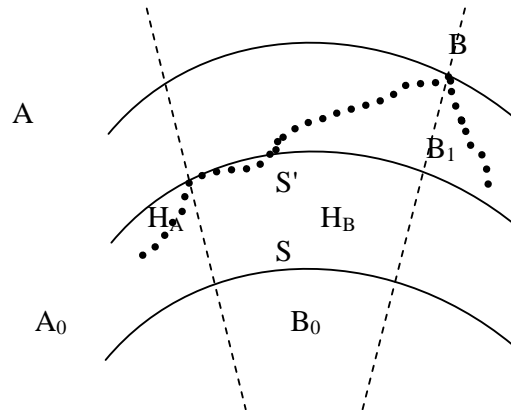


9. NIVELMAN

Nivelman predstavlja skup terenskih i kancelarijskih radova, čiji je krajnji cilj određivanje nadmorskih visina geodetskih i detaljnih tačaka.

9.1. Određivanje visinskih razlika - nivelman. Pojam i podela



Slika 9.1 : *Apsolutna i relativna visina*

NADMORSKA VISINA - apsolutna visina H_A - najkraće rastojanje između nulte nivoske površi i te tačke, mereno po vertikali ($H_A = AA_0$).

VISINSKA RAZLIKA - relativna visina - između dveju tačaka je rastojanje između njihovih nivoskih površi $\Delta H_A^B = H_B - H_A$.

Razlike apsolutnih visina (nadmorskih visina) predstavljaju relativne visine (visinske razlike). Visinska razlika može biti pozitivna ili negativna, tj. pokazuje koliko je jedna tačka viša ili niža od druge.

Apsolutne (nadmorske) visine se određuju računskim putem tako što se početnoj tački čija je visina poznata dodaje relativna visina (visinska razlika) sa pozitivnim ili negativnim predznakom.

Kada se određuje nadmorska visina mora, polazi se od neke normalne tačke čija je visina određena u odnosu na nultu nivosku površ. Srednji nivo mora se opaža na osnovu višegodišnjih opažanja posebnim uređajima - MAREOGRAFIMA.

Za Jugoslaviju se normalna tačka (normalni reper) nalazila u Trstu i njegova visina je iznosila 3,520 m, što je određeno 1875. godine.

1959. godine je napravljen normalni reper u Maglaju, koji je 1961. godine povezan sa mareografima u Dubrovniku i Splitu.

Relativne visine (visinske razlike) se mere neposredno na terenu ili određuju indirektnim putem.

Visinske razlike mogu se odrediti:

- trigonometrijskim nivelmanom;
- geometrijskim nivelmanom;
- hidrostatičkim nivelmanom;
- barometarskim nivelmanom;
- GPS metodom.

Prava slika terena, osim horizontalne predstave mora da sadrži i visinsku - vertikalnu predstavu.

Plan koji ima visinsku predstavu se naziva topografski plan i na njemu se vertikalna predstava može prikazati pomoću:

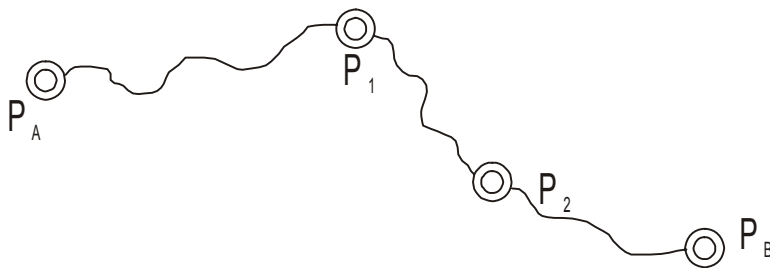
- ispisivanja kota (apsolutnih visina tačaka) određenih tačaka;
- izohipsi (krivih linija koje povezuju tačke sa istom kotom);
- senčenja.

Za vertikalnu predstavu terena je potrebno imati određen broj tačaka za koje su sračunate nadmorske visine (kote).

Za određivanje kota detaljnih tačaka neophodno je na terenu razviti nivelmansku mrežu.

Tačka za koju je određena nadmorska visina u nivelmanskoj mreži se naziva REPER.

Najpovoljnije rastojanje između dva repera se naziva nivelmanska strana (slika 9.2).



Slika 9.2 : Nivelmanski vlak sa četiri repera i tri nivelmanske strane

Više nivelmanskih strana čini NIVELMANSKI VLAK.

Više nivelmanskih vlakova čini NIVELMANSKU MREŽU.

Pri razvijanju nivelmanskih mreža poštovan je geodetski princip "od većeg ka manjem", što znači da se najpre razvija mreža najvećeg obima i najveće tačnosti.

Nivelman se po nameni deli na:

- generalni nivelman;
- detaljni nivelman.

Zadatak generalnog nivelmana je da određuje visinske razlike (Δh) između pojedinih repera u nivelmanskim vlakovima, odnosno nivelmanskim mrežama, pa da se na osnovu njih odredi apsolutna (nadmorska) visina repera.

Detaljnim nivelmanom se određuju nadmorske visine (kote) karakterističnih detaljnih tačaka na nekoj površini ili duž određenih linija.

Zbog toga se detaljni nivelman deli na:

- površinski;
- linijski.

9.1.1. Određivanje visinske razlike pri nagnutoj vizuri

Snimanje detaljnih tačaka polarnom metodom (koristi se Rajhenbahov daljinomer), pored horizontalnog pozicioniranja (određivanje koordinata Y i X), podrazumeva i vertikalno pozicioniranje, odnosno određivanje visinskih razlika ΔH , a potom i apsolutnih visina H.

Potrebno je na terenu izmeriti visinski ugao α (ili zenitno odstojanje Z) i odrediti razliku čitanja $l = g - d$.

Krajnja formula glasi:

$$\Delta H' = \frac{1}{2} Kl \sin 2\alpha + c \sin \alpha$$

što predstavlja visinsku razliku od prekreta durbina do mesta gde vizura pogađa letvu (čitanje podele srednjim koncem).

