

5. VÝŠKOVÉ URČOVANIE BODOV

5.1 Druhy výšok

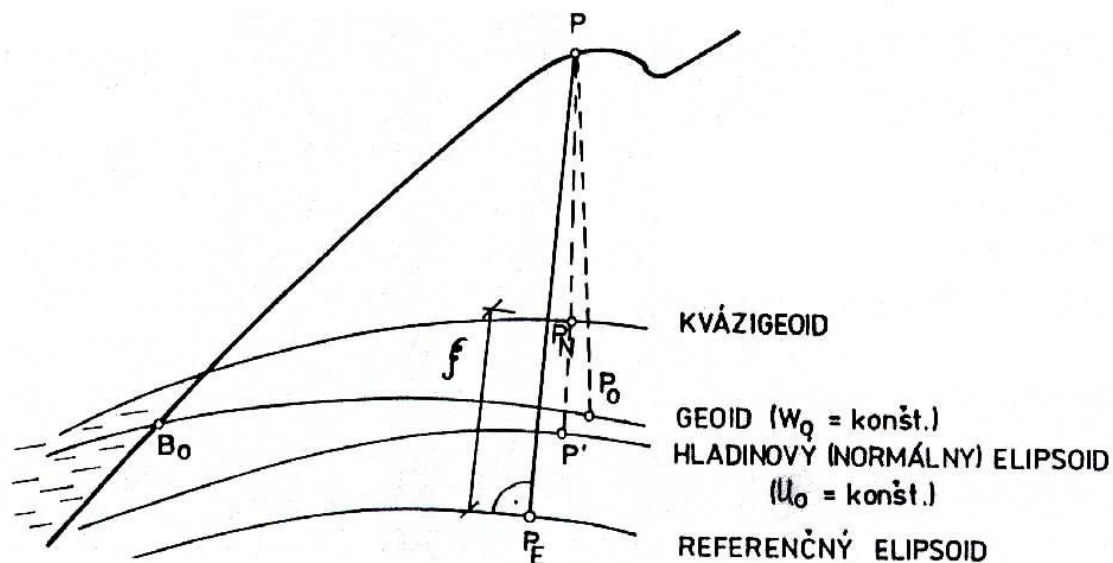
Nadmorská výška bodu P je súradnica určená v smere siločiar tiažového poľa. Podľa toho, aká je referenčná (nulová) plocha nad ktorou sa definuje výška, rozlišujeme výšky:

a) **Pravé ortometrické výšky** (geoidické) H_{POP} . Vzťažnou plochou je hladinová plocha geoidu s tiažovým potenciálom nulového výškového bodu $W_0 = \text{konšt.}$, ktorá prechádza bodom B_0 . Pravú ortometrickú výšku definuje dĺžka siločiar tiažového poľa medzi geoidom P_0 a bodom P (obr. 5.1).

b) **Normálne ortometrické výšky** H , sú definované tak, že namiesto skutočných tiažových zrýchlení g sa použijú normálne tiažové zrýchlenia g . Normálna ortometrická výška sa meria od hladinového elipsoidu P' normálneho potenciálu $U_0 = \text{konšt.}$ pozdĺž strednej "siločiar" k bodu P , (obr. 5.1). Normálne ortometrické výšky sa používali v Československu do roku 1957 vo výškovom systéme ČSJNS - J (Jadran).

c) **Normálne (Molodenského) výšky** sú definované vzdialenosťou medzi bodmi P a P_N . Vzdialenosť H_{PNP} od vzťažnej plochy kvázigeoidu po merané body sa určuje v smere siločiar normálneho tiažového poľa Zeme (obr. 5.1). Tieto výšky sa používali od roku 1957 v Československu, teraz na Slovensku v Baltskom výškovom systéme po vyrovnaní (Bpv).

d) **Elipsoidické výšky** sú definované vzdialenosťou H_{PEP} medzi referenčným elipsoidom P_E a bodom P v smere normály k elipsoidu v bode P (obr. 5.1).



Obr. 5.1. Druhy výšok

5.2 Teória výšok

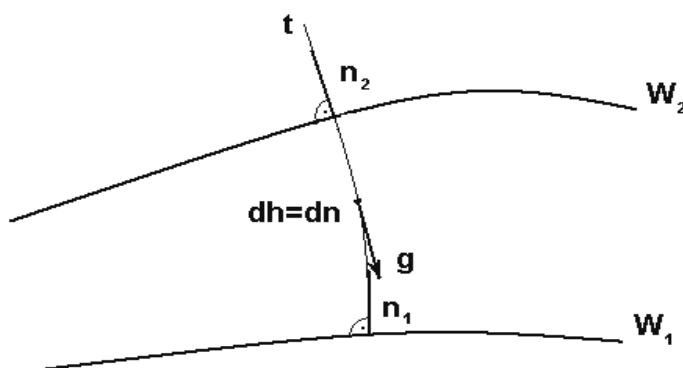
Z geometrie tiažového poľa Zeme vyplýva tzv. Brunsov teorém

$$dW = -g \, dn = -g \, dh = \text{konšt.}, \quad (5.1)$$

ktorý hovorí, že konštantný diferenciálny rozdiel dW potenciálov W_1 a W_2 dvoch blízkych hladinových plôch je rovný zápornej hodnote súčinu tiažového zrýchlenia g a vzdialenosti dn po normále n medzi hladinovými plochami (obr.5.2).

Spojité trajektória normál n k hladinovým plochám vytvára v priestore krivku, ktorú označujeme ako tiažnica t . Dĺžka normály dn medzi dvoma blízkymi hladinovými plochami je potom diferenciálna zmena výšky dh po tiažnici t . Platí

$$dh = dn . \quad (5.2)$$



Obr. 5.2. Brunsov teorém.

