

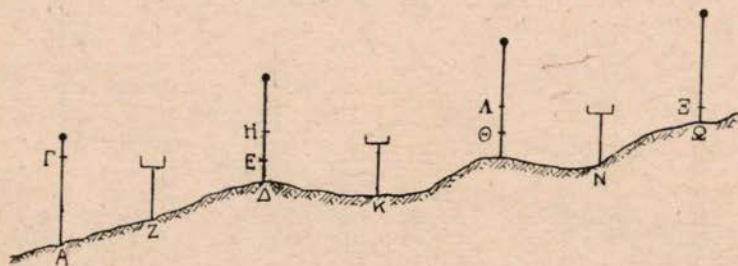
Nove metode nivelacije ?

Uvod

Nivelacija je prastara metoda određivanja visinskih razlika. Već su kulturni narodi staroga vijeka znali začudno dobro nivelirati. Nivelacioni instrument Herona Aleksandrinca sastojao se iz staklene cijevi u obliku razvučenog slova U. U tu spojnu posudu stavljala se voda i viziralo preko obiju razina vode. Za viziranje služili su vodoravni diopteri, koji su se posebnim vijcima uravnavali do razine vode. Čitav je instrument bio na stativu. Nije još onda bilo ni durbina ni libela, a ipak su se izvodili zamašni građevni radovi, koji su iziskivali i te kako dobru nivelaciju. Egipćani su na pr. skoro 2000 godina prije Sueskog kanala iskopali kanal, koji je spajao Nil sa Crvenim Morem. Gradili su ga 600 godina. Nažalost je pijesak kasnije zatrpaio i izbrisao taj kanal. Grci su znali dapače trahirati i bušiti tunele za vodovode. Sačuvan je podatak, kako se je opravdavao neki starovjeki inženjer, pod čijim nadzorom se je bušio tunnel s jedne i s druge strane brda, a bušitelji se u sredini nisu sastali. U svoju obranu je inženjer naveo, da je godinu dana morao biti odsutan od posla, pa da za to vrijeme njegovi zamjenici nisu dobro održavali one smjerove, koje im je on dao!

Starovjeka letva za niveliranje bila je nešto drugačija, nego što su naše današnje. Po njoj se je posebnim mehanizmom pomicala signalna pločica. Figurant je tu pločicu dizao i spuštao, dok njena marka nije došla u vizuru instrumenta. Dakle opažać kod instrumenta je morao davati znakove, vikati, mahati i uravnavati tako dugo, dok figurant nije signalnu pločicu dovoljno točno namjestio u instrumentov horizont. Pločica je postrance imala indeks. Figurant je čitao, gdje taj indeks pogada podjeljenje letve i to se je zapisivalo. Inače metoda same nivelacije bila je načelno posve ista kao i danas.

Otac geodetske nauke spomenuti Grk Heron Aleksandrinac u svome djelu ΠΕΡΙ ΔΙΟΠΤΡΑΣ opisuje nivelaciju od prilike kako je u sl. 1. prikazano. Čitanje natrag je *καταβάσεως*, čitanje naprijed *ἀναβάσεως*, a vi-



Sl. 1

sinska razlika krajnjih točaka nivelacionog vlaka je zbroj sviju čitanja natrag manje zbroj sviju čitanja naprijed. Podjeljenje na letvi teklo je od njenog dna prema gore.

Heronova letva imala je odozgo na sebi točak s žljebom. Kroz žljeb je išlo uže, koje je nosilo signalnu pločicu. Pomoću užeta se je pločica dizala i spuštala.

OBRTANJE LETVE

Kod starovjeke nivelacije bile su vizure razmjerno kratke. Kako rekoh, još nije bilo ni durbina ni libele. Iznašašćem potonjih pomagala vizure su se naravno produžile. Time je nešto otešćano sporazumijevanje između opažača kod instrumenta i figuranta kod letve. Uzvikivanje ili mahanje rukom, da se pločica na letvi spusti ili podigne, postalo je nepriličnije. Kod Heronovog postupka opažać kod instrumenta nije imao mogućnosti izravno kontrolirati, da li je figurant dobro očitao visinu signalne pločice i da li je tu visinu ispravno doviknuo (ili su se morale izmijeniti uloge t. j. kod letve biti onaj, koji vodi manual, a pomagač kod instrumenta). Uvađanjem durbina i libele u nivelaciju prirodno se je dakle morala preudediti i letva. Uvedena je letva, kakovu za nivelaciju i danas upotrebljavamo. Francuzi je zovu »mire parlante« t. j. letva, koja sama govori i time nadoknađuje figurantovo izvikivanje visina.

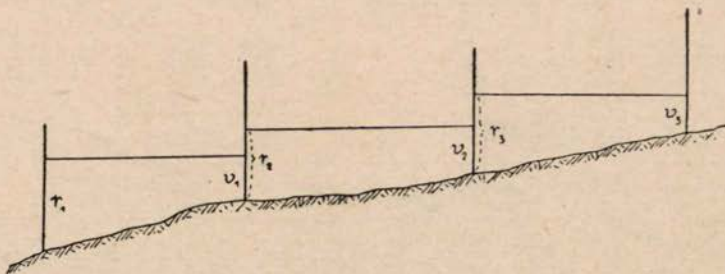
U pravilu se nivelira s nul-točkom letve prema dolje. Pokušajmo stvar obrnuti, okrenuti naglavce. Razmatranjem ovakovog obrtanja ne moramo doći do neznam kakovih rezultata, ali interesantno je ipak promotriti stvari i s takovog obrnutog gledišta. Na prvi pogled čovjeku izgleda, da bi naopačka letva tražila i geometra, koji bi hodao po glavi. Ali nije tako. Stvar je mnogo jednostavnija.

