých bodů na svislicích na stěně objektu se počítají dvakrát pomocí rajónů (symbolika podle obr. 3.1) :

$$M_{x_i} = n_i \cos(R - \alpha_i) = n_i \sin \alpha_i, \quad (m; m, \text{ gon}) \quad (3.2)$$

s kontrolou **ze** vzdálenějšího stanoviska:

$$N_{x_i} = m_i \sin \beta_i \quad . \quad (3.3)$$

Rozdíl může být způsoben jen chybami v zaokrouhlení.

Ve vzorcích (3.2, 3.3) se vodorovné vzdálenosti m_i, n_i vypočtou ze sinových vět :

$$m_i = \frac{b \sin \alpha_i}{\sin(\alpha_i + \beta_i)},$$

$$n_i = \frac{b \sin \beta_i}{\sin(\alpha_i + \beta_i)} \quad (3.4)$$

V úvodu bylo řečeno, že se náklon hodnotí pomocí posunů vyšších úrovní vzhledem ke zvolené vztahné úrovni, která se obvykle kryje s úrovní nejnižšího podlaží (x_0). Tyto náklony jsou potom rozdíly x-souřadnic.

Pomocí rovnice (3.2) lze psát :

$$\Delta x_i = x_i - x_0 = n_i \sin \alpha_i - n_0 \sin \alpha_0 \quad (\text{m; m, gon}). \quad (3.5)$$

3.3.3 Rozbor přesnosti metody protínání vpřed před měřením

Přesnost měření posunu Δx_i daného vzorcem (3.5), se určí známým způsobem, tj. užitím zákona přenášení chyb.

$$\varepsilon_{\Delta x} = \frac{m_i^2}{b} \frac{\varepsilon_{\beta_i}}{\rho} - \frac{m_0^2}{b} \frac{\varepsilon_{\beta_0}}{\rho} + \frac{n_i \sin \beta_i}{\sin(\alpha_i + \beta_i)} \frac{\varepsilon_{\alpha_i}}{\rho} - \frac{n_0 \sin \beta_0}{\sin(\alpha_0 + \beta_0)} \frac{\varepsilon_{\alpha_0}}{\rho} + \frac{\Delta x}{b} \varepsilon_b \quad (\text{m; m, gon}) \quad (3.6)$$

Přechodem na střední chyby **za** předpokladu $m_i = m_0 = m; n_i = n_0 = n; m_{\alpha i} = m_{\alpha 0} = m_{\beta i} = m_{\beta 0} = m_{\omega}$:

$$m_{\Delta x}^2 = \frac{1}{b^2} \left[m_b^2 \Delta x^2 + 2 \frac{m_{\omega}^2}{\rho^2} (m^4 + n^4) \right] \quad (\text{m; m, gon}) . \quad (3.7)$$

Úvaha o přesnosti měřené základny

Rovnice (3.7) vyjadřuje prvním členem v závorce na pravé straně vliv měření délky základny, druhým členem vliv úhlového měření. Budeme-li považovat vliv úhlového měření **za** nulový, dostaneme po úpravě:

$$m_b = \frac{b m_{\Delta x}}{\Delta x} \quad . \quad (3.8)$$

Aby bylo možno zanedbat vliv měření délky základny b na přesnost měření náklonu Δx , jehož přibližnou velikost známe, dosadíme v rovnici (3.8) za $m_{\Delta x}$ hodnotu, které je zanedbatelná oproti očekávané přesnosti určení posunu; obvykle $m_{\Delta x} = 0,1$ mm. Pak je možno snadno vypočítat požadovanou přesnost měřené základny m_b .

PŘÍKLAD 3.1

$b = 25$ m; $\Delta x = 0,05$ m; $m_{\Delta x} = 0,1$ mm $\rightarrow m_b = 0,05$ m.

Příklad ukazuje, že potřebná přesnost měření délky základny není příliš vysoká.

