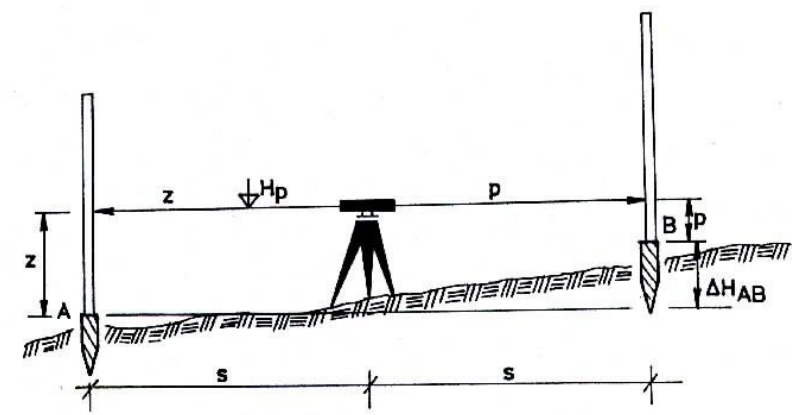


$$m_{\text{NH}} = \sqrt{\left(\frac{m_\beta}{s}\right)^2 + \left(\frac{s^2}{c}\right)^2} m_k^2. \quad (7.24)$$

7.3 GEOMETRICKÁ NIVELÁCIA

$$\Delta H_{AB} = z - p. \quad (7.25)$$


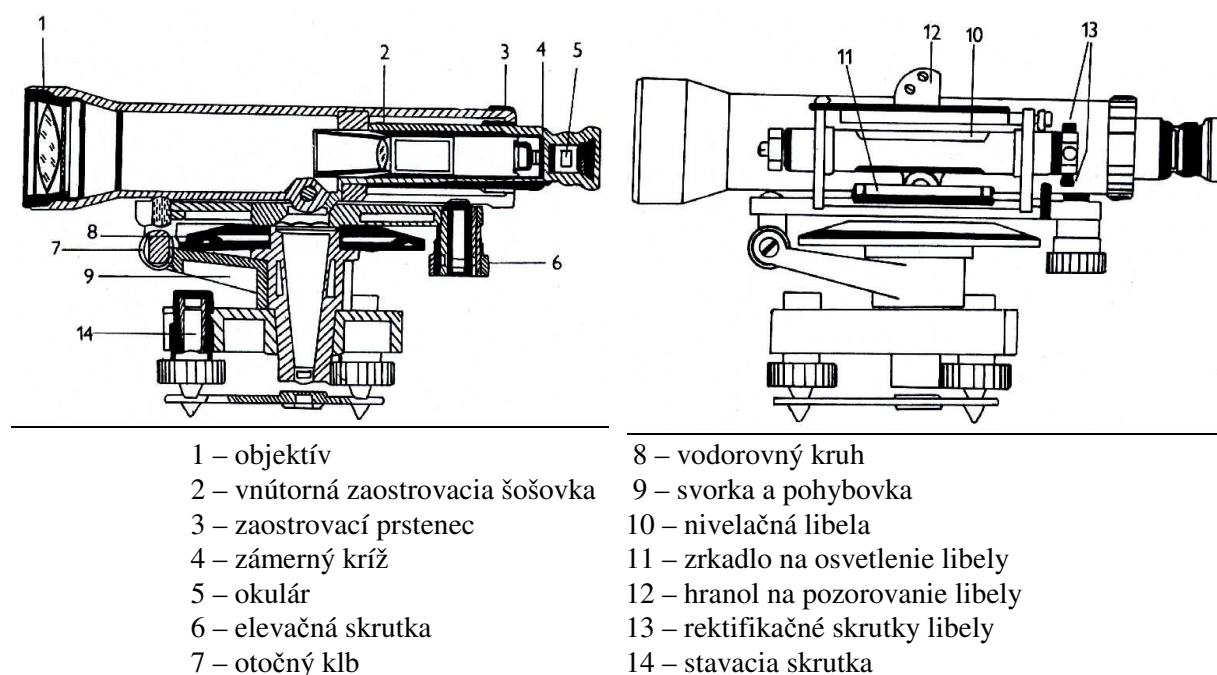
Niveláciu s vodorovnou zámerou a prístrojom postaveným uprostred medzi latami nazývame **geometrická nivelácia zo stredú**. Aplikujeme ju pomocou teodolitov, ktoré sú vybavené nivelačnou libelou, alebo na tento účel zvlášť konštruovanými nivelačnými prístrojmi a pomocou nivelačných lát.

- kompenzátorové (automatické) nivelačné prístroje (prístroje s automatickým urovnávaním zámernej osi do vodorovnej polohy),

- digitálne nivelačné prístroje (NA 2002/3003 Leica) s elektronickým meraním na kódovej nivelačnej lati.

Z hľadiska **výkonnosti** prístrojov rozdeľujeme ich podľa docielenej hodnoty strednej kilometrovej chyby obojsmernej nivelácie m_0 , ktorá úzko súvisí so zväčšením ďalekohľadu a citlivosťou nivelačnej libely resp. kompenzátora, do štyroch skupín na:

1. stavebné nivelačné prístroje ($m_0 \geq 5$ mm); používajú sa na jednoduchšie výškomerné práce na stavbách a na menej náročné vytyčovací práce a pod.,
2. technické nivelačné prístroje ($5 \text{ mm} > m_0 \geq 2,5$ mm) v technickej praxi vytvárajú najpočetnejšiu skupinu prístrojov, uplatňujú sa vo všetkých úlohách súvisiacich s meraním a vytyčovaním stavebných objektov,
3. inžinierske nivelačné prístroje ($2,5 \text{ mm} > m_0 \geq 1$ mm) sa používajú na zhutňovanie nivelačných sietí až do II. rádu, pri prácach vysokej presnosti z oblastí inžinierskych meraní a pod. Výkonnosť niektorých inžinierskych nivelačných prístrojov môžeme ešte zvýšiť použitím nasadzovacieho optického mikrometra (tab. 7.3),
4. presné nivelačné prístroje ($m_0 < 1$ mm). Do tejto skupiny patria nivelačné prístroje s veľkým zväčšením ďalekohľadu a citlivou nivelačnou libelou, resp. kompenzátorom. Používajú sa na meranie v základnom výškovom bodovom poli, na práce vysokej presnosti a na vedecké účely ako napr. meranie recentných pohybov zemskej kôry, presné meranie výškových pretvorení objektov atď.