Kod durbina novije konstrukcije (unutrašnje fokusiranje) ne postoji adicione konstanta, pa je pomenuta visinska razlika

$$\Delta H' = \frac{1}{2} Kl \sin 2\alpha$$

Ukoliko se na vertikalnom limbu čitaju zenitna odstojanja Z uvodi se smena

$$\alpha = 90^\circ - Z$$

pa je

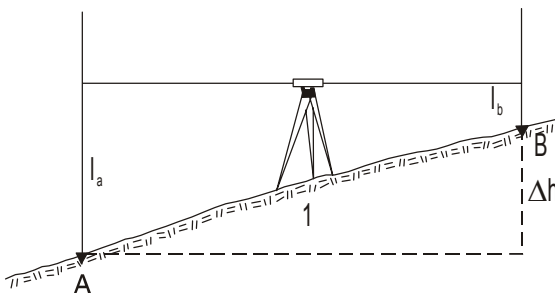
$$\Delta H' = Kl \sin Z \cos Z + c \cos Z$$

odnosno

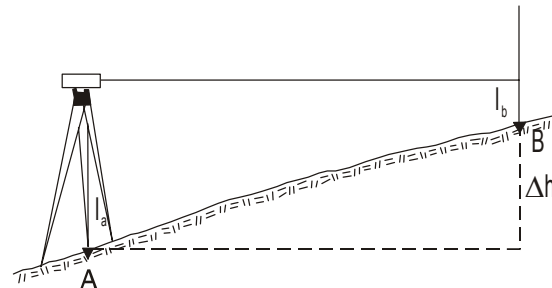
$$\Delta H' = \frac{1}{2} Kl \sin 2Z + c \cos Z$$

9.2. Geometrijski nivelman

Geometrijski nivelman podrazumeva određivanje visinskih razlika na fizičkoj površi Zemlje na osnovu horizontalne vizure. Na tačkama između kojih se određuje visinska razlika se postavljaju letve koje treba da budu vertikalne (slike 9.3 i 9.4).



Slika 9.3 : Nivelanje iz sredine



Slika 9.4 : Nivelanje "s kraja"

Čitanjem vrednosti podela na letvama i njihovim oduzimanjem dobija se visinska razlika.

Zavisno od položaja nivelmanskog instrumenta u odnosu na tačke čija se visinska razlika određuje postoji:

- nivelanje "iz sredine" (slika 9.3);
- nivelanje "s kraja" (slika 9.4).

Nivelanje "iz sredine" se uglavnom primenjuje u svim vrstama generalnog nivelanja, jer omogućava postizanje veće tačnosti.

Visinska razlika se dobija kao:

$$\Delta H_{AB} = l_a - l_b \quad \text{ili} \quad \Delta H_{BA} = l_b - l_a$$

gde je:

- l_a - čitanje podele letve na tački A (ZADNJOJ LETVI);
- l_b - čitanje podele letve na tački V (PREDNJOJ LETVI);
- ΔH_{AB} - visinska razlika između tačaka A i B;
- ΔH_{BA} - visinska razlika između tačaka B i A.

Očigledno da je

$$\Delta H_{AB} = - \Delta H_{BA}.$$

Nivelanje "s kraja" se koristi kod detaljnog nivelmana (radovi manje tačnosti) i u postupku ispitivanja nivelmanskih instrumenata.

U svim radovima koji se odnose na generalni nivelman, visinske razlike se određuju nivelanjem iz sredine, a u pojedinim radovima je potrebno odrediti dve vrednosti jedne iste visinske razlike. To se može postići:

- promenom visine instrumenta;
- korišćenjem letvi sa dvostrukom podelom;
- nivelanjem sa dvostrukim veznim tačkama.

Promenom visine instrumenta se obezbeđuje i drugo nezavisno čitanje, tako što se po očitavanju obe letve ponovo horizontira instrument na drugoj visini, pa izvrši ponovno čitanje na obe letve.

Tako dobijene dve visinske razlike treba da se razlikuju najviše do 3 mm, a za definitivnu vrednost se usvaja aritmetička sredina. Redosled čitanja je Z_1 ; P_1 ; P_2 ; Z_2 , zbog sleganja nivelira i papuča na kojima se nalaze letve.

Pomoću letvi sa dvostrukom podelom se postiže isti efekat na brži i jednostavniji način. Letve imaju dve podele koje se međusobno razlikuju za vrednost koja se naziva konstanta letve. Redosled čitanja je Z_1 ; P_1 ; P_2 ; Z_2 iz istih razloga.

Niveliranje sa dvostrukim veznim tačkama podrazumeva po par veznih tačaka ili korišćenjem nivelmanskih papuča sa dva repera. Postupak i redosled čitanja su isti.

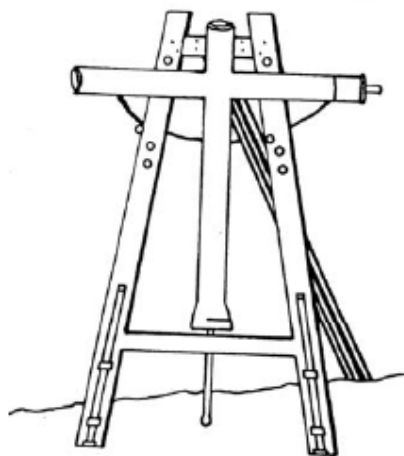
9.3. Nivelmanski instrumenti

Nivelir je osnovni instrument za merenje visinskih razlika u geometrijskom nivelmanu. Osnovni sastavni deo mu je durbin, koji se zajedno s uređajima za horizontiranje geodetske vizurne linije, odnosno geodetske vizurne ose, može okretati oko glavne ili vertikalne ose nivelira. Pomoću uređaja za horizontiranje postavlja se geodetska vizurna osa u horizontalnu ravan, pa se visinske razlike tačaka određuju očitavanjem na mernim letvama koje se postavljaju vertikalno pomoću centrične libele na tačke kojima merimo visinsku razliku. Niveliri se postavljaju na stativ, obično u sredinu između tačaka čija se visinska razlika određuje.

Razvoj nivelira započinje otkrićem durбина početkom XVII veka, a posebno otkrićem cevaste libele. Prof. Picard, koji je prvi primenio durbin za geodetska merenja, konstruisao je 1674. godine instrument s durbinom koji je služio za merenje vertikalnih uglova. Za horizontiranje durбина služilo je klatno povezano s durbinom, a naginjanjem durбина s klatnom očitavao se ugao na luku podeljenom na minute (0,4mm/1,3 m), (slika 9.5). Ovaj instrument Picard je primenio i za niveliranje, pa ga možemo smatrati prvim geodetskim instrumentom s durbinom za merenje vertikalnih uglova i prvim nivelirima s durbinom. Razvoj nivelira s libelama započinje početkom XVIII veka. Tako npr. Mallet izveštava 1702. godine o nivelirima s izvlačenjem okularne cevi i s elevacionim zavrtnjem. Cevaste libele su bile u početku lošeg kvalitete i tačnosti, pa tek krajem XVIII veka dobijaju upotrebljive oblike.