Úvaha o vhodném tvaru určovacího obrazce

Považujeme-li vliv délkového měření v rovnici (3.7) **za** nulový, dostaneme po úpravě za předpokladu $m = n$, tím i $b = (m^2 - x^2)^{1/2}$, výraz:

$$m_{\Delta x} = \frac{m^2}{\sqrt{m^2 - x^2}} \frac{m_{\omega}}{\rho}, \quad (\text{m; m, g}) . \quad (3.9)$$

Vyraz (3.9) je minimální, je-li souřadnice x , tj. bočný odstup základny od objektu, nulový. Z toho vyplývá, že teoreticky nejvhodnější metoda je promítání teodolitem, které je popsáno dále. Ovšem při tomto postupu se může nepříznivě projevit zejména boční refrakce a je nutná přístupnost určených bodů. Naopak při velmi šikmých záměrech se podstatně zvětšuje střední chyba měřeného úhlu. Z rovnice (3.9) by bylo možno vyjádřit velikost střední chyby úhlového měření a tedy i počet skupin, pokud si zvolíme velikost $m_{\Delta x}$. Protože však měření je ovlivněno především kvalitou cílení, měří se vodorovné úhly obvykle ve 2 skupinách teodolitem II. třídy přesnosti (např. Zeiss Theo 010 B).

Aby bylo možno vzorec (3.9) vyčíslit, je třeba za hodnotu m_{ω} , charakterizující přesnost úhlového měření, dosadit empirickou hodnotu 2 mgon, v nepříznivých podmínkách 4 mgon.

PŘÍKLAD 3. 2

$m_{\omega} = 2 \text{ mgon}$; $x = 4 \text{ m}$; $b = 25 \text{ m} \rightarrow m = 13,1 \text{ m}$	$m_{\Delta x} = 0,4 \text{ mm}$
$m_{\omega} = 4 \text{ mgon}$	$m_{\Delta x} = 0,8 \text{ mm}$
$m_{\omega} = 2 \text{ mgon}$; $x = 20 \text{ m}$; $b = 25 \text{ m} \rightarrow m = 23,6 \text{ m}$	$m_{\Delta x} = 1,4 \text{ mm}$
$m_{\omega} = 4 \text{ mgon}$	$m_{\Delta x} = 2,8 \text{ mm}$.

Je však nutno poznamenat, že kvalita cílení na body na stěně může být velmi proměnlivá v důsledku osvětlení, strmosti záměr, jednoznačnosti signalizace při pohledu z obou stanovisek apod. Z těchto důvodů vyšší počet skupin měření nepřináší výrazné zvýšení přesnosti.

Je-li bod signalizován pouze stopou laserového teodolitu, nelze měřit už ani ve II. poloze dalekohledu (není kam zacílit).

Úvaha o požadavku rovnoběžnosti základny s objektem

Potřebnou přesnost rovnoběžnosti základny a objektu lze snadno odvodit, zvolíme-li předem její mezní vliv o_x (**obr. 3.2**).

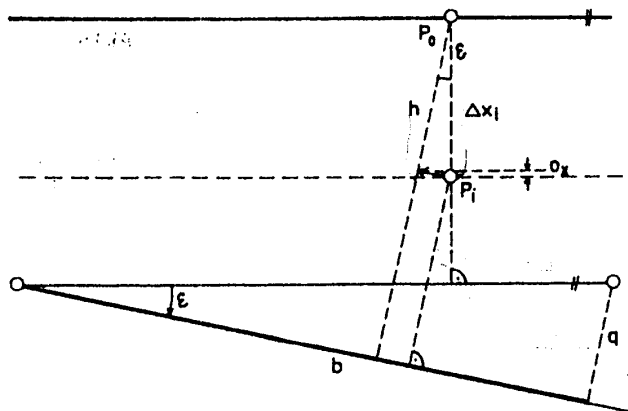
$$o_x = h - \Delta x_i = \frac{\Delta x_i}{\cos \varepsilon} - \Delta x_i = \frac{\Delta x_i (1 - \cos \varepsilon)}{\varepsilon}$$

kde ε je úhel stočení základny a dále úpravou

$$\cos \varepsilon = 1 - 2 \sin^2 (\varepsilon / 2) \tag{3.10}$$

dostaneme:

$$o_x = \frac{2 \Delta x_i \sin^2 \frac{\varepsilon}{2}}{\cos \varepsilon}$$



Obr. 3.2. Vliv nerovnoběžnosti základny

Protože úhel ε bude malý, platí

$$\sin(\varepsilon/2) \approx (\varepsilon/2) = (q/2b), \quad \cos \varepsilon \approx 1$$

Dosazením a úpravou

$$o_x = \Delta x_i \frac{q^2}{2b^2} = \frac{\Delta x_i}{2} \left(\frac{q}{b} \right)^2,$$

kde q je hledaný mezní příčný posun koncového bodu základny, způsobený stočením:

$$q = \sqrt{\frac{o_x 2b^2}{\Delta x_i}} \quad (3.11)$$

PŘÍKLAD 3. 3

$b = 25$ m; $\Delta x = 5 \cdot 10^{-2}$ m, volme $o_x = 1 \cdot 10^{-4}$ m, vypočtem $q = 1,5$ m.

