

nivelačnom prístroji hlavnú osovú podmienku vyjadrujeme požiadavkou, aby zámerný lúč po prechode kompenzátorom bol v horizontálnej polohe.

Ďalšie dve osové podmienky označuje ako vedľajšie osové podmienky a vyjadrujeme ich:

2. $V \perp L'$ vertikálna os má byť kolmá k osi pomocnej alidádovej libely.

3. $V \perp H$ vertikálna os má byť kolmá na horizontálnu os, ktorú predstavuje vodorovná ryska zámerného kríža.

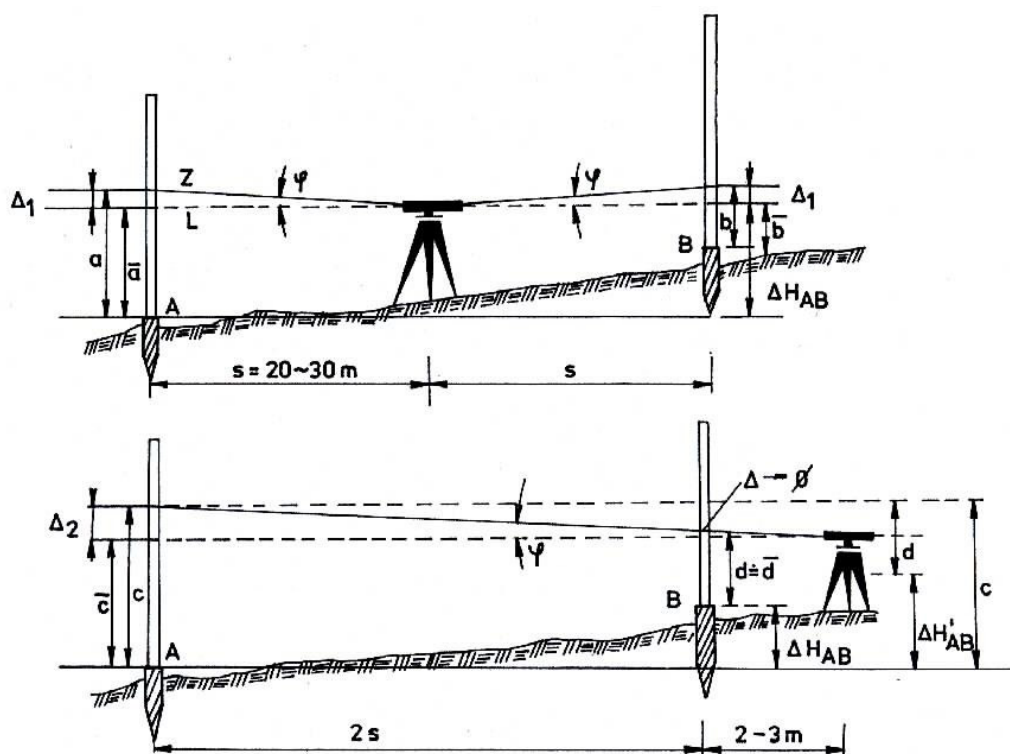
Skúška a rektifikácia hlavnej osovej podmienky nivelačného prístroja

Skúšku hlavnej osovej podmienky nivelačného prístroja sa odporúča periodicky opakovať. Je to nutne hlavne v prípadoch, ak pracujeme v dynamicky aktívnom prostredí, ako napr. na železničnom telese, na cestách s hustou automobilovou dopravou atď. Otrasy môžu vyvolať malé zmeny jednotlivých súčastí prístroja a porušiť geometrickú závislosť osových podmienok. Okrem toho je správne preskúšavať prístroj aj po dlhších transportoch. Podľa výsledkov skúšky pristupujeme k rektifikácii osovej podmienky nivelačného prístroja. Môžeme ju vykonať dvoma spôsobmi:

- úpravou polohy nivelačnej libely. Tento spôsob rektifikácie uplatňujeme u prístrojov s nivelačnou libelou,
- posunom zámerného kríža vo vertikálnom smere, čo využívame pri rektifikácii kompenzátorových nivelačných prístrojov.

Na rektifikáciu osovej podmienky $L \parallel Z$ používame dve metódy podľa schémy merania $A \times B \times$ a $A \times x B$, kde x znamená postavenie nivelačného prístroja v nivelačnej zostave.

Zostava $A \times B \times$ sa aplikuje najčastejšie u optických nivelačných prístrojov. Prvé postavenie nivelačného prístroja je v strede medzi latami ($A \times B$), druhé postavenie nivelačného prístroja je v blízkosti laty B ($A \times B \times$).



Obr. 7.41. Skúška osovej podmienky $L \parallel Z$ nivelačného prístroja

V pevnom rovinatom teréne si zastabilizujeme (napr. nivelačnou podložkou) body A a B , vzdialené od seba na $2s = 40$ až 60 m (obr. 7.41). Na bodoch postavíme nivelačné laty. Vzdialenosť rozdelíme, do stredu postavíme nivelačný prístroj a zhorizontujeme ho pomocou kruhovej libely. Zacieme na bod A a urovnáme nivelačnú libelu. Ak nie je splnená osová podmienka $L \parallel Z$, namiesto čítania a s vodorovnou zámerou L čítame údaj a podľa sklonenej zámernej pod uhlom φ . Podobne po urovnaní nivelačnej libely čítame aj na lati B údaj b . Chyba zo sklonu zámernej osi sa prejaví rovnakou odchýlkou Δ_1 . Prevýšenie ΔH_{AB} určíme z rovnice:

$$\Delta H_{AB} = a - b = (\bar{a} + \Delta_1) - (\bar{b} + \Delta_1) = \bar{a} - \bar{b}. \quad (7.30)$$

Z rovnice (7.30) vidíme, že aj keď nie je splnená osová podmienka $L \parallel Z$ a prístroj umiestnime do stredu medzi merané body, určíme správne prevýšenie. Podľa takéhoto postupu merania, ako už bolo uvedené, aj jedna z nivelačných metód má názov – geometrická nivelácia zo stredu.