Više od jednog veka proteklo je za razvoj libele i njenu primenu. To je nezamislivo, u današnjem opsegu razvoja, kada je jedna decenija dovoljna za značajne promene u mernoj tehnici! Godine 1770. otkrio je J. Mayer centričnu libelu, a 1857. konstruisan je prvi nivelir s reverzionom libelom. Važna konstruktivna poboljšanja nivelira nastaju konstrukcijama H. WILDA od 1908. godine nadalje, a to su: unutrašnje izoštravanje, libela s koincidencijom mehura, telo durбина i nosač libele od jednog odlivka i mikrometar s planparalelnom pločom. Mogle su se razlikovati dve osnovne konstrukcije nivelira:

- niveliri sa čvrstim durbinom i cevastom libelom (slika 9.6),
- niveliri s durbinom za okretanje i reverzionom libelom.



Slika 9.5 : *Picardijev nivelir*

Tadašnji moderni niveliri sa veoma usavršenim libelama imali su građu sa čvrstim durbinom i s njim čvrsto povezanom libelom, najčešće i s elevacionim zavrtnjem (samo oko 40% jednostavnih nivelira i nivelira srednjih točnosti s libelama nisu imali elevacioni zavrtnj). Niveliri s durbinom za prelaganje prestali su se ubrzo proizvoditi, kao i niveliri s durbinom za okretanje i s reverzionom libelom.

Niveliri sa libelama imaju uz durbin ili iznad njega cevastu libelu koja se zove nivelaciona libela. Kod najstarijih konstrukcija nivelira, ova libela bila je najčešće izvedena kao jahaća libela.

Cevasta libela je tehnološki usavršena, dobro zaštićena, ali nažalost i nakon tako dugog razvoja ima značajne nedostatke, posebno zbog osetljivosti na temperaturne promene. Libele visokih osetljivosti imaju vrlo nemirne mehure, što u mnogome otežava rad kod preciznih merenja.

9.3.1. Automatski niveliri

Proces razvoja nivelira znatno se menja kad se 1950. godine u Oberkochenu pojavljuje nivelir Zeiss Ni2 s kompenzatorom umesto libele – to je bio prvi nivelir s automatskim horizontiranjem vizurne linije. Nivelir više nema cevaste libele, a time nema ni operacija vrhunjenja što ubrzava i olakšava rad. Nivelir je dovoljno horizontirati pomoću centrične libele. Automatizacijom mernog procesa efikasnost rada je povećana i do 40 %.

Između 1950. i 1968. godine prodato je pedeset hiljada nivelira ovog tipa i još mnogo posle toga. Kako je merenje sa automatskim nivelirima bilo mnogo brže, ovi instrumenti (slika 9.7) su postali dominantni na tržištu. Ubrzo nakon pojavljivanja ovih

instrumenata, njihovi korisnici su informisani o sistematskim greškama (kao što je odstupanje horizonta), koje su morali imati u vidu pri procesu merenja.

Na 16. Internacionalnom kongresu geodeta 1983. godine, udruženje geodeta je upozorilo na efekat magnetnog polja kod automatskih nivelira. Npr. Carl Zeiss Ni1 automatski nivelir je pokazivao grešku od 1.0 – 1.5 mm/km na pravcu sever-jug. Do kraja 1983. godine proizvođači su efekat magnetnog polja redukovali. Korisnici automatskih nivelira proizvedenih pre 1983. godine trebali su biti svesni ovog problema kod izvršenja preciznih nivelmanskih zadataka..

Konstrukcije nivelira sa automatskim horizontiranjem stare su već 200 godina, a posebno su proširena istraživanja na tom području u ovom veku. Iz starijeg razdoblja razvoja spomenimo neke interesantne konstrukcije. Nivelir sa automatskim horizontiranjem iz 1799. godine od nepoznatog je konstruktora, a primerak se i danas čuva u Šumarskoj akademije u Clausthalu. Zatim, Couturierov nivelir iz 1878. godine i nivelir konstruktora Heinrich Wilda, kojeg je izradila fabrika Zeiss u Jeni 1923. godine.



Slika 9.6 : Nivelir sa libelom



Slika 9.7 : Nivelir sa kompenzatorom

9.3.1.1. Pregled automatskih nivelira

Iako su danas na tržištu zastupljeni uglavnom digitalni niveliri koji pružaju efikasnije obavljanje geodetskih zadataka, još uvek imamo prisutne i optičke, automatske nivelire. Automatski niveliri imaju veliku primenu u građevinarstvu na gradilištima, te pri izvođenju raznih građevinskih objekata. Njihova tačnost zadovoljava potrebe ovakvih radova, jednostavni su za rukovanje, a cenom su pristupačni, pa predstavljaju osnovni instrument na gradilištu za potrebe niveliranja. U tabeli 9.1 dat je pregled osnovnih tehničkih karakteristika nekih automatskih nivelira koji se danas proizvode (slika 9.8 i 9.9).

Tip instrumenta	NA720 Leica	NA730 Leica	RUNNER 20 Leica
Tačnost merenja visina (sred. greška niveliranja napred-nazad na 1 km)	2.5 mm (ISO 17123-2)	1.2 mm (ISO 17123-2)	2.5 mm (ISO 17123-2)
Tačnost kompenzator	< 0.5"	< 0.3"	0.5"
Radno područje kompenzatora	± 15'	± 15'	± 15'
Uvećanje durbina	20x	30x	20x
Primena	Za radove na gradilištima	Za građevinske i geodetske radove	Za radove na gradilištima
Masa instrumenta	1,6 kg	1,7 kg	2,0 kg