5.2.1 Geopotenciálna kóta

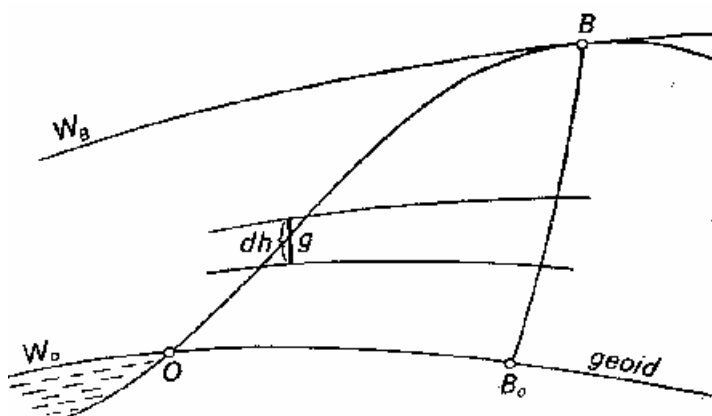
Ak aplikujeme Brunsov teorém pre rozdiel medzi potenciálom W_B v bode B na zemskom povrchu a potenciálom W_0 na geoidu (obr. 5.3), bude platiť

$$W_B - W_0 = - \int_0^B g \, dh \quad (5.3)$$

Záporná hodnota rozdielu potenciálov

$$C_B = -(W_B - W_0) = W_0 - W_B = \int_0^B g \, dh \quad (5.4)$$

je geopotenciálna kóta.

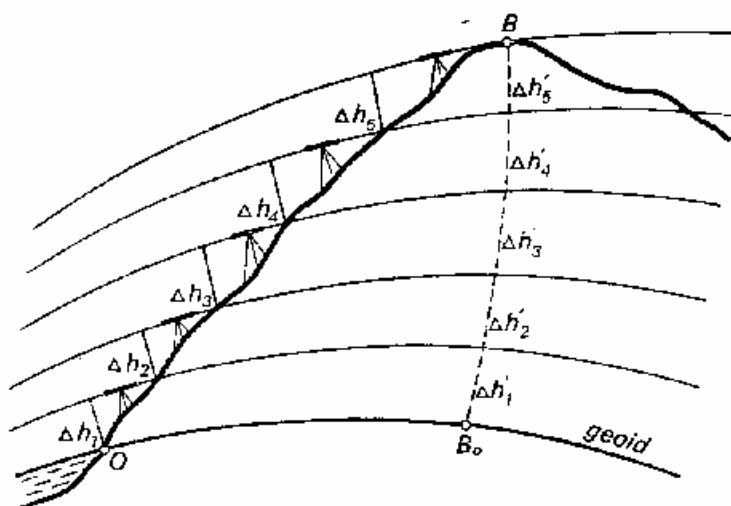


Obr. 5.3. Geopotenciálna kóta.

5.2.2 Pravá ortometrická výška

Pravú ortometrickú výšku bodu B definujeme ako dĺžku tiažnice medzi geoidom a týmto bodom (obr. 5.4).

Vychádzajúc z Brunsovhovho teoremu ktorý hovorí, že rozdiel dvoch potenciálov hladinových plôch je konštantný pričom nezáleží na integračnej ceste (tiažové pole Zeme je poľom konzervatívnym). Ak budeme namiesto konečných (odmeraných) hodnôt Dh a Dh' uvažovať nekonečne malé prevýšenia dh a dh' bude platiť



Obr. 5.4 Pravá ortometrická výška.

$$\int_0^B g \, dh = \int_{B_0}^B g' \, dh' = \text{konšt.}, \quad (5.5)$$

kde g je tiažové zrýchlenie, g' je odpovedajúce tiažové zrýchlenie v diferenciálnej časti tiažnice, dh je nivelované prevýšenie a dh' je prevýšenie medzi hladinovými plochami.

Podľa vety o strednej hodnote môžeme integrál na pravej strane rovnice (5.5) vyjadriť v tvare

$$\int_{B_0}^B g' \, dh' = \bar{g} \int_{B_0}^B dh', \quad (5.6)$$

kde \bar{g} je stredná hodnota tiažového zrýchlenia pozdĺž tiažnice BB_0 .

Integrál na pravej strane rovnice (5.6) rovný dĺžke tiažnice BB_0 je **pravá ortometrická výška** h_{ort} bodu B,

$$h_{ort} = \int_{B_0}^B dh' \quad (5.7)$$

Ak dosadíme vzťahy z rovníc (5.7) a (5.6) do rovnice (5.5), dostaneme

$$\int_0^B g \, dh = \bar{g} h_{ort}. \quad (5.8)$$

Pravá ortometrická výška bodu B je daná rovnicou

$$h_{ort} = \frac{1}{\bar{g}} \int_0^B g \, dh . \quad (5.9)$$

Integrál $\int_0^B g \, dh$ môžeme nahradiť konečným súčtom nivelačných prevýšení Δh_i a stredných hodnôt tiažových zrýchlení g_i v odpovedajúcich nivelačných prevýšeníach,

$$h_{ort} = \frac{1}{\bar{g}} \sum_{i=1}^n g_i \Delta h_i , \quad (5.10)$$

kde $i \in \langle 1, 2, \mathbf{K}, n \rangle$ je počet nivelačných prevýšení a za strednú hodnotu tiažového zrýchlenia g_i v nivelačnom prevýšení sa v praxi spravidla volí aritmetický priemer tiažových zrýchlení z meraní na začiatku a konci nivelačného prevýšenia.

Integrál v rovnici (5.9) je geopotenciálna kóta C_B bodu B, takže môžeme písať

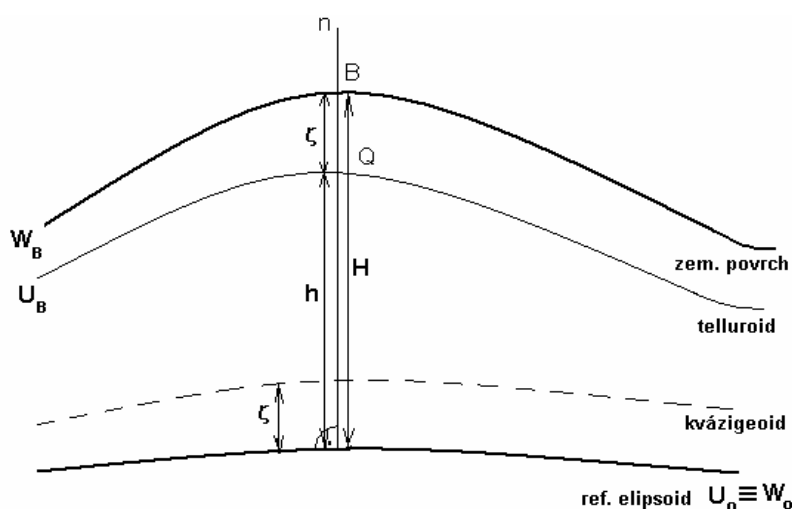
$$h_{ort} = \frac{1}{\bar{g}} \int_0^B g \, dh = \frac{C_B}{\bar{g}} = \frac{W_o - W_B}{\bar{g}} . \quad (5.11)$$

Strednú hodnotu tiažového zrýchlenia \bar{g} na tiažnici prechádzajúcej bodmi B a B_o nie je možné určiť z meraní. Vzhľadom k tomu nie je možné určiť presne ani pravé ortometrické výšky, ale len približne na základe prijatej hypotézy o rozložení hustoty hmoty medzi zemským povrchom a geoidom. Ide o tzv. regularizáciu tvaru Zeme, ktorou sa zaoberá fyzikálna geodézia.