Vlastné vyšetrenie polohy osi L a Z dostaneme po prestavení prístroja za jednu z nivelačných lát (obr. 7.41 dole). Prístroj umiestňujeme k lati čo možno najbližšie, napr. 2 až 3 m. Po urovnaní nivelačnej libely čítame na vzdialenejšej lati údaj c a na bližšej lati údaj d . Pri skúške vychádzame z predpokladu, že uhol $\varphi \rightarrow 0$ a potom aj $d = \bar{d}$. Vlastnú skúšku uskutočníme porovnaním vypočítaného latového úseku s vodorovnou zámerou \bar{c} a odmeraného latového úseku c :

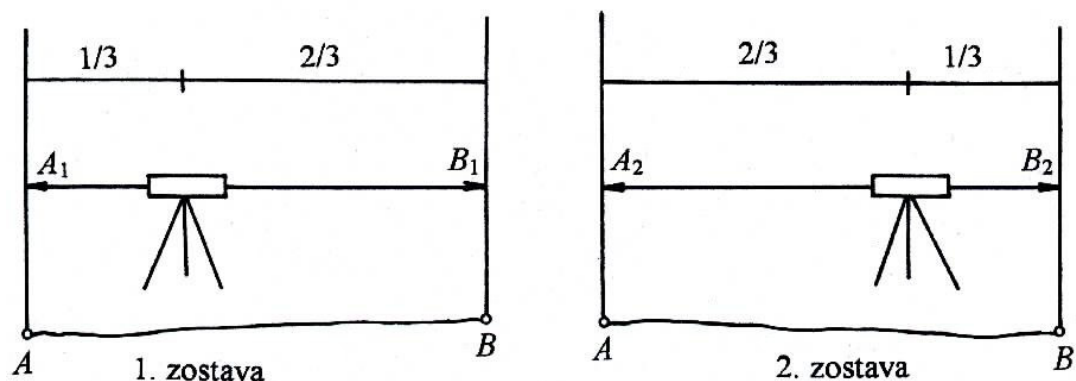
$$\bar{c} = \Delta H_{AB} + d. \quad (7.31)$$

Ak $|c - \bar{c}| = \Delta_2 \geq 3$ mm, prístroj určený pre TN nespĺňa osovú podmienku $L \parallel Z$ a je potrebné ho rektifikovať.

Prístroja s nivelačnou libelou rektifikujeme tak, že elevačnou skrutkou nastavíme na vzdialenejšej lati čítanie \bar{c} a odchýlku nivelačnej libely od strednej polohy odstránime rektifikačnými skrutkami.

Nevodorovnú polohu zámerného lúča u kompenzátorového nivelačného prístroja rektifikujeme posunom zámerného kríža vo vertikálnom smere z polohy latového úseku c do polohy \bar{c} . Účinnosť rektifikácie sa odporúča preskúšať opätovným premeraním latových úsekov c a d .

Zostava **A x x B** (obr. 7.42) na rektifikáciu nivelačných prístrojov sa odporúča pri elektronických nivelačných prístrojoch. Zistená odchýlka zámernej osi od vodorovnej úrovne sa ukladá v pamäti prístroja ako prístrojová konštanta. V prípade veľkej odchýlky je hlásená chyba (u prístroja NA 2002/3003 Leica Error 05). Rektifikácia chyby v takej veľkosti sa vykoná posunom vodorovného vlákna zámerného kríža na správne čítanie.



Obr. 7.42. Skúška osovej podmienky $L \parallel Z$ v zostave **A x x B**

Vzdialenosť lát v nivelačnej zostave volíme v rozsahu 45 až 60 m. Stanoviská nivelačného prístroja sú v tretinách vzdialenosti s_{AB} (obr. 7.42 Poradie čítania na lákach je z 1. stanoviska merania

A_1 , B_1 a z 2. stanoviska merania B_2 , A_2 . Uhol sklonu $\Delta\alpha$ kolimačnej osi vo vzťahu k predchádzajúcej polohe kolimačnej osi vypočítame z rovnice

$$\Delta\alpha = \arctg \frac{A_1 - B_1 + B_2 - A_2}{d_1 - d_2 + d_3 - d_4}, \quad (5.19)$$

kde, $d_1 = \frac{1}{3}s_{AB}$, $d_2 = \frac{2}{3}s_{AB}$, $d_3 = \frac{2}{3}s_{AB}$, $d_4 = \frac{1}{3}s_{AB}$.

Po meraní v zostava **A x x B**, kontrolu osovej podmienky $L \parallel Z$ u elektronického nivelačného prístroja začíname vyvolaním aktuálnej hodnoty vertikálnej kolimačnej chyby α' na displeji. Po výpočte $\Delta\alpha$ vypočítame celkovú (novú) kolimačnú chybu $\alpha = \alpha' + \Delta\alpha$. Ak potvrdíme jej hodnotu, zmení sa predchádzajúca kolimačná chyba α' na α . Ak ju neuplatníme zostáva pôvodná kolimačná chyba α' .

V prípade že budeme kombinovať elektronickú niveláciu s optickou niveláciou, vertikálnu kolimačnú chybu rektifikujeme posunom zámerného kríža na vyžadované čítanie na lati A_2 .

Príklad 7.1:

Vzdialenosť medzi latami v nivelačnej zostave bola $s_{AB} = 45$ m. Aktuálna vertikálna kolimačná chyba bola $\alpha' = 10.8''$. Čítania na latách sú

$A_1 = 1.7775$ m	$B_2 = 1.6859$	$d_1 = 15$ m	$d_2 = 30$ m
$B_1 = 1.6246$ m	$A_2 = 1.8392$	$d_3 = 30$ m	$d_4 = 15$ m

$A_1 - B_1 = 0.1529$ m $B_2 - A_2 = -0.1533$

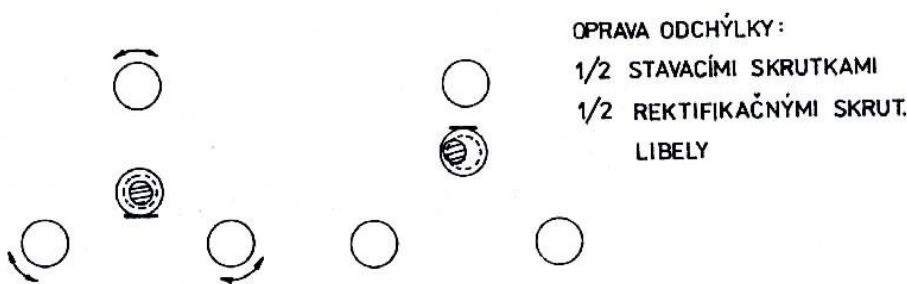
$$\Delta\alpha = \arctg \frac{A_1 - B_1 + B_2 - A_2}{d_1 - d_2 + d_3 - d_4} = \arctg \frac{-0.0004 \text{ m}}{-30 \text{ m}} = 8.5''.$$