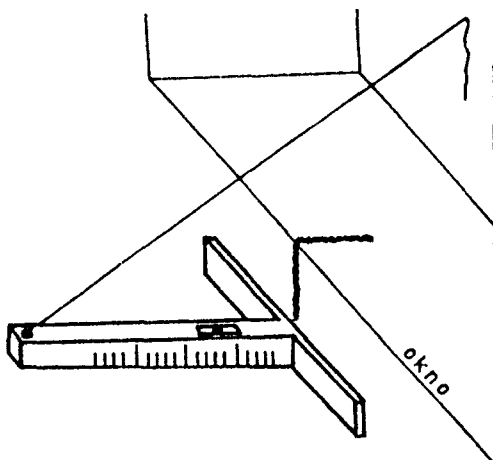
Z příkladu plyne, že podmínka rovnoběžnosti základny a stěny objektu při měření je relativně velmi volná.

3.4 Metoda promítání teodolitem

3.4.1 Přípravné práce a postup při měření

Při tomto způsobu určování svislosti stěny ve směru na ní kolmém se z vhodného stanoviska, příčně nepříliš vzdáleného od stěny, čtou teodolitem hodnoty x na speciální krátké lati. Ta se postupně přikládá k signalizovaným podrobným bodům. Ve směru podél stěny musí být stanovisko tak vzdálené, aby bylo možno číst i nejstrmější záměry. Přitom je třeba mít na paměti, že se vzrůstajícím sklonem záměry prudce vzrůstá u klasických opto-mechanických teodolitů vliv odklonu osy alhidády od svislice.

Postup měření je velmi jednoduchý. Po volbě stanoviska se zacílí na pomocný bod, ležící na rovnoběžce se stěnou. Tento bod se signalizuje např. terčem nebo vhodným znakem na stěně jiné budovy. Pro přesnost rovnoběžného odsazení záměrné roviny teodolitu a stěny objektu platí úvaha vedoucí k rovnici (3.10). K podrobným bodům se postupně přikládá lať s přesným centimetrovým nebo půlcentimetrovým dělením a na ní se čtou svislým vláknem ryskového kříže milimetry. Měření se provádí ve dvou polohách dalekohledu. Aby nebylo nutno body jedné svislice procházet dvakrát, doporučuje se každý bod měřit v obou polohách, pro snížení počtu prokládání a otáčení systémem I, II - II, I - I, II atd. V časových prodlevkách nebo po několika bodech a vždy na konci měření se kontroluje nezměněné zacílení na pomocný bod. Výsledné čtení je aritmetickým průměrem výsledku měření ve 2 polohách.



Obr. 3.3. Přípravek pro metodu promítání

Lat' má stupnici délky asi 0,5 m a je opatřena příložnou vodorovně umístěnou patkou délky asi 0,2-0,3 m (**obr. 3.3**). Patka zajišťuje kolmost latě se stupnicí k líci budovy, a tedy i k záměře, vodorovnost latě se nastavuje podle trubicové nebo krabicové libely a kontroluje se vodorovným vláknem kříže teodolitu. Lat' musí být zabezpečena proti pádu při měření, např. uchycením provazem k opasku pomocníka apod.

3.4.2 Výpočty

Výsledky jsou opět představovány vztažením jednotlivých úrovní k úrovni nejnižší, tj. hodnotou ΔX_i .

3.4.3 Rozbor přesnosti metody promítání před měřením

Přesnost měření je závislá na přesnosti čtení na lati, která je ovlivněna kvalitou a kontrastností dílků stupnice a do značné míry jejím osvětlením a jasným pozadím. Z tohoto hlediska jsou nejneprůzračnější podmínky u horních bodů, měřených proti obloze. Přesnost při těchto podmínkách dosahuje asi 1-3 mm.