5.2.3 Normálne výšky

Teória Molodenského normálnych výšok je založená na určení výšok len z povrchových nivelačných a tiažových meraní bez použitia hypotéz o rozložení hustoty hmoty medzi geoidom a zemským povrchom.

Princíp Molodenského riešenia je graficky znázornený na obr. 5.5:



Obr. 5.5. Princíp Molodenského normálnych výšok.

Ak v rovnici (5.9) pre pravú ortometrickú výšku nahradíme strednú hodnotu tiažového zrýchlenia \bar{g} normálnou (teoretickou) hodnotou \bar{g} , bude rovnica

$$h_n = \frac{1}{g} \int_0^B g dh = \frac{1}{g} \sum_{i=1}^n g_i \Delta h_i = \frac{W_0 - W_B}{g} = \frac{C_B}{g} \quad (5.12)$$

vyjadrovať vzťah pre výpočet **normálnej výšky** h_n bodu B.

Na normále n k referenčnému elipsoidu, ktorá prechádza bodom B leží bod Q pre ktorý platí, že normálny tiažový potenciál U_B v bode Q je rovný skutočnému tiažovému potenciálu W_B v bode B na povrchu Zeme

$$U_B = W_B. \quad (5.13)$$

Množina takto definovaných bodov Q vytvára plochu, ktorú Molodenský nazval **telluroid**.

Normálny tiažový potenciál U_B je daný teoretickou rovnicou, ktorú analytický môžeme vyjadriť ako funkciu normálneho tiažového potenciálu U_0 na referenčnom elipsoide, ktorý sa mení v závislosti od zmeny zemepisnej šírky j (vzhľadom ku zbiehavosti hladinových plôch smerom k pólom) a normálnej výšky h_n bodu B v tvare

$$U_B = f(U_0(j), h_n). \quad (5.14)$$

Rozdiel elipsoidickej výšky H a normálnej výšky h_n je tzv. **výšková anomália** V pre ktorú platí

$$V = H - h_n, \quad \text{resp.} \quad H = h_n + V. \quad (5.15)$$

Z praktických dôvodov je plocha telluroidu nahradená kvázigeoidom, ktorý je definovaný množinou takých bodov, že ich odľahlosť od referenčného elipsoidu je rovná výškovej anomálii V (obr. 5.5).

Priebeh geoidu a kvázigeoidu je približne rovnaký, najväčšie odľahlosti (niekoľko metrov) dosahuje v horských oblastiach. Na oceánoch a moriach je priebeh geoidu a kvázigeoidu totožný.

5.2.4 Normálne ortometrické výšky

Až do 30-tich rokov 20 storočia bolo meranie tiažových zrýchlení v nivelačných ťahoch zdĺhavé a málo presné, pretože na meranie sa používali kývadlové gravimetre (neexistovali statické gravimetre). V dôsledku toho sa miesto pravých ortometrických výšok používali tzv. **normálne ortometrické výšky** h_{no} , kde stredná hodnota tiažového zrýchlenia \bar{g} ako aj merané skutočné hodnoty tiažového zrýchlenia g_i v nivelovaných prevýšeníach sú nahradené teoretickými hodnotami \bar{g} a g_i .

Vzťah pre normálnu ortometrickú výšku potom vyjadruje rovnica

$$h_{no} = \frac{1}{\bar{g}} \int_0^B g dh = \frac{1}{\bar{g}} \sum_{i=1}^n g_i \Delta h_i. \quad (5.16)$$

5.2.5 Dynamické výšky

Rovnicu, ktorá definuje **dynamickú výšku** h_{dyn} bodu B na zemskom povrchu dostaneme, ak geopotenciálnu kótu vydělíme vhodnou konštantou g , spravidla takou, aby výsledkom (v metroch) bola hodnota približne rovnaká hodnotám v ostatných druhoch výšok.

Pre dynamické výšky teda platí rovnica

$$h_{dyn} = \frac{C_B}{k}, \quad (5.17)$$

pričom pri použití dynamických výšok je možné použiť hodnotu normálneho tiažového zrýchlenia g_{45° na zemepisnej šírke $B = 45^\circ$.

5.3 Výškový systém

Výškový systém určuje:

- a) výškové bodové pole a z neho vytvorenú nivelačnú sieť,
- b) nulový výškový bod (stredná hladina baltského mora pre výškový systém baltský po vyrovnaní),
- c) druh používaných výšok,
- d) spôsob vyrovnania výškových meraní.

Výškové bodové pole je vhodne rozmiestnené po celom území štátu. Delí sa na základné výškové bodové pole a podrobné výškové bodové pole.

Nivelačná sieť sa delí na:

1. *Štátnu nivelačnú sieť* (ŠNS), ktorá sa skladá z nivelačných sietí I. a II. rádu. Body týchto sietí patria do základného výškového bodového poľa.

2. *Podrobnú nivelačnú sieť*, ktorá sa skladá z nivelačnej siete III. a IV. rádu, plošných nivelačných sietí a zo siete výšok bodov podrobného polohového bodového poľa (PPBP), ktorých výšky boli určené technickou niveláciou.

Nadmorské výšky bodov výškového bodového poľa sa od roku 1957 udávajú v záväznom **Baltskom výškovom systéme po vyrovnaní (Bpv)**. V Bpv sa používajú normálne výšky (od kvázigeoidu) s nulovým výškovým bodom v Kronštade (vojenská pevnosť vo Fínskom zálive v Rusku).