Nová hodnota vertikálnej kolimačnej chyby je

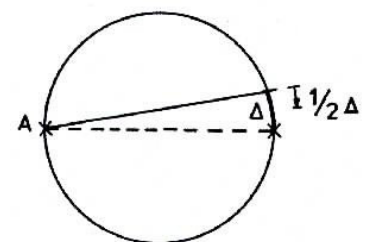
$$\alpha = \alpha' + \Delta\alpha = 10.8'' + 8.5'' = 19.3''$$

Vyžadované čítanie na late A_2 je $1.8392 + 30 \text{ m} \cdot 8.5''/\rho'' = 1.8392 + 0.0004 = 1.8396$ m.

Vertikálna kolimačná chyba $\alpha = 3''$ spôsobuje chybu v meraní 0.1 mm/20 m.



Obr. 7.43. Rektifikácia kruhovej libely ($V \perp L$)



Obr. 7.44. Rektifikácia podmienky $V \perp H$

Skúška osovej podmienky $V \perp L'$

Vykonáme ju podľa postupu skúšky osovej podmienky $V \perp L$ u teodolitu pomocou nivelačnej libely (kap. 4.41). Môžeme ju preskúšať aj tak, že urovnáme kruhovú libelu a otočíme prístrojom o 200° (obr. 7.43). Zistená výchylka zodpovedá dvojnásobnej chybe kruhovej libely. Polovicu chyby odstránime stavacími skrutkami a druhú polovicu rektifikačnými skrutkami libely.

Skúška osovej podmienky $V \perp H$

Osovú podmienku $V \perp H$ preskúšame tak, že jedným okrajom zámerného kríža zacielieme na ostro zobrazený bod a jemnou pohybovkou otáčame ďalekohľadom okolo vertikálnej osi. Ak vodorovná ryska zámerného kríža na druhom okraji nekryje zvolený bod, zámerným krížom je potrebné pootočiť o polovicu zistenej odchýlky (obr. 7.44).

Pri skúškach nivelačného prístroja, ako aj pri akýchkoľvek meraniach nivelačným prístrojom dbáme na to, aby sme mali bezchybne odstránenú paralaxu horizontálnej rysky zámerného kríža.

7.3.4 Geometrická nivelácia zo stredu

Určenie prevýšenia medzi dvoma bodmi, ako sme si to ukázali na princípe nivelácie na obr. 7.19, je obmedzené veľkosťou prevýšenia a vzdialenosťou medzi bodmi. Preto si vysvetlíme jednotlivé meračské úkony pri geometrickej nivelácii zo stredu v nivelačnej zostave a v častiach nivelačnej siete: nivelačnom oddieli, úseku a nivelačnom polygóne. Technológia merania sa pritom riadi vyžadovanou presnosťou merania.

7.3.4.1 Postup merania v nivelačnej zostave

Nivelačnou zostavou určujeme prevýšenie medzi dvoma bodmi, napr. bodom A a B z jedného postavenia nivelačného prístroja. Prístroj postavíme do stredu medzi body A a B a zhorizontujeme ho podľa kruhovej libely. Zacielieme na latu postavenú na zadnom bode A , urovnáme nivelačnú libelu (ak pracujeme s prístrojom, ktorý má nivelačnú libelu) a čítame zámeru nazad z (obr. 7.19). Podobne na lati postavenej na bode B čítame zámeru napred p . Keď poznáme nadmorskú výšku bodu A , výšku bodu B vypočítame tak, že určíme výšku horizontu prístroja H_p :

$$H_p = H_A + z, \quad (7.33)$$

od ktorého odvodíme výšku bodu B :

$$H_B = H_p - p. \quad (7.34)$$

Pri technických nivelačných prácach prístroj stavíme do stredu s presnosťou prekrokovanej vzdialenosti s_{AB} . Pri presných nivelačných prácach (PN a VPN) sa vyžaduje presnosť postavenia prístroja do stredu na $\pm 0,5$ m.

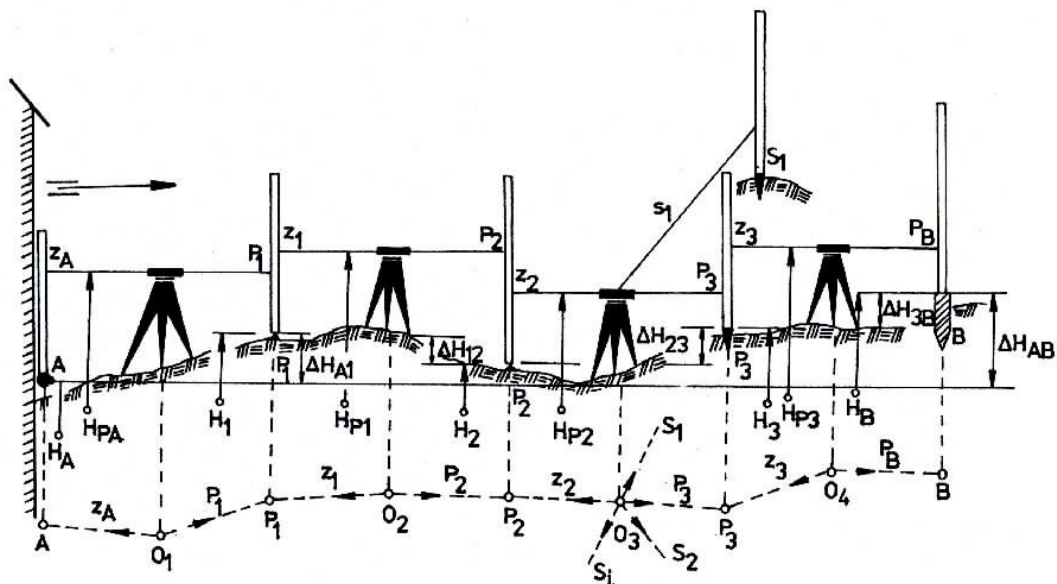
S ohľadom na zakrivenie Zeme a zväčšenie ďalekohľadu nivelačného prístroja nemôžeme neobmedzene zväčšovať dĺžky zámier. Na lati s centimetrovým delením, pri 22-násobnom zväčšení ďalekohľadu milimetre môžeme čítať na vzdialenosť $s = 80$ m, pri 32-násobnom zväčšení $s = 120$ m a 40-násobnom zväčšení $s = 150$ m. Pre technické nivelačné práce sa odporúča voliť stredné dĺžky zámier do 50 až 70 m, najviac 120 m. Ak vzdialenosť bodov, medzi ktorými máme určiť prevýšenie prekračuje dvojnásobok tejto vzdialenosti (100 až 140 m), alebo je členité územie, musíme prístroj a latu prestaviť viackrát.