Druhým významným zdrojem chyb je úklon točné osy alhidády od svislice, který se u klasických přístrojů nevykládá měřením ve dvou polohách. (Totální stanice musí mít zapnutý dvouosý kompenzátor.) Jeho vliv na vodorovné úhly je dán vzorcem:

$$o_1 = \frac{f}{4n} \sum_{i=1}^{2n} (l_i - p_i) \cot z \quad (\text{mgon; mgon, gon}) \quad (3.12)$$

PŘÍKLAD 3. 4

$f = 6 \text{ mgon}$, $\Sigma(l-p) = +1$ (výběh v druhé poloze o 1/2 dílku), $z = 50 \text{ gon} \rightarrow o_1 = 1,5 \text{ mgon}$, což pro délku záměry 50 m, tj. výšku objektu 35 m (zhruba 8 podlaží) představuje chybu v příčném směru 1,2 mm.

Z příkladu je vidět, že metoda promítání klasickým teodolitem může být i při přesné horizontaci citelně ovlivněna. Značný vliv má přímé oslunění přístroje; při měření je proto nutno užívat slunečník. Ze vzorce (3.12) plyne, že je třeba alhidádovou libelu nejpečlivěji urovnat ve směru kolmém k záměře, tedy k měřené stěně. Měřením lze chybu vyloučit jen novým urovnáním libely v druhé poloze podle odst. 3.2. Podstatně hospodárnější je však pro delší záměry, strmější než $z = 50 \text{ gon}$, propočítat vzorec (3.12) a určit opravu čtení.

Třetím zdrojem chyb je nepřesná poloha latě, tj. její nevodovornost a nekolmost. Každý z těchto vlivů je možno popsat vzorcem

$$o_x = -(x\varepsilon^2)/(2\rho^2) \quad (\text{m; g,m}) \quad (3.13)$$

kde x je čtený úsek na lati, ε je úhel odklonu.

Úsek na lati je podle konstrukce latě max. $x = 0,5 \text{ m}$. Neurovnání při použití hrubé krabicové libely je $\varepsilon = 0,3 \text{ gon}$, takže $o_{x_u} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$, což je hodnota zanedbatelná. Kolmost latě může být ovlivněna i drsností povrchu objektu a zejména jeho odchylkami rovinnosti. Bude-li na délku opěrky 0,5 m odchylka rovinnosti povrchu 0,02 m, je úhel stočení $\varepsilon = 2,5 \text{ gon}$. Užitím vzorce (3.13) dostaneme hodnotu změny čtení latě $o_{x_k} = 0,4 \text{ mm}$.

Výsledné přesnost metody bude klesat směrem k bodům výše položeným. Značný vliv může mít boční refrakce, zejména na stěně osvětlené sluncem, čtení by mělo být alespoň 0,2 m od stěny. Přesnost lze uvažovat hodnotou do 2 mm pro jeden bod čtený ve dvou polohách, tedy 2-3 mm pro střední chybu rozdílu ΔX :

$$m_{\Delta X} = 2-3 \text{ mm.} \quad (3.14)$$

3.5 Metoda optického provažování

3.5.1 Přípravné práce a postup při měření

Pro tuto úlohu se používají speciálně konstruované provažovače, v našich podmínkách

obvykle přístroj Zeiss PZL 100. (Poznámka z roku 2003: Po sjednocení Německa a závodů Zeiss výrobu převzal podnik FPM v saském Freibergu.) Směr provažování je pouze k zenitu (zdola nahoru), urovnání záměrné přímký je kompensátorem s udávanou přesností 1 mm/100 m. Dosah přístroje je ovlivněn poměrem jasu stupnice a pozadí, tj. většinou oblohy, a činí max. 130 m.

Konstrukce speciální latě (cílové značky) má být co nejlehčí a dostatečně pevná. Stupnice je dlouhá asi 0,3-0,5 m. Celková úprava je obdobná lati pro metodu promítání teodolitem - **obr. 3.3**, příložná patka je však svislá a stupnice je na spodní vodorovné ploše latě, libela je na horní části.