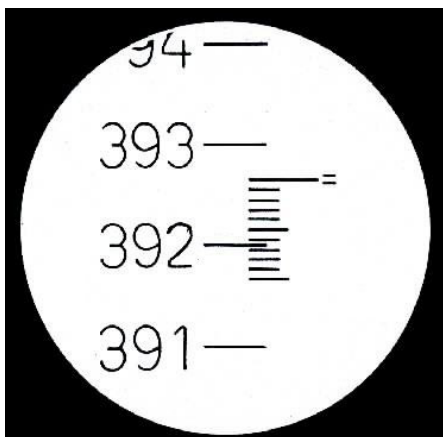
Obr. 7.20. Schéma konštrukcie nivelačného prístroja

7.3.1.1 Libelové nivelačné prístroje

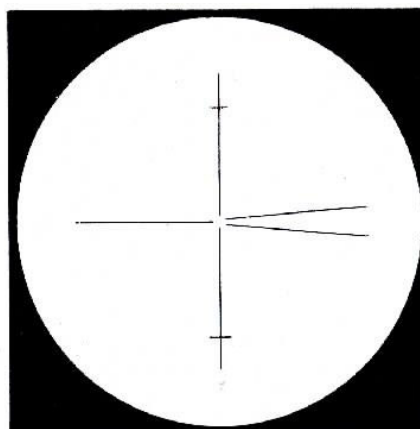
Základnými súčiastkami libelového nivelačného prístroja sú: podložka, ďalekohľad a nivelačná libela (obr. 7.20).

Podložka nivelačného prístroja, sa na rozdiel od podložky teodolitu, nedá od prístroja oddeliť. V ramenách podložky sú tri stavacie skrutky, ktorými vykonávame horizontáciu prístroja. Do ložiska podložky zapadá čap vertikálnej osi, na ktorom je pripevnený nosník ďalekohľadu. Na podložke je svorka a pohybovka na upevňovanie a jemné zacieľovanie prístrojom, ako aj kruhová libela na predbežné urovnanie prístroja. Niektoré nivelačné prístroje sú vybavené aj vodorovným kruhom

(obr. 7.21), ktorý využívame na vytyčovanie súvisiace s výškovým meraním, napr. na vytyčovanie profilov v plochom území.

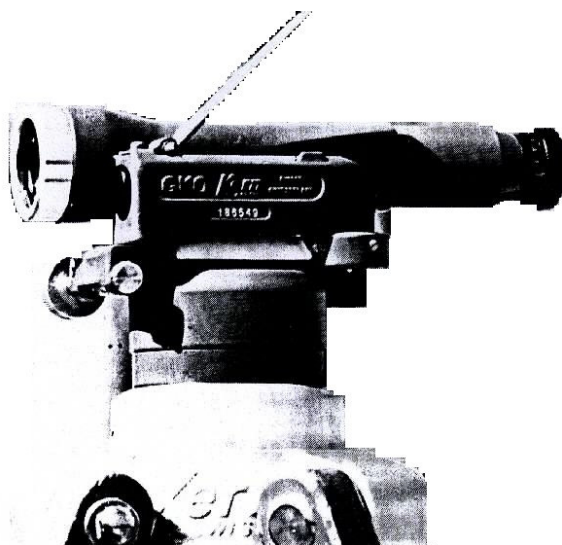


Obr. 7.21. Čítanie na vodorovnom kruhu nivelačného prístroja Wild NK2: $392,66^\circ$



Obr. 7.22. Zámerný kríž nivelačného prístroja

Ďalekohľad nivelačného prístroja má všetky vlastnosti ďalekohľadu používaného aj na teodolite. Vyžaduje sa od neho, aby mal primeraný pomer zväčšenia a jasnosti ďalekohľadu, pretože len tak môžeme zaistiť spoľahlivé a presné čítanie latového úseku. Zväčšenie ďalekohľadu sa pohybuje od 20 až do 50-násobného zväčšenia. Ďalekohľady sú vybavené zámerným krížom a dvoma diaľkomernými ryskami. Presné nivelačné prístroje majú polovicu vodorovnej rysky nahradenú ryskami v tvare klinu (obr. 7.22). Ďalekohľadom môžeme otáčať v malých medziach vo zvislej rovine okolo kľbu 7. Otáčanie v rozsahu asi $\pm 5^\circ$ umožňuje tzv. zdvíhacia alebo elevačná skrutka 6.



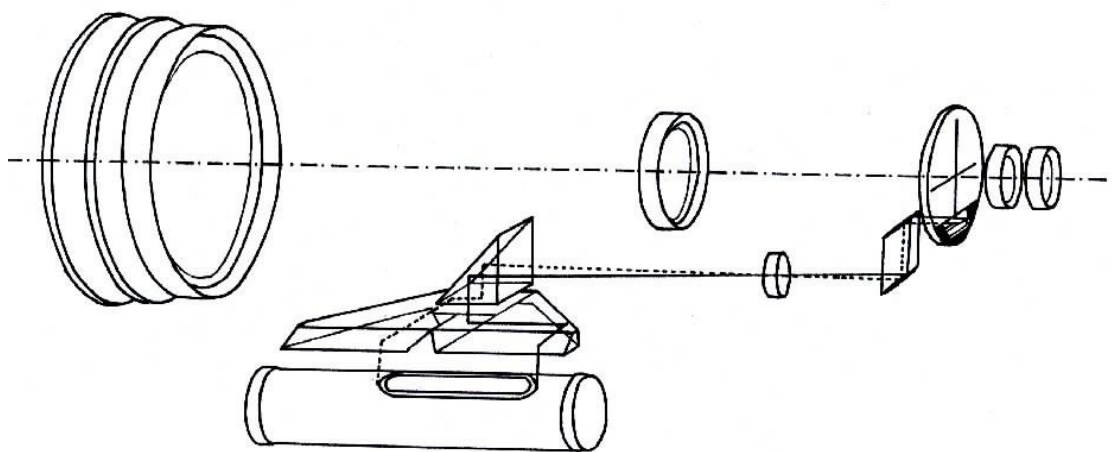
Obr. 7.23. Nivelačný prístroj Kern GKO so zrkadlom na pozorovanie libely