7.3.4.2 Meranie v nivelačnom oddieli

Nivelačný oddiel tvoria dva susedné výškovo určené body A a B (znalosť výšky bodu B nie je podmienkou) a séria nivelačných zostáv. Nivelačné zostavy zaraďujeme za sebou tak, aby sme podľa konfigurácie terénu čo možno najkratšou cestou preklenuli vzdialenosť medzi bodmi A a B a súčasne určili výšky všetkých podrobných bodov (body $P_3, S_1, S_2, \dots, S_i$ na obr. 7.45).

Pri meraní v nivelačnom oddieli postupujeme podľa obr. 7.53. Nivelačný prístroj postavíme do vhodnej vzdialenosti od bodu A a určíme čítanie nazad z_A po úkonoch: zhorizontácia prístroja, zacielenie na latu, urovanie nivelačnej libely. Latu preniesieme na bod P_1 stabilizovaný nivelačnou podložkou, ktorý je rovnako vzdialený od prístroja, ako bod A . Na bode P_1 určíme čítanie napred p_1 .

Nivelačný prístroj potom preniesieme v smere merania nivelačného oddielu na ďalšie vhodné stanovisko O_2 , zatiaľ čo nivelačná lata na bode P_1 sa len otočí okolo svojej vertikálnej osi smerom na prístroj. Po zhorizontovaní prístroja a urovnení nivelačnej libely určíme čítania z_1 na bode P_1 a p_2 na bode P_2 a takto postupujeme až do bodu B . Body P_1, P_2, \dots, P_i , na ktoré kladíme nivelačnú latu nazývame prestavové body. Stabilizované body (bod P_3 na obr. 7.45 účelne využívame ako prestavový bod meračskej laty. Zrýchlenie merania docielime používaním dvoch nivelačných lát.



Obr. 7.45. Nivelačný oddiel

Výšku bodu B určíme tak, že k výške bodu A pripočítame súčet všetkých prevýšení v jednotlivých nivelačných zostavách. Súčet prevýšení určíme z rovníc:

$$\Delta H_{A1} = z_A - p_1,$$

$$\Delta H_{12} = z_1 - p_2,$$

$$\Delta H_{23} = z_2 - p_3,$$

$$\Delta H_{3B} = z_3 - p_B,$$

$$\sum \Delta H = \sum z - \sum p. \quad (7.35)$$

Výšku bodu B určíme potom z rovnice:

$$H_B = H_A + \sum \Delta H = H_A + \sum z - \sum p. \quad (7.36)$$

Určené čítanie nazad a napred zapisujeme do nivelačného zápisníka v m. Každé čítanie je vhodné zapísať do samostatného riadku (tab. 7.4). V zápisníku neoznačujeme stanoviská, ani prestavové body. V našom prípade sme si ich uviedli kvôli sledovaniu postupu merania podľa obr. 7.45.

Na stanovisku O_3 sme merali na body S_1, S_2, \dots, S_i . Zámery na tieto body sú tzv. zámery stranou. Meranie a zapisovanie zámier stranou do zápisníka organizujeme tak, že ich vkladáme medzi zámeru nazad a napred, teda: $z_2, s_1, s_2, \dots, s_i$ a p_3 .

Výpočet nivelačného zápisníka vykonáme postupne podľa rovníc (7.33) a (7.34). Výšky bodov odmeraných stranou odvodíme od výšky toho horizontu stanoviska, z ktorého sa merali. V zápisníku nemusíme počítať výšky prestavových bodov, ktoré sme mali stabilizované nivelačnou podložkou (body P_1 a P_2), pretože zrušením stabilizácie podložkou nevyužijeme ich určené výšky. Ak nepoznáme výšku bodu B , postup merania, ktorý sme si naznačili, neposkytuje nám kontrolu správnosti merania. Kontrolu merania nám poskytne meranie v oboch smeroch, tzv. obojsmerná

nivelácia. Z bodu *A* vykonáme meranie do bodu *B* (meranie TAM), z ktorého sa opäť vrátíme do bodu *A* (meranie SPÄŤ) – obr. 7.46.

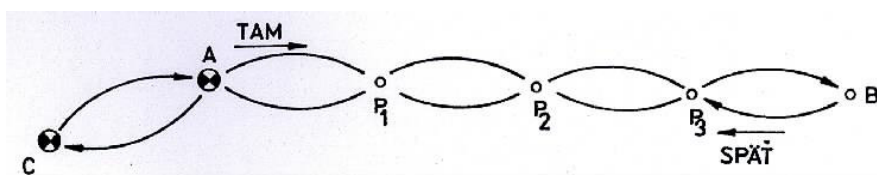
Zápisník na technickú a plošnú niveláciu

Tab. 7-4

Číslo bodu		Čítanie na late			Nadmorská výška horizontu prístroja	Nadmorská výška bodu		Poznámka
v tahu	stranou	vzd	vpred	stranou		v tahu	určeného stranou	
0 ₁	• A	1,635			326,472	324,835		
	P ₁		1,884			324,588		
0 ₂	P ₁	0,665			325,254			
	P ₂		1,403			323,851		
0 ₃	S ₁	1,588			325,440			
	S ₂			1,642			323,798	
	S ₃			0,388			325,052	
				2,004			323,436	
	P ₃		0,890			324,550		
0 ₄	P ₃	1,244			325,795			
	B		2,010			323,785		
	B	1,946			325,732			
	P ₃		1,180			324,552		
	P ₃	1,496						
			1,592					
		0,668						
			0,441					
		2,072						
	• A		1,925			324,835		
	[-]	11,314	11,325					
			R = 0,8 km					
			ξ = -11 mm					
			ξ _{max} = 20√R ≈ 18 mm					

Geodézia č. 3.39-1981

Vytlačila Slovenská kartografia, n.p. Bratislava



Obr. 7.46. Obojsmerná nivelácia

Meraním obojsmernou niveláciou, alebo niveláciou v uzavretom obraze, vypočítame rozdiel v meranom prevýšení ρ :

$$\rho = \sum z - \sum p, \quad (7.37)$$

ktorý porovnáme s krajnou odchýlkou pre príslušný druh nivelačných prác v nivelačnej sieti (kap. 7.37).