Přístroj se horizontuje na stanovisku, voleném pod měřenou svislicí s podrobnými body. Příčná vzdálenost se volí co nejmenší, ale taková, aby bylo možno pohodlně odečítat i v poloze, kdy je okulár přivrácen ke stěně. Větší vzdálenost by vyžadovala použití delších a tedy těžších latí s náročnější obsluhou.

Na lati, přiložené k bodu se čte ve dvou protilehlých polohách pomocí rysky ryskového kříže dalekohledu, urovnávané kompensátorem. Tedy osa okuláru musí být kolmá k měřené stěně objektu. Je urovnána s přesností 0,1- 0,2 mgon, kdežto kolmá ryska pouze s přesností alhidádové libely, tj. 5 mgon. Pro snadnější měření ve II. poloze, kdy je okulár přivrácen ke stěně, je vhodné namontovat lomený okulár z příslušenství teodolitu Zeiss Theo 010B.

3.5.2 Výpočty

Výpočty této metody jsou totožné s předchozím způsobem zaměření teodolitem. Omezují se pouze na výpočet aritmetických průměrů dvojic čtení na jednotlivých bodech a na jejich vztažení k hodnotám, platným pro nejnižší úroveň.

3.5.3 Rozbor přesnosti metody optického provažování před měřením

Výsledná hodnota laťového úseku na každém odděleně měřeném bodě je aritmetickým průměrem čtení obou poloh. Vliv urovnání záměrné přímký do svislice se vylučuje postupem měření. Vliv neurovnání latě do vodorovné (nekolmosti na záměru) je obdobný vlivu u předchozí metody (viz vzorec 3.13), při dané konstrukci je zanedbatelný.

Střední chybu rozdílu 2 čtení (daných vždy jako průměr 2 poloh) na různých bodech je možno zapsat

$$m_{\Delta x} = 1 - 2 \text{ mm} \quad . \quad (3.15)$$

Podle rovnic (3.14) a (3.15) jsou metody promítání teodolitem a optickým provažovačem zhruba stejně přesné. U obou metod mohou být výsledky dále ovlivněny refrakcí a vibracemi vzduchových vrstev, protože záměry probíhají velmi blízko souvislé plochy stěny. V obou případech bude přesnost určení výše položených bodů nižší. U promítání teodolitem se navíc může výrazněji projevit vliv nepřesné horizontace.

Pro délku základny při metodě protínání vpřed $b = 50$ m je její přesnost, daná rovnicí (3.9), také srovnatelné přesnosti. S větší vzdáleností svislic stoupají nároky na přesnost měřené základny, obtíže při volbě základny atd.

3. 6 Rozbor přesnosti metod při měření

Tyto rozborů jsou ve všech případech jednoduché. U metody protínání (odst. 3.3) je třeba posoudit, zda byl dodržen mezní rozdíl dvojího měření délky základny b

$$\Delta_{Mb} = t \cdot m_b \quad , \quad (3.16)$$

kde střední chyba určení základny m_b je dána vzorcem (3.8) a obsahuje již podmínku dvojího měření. Součinitel konfidence $t = 2$. Dodržena musí být přesnost úhlového měření ve smyslu rozboru vzorce (3.9).

U obou zbývajících metod podle 3.4, 3.5 lze testovat jen rozdíl měřické dvojice čtení latě na témže bodě hodnotou

$$\Delta_{Mi} = t \cdot m_{0i} \cdot \sqrt{2} \quad . \quad (3.17)$$

Střední chyba jednoho čtení u metody promítání teodolitem (odst. 3.4) podle textu vedoucího

ke vzorci (3.14) je $m_{0i} = 2 - 3$ mm.

Pro metodu optického provažování (odst. 3.5) platí s přihlédnutím ke vzorci (3.15) hodnota $m_{0i} = 1,0 - 2,0$ mm.

Test podle (3.17) postihuje jen vnitřní přesnost měření, neodhalí např. působení systematických chyb.