Na ďalekohľade je pripevnená nivelačná libela. Urovnaním nivelačnej libely tesne pred čítaním na lati elevačnou skrutkou, nastavíme zámernú os do vodorovnej polohy. Citlivosť nivelačných libiel je rôzna. U technických a inžinierskych nivelačných prístrojov býva v rozsahu od $60''$ do $10''/2$ mm. Presné nivelačné prístroje majú citlivosť od $10''$ do $3''/2$ mm. Malé úpravy vzájomnej polohy osi libely a zámernej osi docieľujeme rektifikačnými skrutkami nivelačnej libely 13.

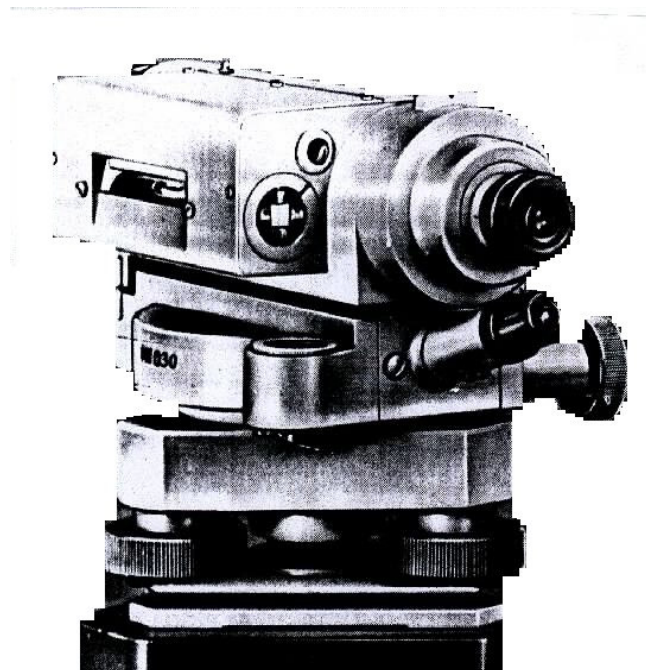
Pozorovanie nivelačnej libely sa konštrukčne uskutočnilo rôzne, avšak s cieľom pozorovať libelu od okuláru, do smeru latovej stupnice. Na jednoduchých prístrojoch sa to docieľilo tak, že nad libelou sa umiestnilo šikmé zrkadlo, v ktorom je možné pozorovať libelu (obr. 7.23).

Výhodné je konštrukčné využitie Wildových odrazových hranolov na kontrolu urovnania libely (obr. 7.24). Hranolmi sa premiestňuje pozorovanie na ľubovoľné miesto v okolí okulára. Spravidla sa

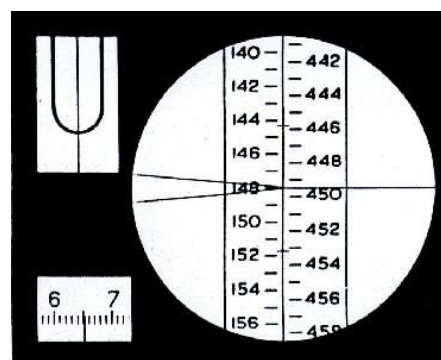
to uskutoční do zvláštneho okienka vedľa okulára ďalekohľadu (obr. 7.25), alebo priamo do zorného poľa ďalekohľadu (obr. 7.26).



Obr. 7.24. Wildove odrazové hranoly



Obr. 7.25. Nivelačný prístroj Zeiss Ni 030 – pozorovanie nivelačnej libely vedľa okulára prístroja



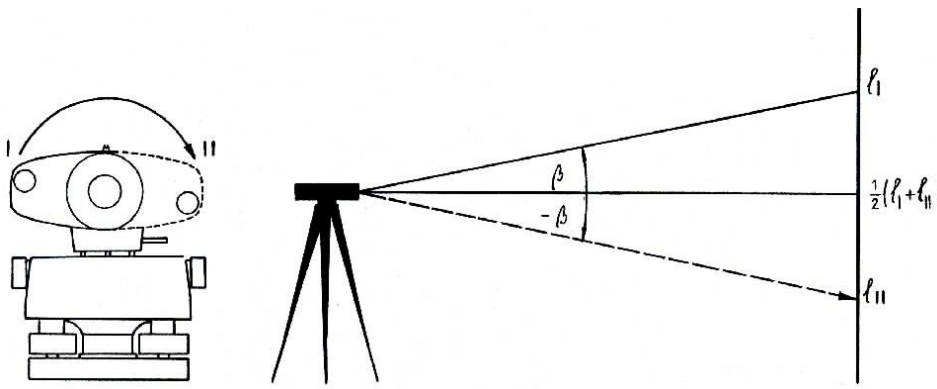
Obr. 7.26. Obráz urovnanej nivelačnej libely v zornom poli prístroja (čítanie na lati: 148,653 cm)

Na osvetlenie libely slúži odrazové zrkadielko. Libela je urovnaná vtedy, ak oba jej konce sú skoincidované (obr. 7.26).

Elimináciu nerovnoběžnosti osi libely (L) a zámernej osi ďalekohľadu (Z) umožňuje u prístroja Wild N2 čítanie na lati v dvoch polohách nivelačnej libely (obr. 7.27). Pretočenie libely z I. do II. polohy vykonáme jednoduchým pretočením schránky libely z ľavej strany na pravú stranu ďalekohľadu.