Ak platí $|\rho| < \rho_{\max}$, vyrovnáme nivelačné meranie tak, že rozdiel ρ rovnomerne rozdelíme na zámery nazad a až potom vypočítame nivelačný zápisník (tab. 7.4).

Ďalej si stručne zhrnieme postup merania technickou niveláciou. Pri meraní používame nivelačné laty s centimetrovým delením a stavebné resp. technické nivelačné prístroje. Prestavové body, pokiaľ nepredstavujú stabilizované podrobné body, stabilizujeme nivelačnou podložkou. Postavenie prístroja do stredu medzi laty postačí určiť s presnosťou krokovania. Maximálna dĺžka zámery sa riadi

zväčšením ďalekohľadu nivelačného prístroja a nemá presiahnuť 120 m. Laty vo zvislej polohe držíme manuálne a latový údaj čítame na milimetre. U libelových nivelačných prístrojov pred každým čítaním urovnáme nivelačnú libelu. Každý oddiel sa meria:

- raz, ak sú dané výšky bodov A a B a ak sa vyžaduje presnosť v uzávere nivelačného polygónu $40\sqrt{R}$, kde R je dĺžka nivelačného polygónu v km,
- vždy dvakrát pri voľných polygónoch (tam a späť),
- vždy dvakrát, ak sa vyžaduje presnosť v uzávere nivelačného polygónu $20\sqrt{R}$ (mm).

7.3.4.3 Meranie v nivelačnom úseku a nivelačnom polygóne

Zhust'ovanie nivelačnej siete vykonávame nivelačnými polygónmi, ktoré sa skladajú z nivelačných úsekov a nivelačné úseky vytvárajú za sebou nasledujúce nivelačné oddiely. Postup merania v nivelačnom polygóne organizujeme podľa toho, či ide o pripojený alebo vložný (votknutý), resp. uzavretý nivelačný polygón (obr. 7.10 a 7.11). V každom druhu nivelačného polygónu meranie obojsmernou niveláciou spresňuje určenie výškovej siete, pretože každé prevýšenie určujeme dvakrát a môžeme tiež samostatne určiť jeho presnosť.

Pred výpočtami v nivelačnej sieti overujeme pripojenie merania na výškové body. Kontrolujeme tým výškovú stabilitu nivelačnej siete a vylučujeme eventuálne hrubé chyby z priradenia nesprávnej výšky pripojovaciemu výškovému bodu. Postačujúcou kontrolou je porovnanie prevýšenia medzi východiskovým bodom A a najbližším výškovo určeným bodom (bod C na obr. 7.46), pričom rozdiel nesmie prekročiť kritérium uvedené v tabuľke 7.8 pre príslušný rád nivelačnej siete.

Zhustenie výškového bodového poľa vykonávame spravidla presnou niveláciou. Používame pritom inžinierske a presné nivelačné prístroje, vybavené mikrometrom a nivelačné laty s invarovou stupnicou. Prístroj umiestňujeme do stredu medzi laty s presnosťou 0,5 m. Prestavy stabilizujeme klinmi resp. podložkami s dlhšími zapichovacími hrotmi. Laty vo zvislej polohe stabilizujeme zvlášť na tento účel vyhotovenými opornými tyčami. Pri meraní na priamom slnku prístroj chránime slnečníkom a zámery volíme tak, aby neprechádzali nad terénom nižšie ako 0,5 m. Maximálna dĺžka zámier by nemala presahovať 30 m. Výsledky presnej nivelácie zapisujeme do osobitných tlačív.

7.3.5 Rozbor presnosti nivelačných prác

Meranie je odhadom neznámej veličiny. Rozdiely medzi skutočnou nepoznanou hodnotou meranej veličiny a jej odhadom meraním, ako u všetkých geodetických meraní, tak aj u nivelácie, spôsobujú hrubé, systematické a náhodné chyby. Hrubé chyby z výsledkov merania vylučujeme opakovaným meraním. Systematické chyby jednostranne zaťažujú výsledok merania, vylučujeme ich vhodnou metódou merania a počtársky. Do vyrovnania zaraďujeme len tie merania, ktoré sú ovplyvnené len náhodnými chybami.

Hrubé chyby pri nivelácii vznikajú neurovnaním nivelačnej libely pred čítaním, pomýlením smeru číslovania na stupnici laty, čítaním na lati podľa diaľkomernej rysky atď. Vo všeobecnosti sú to chyby, ktoré vyplývajú z malých meračských skúseností.

Pri rozbere presnosti nivelácie nebude sa zaoberať chybami, ktoré vznikajú z nepozornosti pri meraní, ako napr. nesprávne zaostrenie ďalekohľadu na latu, neodstránanie paralaxy zámerného kríža, nedbalé urovanie nivelačnej libely pred čítaním na lati atď.

7.3.5.1 Systematické chyby nivelácie

Medzi systematické chyby nivelácie patrí:

- chyba zo sklonu zámernej priamky,
- chyba zo zakrivenia Zeme a refrakcie,
- chyba z nezávislej polohy laty,
- chyba z nesprávnej dĺžky latového metra,
- chyba zo zmeny výšky prístroja a laty v priebehu merania.