3.7 Rozbor přesnosti po měření

Rovnice (3.9), následující úvaha a vztahy (3.14), (3.15) udávají přesnost všech tří metod. Ve cvičení budou současně měřeny 2 z uvedených 3 metod. Vzájemné srovnání je umožněno porovnáním výsledků jednotlivých metod, tj. náklonů, představovaných pro každý bod vztažením ke srovnávací úrovni, tj. hodnotou Δx_i . Tyto hodnoty tvoří rozdíly dvojic $\delta_{\Delta x_i}$ a smí se lišit o mezní hodnotu, vyjádřenou ve stejném délkovém rozměru:

$$\Delta M_{\Delta x_i} = t^*({}^a m_{\Delta x_i}^2 + {}^b m_{\Delta x_i}^2) = t^{*a,b} m_{\Delta x} \quad (3.18)$$

kde index a, b značí zvolené dvě metody, t je součinitel konfidence; $t = 2$.

Jednou z metod bude vždy protínání vpřed (${}^a m_{\Delta x} = 1$ mm) a druhá bude vybrána z metod promítání teodolitem nebo užití provažovače PZL. Vzhledem k podmínkám měření bude u obou těchto metod ${}^b m_{\Delta x} = 2$ mm. Potom

$$\Delta M_{\Delta x_i} = 4,5 \text{ mm} . \quad (3.19)$$

Pro porovnání celého souboru s teoretickými předpoklady se vypočte empirická střední chyba $s_{\Delta i}$ rozdílů $\delta_{\Delta x_i}$:

$$\delta_{\Delta x_i} = {}^a \Delta x_i - {}^b \Delta x_i = \Delta_i ,$$

$$s_{\Delta i} = [(\sum \Delta_i \Delta_i) / n]^{1/2} , \quad (3.20)$$

kde n je počet identických rozdílů souřadnic bodů (náklonů) a porovná se s mezní hodnotou $s_{M_{\Delta x_i}}$

$$s_{M_{\Delta x_i}} = {}^{a,b} m_{\Delta i} * [1 + (2/n)^{1/2}] , \quad (3.21a)$$

kde n je počet dvojic, výraz ${}^{a,b} m_{\Delta i}$ plyne z výrazu (3.18); celý soubor je určen správně platí-li:

$$s_{\Delta i} \leq s_{M_{\Delta x_i}} . \quad (3.21b)$$

3. 8 Přístroje a pomůcky

A. Pro metodu protínání vpřed:

1 Zeiss Theo 010 B

1 záměrný znak s podložkou

2 stativy

1 pásmo

B. Pro metodu protínání teodolitem:

1 Zeiss Theo 010 B

1 záměrný znak s podložkou

2 stativy

1 speciální lať

1 pásmo

C. Pro metodu optického provažování:

1 Zeiss PZL 100

1 stativ

1 speciální lať

1 pásmo

Pro všechny metody navíc drobné pomůcky, bezpečnostní přilby a pásy.

3. 9 Sestavení výsledků

Zjištěné hodnoty náklonů v jednotlivých metodách se vyznačí do jednoduché tabulky, kde se porovnají. Viz PŘÍLOHA XV.

Graficky je vhodné posuny znázornit obdobně jako v úloze Určení výšky a přetvoření továrního komína, obr. 2.6. V podstatě jde o vynášení výšek, známých z dokumentace, ve vhodném měřítku 1:100, 1:200 a posunů v měřítkách 10:1, 2:1, 1:1, 1:2, 1:5 apod. podle jejich velikosti - viz PŘÍLOHA XVI.

PŘÍLOHA XV

Tabulka a hodnocení posunů bodů fasády objektu CD

Bod ozn.	Relativní výška h (m)	Úroveň srovnávací	Posun x_i (mm) (vztaženo k rel. výšce 3,3 m)		Rozdíl (mm)	
			protínáním	PZL	dvojitě $\delta_{\Delta x_i}$	$\Delta M_{\Delta x_i}$
1	3,3	0,0	0,0	0,0		
2	6,9	3,6	+1,5	+2,5	-1,0	
3	12,3	9,0	-2,0	-1,0	+1,0	
4	22,0	18,7	-4,5	-7,0	+2,5	4,5
5	28,6	25,3	-1,0	+2,0	-3,0	
6	38,1	34,8	+5,0	+4,5	+0,5	

Hodnocení souboru:

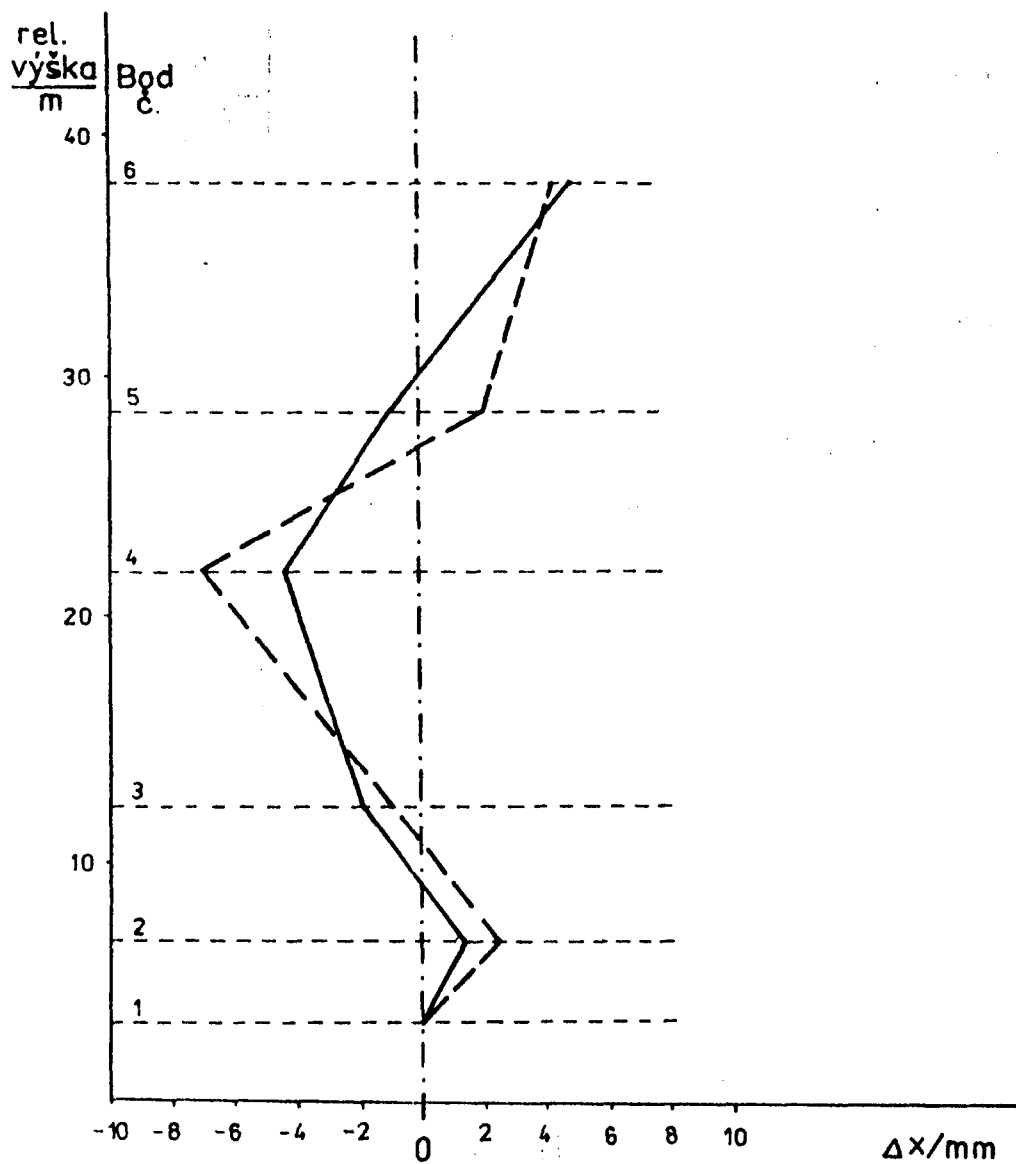
$$s_{\Delta i} = 1,82 \text{ mm} \quad (3.20)$$

$${}^{a,b}m_{\Delta i} = 2,25 \text{ mm} \quad (3.18)$$

$$s_{M_{\Delta x_i}} = 2,25 [1 + (2/4)^{1/2}] = 3,84 \text{ mm} \quad (3.21a)$$

Datum: 19.9.1984

Zpracoval: ...

Znázornění posunů bodů fasády objektu *CD*

Legenda: protínání plná čára, PZL čárkovaná.

Měřítko výšek 1:250
posunů 10:1

Datum: 20.9.1984

Zpracoval: . . .