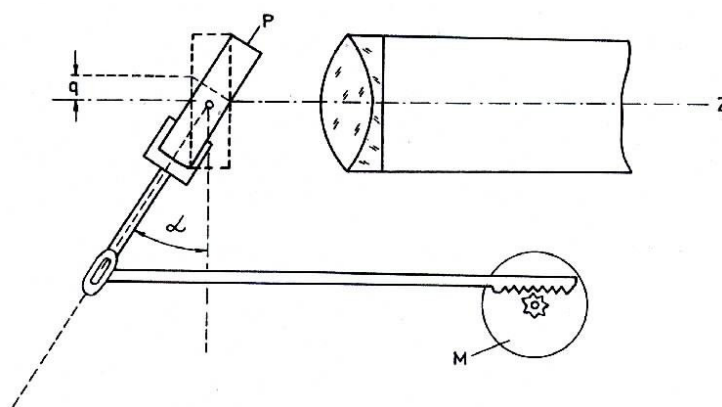
Doplňkovým zariadením inžinierskych nivelačných prístrojov je optický mikrometer, pomocou ktorého môžeme čítať zlomky latovej stupnice. Schému funkcie optického mikrometra predstavuje obr. 7.28. Presné nivelačné prístroje majú už zabudovaný optický mikrometer v konštrukcii prístroja, alebo ho môžeme na prístroj nasadiť (obr. 7.29). Skrutkou optického mikrometra M ovládame a

pootáčame planparalelnú doštičku P . Funkciou pootočenja planparalelnej doštičky o uhol α je posun zámernej osi o hodnotu q , ktorú čítame priamo na bubienku M , alebo na obraze stupnice optického mikrometra v zornom poli ďalekohľadu prístroja (obr. 7.26).

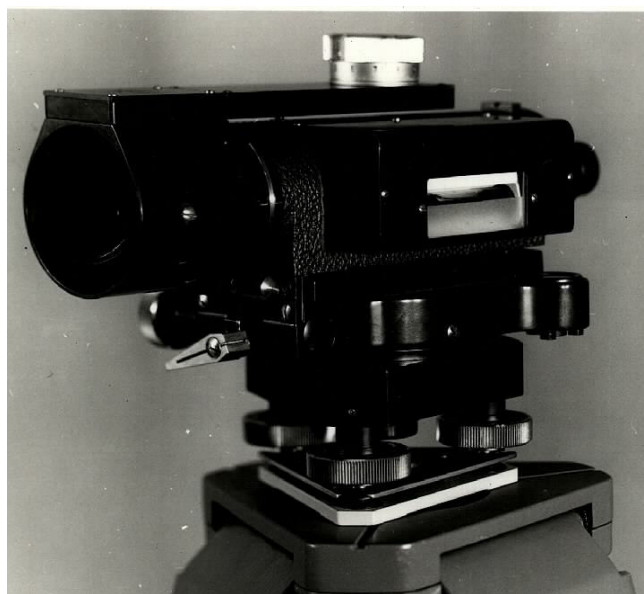


Obr. 7.27. Eliminácia chyby L | Z meraním v dvoch polohách libely

Nivelačné prístroje hodnotíme ako jednôúčelové prístroje na meranie prevýšenia. Z tohoto dôvodu nevykonáme bližší popis jednotlivých typov libelových nivelačných prístrojov, ako sme to urobili pri teodolitoch. Obmedzíme sa len na vyznačenie technických údajov, aj to len u niektorých najužívanejších prístrojov. Údaje sú uvedené v tab. 7.3.



Obr. 7.28. Schéma funkcie optického mikrometra na nivelačnom prístroji



Obr. 7.29. Nivelačný prístroj Zeiss Ni 030 s nasadzovacím optickým mikrometrom

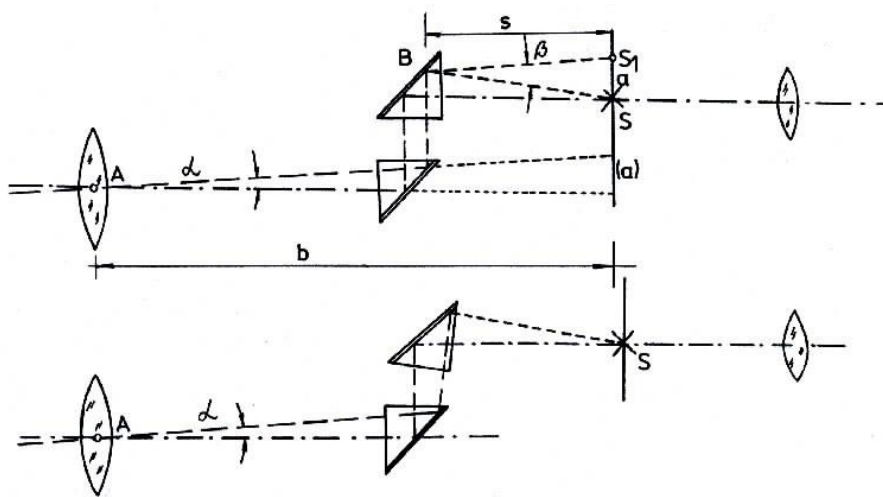
7.3.1.2 Kompenzátorové nivelačné prístroje

Zdokonalenie nivelačných prístrojov prinieslo zariadenie na automatické urovnanie zámery, ktoré využíva pôsobenie zemskej tiaže. U kompenzátorových nivelačných prístrojov odpadá urovnávanie nivelačnej libely, ktoré zdržiavalo celý meračský výkon a pri nepozornosti mohlo byť aj zdrojom hrubých chýb (neurovnávanie nivelačnej libely pred čítaním na lati).

Kompenzátor je opticko-mechanický prvok, plní svoju funkciu len v určitých malých medziach sklonu ďalekohľadu okolo vodorovnej úrovne 15° až 1° . Preto sa kompenzátorové nivelačné prístroje pred čítaním urovnávajú pomocou kruhovej libely, ktorá svojím rozsahom citlivosti zaisťuje aktívnu polohu kompenzátora.