Tabela 9.1 : Tehnički podaci automatskih nivelira



Slika 9.8 : Leica Runner20

Slika 9.9 : *Leica NA 700*

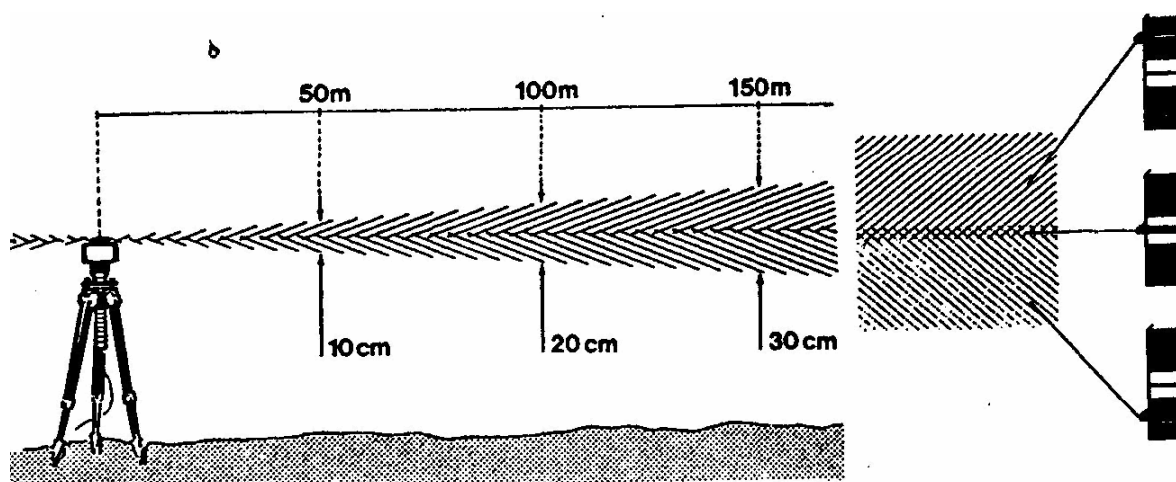
9.3.2. Laserski niveliri

Posebne konstrukcije nivelira su laserski niveliri s rotirajućim laserskim zrakom. Pojavili su se 1973. godine. Primenjuju se najviše za površinski nivelman. Pomoću laserskog zraka ostvaruje se horizontalna referentna ravan, pa se može meriti istovremeno na svim okolnim tačkama unutar radijusa do 250 m, ali uz veću udaljenost tačnost merenja je manja. Kod većine konstrukcija referentna ravan može se nagnuti za određeni ugao, što omogućava svestraniju primenu (npr. Geoplane 300, AGA).

Geoplane 300 ima ugrađen helijum-neonski laser snage 1 mW. Glava instrumenta se rotira oko vertikalne ose sa ~ 10 okretaja u sekundi. Na dijametralnim stranama glave nalaze se dva otvora za propuštanje dva polarizovana laserska zraka dobijenih optičkim putem od istog izvora, tako da je jedan zrak otklonjen za mali elevacioni ugao, a drugi za jednak depresioni ugao s obzirom na referentnu ravan. Ugao je izabran tako da su intenziteti svetlosti jednaki u ravni simetrije, tj. referentnoj ravni. Ako se gleda prema instrumentu, videće se laserski svetlosni snopovi određene širine (slika 9.10).

Kad je oko izvan referentne ravni (uzak pojas preklapanja snopova), videće se niz svetlosnih impulsa različitog intenziteta (~ 10 impulsa u sekundi). U ravni simetrije oko prima impulse obeju dijametralnih snopova, tj. ~ 20 impulsa u sekundi, koje više ne može razdvajati. To znači da se pomeranjem oka u smeru vertikale može naći položaj referentne ravni. Kako bi se olakšalo određivanje tačaka i povećala tačnost indikacije, upotrebljava se pomoćni pribor za vizualno ili fotoelektrično primanje svetlosnih signala. Za vizualno posmatranje služi staklena pločica s indeksom na nosaču postavljenom na vertikalnu letvu, od koje oko pri posmatranju impulsa mora biti udaljeno 30 do 50 cm. Fotoelektrični

detektor sastoji se od dva dela: prijemnika s fotoćelijom i jedinice s instrumentima koja sadrži bateriju i indikator.



Slika 9.10 : Odašiljanje i prijem laserskih snopova pomoću fotoelektričnog detektora

Prijemnik se pomera po mernoj letvi sve dok kazaljka indikatora ne bude na nuli. Prijemnik ima dve fotodiode. Svaka dioda prima odgovarajuće polarizovano svetlo. Ako se visinski indeks nalazi izvan referentne ravni, kazaljka će pokazati otklon (pozitivan ili negativan), već prema tome koja fotodioda prima svetlosne impulse. Unutar vrlo uskog područja (2 mm/60 m) obe fotodiode su jednako osvetljene, pa se kazaljka indikatora postavlja u nulto područje unutar belog polja (slika 9.10), što znači da je indeks u referentnoj ravni. Indikator se može odvojiti od prijemnika i držati u ruci, a s prijemnikom je spojen pomoću kabla.

Geoplane 300 postavlja se za merenja na stativ sa specijalnom glavom. Izvor energije je baterija napona 12 V. U donjem delu instrumenta nalaze se električni delovi i laser, a u gornjem motor i stabilizator brzine okretanja. Aluminijska cev ima podelu u centimetrima, pa se može podešavati visina referentne ravni. Horizontiranje je automatsko s područjem kompenzacije $\pm 0,2$ gon. Brzina rotacije može se regulisati. Pri jačoj svetlosti i većim dužinama ona se mora smanjiti. Referentnu ravan moguće je nagnuti za određeni ugao. Tačnost merenja iznosi ± 2 mm unutar poluprečnika od 60 m, odnosno ± 2 cm na udaljenostima do 250 m. Instrument ima masu 8 kg. Detektor se može upotrebiti i za kontrolu vođenja pokretne građevinske mašine.

Sličnih su konstrukcija Laserplane-Rotolite, Spectra-Physics; Laser Beacon 5000, Laser Alignment, SAD.

Proizvodile su se i digitalne letve (kao deo opreme) za prijem laserskog zraka i očitavanje, čime je tačnost u znatnoj meri povećana, tako da je nastala mogućnost

primene laserskih nivelira ovih konstrukcija i u preciznom nivelmanu uz automatizaciju mernog procesa.

Jedina razlika od današnjih sistema jeste primena gas lasera i predlog za postavljanje sočiva u laserski snop.

Danas su rotirajući laserski niveliri skoro u potpunosti zamenili klasične nivelire na gradilištima. Ovi niveliri su jeftiniji od klasičnih instrumenata i efikasniji su od kako imaju mogućnost nivelanja samo sa jednim operaterom.