Body ŠNS sú stabilizované v pevných objektoch vo vzájomných odľahlostiach najviac 1 km, len výnimočne 1,2 km, v členitom teréne sú vzdialenosti medzi stabilizovanými bodmi do 500 m. Vzdialenosť medzi dvoma nivelačnými značkami predstavuje nivelačný oddiel. Viac nivelačných oddielov tvorí nivelačný úsek dlhý asi do 20 km. Niekoľko nivelačných úsekov tvorí nivelačný ťah dlhý až 200 km. Nivelačné ťahy sa uzatvárajú a tvoria nivelačný polygón dlhý od 300 do 400 km. Územie ohraničené nivelačnými polygónmi je nivelačná oblasť. Body, do ktorých sa zbiehajú

nivelačné polygóny sú uzlové body. Všetky nivelačné polygóny tvoria základnú nivelačnú sieť I. rádu, ktorá sa ďalej zhusťuje sieťou II. rádu a podľa potreby podrobnou nivelačnou sieťou.

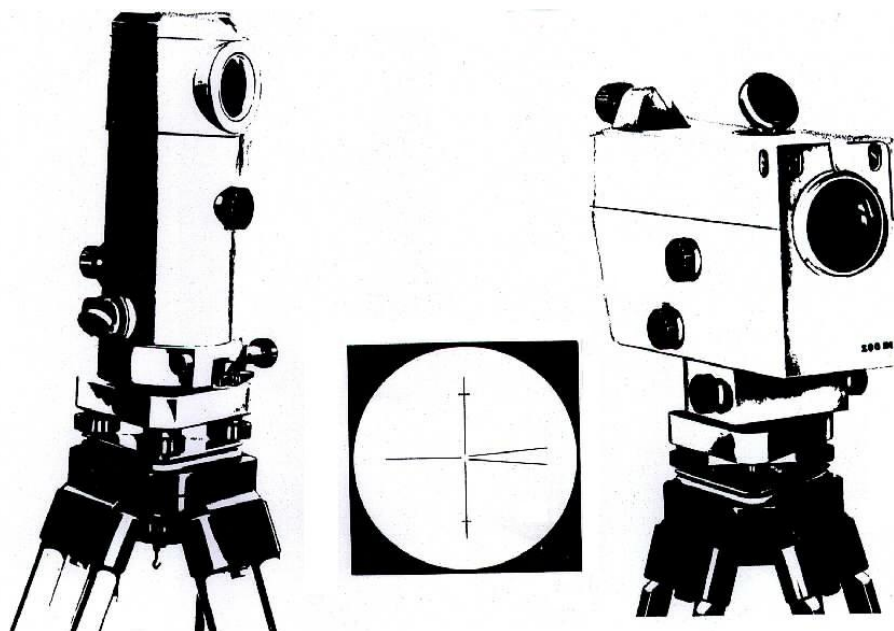
Podľa vyžadovanej presnosti pre nivelačné práce v nivelačnej sieti delíme niveláciu na:

- a) zvlášť presnú niveláciu (ZPN),
- b) veľmi presnú niveláciu (VPN),
- c) presnú niveláciu (PN),
- d) technickú niveláciu (TN).

5.4 Prístroje a pomôcky na veľmi presnú niveláciu

Základnú nivelačnú súpravu pre presnú niveláciu tvorí presný nivelačný prístroj, stojan (nie so zasúvacími nohami), invarové nivelačné laty, nivelačné podložky a klíny, slnečník, teplomer, meračské pásmo. Podľa konštrukcie nivelačné prístroje delíme:

- a) libelové,
- b) kompenzátorové,
- c) digitálne nivelačné prístroje.



Obr. 5.6. Kompenzátorové nivelačné prístroje Zeiss Ni 007 a Zeiss NI 002A

Libelové nivelačné prístroje na VPN. Podľa inštrukcie na práce vo výškových bodových poliach sú na prístroje pre VPN kladené tieto požiadavky:

- a) ďalekohľad má byť konštantnej dĺžky (s vnútorným zaostrovaním), minimálne s 30 násobným zväčšením,

b) citlivosť libely $g \leq 30''/2 \text{ mm}$ (dĺžka bubliny minimálne 25 mm), koincidenčný spôsob urovnania libely,

c) optický mikrometer s možnosťou odčítania menej ako na 0,1 mm,

d) stredná chyba urovnania zámernej priamky $m_a < 0,6''$,

e) prístroj sa stavia na pevný, dostatočne masívny, neskladací stojan.

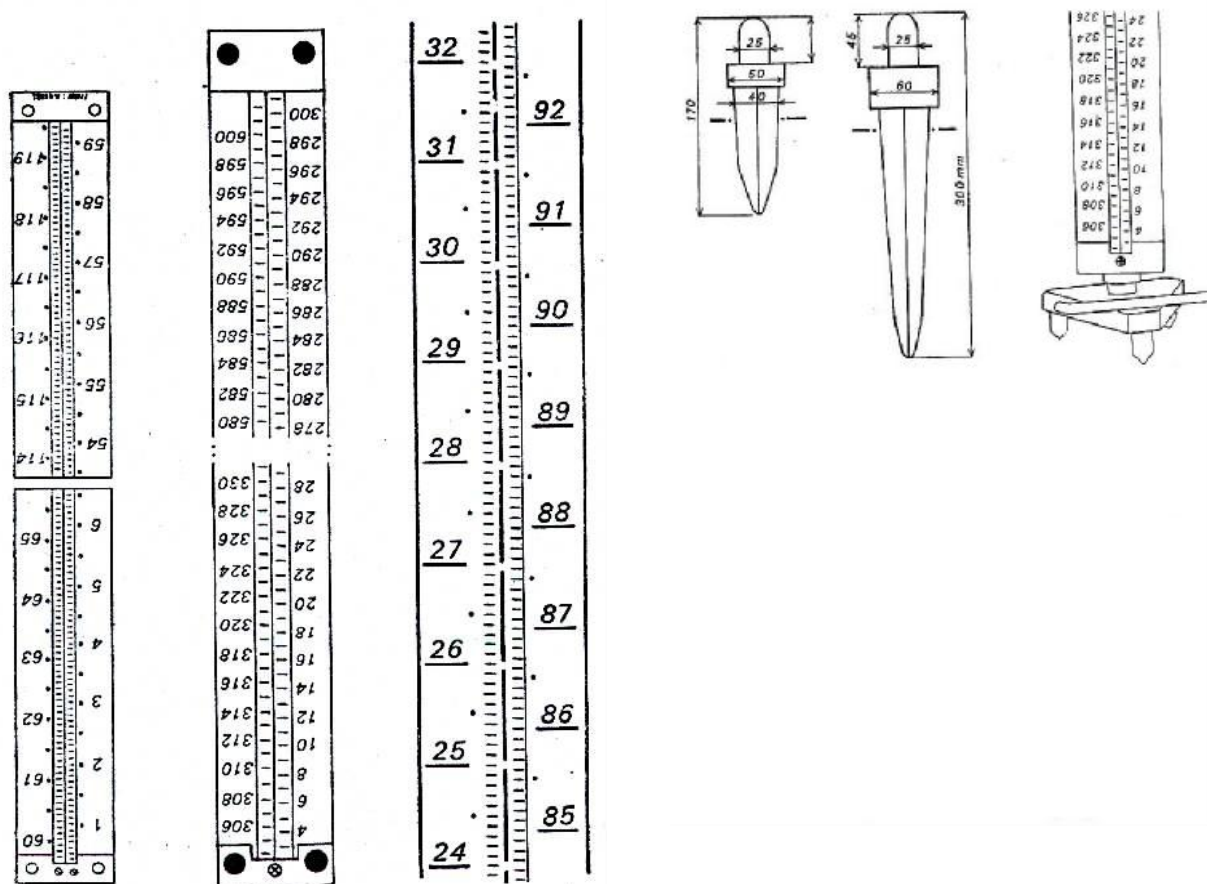
U nás je z tejto kategórie nivelačných prístrojov najpoužívanější Zeiss Ni 004. Prístroj má 44-násobné zväčšenie ďalekohľadu, citlivosť libely $30''/2 \text{ mm}$, jednotkovú kilometrovú strednú chybu $m_0 = 0,4 \text{ mm}$.