Princíp automatickej horizontácie zámery

Pri horizontálnej zámere ďalekohľadu hlavný lúč prichádzajúci z objektu (cez hlavný bod ďalekohľadu A) prechádza cez stred zámerného kríža S . Keď sa ďalekohľad nakloní o uhol α , pretne hlavný lúč rovinu zámerného kríža pod alebo nad stredom zámerného kríža v bode S_1 (obr. 7.30).



Obr. 7.30. Princíp automatickej horizontácie zámery

Čítanie na lati je pochybené o hodnotu

$$a = b \operatorname{tg} \alpha = b \frac{\alpha^{cc}}{\rho^{cc}}, \quad (7.26)$$

kde b je obrazová vzdialenosť a α je sklon zámery. Aby sme čítali hodnoty na lati aj v tejto polohe ďalekohľadu, musí sa prichádzajúci lúč od objektu usmerniť optickou cestou do stredu zámerného kríža zrkadlom (alebo hranolom) umiestneným v bode B , ktoré lúč odchyľí o uhol β , pričom platí:

$$a = s \operatorname{tg} \beta = s \frac{\beta^{cc}}{\rho^{cc}}. \quad (7.27)$$

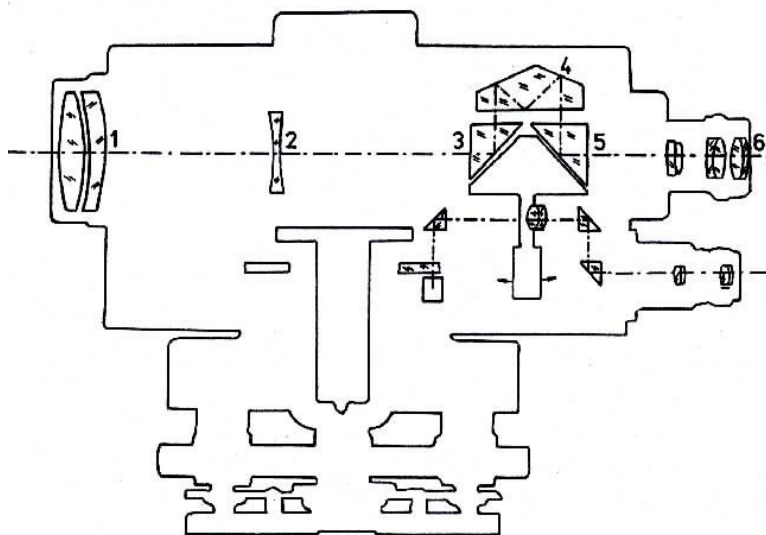
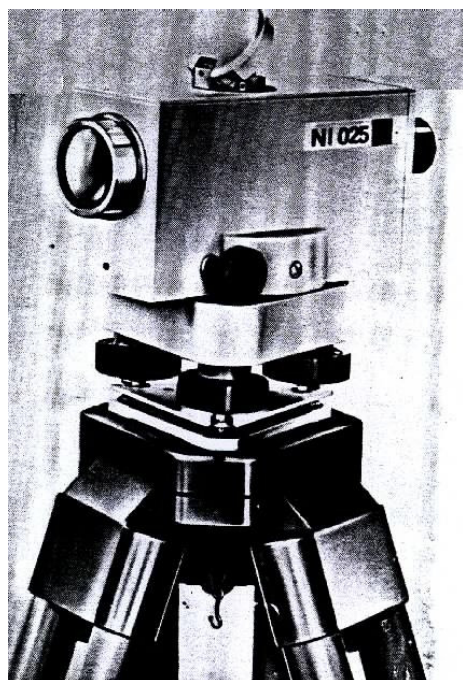
Porovnaním rovníc (7.26) a (7.27) dostaneme:

$$\frac{b}{s} = \frac{\beta}{\alpha} = k. \quad (7.28)$$

Pomer $\frac{\beta}{\alpha} = k$ je tzv. zväčšenie uhla (koeficient kompenzácie), závisí od umiestnenia bodu B .

Bod sa umiestňuje vnútri ďalekohľadu. Aby sa neobsadil priestor pre zaoštrovaciu šošovku a aby bol kompenzátor malý, umiestňuje sa čo najbližšie k rovine zámerného kríža, kde $k > 2$. Bod B môže byť aj pred objektívom, ak kompenzátor je samostatný nasadzovací prvok. Kompenzátor prevezme sklon ďalekohľadu α , príslušne ho zväčší a polohovo kompenzuje tak, že horizontálnu zámeru prevedie na stred zámerného kríža.

Kompenzácia uhla sklonu sa môže vytvoriť rôznymi kompenzátorovými systémami, ktoré pracujú s koeficientom kompenzácie $k \geq 1$, pričom zväčšenie uhla sklonu sa dosahuje mechanicky alebo opticky pomocou rôznych optických prvkov, napr. hranolmi, zrkadlami, šošovkami, kvapalinovými klinmi atď. Ďalej spolu s charakteristikou niektorých nivelačných prístrojov si uvedieme niektoré základné konštrukčné systémy kompenzátorov.



Obr. 7.31. Nivelačný prístroj Zeiss NI 025 Obr. 7.32. Schéma nivelačného prístroja Zeiss Ni 025

Nivelačný prístroj Zeiss Ni 025 (obr. 7.31) patrí u nás medzi najrozšírenejšie kompenzátorové nivelačné prístroje. Automatickú horizontáciu zámernej osi zaisťuje opticko-mechanický kompenzátor, zavesený medzi zaoštrovacou šošovkou a okulárom ďalekohľadu (obr. 7.32). Svetelné lúče po prechode objektívom 1 a zaoštrovacou šošovkou 2 dopadajú na hranol 3 upevnený na kyvadle, z ktorého sa odrážajú na hranol strechového tvaru 4. Po trojitom odraze na hranole 4 svetelné lúče postupujú cez hranol 5 do okuláru 6 už vo vodorovnej polohe.