9.3.2.1. Pregled laserskih nivelira

Laserski niveliri imaju jednu veliku prednost nad ostalim nivelirima: dok je kod automatskih nivelira potrebna jedna osoba za instrumentom da očitava vrednosti na letvi, a druga da drži letvu, kod laserskih nivelira potrebna je samo jedna osoba koja će držati štap sa senzorom (umesto letve) i u isto vreme kontrolisati proces merenja. Ovi instrumenti imaju veliku primenu pri radovima gde je potrebno odrediti površinske nagibe. To su radovi kod iskopa, temeljenja, betoniranja, pravljenja parkirališta, pista, sportskih terena, polaganja cevovoda i drugi slični zadaci. Pregled osnovnih karakteristika nekih laserskih nivelira koji se danas proizvode dat je u tabeli 9.2, a predstavljeni su i na slikama 9.11, 9.12 i 9.13.

Tip instrumenta	Rugby 200 Leica	Rugby 400DG Leica	Triax Sokkia EL 400H	Topcon RL- H3CS
Radni domet	300 m	750 m	300 m	od 2- 30 m
Tačnost (ISO 17123- 6)	± 1.5 mm na 30 m	± 1.6 mm na 30 m	±3 mm na 30 m	±3.6mm na 50m
Mogućnost nagiba	-	- 5% do + 25% po bilo kojoj osi, - 5% do + 15% dvoosno	± 10 % jednoosno	±5 % jednoosno
Radna temperatura	-20°C do +50°C	-20°C do + 50°C	-	-
Težina	2.5 kg	5 kg	3 kg	1.9 kg

Tabela 9.2 : Tehnički podaci laserskih nivelira



Slika 9.11 : *Leica Rugby 400DG*



Slika 9.12 : *Triax EL 400H*



Slika 9.13 : *Tpocon RL-H3CS*

9.3.3. Digitalni niveliri

Dugo vremena u celom svetu nastojalo se da se u geometrijskom nivelmanu automatski očitavaju letve i registruju ta očitavanja. To je bio veliki problem, naročito zato što su letve udaljene od nivelira, pa su razni istraživači pokušali to rešiti na različite načine.

Jedan od prvih mernih načina bez lasera i „elektroničkih“ nivelmanskih letvi razvio je prof. dr. H. Zetche sa Univerziteta u Bonnu (Zetsche, 1966). Interesantno je ovde napomenuti da je on prvi primenio i inkrementalnu tehniku kod elektronskih teodolita pri automatskoj registraciji čitanja horizontalnih i vertikalnih uglova. U načinu koji je predložio H. Zetsche, položaj slike letve u slikovnoj ravni nivelira određuje se elektronski. Instrument je u ono vreme imao skupu „zoom“ optiku, a i digitalna elektronika je 1972. godine bila na početku razvoja.

Prvi digitalni nivelir proizvela je firma Wild (sada Leica) iz Švajcarske 1990. godine.

Leica Geosistem prezentovala je novu generaciju digitalnih nivelira DNA03 i DNA10, kao rezultat dosadašnjeg uspeha modela NA2002 i NA3003. Instrumenti su opremljeni novim sistemom senzora, koji procesuiraju signal kodirane digitalne podele zasnovan na dosadašnjoj korelacijskoj metodi.

DNA03 i DNA10 imaju magnetni kompenzator baziran na modelu primenjenom kod NA3003. To su kompenzatori kod kojih nema uticaja magnetnog polja Zemlje.

Poboljšanje je učinjeno i kod centrične libele. Njen položaj je promenjen, postavljena je bliže durbinu i tako da sada garantuje bolju stabilnost mehura usled temperaturnih promena.

Slika se obuhvata novim, visokoosetljivim CCD linearnim senzorom, koji je osetljiv na vidljivi deo spektra. Svetlost se razlaže na deo za optičko merenje i deo za elektronsko merenje (CCD). Elektronsko merenje koristi dužinu spektra koja je delimično unutar vidljivog dela spektra. Svetlost iz usijanih predmeta ili halogenih lampi je pogodna za osvetljenje u slučaju merenja u lošim uslovima osvetljenja.

Merni koncept se sastoji iz tri faze:

- 1) Čekanje koje traje 1 s neophodno je za podešavanje kompenzatora
- 2) Vreme eksponaže traje od 0.5 s (optimalni uslovi) do 1.0 s (loši uslovi)
- 3) Prosečno vreme za grubu i finu korelaciju je 1.5 s

Tako se dobija da je za jedno merenje potrebno 3 s. Kada treba ponoviti merenje, koje je izvršeno nakon prvog merenja, vreme merenja će se smanjiti za 1 s, što odgovara vremenu potrebnom za podešavanje kompenzatora.

Postoji razlika između vidnog polja za grubu i finu korelaciju. Za grubu korelaciju puno vidno polje iznosi 2° za udaljenosti do 50 m. Za maksimalnu udaljenost od 110 m vidno polje je redukovano u dva koraka do finalnog ugla od 1.4°. Za finu korelaciju vidno polje iznosi 1.1°.

9.3.3.1. Pregled digitalnih nivelira različitih proizvođača

Pregled osnovnih tehničkih karakteristika pojedinih digitalnih nivelira raznih proizvođača predstavljen je u tabeli 9.3a i 9.3b.

Tip instrumenta	NA2000 Leica	NA3000 Leica	DNA03 Leica	DNA10 Leica	Sprinter 100 Leica	Sprinter 200 Leica
Tačnost merenja (srednja greška niveliranja napred-nazad na 1km) ISO 17123-2	0,9 mm	0,4 mm	0,3 mm	0,9 mm	2 mm	1,5 mm
Domet	1.8 m -100 m		1.8 m -110 m		2 m - 80 m (od 0.5 m – optički)	
Tačnost merenja dužina	3 - 5 mm/10 m		1 cm - 5 cm		1 cm - 8 cm	
Trajanje jednog merenja	4 sec.		3 sec.		< 3 sec.	
Registrator	REC modul GRM10 (64KB-cca.2000 merenja) ili registrator GRE4		Interna memorija (6000 merenja) i PCMCIA memorijska kartica		Interna memorija (500 merenja)	
Uvećanje durbina	24X		24X		24X	
Masa instrumenta	2.5 kg sa baterijom		2.8 kg sa baterijom		2.5 kg	