5.4.1 Kompenzátorové nivelačné prístroje na VPN

Na meranie nivelačných ťahov I. a II. radu sa môžu používať kompenzátorové prístroje, ktoré podstatne urýchlujú meračské práce. Musia spĺňať tieto požiadavky:

a) kruhová libela má mať citlivosť väčšiu ako $20''$ na 2 mm,

b) laboratórne sa overí, či kompenzačný systém pracuje s vyžadovanou presnosťou $m_a < 0,6''$. Ďalej tu platia tiež požiadavky c), d), e) uvedené pri libelových nivelačných prístrojoch.



Obr. 5.7. Nivelačné laty pre presnú niveláciu so vzpriameným a prevráteným číslovaním, klíny a nivelačná podložka

Z kompenzátorových prístrojov uvedieme charakteristiky dvoch prístrojov (tab. 5.1):

Tabuľka 5.1.

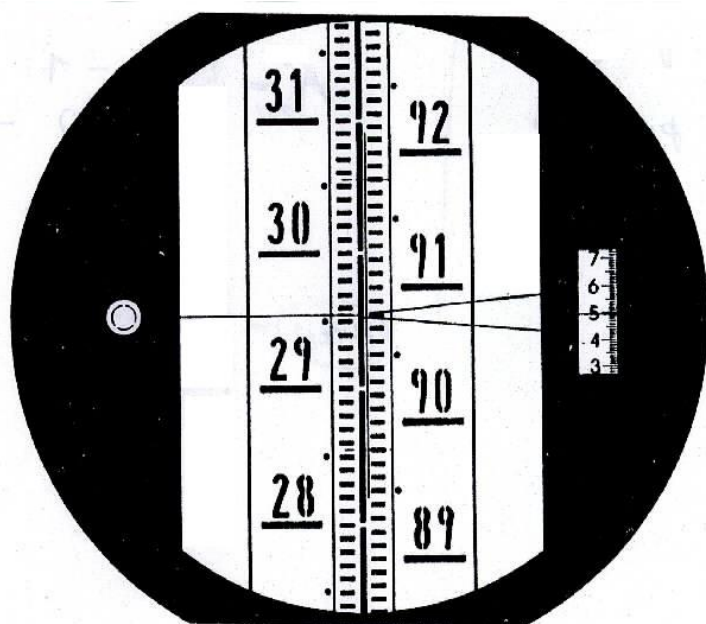
	Zeiss Ni 007	Zeiss NI 002A
Zväčšenie ďalekohľadu	31,5 x	40 x
Stredná chyba urovnania kompenzátora	0,45 ^{cc}	0,15 ^{cc}
Stredná kilometrová chyba	0,5 mm	0,2 mm

Nivelačné laty. Nivelačné laty pre VPN (obr. 5.7) sú pracovné meradlá, od ich kvality závisí presnosť výsledkov merania. Pri meraní vo výškových sieťach sa používajú dvojice komparovaných 3 m lát s invarovými pásmi. (Pri meraní zvislých posunov sa v inžinierskej geodézii používa zvyčajne len jedna lata). Na invarovom páse sú dve stupnice navzájom posunuté o konštantnú hodnotu (606.650, obr. 5.8).

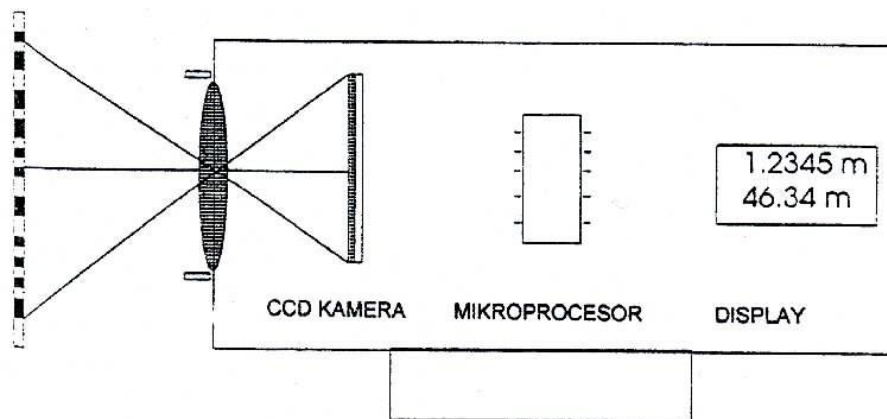
5.4.2 Digitálne nivelačné prístroje

V roku 1990 dala na trh firma WILD digitálny nivelačný prístroj WILD NA 2000, o rok neskôršie model NA 3000 a potom ich modifikáciu NA 2002/3003 (obr. 5.11).