1. Chybu zo sklonu zámernej osi u libelových nivelačných prístrojov spôsobuje nepresná rektifikácia hlavnej osovej podmienky $L \parallel Z$, u kompenzátorových nivelačných prístrojov zámerný lúč po prechode kompenzátorom nie je vo vodorovnej polohe a s horizontálou zvierá uhol φ (obr. 7.41). Ako sme si to dokázali rovnicou (7.30), chybu vylučujeme niveláciou zo stredu. Pri meraní zámerami stranou (napr. pri meraní profilov), každé čítanie na lati je zaťažené chybou Δ_1 podľa rovnice:

$$\Delta_1 = s_1 \frac{\varphi^{cc}}{\rho^{cc}} . \quad (7.38)$$

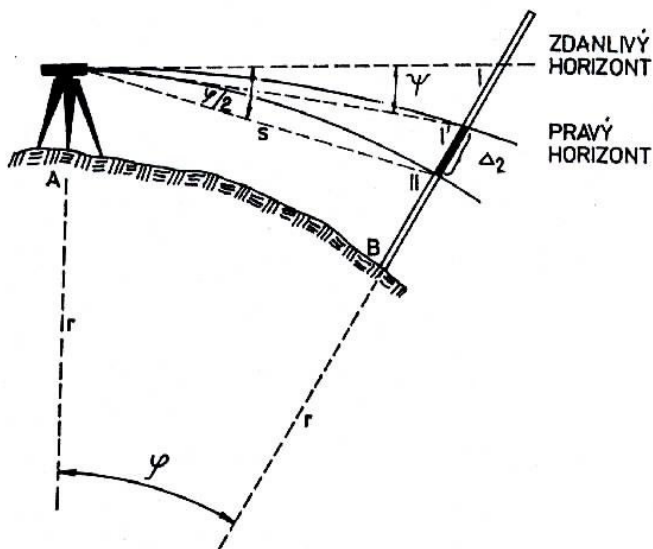
Okrem toho, chybou Δ_1 je zaťažené čítanie nazad, ktorým určujeme výšku horizontu prístroja H_p . Výška bodu určená zámerou stranou bude potom ovplyvnená úmernou chybou rozdielu dĺžok zámier:

$$\delta\Delta_H = (s - s_1) \frac{\varphi^{cc}}{\rho^{cc}} = \Delta s \frac{\varphi^{cc}}{\rho^{cc}} . \quad (7.39)$$

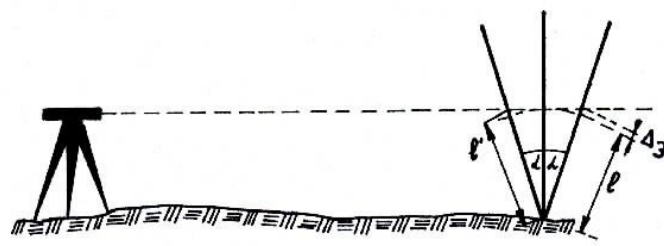
Preto pri meraní profilov musíme pracovať s nivelačným prístrojom, ktorý spĺňa osovú podmienku $L \parallel Z$.

2. Chyba zo zakrivenia Zeme a refrakcie. Spoločný účinok chyby zo zakrivenia Zeme (z rozdielu medzi zdánlivým a skutočným horizontom) a z refrakcie (obr. 7.47) teoreticky vylúčime ako v prípade predchádzajúcej chyby, niveláciou zo stredu. Pri prácach náročných na presnosť merania je ešte potrebné doplniť požiadavku, aby zámery neprechádzali príliš tesne nad terénom (nemajú klesnúť pod 0,5 m) a podľa možnosti prechádzali tou istou vzduchovou vrstvou. Na zámeru stranou vplýva chyba hodnotou Δ_2 :

$$\Delta_2 = \frac{1-k}{2r} s^2 . \quad (7.40)$$



Obr. 7.47. Účinok chyby zo zakrivenia Zeme a refrakcie pri nivelácii



Obr. 7.48. Chyba z nezvislej polohy laty

Účinok chyby na prevýšenie odmerané zámerou stranou pri TN považujeme za zanedbateľný, pretože podľa tab. 7.1 pri zámere $s = 50$ m je $\Delta_2 = 0,2$ mm a $s = 100$ m je $\Delta_2 = 0,8$ mm.

3. Chyba z nezvislej polohy laty predstavuje jednostrannú kladnú systematickú chybu náhodnej veľkosti, t.j. na nezvisle postavenej lati v smere zámernej roviny odmeriame vždy väčší latový úsek (obr. 7.48). Chyba sa výrazne prejavuje hlavne pri meraní na hornej časti laty. Chybu odstraňujeme tak, že pomocník na pokyn merača mierne pokýve latou v smere zámernej roviny a čítame najmenšiu hodnotu. Chybu vyjadrujeme rovnicou:

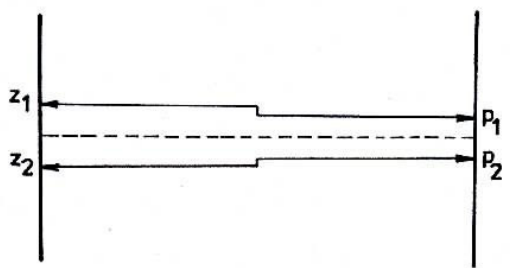
$$\Delta_3 = l' - l = l' - l' \cos \alpha = 2l' \sin^2 \frac{\alpha}{2} . \quad (7.41)$$

Chyba môže nadobudnúť neprípustnú veľkosť, ak bude lata nedbalo postavená napr. pri $\alpha = 3^\circ$ a $l = 3,5$ m je $\Delta_3 = 3,9$ mm.

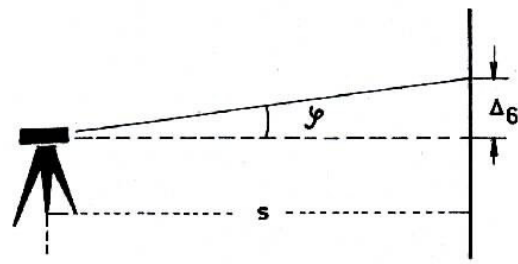
Preto vždy vyžadujeme zvislé postavenie laty podľa rektifikovanej kruhovej libely.