Tabela 9.3a : *Tehničke karakteristike digitalnih nivelira*

Tip instrumenta	SDL30 SOKKIA	DL-101C TOPKON	DL-102C TOPKON	DiNi12 TRIMBLE	DiNi22 TRIMBLE
Tačnost merenja (srednja greška nivelanja napred- nazad na 1km) ISO 17123-2	0,6 mm	0,4 mm	1 mm	0,3 mm	0,7 mm
Domet	1.6 m -100 m	100 m		1.5 m -100 m	
Tačnost merenja dužina	1 cm - 20 cm	1 cm - 5 cm		1 cm - 5 cm	
Trajanje jednog merenja	3 sec.	3 sec.		3 sec.	2 sec
Registrator	nterna memorija (2000 mjerenja) ili registrator podataka SDR	PCMCIA memorijska kartica (64KB do 2 MB) ili interna memorija (8000 mjerenja)		SRAM memorijska kartica (256 KB do 8 MB) ili interna memorija (2400 mjerenja)	
Uvećanje durbina	32X	32X	30X	32X	26X
Masa instrumenta	2.4 kg sa baterijom	2.8 kg sa baterijom		3.5 kg	3.2 kg

Tabela 9.3b : Tehničke karakteristike digitalnih nivelira

Niveliri, čije su karakteristike prikazane u gornjim tabelama predstavljeni su na slikama 9.14, 9.15 i 9.16.



Slika 9.14 : a) NA2000



b) DNA03



Slika 9.15 : a) Sprinter 100,



b) DiNi 12



Slika 9.16 : a) DL-101C



b) Sokkia

9.3.4. Pribor za nivelanje

Osnovni pomoćni pribor za nivelanje su nivelmanske letve i nivelmanske papuče.

Nivelmanske letve

Za tehnički nivelman, tehnički nivelman povećane tačnosti i detaljni nivelman se koriste drvene letve (ređe od aluminijuma), dužine 3 ili 4 m, širine 8-10 cm.

Najbolje je da su letve iz jednog dela, ali mogu biti sa dva ili tri preklopa.

Podela na letvama počinje od donje ravni okova (koji služi za zaštitu od oštećenja) i ide do vrha letve.

Centrimetri su označeni crveno-belim ili crno-belim poljima ili crtama, pa je svaki decimetar označen brojem.

Čitanje podele se vrši pomoću srednjeg konca, gde se čitaju decimetri, odbrojavaju centimetri a milimetri cene od oka.

Praktično je da obe letve budu iste vrste. Obe letve treba očitati u odnosu na jednu tačku (udaljenu 10-20 m) i očitane vrednosti treba da budu jednake, što pokazuje da su počeci podela letvi identični.

Ukoliko to nije slučaj, onda treba prilikom nivelanja imati paran broj stanica na jednoj nivelmanskoj strani.

U svim vrstama generalnog nivelmana se mora koristiti letva iz jednog dela, dok se za detaljni nivelman može koristiti i letva sa preklopom.

Letve moraju da budu vertikalne što se utvrđuje pomoću ispitane i rektifikovane libele.

Pri detaljnom nivelmanu, vertikalnost letve se može proveravati pomoću vertikalnog konca nivelanskog instrumenta, u smislu levo-desno, a u smislu napred-nazad treba

klatiti letvu u pravcu vizure, a pri tome operator treba da očita najmanju vrednost (operator ima utisak da se horizontalni konac pomera gore-dole).

Letva se prilikom čitanja može pridržavati pomoću dve značke.

Ovo se posebno odnosi na precizni nivelman i nivelman visoke tačnosti gde se obavezno koristi invarska letva sa dvostrukom podelom.

Prilikom nivelanja, letve na veznim tačkama mora da stoje na stabilnoj podlozi.

Posebno je važno da se prilikom rotacije letve ne promeni njen položaj.

Na čvrstom terenu (kamenita podloga i slično) letva se može postaviti na stabilan izbočen i obao kamen.

9.4. Tehnički nivelman

Sa jedne nivelmanske stanice se određuje visinska razlika (maksimalno 3-4 m) između dve bliske i vidljive tačke.

Visinska razlika između repera se dobija kao suma visinskih razlika između veznih tačaka, kao i visinske razlike između početnog repera i prve vezne tačke i visinske razlike između poslednje vezne tačke i završnog repera.

Vezne tačke se označavaju malim slovima abecede unutar jedne nivelmanske strane.

Stanice - mesta na kojima se postavlja nivelir se označavaju arapskim brojevima, počev od broja 1 pa nadalje, u okviru nivelmanskih strana.

Na narednoj nivelmanskoj strani se iz početka numerišu i stanice i vezne tačke.

Visinske razlike između susednih tačaka (visinske razlike na stanici) se određuju nivelanjem iz sredine, kao razlike čitanja podele zadnje i prednje letve.

$$\text{Za stanicu 1} \quad \Delta h_1 = z_1 - p_1$$

$$\text{Za stanicu 2} \quad \Delta h_2 = z_2 - p_2$$

.....

$$\text{Za stanicu n} \quad \Delta h_n = z_n - p_n$$

Ukupna visinska razlika između tačaka A i V iznosi

$$\Delta H_{AB} = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots + \Delta h_n = [z] - [p].$$

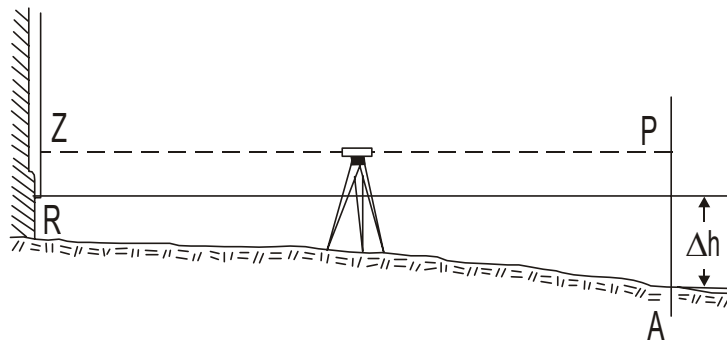
Sumiranje visinskih razlika (Δh_i) određenih na pojedinim stanicama dobija se visinska razlika (ΔH_{AB}) između dva krajnja repera (R_A i R_B) jedne nivelmanske strane.

Kontrola se vrši pomoću razlike suma čitanja zadnjih i prednjih letvi.

Veza nivelmana za reper zavisi od vrste belege kojom je reper stabilizovan.