Princíp digitálneho nivelačného prístroja spočíva v jednodimenzionálnom spracovaní obrazu laty. Oko merača je nahradené riadkovým senzorom. Tento senzor (označovaný ako CCD-senzor) prevádza kódové delenie nivelačnej laty na obrazový signál, ktorý je pomocou korelačných vzťahov premenený na číselnú hodnotu (obr. 5.9).



Obr. 5.8. Čítanie na late (908.498) s obrazom kruhovej libely



Obr. 5.9 Princíp digitálneho spracovania obrazu

Pri elektronickom meraní je obraz kódového latového úseku privádzaný na riadkový detektor, ktorý oddelí infračervené svetlo od normálneho. Riadkový detektor prevádza vstupný obraz na analógový videosignál. Ďalšia časť elektroniky zosilňuje a digitalizuje videosignál.

Z polohy zaostrovania šošovky môžeme získať hrubú vzdialenosť, ktorú vyjadruje vzťah

$$d = \frac{k}{s}, \quad (5.18)$$

kde d je vzdialenosť, k optická konštanta, s poloha zaostrovacej šošovky.

Rozsahu vzdialenosti od 1,8 m do 100 m zodpovedá posun šošovky približne o 14 mm.

Spracovanie signálu

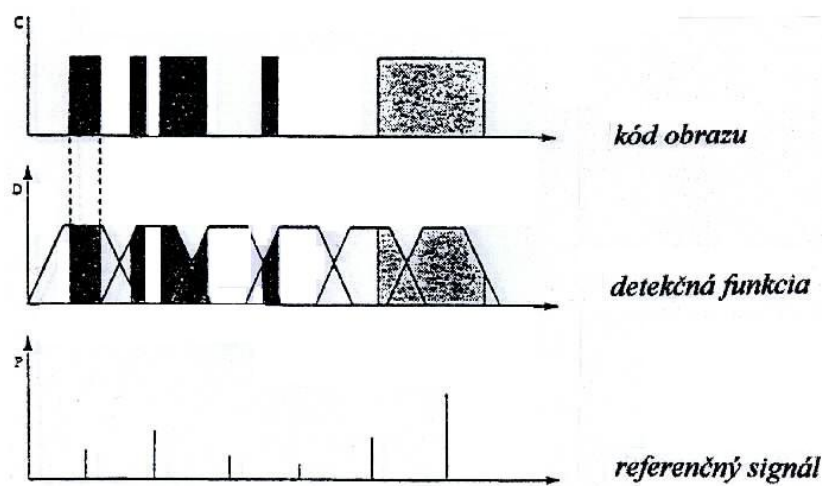
Na spracovanie kódového signálu je použitá metóda dvojrozmernej korelačnej funkcie. Hľadáme výškový rozdiel medzi prístrojom a latou, a určujeme mierku kódového obrazu ako funkciu vzdialenosti. Znamená to, že meračský signál sa porovnáva s referenčným signálom. V mieste, v ktorom dôjde ku korelácii sa vytvorí ihlan, súradnice jeho špičky (maxima) sú hľadané hodnoty vzdialenosti d_0 a výšky h_0 . Na vyhľadanie maxima korelačnej funkcie musí výpočet prebehnúť v celom rozsahu merania ($d = 1,8 \dots 100$ m a $h = 0 \dots 4,05$ m).

Meranie má dve etapy:

- **hrubú optimalizáciu**, ktorá spočíva v určení vzdialenosti d na základe polohy zaostrovacej šošovky.

- **jemnú optimalizáciu**, v ktorej sa meračský a referenčný signál koreluje. Optimalizácia je skončená, keď je korelačný koeficient blízky 1. Doba jemnej optimalizácie sa pohybuje od 0,5 ... 1,0 s.

Po optimalizácii sa analyzuje svetelná intenzita obrazu lavy. Tento proces je u digitálnych nivelačných prístrojov vyriešený tak, že referenčný signál kódovej funkcie je porovnávaný s detekčnou funkciou, ktorá je v prístroji naprogramovaná (obr. 5.10).



Obr. 5.10 Skladanie kódového signálu s detekčnou funkciou

Latový kód je vytvorený binárnym kódom, zostaveným len z čiernych a bielych plôch. Úplný kód obsahuje 2000 elementov na dĺžke 4,05 m, to znamená že rozmer jedného základného elementu je $4050/2000 = 2,025$ mm. Tento kód bol vybraný z dôvodov, aby bola umožnená korelácia v rozsahu vzdialenosti od 1,8 .. 100 m (pre NA 2002).

K prístrojom sú dodávané dva druhy lát:

- skladacia lata GKNL pozostávajúca z troch 1,35 m dlhých častí. Lata GKNL je obojstranná, na jednej strane je lata s čiarkovým kódom, na druhej klasická nivelačná lata pre optické meranie. Lata sú z eloxovaného hliníka. Výrobca zaisťuje koeficient tepelnej rozťažnosti stupnice latty $\alpha = 10$ ppm/°C.

- na presné meranie sa používa invarová lata GPCL s kódovým delením (obr. 5. 11 vpravo).

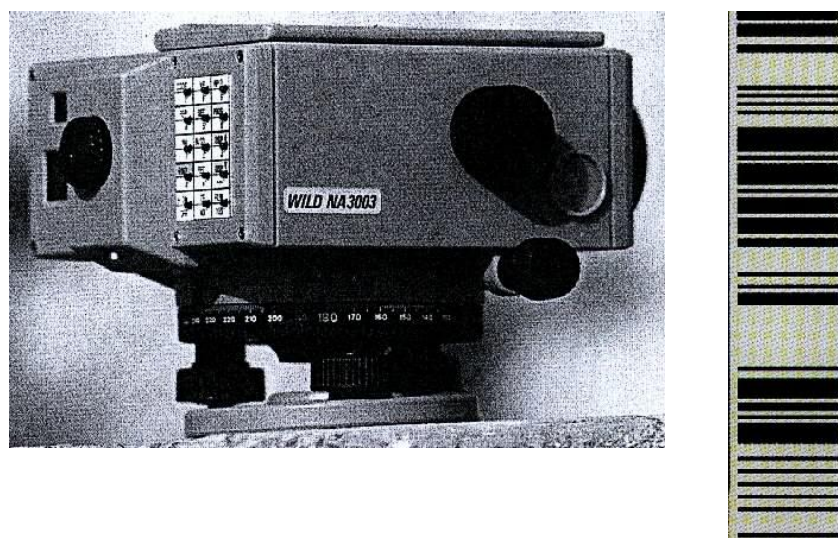
Merané a vypočítané hodnoty doplnené údajmi s pätnásťtlačítkovou klávesnicou je možné registrovať vo vonkajšom vymeniteľnom module REC alebo pomocou pripojovacieho kábla v externom registričnom prístroji dátového terminálu GRE 4. V laboratórnych podmienkach je možné merané hodnoty prenášať na pripojený počítač.