4. Chyba z nesprávnej dĺžky latového metra vzniká zmenami dĺžky laty účinkami teploty a vlhkosti vzduchu. S veľkosťou chyby sa zaoberáme u invarových lát a to v prípadoch presných meraní realizovaných v členitom teréne, keď sa striedajú zámery na rôznych miestach latovej stupnice. Z tohoto dôvodu sa dĺžka latového metra preskúšava hlavne u invarových nivelačných lát osobitným komparátorom pre nivelačné laty.

5. Chyba zo zmeny výšky prístroja a laty v priebehu merania vzniká tým, že nohy stojanu váhou prístroja sa zatláčajú do pôdy, takže prístroj postupne mení výšku horizontu. S takouto chybou sa stretávame hlavne v zime, kedy nohy stojanu roztápajú zmrznutý podklad a postupne zapadávajú. Podobný jav môže nastať aj pri zapadávaní laty pri nesprávne zatlačenej podložke do pôdy. Teoretický priebeh chyby znázorňuje obr. 7.49. Chybu z výsledkov merania odstraňujeme dvojicami zámier, napr. v poradí: z_1, p_1, p_2, z_2 . Horizont prístroja a správny latový úsek vytvoríme priemerom oboch čítaní podľa obr. 7.49.



Obr. 7.49. Účinok zmeny výšky prístroja a laty na čítanie libely



Obr. 7.50. Chyba z neistoty v urovnaní

7.3.5.2 Náhodné chyby nivelácie

Medzi náhodné chyby nivelácie zaradujeme:

1. chybu z neistoty urovnania nivelačnej libely a citlivosti kompenzátora,
2. chybu z čítania na latovej stupnici.

1. Chyba z neistoty urovnania nivelačnej libely a citlivosti kompenzátora. Skúsený merač urovná bublinu nivelačnej libely s presnosťou asi 0,2 dielika libely. Pri koincidenčnom spôsobe urovnania nivelačnej libely môžeme túto presnosť zvýšiť dvojnásobne, tzn. na hodnotu, ktorá zodpovedá asi 0,1 dielika libely. Ak citlivosť libely je napr. $60''$, dá sa predpokladať, že takúto koincidenčnú libelu urovnáme s presnosťou $6''$. Vo vzdialenosti s laty od prístroja (obr. 7.50) vyvolá odchýlku φ od vodorovnej zámery chybu

$$\Delta_6 = s \frac{\varphi^{cc}}{\rho^{cc}} . \quad (7.42)$$

Pre $s = 50 \text{ m}$ a $\varphi = 6''$ bude $\Delta_6 = 0,5 \text{ mm}$.

Citlivosť kompenzátorových nivelačných prístrojov je rádovo vyššia ako schopnosť urovnania nivelačnej libely. U týchto prístrojov sa však stretávame so zlyhávaním kompenzátora. Tento nedostatok vyriešila firma Wild u svojich kompenzátorových prístrojov tak, že prístroje vybavila tlačítkom na kontrolu funkcie kompenzátora.

Libelový nivelačný prístroj chránime pred priamym slnečným svetlom slnečníkom. Prehriatím nivelačnej libely sa zvyšuje jej citlivosť natoľko, že ju prakticky nemôžeme urovnať a nemáme istotu, či sme čítanie urobili pri optimálnej polohe jej urovnania.

2. Chyba z čítania na latovej stupnici. Neistota v určení polohy vodorovnej rysky na lati závisí od dĺžky zámery, konštrukcie latovej stupnice a atmosferických podmienok v ovzduší (chvenie vzduchu, hmla a pod.). Aby sme na centimetrovej latovej stupnici pri ďalekohľadoch s 20 až 30-násobnom zväčšení docielili presnosť čítania 1-2 mm, sa odporúča obmedzovať dĺžky zámier pri TN na 50 až 70 m, u skúsených meračov do 120 m. V letných mesiacoch počas slnečných dní nastáva silné chvenie vzduchu. V zornom poli obraz latovej stupnice je v pohybe a nevieme presne čítať. Vyžadovaný presnosť merania za takýchto podmienok môžeme doceliť skrátením dĺžky zámier.

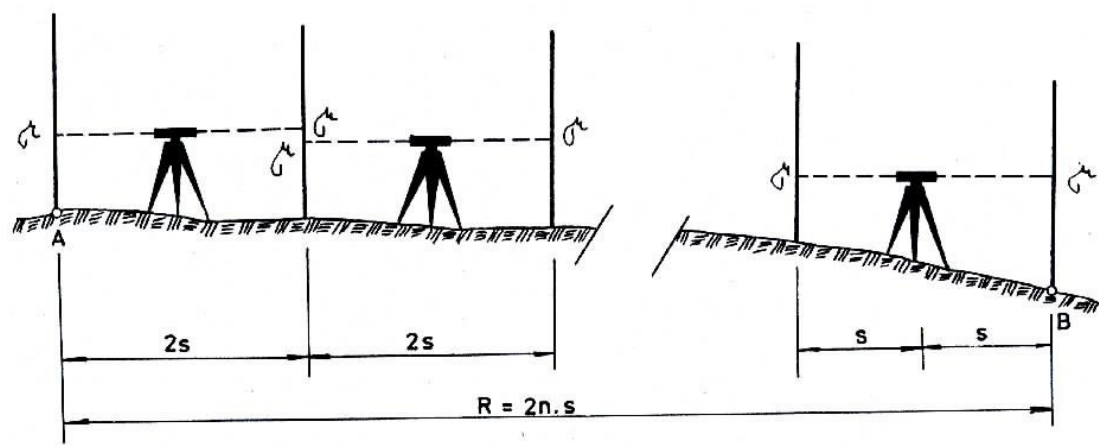
7.3.6 Rozbor presnosti geometrickej nivelácie zo stredy