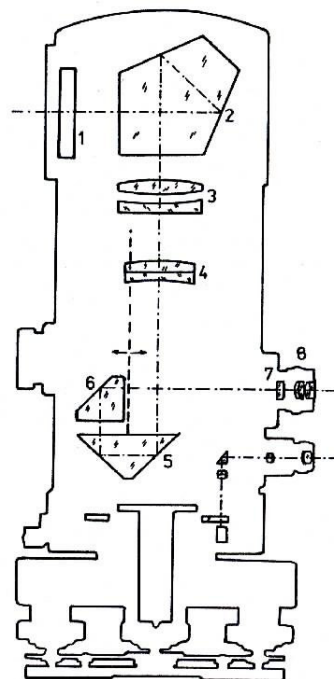
Prístroj má preklzávací spôsob otáčania ďalekohľadu a jemnú pohybovku s nekonečným závitom. Vodorovný kruh má delenie po $10''$.

Nivelačný prístroj Zeiss Ni 007 (obr. 7.33) má periskopické usporiadanie chodu svetelných lúčov. Kompenzácia sklonenej zámeri o uhol β sa docieľuje po prechode svetelného lúča opticko-mechanickým kompenzátorom (obr. 7.34). Pri sklonenej zámere o uhol β by sme čítali na lati pochybenú hodnotu $h = s \beta^{cc}/\rho^{cc}$. Správne čítanie docielime posunom svetelného lúča po prechode kompenzátorom o hodnotu $a = b \beta^{cc}/\rho^{cc}$. Ako kompenzátor sa používa hranol, ktorý pri posune vstupujúceho lúča o hodnotu $a/2$ presunie ho v smere svojej prepony o hodnotu a . Docieľi sa to zavesením hranola na kyvadlo s dĺžkou $b/2$ a pri sklone prístroja o hodnotu β platí:

$$\frac{b}{2\rho^{cc}} \beta^{cc} = \frac{a}{2}, \text{ čím sa obraz cieľa posunie o hodnotu } a. \quad (7.29)$$

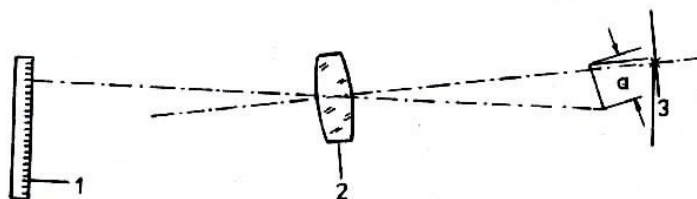
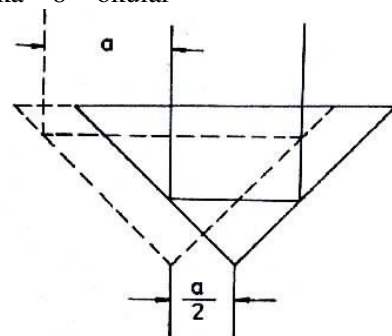
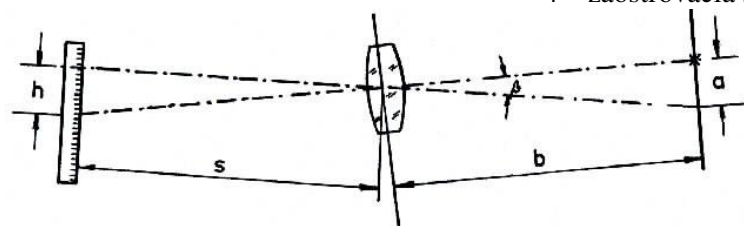


Obr. 7.33. Nivelačný prístroj Zeiss Ni 007



Obr. 7.34. Schéma nivelačného prístroja Zeiss NI 007

- | | |
|--------------------------|-------------------------------|
| 1 – ochranné sklo | 5 – kompenzátorový hranol |
| 2 – pentagonálny hranol | 6 – hranol prevracajúci obraz |
| 3 – objektív | 7 – zámerný kríž |
| 4 – zaostrovacia šošovka | 8 – okulár |



Obr. 7.35. Schéma činnosti kompenzátora v prístroji Ni 007

- 1 – nivelačná lata, 2 – objektív, 3 – zámerný kríž

Chod svetelných lúčov optickou sústavou prístroja je znázornený na obr. 7.35. Prístroj podáva priamy a stranovo verný obraz. Pentagonálny hranol 2 je sklopný okolo vodorovnej osi a pôsobí zároveň aj ako planparalelná doska optického mikrometra. Optický mikrometer môžeme vypojiť z činnosti pri jeho zafixovaní v nulovej polohe. Delenie vodorovného kruhu má po 10° .

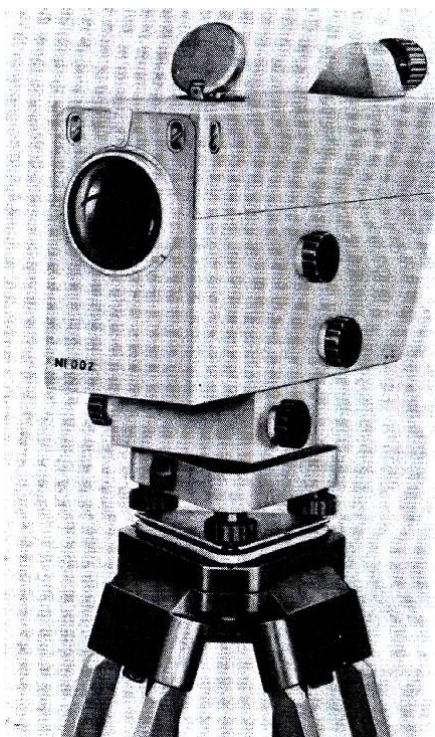
Špičkovú presnosť majú nivelačné prístroje Opton Ni-1 a Zeiss Ni 002 (obr. 7.36). Nivelačný prístroj Zeiss Ni 002 je ľahko ovládateľný nivelačný prístroj. Využíval sa hlavne na meranie v nivelačnej sieti I. a II. rádu a na vedecké účely. Ako kompenzátor slúži zrkadlo umiestnené na kyvadle. Možnosťou merania v dvoch polohách kompenzátora eliminujeme systematické chyby z nevodorovnosti zámernej priamky. Prístroj má otočný okulár. Do zorného poľa okulára sa premieta obraz kruhovej libely a stupnica optického mikrometra.