Výrobca udáva strednú kilometrovú chybu obojsmernej nivelácie m_0 v závislosti od použitých typov lát (tab. 5.2).

. Lata pre automatické nivelačné prístroje Tabuľka 5.2

Prístroj	Typ latty	
	GKNL	GPCL
NA 2000	1,5 mm	0,9 mm
NA 3000	1,2 mm	0,4 mm

Z tabuľky vyplýva i použitie jednotlivých typov prístroja a to NA 3000 pre meranie v nivelačných sieťach I. rádu a NA 2002 pre meranie v nivelačných sieťach II. rádu.



Obr. 5.11. Nivelačný digitálny prístroj NA 3003 Leica a digitálna nivelačná lata

5.4.3 Chyby pri presnej nivelácii (ZPN, VPN, PN)

Prístrojové chyby:

- a) paralaxa zámerného kríža (odstráni sa presným zaostrením zámerného kríža),
- b) rúnová chyba (pootočením mikrometra o 100 dielikov sa má zámerná priamka posunúť o 1 latový dielik),
- c) chyba v urovnaní zámery kompenzátorom má byť menšia ako $1''$,
- d) chyba z nesplnenia osovej podmienky $L \parallel Z$ (odstráni sa niveláciou zo stredu) .

Chyby lát:

- a) nulová plocha laty (pätky) má byť kolmá na zvislú os laty,
- b) nulová plocha laty (pätky) má byť totožná so začiatkom delenia stupnice,
- c) chyba z nezvislosti lát. Zvislosť laty sa zaisťuje opornými tyčami. Pravidelne sa rektifikuje libela na late. Jej citlivosť musí byť minimálne $45''/2 \text{ m}$.
- d) prehnutie laty (u starších lát),
- e) chyba z nepresnej dĺžky latového metra (nebezpečná je najmä v členitom teréne), laty je potrebné pravidelne komparovať.

Chyby počas merania:

- a) chyba v cielení (pointácii) na dielik laty. Zvýšenie presnosti v cielení na dielik late pomohlo zavedenie klinovej úpravy zámerného kríža (obr. 5.8),
- b) vplyv teploty,

c) chyba zo zmeny výšky prístroja a podložík s latami v priebehu merania (meranie je usporiadané postupnosťou čítaní z_1, p_1, p_2, z_2),

d) chyba z nivelačnej refrakcie. Účinok chyby sa znižuje skrátením zámier a čítaním údajov na late väčších ako 0,5 m,

e) chyba z čítania.

Zásady starostlivosti o nivelačný prístroj:

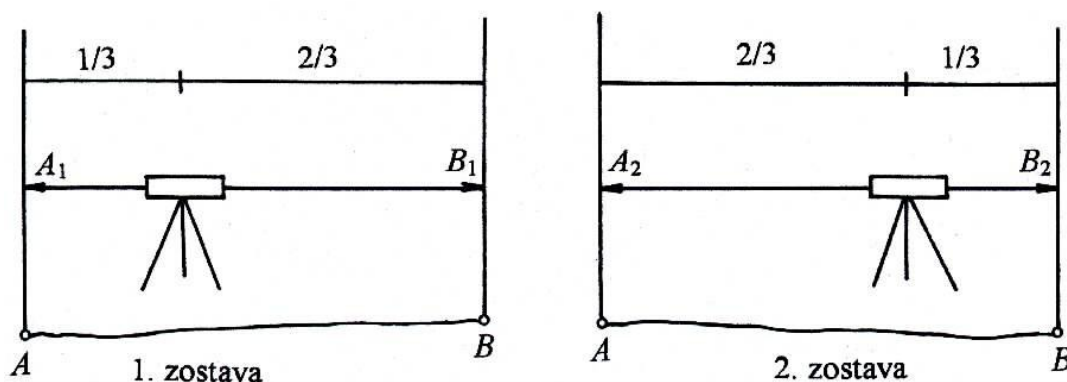
a) nivelačný prístroj nesmie byť prepravovaný ako vlaková alebo autobusová zásielka. Pri prevoze sa chráni proti otrasom,

b) pred meraním ho necháme 15 minút temperovať,

c) pri meraní chránime prístroj a stojan pred priamym slnečným osvetlením pomocou slnečníka,

d) pri prenášaní na iné stanovisko držíme prístroj vzpriamene.

5.4.4 Rektifikácia osovej podmienky $L \parallel Z$



Obr. 5.12. Rektifikácia osovej podmienky $L \parallel Z$

Na rektifikáciu osovej podmienky $L \parallel Z$ používame dve metódy podľa schémy merania $A \times B \times$ a $A \times \times B$, kde \times 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 prístrojov je v blízkosti lavy B ($A B \times$).

Zostava $A \times \times B$ (obr. 5.12) na rektifikáciu nivelačných prístrojov sa odporúča pri elektronických nivelačných prístrojoch. Zistená odchýlka kolimačnej osi od vodorovnej úrovne sa ukladá v pamäti prístroja ako prístrojová konštanta. V prípade veľkej odchýlky je hlásená chyba (u prístroja NA 2002/3003 Error 05). Rektifikácia chyby v takej veľkosti sa vykoná posunom vodorovného vlákna zámerného kríža na správne čítanie.