Pôsobenie náhodných chýb sa prejaví v každom určení latového úseku celkovou chybou μ , ktorá je úmerná dĺžke zámeru s (obr. 7.51):

$$\mu = k s . \quad (7.43)$$

V rovnici (7.43) k je koeficient úmernosti, ktorý závisí od použitého prístroja a pomôcok, technológie merania a meračských podmienok (osvetlenie, atmosferické podmienky a pod.). V nivelačnom oddieli o dĺžke R máme n -krát postavený prístroj a vykonáme $2n$ čítaní. Dĺžku nivelačného oddieli môžeme vyjadriť rovnicou:

$$R = 2n s . \quad (7.44)$$



Obr. 7.51. Rozbor presnosti v nivelačnom oddieli

Podľa zákona hromadenia stredných chýb, určíme strednú chybu výškového rozdielu v raz nivelovanom oddieli rovnicou:

$$M^2 = 2n \mu^2 , \text{ alebo} \quad (7.45)$$

$$M = \mu \sqrt{2n} . \quad (7.46)$$

Keď dosadíme za μ a $2n$ hodnoty z rovníc (7.43) a (7.44) do rovnice (7.46) dostaneme:

$$M = k s \sqrt{\frac{R}{s}} = k \sqrt{R s} . \quad (7.47)$$

Výraz $k \sqrt{s}$ pri rovnako dlhých zámerách má konštantnú hodnotu, ktorú považujeme za jednotkovú strednú chybu a označujeme M_0 . Strednú chybu výškového rozdielu vyjadríme potom rovnicou:

$$M = M_0 \sqrt{R} . \quad (7.48)$$

Rovnica vyjadruje, že presnosť určenia výškového rozdielu klesá s odmocninou z dĺžky nivelovaného oddieli.

Keď $R = 1$, M_0 nám predstavuje (jednotkovú) kilometrickú strednú chybu raz nivelovaného výškového rozdielu.

Od veľkosti strednej chyby závisí aj váha merania. Vzťah medzi váhovým koeficientom a strednou chybou nám vyjadruje rovnica (3.15):

$$p_i = \frac{c}{M_i^2} . \quad (7.49)$$

Aplikovaním rovnice (3.15) váhový koeficient odmeraného prevýšenia vyjadríme:

$$p_i = \frac{c}{M_0^2 R_i} . \quad (7.50)$$

Hodnotu c môžeme zvoliť ľubovoľne. Ak $c = M_0^2$, potom koeficient nivelovaného výškového rozdielu je nepriamo úmerný dĺžke nivelovaného oddielu (úseku, nivelačného polygónu).

$$p_i = \frac{1}{R_i} . \quad (7.51)$$

Dĺžka R sa spravidla uvádza v kilometroch. Pri $R = 1$ km má váhový koeficient hodnotu rovnú jednej a nazývame ho jednotkový váhový koeficient (jednotková váha) - p_0 .

Z porovnania rovníc (7.49) a (7.50) vyplýva, že štvorec kilometrovej strednej chyby sa rovná súčinu váhového koeficienta a štvorca príslušnej strednej chyby meraného prevýšenia:

$$M_0^2 = p_i M_i^2 . \quad (7.52)$$

Ak výškový rozdiel určíme dvakrát tam a späť (obojsmernou niveláciou), strednú chybu výškového rozdielu a kilometrovú strednú chybu určíme podľa rovnice (3.24):

$$m = \frac{M}{\sqrt{2}} ; \quad m_0 = \frac{M_0}{\sqrt{2}} . \quad (7.53)$$

Stredná chyba m_0 vyjadruje strednú kilometrovú chybu v dvakrát nivelovanom oddieli (úseku, nivelačnom polygóne).

Veľkosť m_0 v nivelačnom polygóne, ktorý sa skladá z kratších oddielov, určíme nasledovným postupom:

Vypočítame stredné chyby medzi prevýšeniami určenými v oboch smeroch:

$$m_1 = \frac{\rho_1}{2}, \quad m_2 = \frac{\rho_2}{2} \quad \dots \quad m_n = \frac{\rho_n}{2} , \quad (7.54)$$

kde $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ sú rozdiely medzi dvakrát určenými prevýšeniami.

Podľa rovnice (7.52) a rovníc (7.54) vyjadríme kilometrovú strednú chybu pre každý nivelačný oddiel:

$$\begin{aligned} m_0^2 &= p_1 m_1^2 = \frac{1}{R_1} m_1^2 = \frac{\rho_1^2}{4R_1}, \\ m_0^2 &= p_2 m_2^2 = \frac{1}{R_2} m_2^2 = \frac{\rho_2^2}{4R_2}, \\ &\vdots \end{aligned} \quad (7.55)$$

$$m_0^2 = p_n m_n^2 = \frac{1}{R_n} m_n^2 = \frac{\rho_n^2}{4R_n} .$$

Sčítaním po stĺpcoch dostaneme rovnicu:

$$nm_0^2 \sum \frac{\rho^2}{4R} = \frac{1}{4} \sum \frac{\rho^2}{R} , \quad (7.56)$$

z ktorej vypočítame empirickú (jednotkovú) kilometrovú strednú chybu obojsmernej nivelácie:

$$m_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{n} \sum \frac{\rho^2}{R}} . \quad (7.57)$$

Strednú chybu v ľubovoľnom oddieli vypočítame podľa rovnice (7.52):

$$m_R = \frac{m_0}{\sqrt{p}} = m_0 \sqrt{R} \quad (7.58)$$

a analogicky strednú kilometrovú chybu pre celý nivelačný polygón o dĺžke F_{km} :

$$m_F = m_0 \sqrt{F} \quad . \quad (7.59)$$

V tab. 7.5 je príklad 7.2 na odvodenie strednej kilometrovej chyby v nivelačnom polygóne.

Výpočet strednej kilometrovej chyby

Tabuľka 7.5

Oddiel	Výškový rozdiel pri meraní		Rozdiel v prevýšení $\rho = \Delta H_I - \Delta H_{II} $	Dĺžka oddielu R_i	$\frac{\rho^2}{R}$
	TAM (ΔH_I)	SPÄŤ (ΔH_{II})			
	[m]	[m]	[mm]	[km]	[mm]
2121-1	2,175	-2,171	+4	1,24	12,90
1-2	-0,941	0,944	-3	0,95	9,47
2-3	-2,886	2,891	-5	1,66	15,06
3-4	4,106	-4,101	+5	1,37	18,25
4-5	3,802	-3,796	+6	1,45	24,83
5-6	0,212	-0,213	-1	0,85	1,18
	$m_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{81,69}{6}} = 1,84 \text{ mm}$ $m_F = m_0 \sqrt{F} = 5,04 \text{ mm}$			$F = 7,52$	$\sum \frac{\rho^2}{R} = 81,69$