Ukoliko se letva može postaviti na reper (svi vertikalno postavljeni reperi, kao i horizontalno usađeni reperi sa loptastom glavom koji vire izvan zida) čitanje se vrši na uobičajeni način (slika 9.17).

$$\Delta h = z - p.$$



Slika 9.17 : *Merenje u tehničkom nivelmanu*

Ukoliko je horizontalno usađeni reper sa rupicom, na njega se ne može postaviti letva, već se veza nivelmana za reper postiže viziranjem u rupicu ili pomoću lenjira čiji se početak podele poklapa sa sredinom rupice.

Ako se lenjir postavlja iznad rupice, onda je čitanje uobičajeno, a ukoliko je lenjir postavljen na dole, onda se mora voditi računa o znaku.

Da bi se otklonila nedoumica u koloni "Primedba" nivelmanskog zapisnika treba da bude upisano na koji način je ostvarena veza nivelmana za reper.

Terensku ekipu za tehnički nivelman čini stručno lice (operator) i tri figuranta.

Dva figuranta nose po letvu i papuču (eventualno i po dve značke za držanje), a treći figurant nosi suncobran koji štiti nivelir i stativ od direktnih sunčevih zraka i bilo bi praktično da taj figurant vodi i zapisnik nivelanja.

Operator bira mesto za stanicu, vodeći računa o dozvoljenoj dužini vizure, udaljenosti vizure od terena itd.

Jedan figurant drži zadnju letvu na reperu, a drugi sa prednjom letvom korača i "meri" rastojanje od repera do stanice, i isto toliko odstojanje odkorača do prve vezne tačke, gde se postavlja letva.

Kod tehničkog nivelmana dozvoljena razlika u dužini vizure na jednoj stanici iznosi 3 m, što se svakako može odrediti koracima.

Za tačnije određivanje dužine koristi se optička metoda pomoću gornje i donje crte Rajhenbahovog daljinomera

$$(\text{gornji konac} - \text{donji konac}) \times 100$$

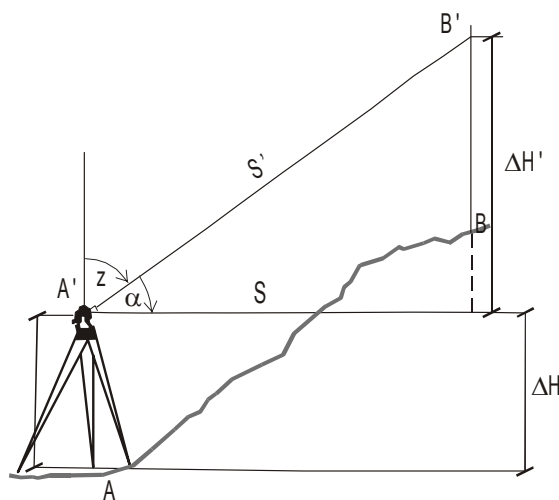
9.5. Trigonometrijski nivelman

Određivanje visinskih razlika na osnovu merenja zenitnih odstojanja (vertikalnih uglova) se naziva trigonometrijski nivelman.

Trigonometrijski nivelman primenjuje se pri određivanju:

- visinskih razlika između poligonskih tačaka;
- visinskih razlika u inženjerskoj geodeziji;
- sleganja objekata ili terena, posebno u strmim i nepristupačnim područjima;
- visina objekata, kao što su: tornjevi, dimnjaci itd.;
- visinskih razlika preko velikih vodenih površina.

Za određivanje visinskih razlika trigonometrijskim nivelmanom potrebno je izmeriti zenitno odstojanje (vertikalni ugao) i kosu ili horizontalnu dužinu između krajnjih tačaka. Može se upotrebiti i dužina iz koordinata, ukoliko postoji i ona je uvek horizontalna.



Slika 9.18 : *Trigonometrijski nivelman*

Visinske razlike između dve tačke (slika 9.18) se mogu sračunati pomoću sledećih formula:

$$\Delta H' = S' \cdot \sin\alpha$$

$$\Delta H' = S' \cdot \cos Z$$

$$\Delta H' = S \cdot \operatorname{tg}\alpha$$

$$\Delta H' = S \cdot \operatorname{ctg}\alpha$$

gde je:

$\Delta H'$ - visinska razlika od prekreta durbina (obrtne ose) do tačke koja je pri merenju vertikalnog ugla vizirana

S' - kosa dužina (od prekreta durbina do tačke koja je vizirana)

S - horizontalna dužina

Z - zenitno odstojanje

α - vertikalni ugao

Visinska razlika između tačaka A i V dobija se

$$\Delta H = \Delta H' + i - l$$

gde je:

i - visina instrumenta

l - visina signala

Visinska razlika se na osnovu kose dužine može sračunati jedino ako je kosa dužina paralelna sa vizurom. To je slučaj kod elektronskog merenja dužina (elektrooptički daljinomeri ili totalne stanice).

Ukoliko se dužina meri pomoću poljske pantljičke tada vizura treba da bude paralelna sa koso merenom dužinom, što znači da signal bude viziran na visini instrumenta.

Ukoliko se o tome nije vodilo računa (pri merenju dužine pantljičkom) najbolje je najpre redukovati koso merenu dužinu, pa onda računati sa horizontalnom dužinom.

Navedene formule su bez popravaka za zakrivljenost Zemljine površi, te im treba dodati popravku koja se računa po formuli:

$$\delta_1 = \frac{S^2}{2R}$$

gde je:

S - redukovana (horizontalna) dužina

R - srednji poluprečnik Zemlje (R = 6377 km)

Ovaj uticaj je zanemarljiv pri kratkim dužinama, dok se na većim rastojanjima o njemu mora voditi računa. (Npr. Pri dužini S=400m popravka δ iznosi 1cm).

Optička sredina, kroz koju prolazi vizura, zavisi od temperature, pritiska i vlažnosti vazduha. Zbog stalne promene ova tri parametra menjaju se i optička svojstva vazduha kroz koji vizura prolazi. Vizura se kreće po refrakcionoj krivoj liniji čija vertikalna komponenta ima uticaj (δ_2) na određivanje visinskih razlika

$$\delta_2 = \frac{S^2}{2R} \cdot K$$

gde je K - koeficijent refrakcije.

Veličina ovog uticaja je takođe u funkciji dužine.

Trigonometrijski nivelman je posebno primenljiv u brdovitim područjima, jer je vizura na takvim područjima visoko iznad zemlje, gde je manje izražen uticaj refrakcije.

Teoretska vrednost koeficijenta refrakcije za naše područje je K=0,13, međutim praktično se ova vrednost menja vremenom (i tokom jednog dana, i tokom godine).