Technické údaje niektorých libelových, kompenzátorových a digitálnych nivelačných prístrojov uvedených v tejto kapitole, ako aj niektorých ďalších prístrojov sú v tab. 7.3.

Technické údaje nivelačných prístrojov

Tabuľka 7.3

Prístroj	Stredná kilometrová chyba m _o [mm]	Zväčšenie	Citlivosť		Najmenšia vzdialenosť zaost. [m]	Hmotnosť [kg]
			libely cc /mm	kompen- zátor ^{cc}		
<u>Libelové nivelačné prístroje</u>						
a) na technickú niveláciu						
Zeiss Ni 030	2,3 - 0,8*	25x	90		1,8	1,9
Meopta N 30	2,0	30x	30		1,4	2,1
Wild N2	2,5	28x	90		1,8	2,8
*Môžeme nasadiť planparalelnú doštičku s mikrometrickým bubienkom.						
b) na presnú a veľmi presnú niveláciu						
Zeiss Ni 004	0,3 - 0,4	44 x	30		3,0	6,1
MOM-Ni-A1	0,2 - 0,3	40 x	30		2,5	4,2
Wild N3	0,2	42 x	30		2,15	3,5
<u>Kompenzátorové nivelačné prístroje</u>						
a) na technickú niveláciu						
Zeiss Ni 025	2,5	25 - 28 x		1,5	1,5	1,7
Zeiss Ni 050						
b) na presnú a veľmi presnú niveláciu						
Zeiss Ni 007	0,5	31,5 x		0,45	2,2	3,9
Zeiss Ni 002	0,2 - 0,3	40 x		0,15	1,5	6,5
Zeiss Ni 005A	0,5	35 x		0,9	0,9	3,9
Wild NAK 1	1,5	24 x		1,5	1,0	2,2
Wild NAK 2	0,3	25,32,40x		0,9	1,6	2,9
OPTON Ni 1	0,2	30,40,50x		0,6	1,4	5,2
OPTON Ni 21	1,0	32 x		0,9	3,3	2,0
<u>Digitálne nivelačné prístroje</u>						
NA 2002 Leica	0,9				1,6	2,5
NA 3003 Leica	0,4				1,6	2,5
DiNi 10 Zeiss	0,3				1,5	3,0
DiNi 20 Zeiss	0,7				1,5	3,0

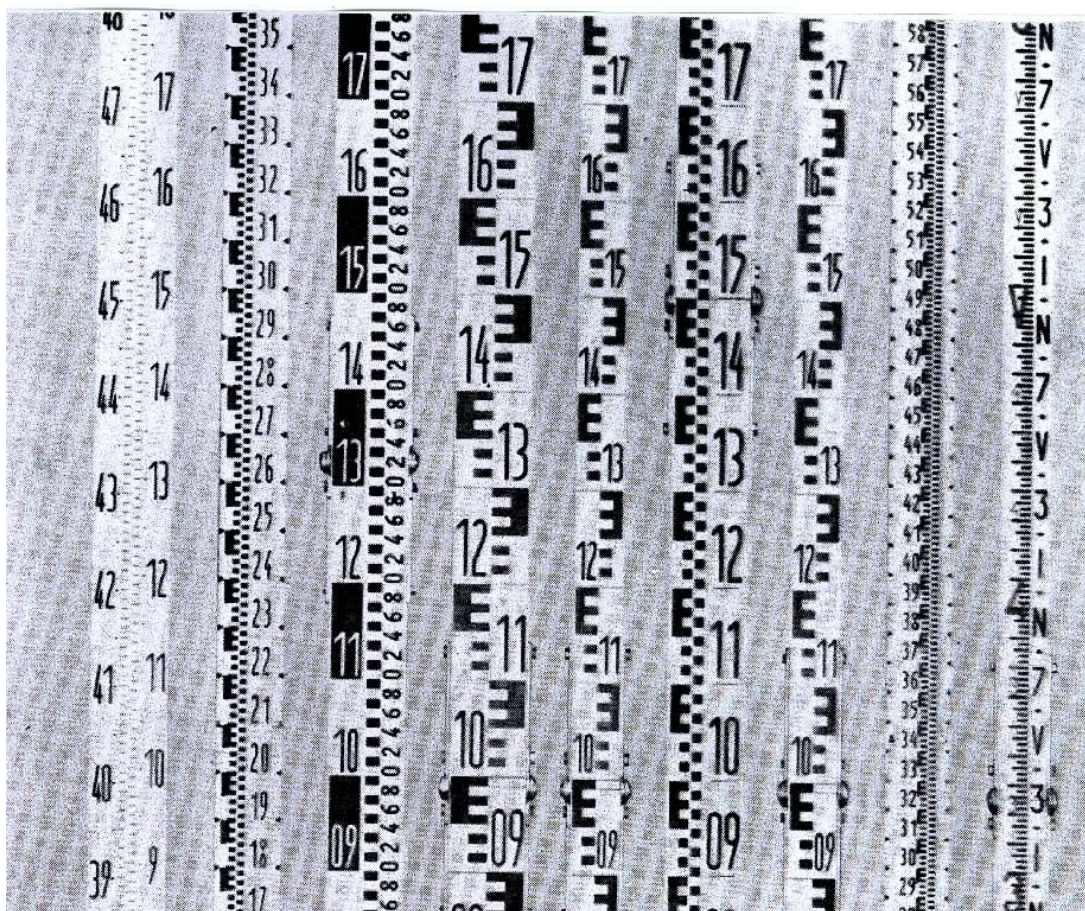


7.3.2 Nivelačné pomôcky

Výšku vodorovnej zámery nad nivelovaným bodom odmeriavame pomocou stupnice nivelačnej laty. Nivelačné laty sa vyrábajú z dreva, alebo umelej hmoty v dĺžkach 2, 3 a 4 m. Delenie stupnice býva priamo nanesené na latu, alebo na páse z kovu resp. z umelej hmoty, ktorý je upevnený na lati. Konce laty sú chránené proti poškodeniu kovovými pätkami. Laty pre bežné výškopisné merania sú vyhotovené z jedného kusa, alebo zo sa skladajú z jednometrových článkov, resp. sú sklopné okolo kľbu.