Vzdialenosť lát v nivelačnej zostave volíme v rozsahu 45 až 60 m. Stanoviská nivelačného prístroja sú v tretinách vzdialenosti s_{AB} (obr. 5.12), t.j. $d_1 = 1/3s_{AB}$, $d_2 = 2/3s_{AB}$, $d_3 = 1/3s_{AB}$, $d_4 = 2/3s_{AB}$. Poradie čítania na latách 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

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

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

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

Príklad 5.2:

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

$$\begin{array}{llll} A_1 = 1.7775 \text{ m} & B_2 = 1.6859 & d_1 = 15 \text{ m} & d_2 = 30 \text{ m} \\ B_1 = 1.6246 \text{ m} & A_2 = 1.8392 & d_3 = 15 \text{ m} & d_4 = 30 \text{ m} \end{array}$$

$$A_1 - B_1 = 0.1529 \text{ m} \quad B_2 - A_2 = -0.1533$$

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

Nová hodnota vertikálnej kolimačnej chyby je

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

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

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

5.5 Technológia merania veľmi presnou niveláciou.

V štátnej nivelačnej sieti sa používajú meracie metódy presnej nivelácie, veľmi presnej nivelácie a zvlášť presnej nivelácie. Jednotlivé metódy sa od seba líšia konštrukciou a presnosťou použitých prístrojov, meracím postupom na stanovisku v nivelačnej zostave, v nivelačnom oddieli a v nivelačnom ťahu, obsahom meračského a výpočtového operátu a strednou kilometrovou chybou. Zvlášť presná nivelácia, s technológiou určenou na špeciálne práce, sa používa vtedy, keď nestačí presnosť určená pre I. a II. rád základného výškového bodového poľa.

V inžinierskej geodézii pri meraní zvislých posunov používame pojem presná nivelácia, kde sa dosahuje presnosť charakterizovaná jednotkovou strednou kilometrovou chybou $m_0 < 0,5$ mm, teda ako zvlášť presná nivelácia.

V základnej nivelačnej sieti pri meraní v nivelačnom oddieli, sa počíta s 20-mi postaveniami nivelačného prístroja (20-mi nivelačnými zostavami) so zámerami dlhými 25 m od stanoviska nivelačného prístroja po latu. V technológii merania veľmi presnou niveláciou sa postup merania volí tak, aby sa predovšetkým eliminovali systematické chyby nivelácie.

Nivelačný ťah I. rádu sa rozdelí na úseky dlhé asi 20 km. Úseky sa očísľujú. Najprv sa nivelujú úseky s nepárnymi číslami a potom úseky s párnymi číslami. Každý ťah sa niveluje v oboch smeroch. Nivelovanie v opačnom smere sa vykonáva v iný deň a v iný denný čas a poradie nivelačných lát sa vystrieda. Vopred sa vyznačujú stanoviská nivelačného prístroja a miesta, kde sa vykoná pevná stabilizácia na postavenie nivelačných lát. Dĺžky zámer v členitom teréne sa skracujú tak, aby zámera na late bola najmenej 0,8 m nad terénom. Pri kratších zámeroch ako 20 m výška zámeru na late má byť väčšia ako 0,4 m.

Začína sa merať pol hodiny po východe Slnka až do začiatku vibrácie vzduchu. Odpoludnia sa začína merať po skončení vibrácie vzduchu a končí sa s meraním pol hodiny po západe Slnka. Prístroj so stojanom sa chráni pred priamymi lúčmi Slnka slnečníkom. Pri zamračenej oblohe sa meria v celom priebehu dňa pokiaľ sa nevyskytuje vibrácia vzduchu.

Stanoviská laty sa pevne stabilizujú klinom. Meračská lata vo zvislej polohe sa stabilizuje opornými tyčami.

Nivelačný stojan je pevný, nemá vysúvacie nohy.

Posudzovanie presnosti merania. Na posudzovanie presnosti pre práce v nivelačnej sieti platia viaceré kritériá. Pre nivelačný oddiel, úsek, uzavreté ťahy a pod. Napr. krajné rozdiely v nivelačnom oddieli sú uvedené v tab 5.3.

Krajné rozdiely v nivelačnom oddiele

Tabuľka 5.3

Rád nivelačnej siete	I.	II.	III.	IV. a plošné siete
r_{\max} [mm]	$1,5\sqrt{R}$	$2,25\sqrt{R}$	$3,0\sqrt{R}$	$5,0\sqrt{R}$

Kde R je dĺžka nivelačného oddielu.

Pre technickú niveláciu (TN) nesmie prekročiť $r_{\max} = 5,0\sqrt{R}$. Pri niektorých špecifikovaných prácach TN sa používa kritérium $r_{\max} = 20,0\sqrt{R}$, resp $r_{\max} = 40,0\sqrt{R}$.

Na posudzovanie presnosti nivelačných meraní používame jednotlivú kilometrovú strednú chybu, ktorá sa vypočíta z rozdielov prevýšení r v nivelačných oddieloch

$$m_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{n} \sum \frac{r^2}{R}}. \quad (5.20)$$

Príklad 5.1 : Prevýšenia medzi vzťažnými bodmi boli odmerané vždy 2-krát. Úlohou je vypočítať priemernú hodnotu prevýšení a jednotkovú kilometrovú strednú chybu.

Tabuľka 5.4

Nivelačný oddiel	Prevýšenie <i>h</i>			<i>r</i> [mm]	<i>R</i> [km]	$\frac{\rho^2}{R}$
	Tam	Späť	Priemer			
	[m]					
<i>F1 F2</i>	+0,565 20	-0,565 36	+0,565 28	0,16	0,240	0,1067
<i>F2 F3</i>	+1,115 44	-1,116 00	+1,115 72	0,56	0,090	3,4844
<i>F3 F4</i>	+0,784 53	-0,784 85	+0,784 69	0,32	0,100	1,0240
<i>F4 F5</i>	-0,249 98	+0,249 64	-0,249 81	0,34	0,185	0,6249
				$\sum r^2 = 0,5572$	$\sum \frac{r^2}{R} =$	5,2400

$$m_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{n} \sum \frac{r^2}{R}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{5,24}{4}} = 0,57 \text{ mm}.$$

Východiskové predpisy pri prácach v štátnej nivelačnej sieti sú:

1. Inštrukcia na práce vo výškových bodových poliach 984 130 I/82.
2. Metodický návod na budovanie, obnovu a údržbu výškových bodových polí 984 130 MN-1/83.
3. Technologický postup na meranie a výpočty v ČSJNS a na opakované nivelácie 984 133 TP-1/84.