Zato je pri merenjima veće preciznosti preporučljivo izvoditi obostrani trigonometrijski nivelman, a najbolje jednovremeni obostrani trigonometrijski nivelman.

Na taj način se uzimanjem sredina iz obostranih, ili jednovremenih obostranih, opažanja anuliraju izvori grešaka vezani za refrakciju i zakrivljenost Zemlje.

Takođe je prisutan i uticaj nadmorskih visina tačaka δ_3

$$\delta_3 = \Delta H \frac{H_m}{R}$$

gde je

ΔH - visinska razlika između tačaka A i V

H_m - srednja nadmorska visina $H_m = \frac{H_A + H_B}{2}$

Može se sračunati veličina ovog uticaja koji je posebno izražen pri većim H_m .

Primena trigonometrijskog nivelmana je posebno povećana masovnijom upotrebom totalnih stanica, jer se zenitno odstojanje može lakše i preciznije izmeriti, a potom automatski memorisati, što predstavlja dobru osnovu za automatizaciju.

9.6. Hidrostatički nivelman

Hidrostatički nivelman predstavlja određivanje visinskih razlika na osnovu nivoa tečnosti u spojenim sudovima.

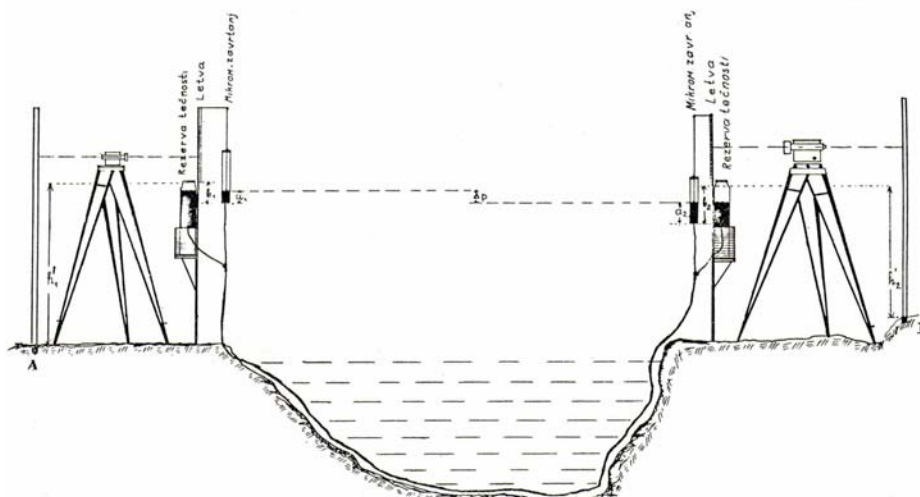
Pribor za hidrostatički nivelman poseduju specijalizovane organizacije (njegova primena nije masovna), a tačnost koja se može postići zadovoljava mnoge potrebe.

Posebno se koristi u situacijama kada je druge vrste nivelmana teško, ili nemoguće primeniti:

- prenošenje visina preko velikih vodenih prostranstava (kada vodotok nema veliku brzinu);
- radovi u građevinarstvu (sleganje objekata, itd.);
- neki radovi u mašinstvu itd.

Pribor se sastoji od dva hidrostatička uređaja koji su međusobno povezani sa jednim ili dva creva.

Hidrostatički pribor se sastoji od dve hermetički zatvorene posude, sa mikrometerskim zavrtnjima i ostavlja se u blizini tačaka A i B, između kojih treba odrediti visinsku razliku (slika 9.19).



Slika 9.19 : Hidrostatički nivelman

U blizini tačkaka A i V se postavlja po jedan vertikalni stub za koji se učvršćuje nivelmanska letva i horizontalno postolje na koje se postavlja hidrostatički pribor. Najpre se odredi visinska razlika b_1 i b_2 .

Postupak merenja se sastoji u okretanju mikrometarskog zavrtnja, sve dok se njegovim vrhom ne dotakne površ tečnosti. Potom se očita podela na mikrometarskom zavrtnju.

Nivo tečnosti u obe posude treba dodirnuti istovremeno i sinhronizovano izvršiti čitanja α_1 i α_2 na mikrometarskim zavrtnjima na oba hidrostatička pribora koji se nalaze na obe tačke.

Potrebno je izvršiti nekoliko ovakvih čitanja i sračunati njihove srednje vrednosti α_1' i α_2' .

Potom se nivelirom određuje visinska razlika h_1' između tačke A i početka podele letve (nula letve) na stubu kod tačke A. Istovremeno se kod tačke V odredi visinska razlika h_2' .

Potom treba izmeniti mesta hidrostatičkih pribora kod tačkaka A i V. Ponavlja se ceo postupak merenja i određuju veličine α_1'' , α_2'' , h_1'' i h_2'' . Na osnovu ovih podataka visinska razlika između tačkaka A i V se računa na sledeći način [7]:

$$H_{A-B} = \frac{1}{2}(h_1' - h_1'') + \frac{1}{2}(h_2' - h_2'') + \frac{1}{2}(\alpha_1' - \alpha_1'') - \frac{1}{2}(\alpha_2' - \alpha_2'') - (b_1 - b_2)$$

gde je:

$$h_1' = p_1' - z_1'; \quad h_1'' = p_1'' - z_1''$$

$$h_2' = p_2' - z_2'; \quad h_2'' = p_2'' - z_2''$$

9.7. Barometarski nivelman

Sa udaljavanjem od nulte nivoske površi smanjuje se i vazdušni pritisak, koji je sve manji ukoliko je nadmorska visina veća.

Određivanje visinske razlike između pojedinih tačkaka na površi Zemlje na osnovu promene vazdušnog pritiska se naziva barometarski nivelman.

Tačnost ovako određenih visinskih razlika je znatno manja nego tačnost koja se dobija geometrijskim, trigonometrijskim, hidrostatičkim nivelmanom ili GPS metodom.

Njegova primena u praksi je ograničena na radove gde se ne zahteva velika tačnost, kao i u informativne svrhe.

Može se koristiti u teškim i neprohodnim terenima i pored GPS metode predstavlja metodu kod koje se tačke (čija se visinska razlika određuje) ne moraju dogledati.

Posebna primena ove metode je u naučnim istraživanjima iz oblasti geografije, geologije, arheologije, biologije itd.

Barometri (sprave pomoću kojih se meri vazdušni pritisak) se dele na:

- živine barometre;
- metalne barometre (aneoridi). [7]