Delenie stupnice lát býva 5 mm alebo 10 mm. V záujme prehľadnosti delenia sa používajú rôzne usporiadania škály stupnice, ako vidíme na obr. 7.37.

Obr. 7.36. Nivelačný prístroj Zeiss Ni 002



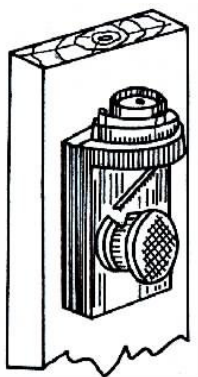
Obr. 7.37. Druhy nivelačných lát

V praxi sa uprednostňujú laty so šachovnicovým delením. S ohľadom na konštrukciu nových nivelačných prístrojov, ktoré podávajú stranovo verný a v normálnej polohe postavený obraz, aj číslovanie na latách je v normálnej polohe. Pásma delenia a číslovania jednotlivých metrov sú striedavo bielo-červené, alebo bielo-čierne.

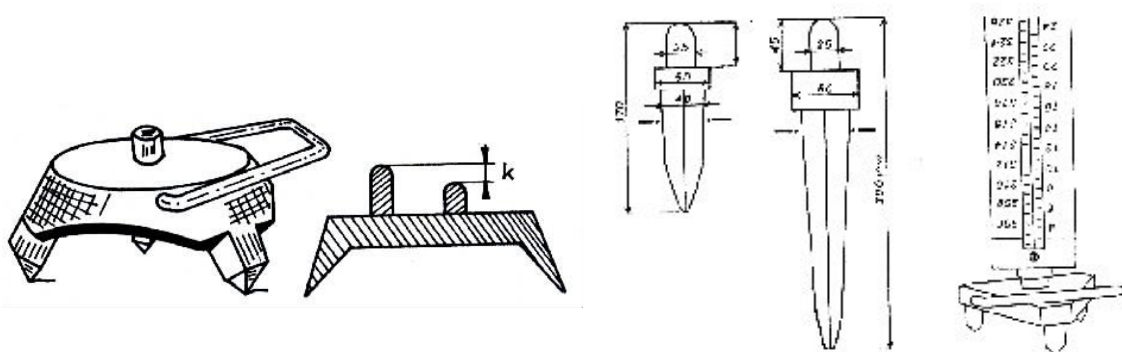
Na presné nivelačné práce (presná nivelácia – PN a veľmi presná nivelácia – VPN) sa používajú špeciálne nivelačné laty, ktoré majú delenie nanesené na invarovom páse (prvá lata zľava na obr. 7.37). Pre kontrolu čítania na stupnici bývajú na lati dve stupnice posunuté o konštantnú hodnotu. Nivelačné laty tohoto druhu sa vyrábajú len z jedného kusa.

Pri bežných nivelačných prácach, spĺňajúcich kritériá technickej nivelácie (TN), držia sa laty vo zvislej polohe manuálne pomocou držiadiel. Pri presných prácach sa zvislá poloha fixuje dĺžkovo prestavovateľnými opornými tyčami. Vertikálne postavenie laty sa upraví pomocou kruhovej libely pripevnenej na lati (obr. 7.38).

Laty pri meraní nekladíme priamo na terén, ale na nivelačnú podložku (obr. 7.39), ktorú pevne zašľapujeme do pôdy. Podložka slúži na dočasnú stabilizáciu prestavového bodu, predstavuje ho jemne opracovaný výstupok, na ktorý kladieme nivelačnú latu. Stabilizácia prestavových bodov sa pri PN a VPN uskutočňuje nivelačným klinom.



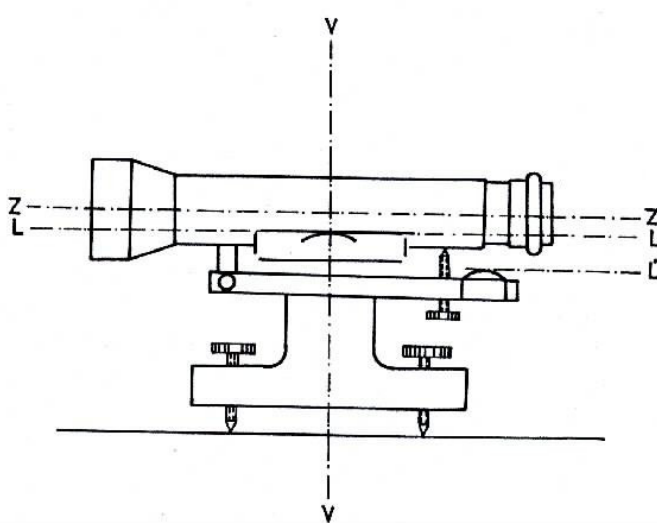
Obr. 7.38. Kruhová libela na nivelačnej late



Obr. 7.39. Nivelačné podložky

7.3.3 Skúška a rektifikácia nivelačného prístroja

Nivelačný prístroj má v rámci prípustných tolerancií spĺňať osové podmienky vyznačené na obr. 7.40.



Obr. 7.40. Znázornenie osí nivelačného prístroja

1. Hlavnou osovou podmienkou u libelového nivelačného prístroja je $L \parallel Z$, t.j. aby zámerná (kolimačná) os ďalekohľadu bola rovnobežná s osou urovnanej nivelačnej libely. Pri kompezátorovom