Neka je letva (sl. 2.) dugačka l . Nivelanjem iz sredine na normalnoj letvi neka čitam u nekom nivelacionom vlaku redom kao »natrag«:

$$I_1, I_2, \dots, I_n$$

a kao »naprijed«:

$$V_1, V_2, \dots, V_n$$



Sl. 2.

Ukupna visinska razlika početne i završne točke vlaka je, kako je poznato:

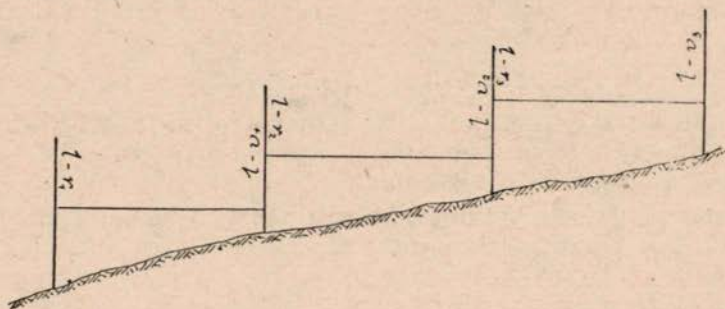
$$[r] - [v]$$

gdje su uglatim zagradama označeni zbrojevi:

$$[r] = r_1 + r_2 + \dots + r_n$$

$$[v] = v_1 + v_2 + \dots + v_n$$

Ako letvu u svim točkama vlaka držimo n a g l a v c e (sl. 3.) čitat ćemo na njoj umjesto r_1, r_2, \dots, r_n iznose:



Sl. 3.

$$x_1 = (l - r_1), x_2 = (l - r_2) \dots x_n = (l - r_n)$$

dotično umjesto v_1, v_2, \dots, v_n iznose:

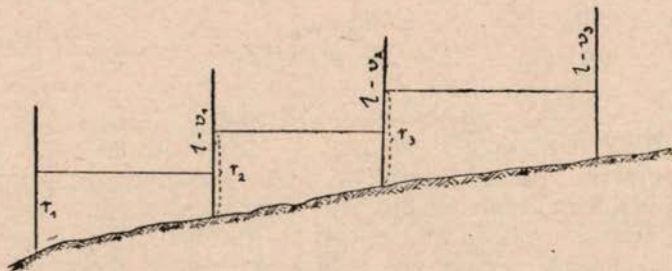
$$y_1 = (l - v_1), y_2 = (l - v_2) \dots y_n = (l - v_n)$$

Visinska razlika između dviju uzastopnih točaka je zapravo onda općenito:

$$r - v = (l - x) - (l - y) = y - x$$

Dakle umjesto čitanja natrag manje naprijed biti će jednostavno obrnuto n a p r i j e d m a n j e n a t r a g. A visinska razlika krajnjih točaka nekog nivelacionog vlaka dobit će se razlikom zbroja sviju čitanja »naprijed« i zbroja sviju čitanja »natrag«.

Ako na pr. želim dva puta iznivelirati neki vlak dotično visinsku razliku dviju točaka, jednom tamo, drugi puta natrag, mogu prvi puta nivelirati s uspravnom, a drugi puta s naopačkom letvom. Mogu li od toga očekivati kakovu ma i najmanju korist? Mislim da mogu, jer će



Sl. 4.

čitanja dolaziti uglavnom na druga mjesta podjeljenja letve, pa će se možda smanjiti i upliv izvjesnih pogrješaka. Drugom prilikom ću nastojati taj problem posebno ispitati. Zasad ga samo nabacujem.

Ali od uspravnog i naopakog držanja obične nivelacione letve mogu kod jednostavnih radova na pr. snimanja uzdužnih profila, kod plošne nivelacije i slično nastati i izvjesne prednosti u brzini posla.

Uputimo li figuranta, da kod svakog čitanja natrag drži letvu uspravno, a kod svakog naprijed naopako, dobit ćemo visinsku razliku krajnjih točaka ne kao

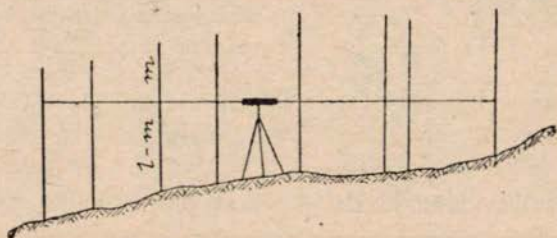
$$[r] - [v]$$

nego kao:

$$[r] - [l - y] = [r] + [y] - nl$$

Zbrajaju se, a ne odbijaju čitanja natrag i naprijed i od toga odbija »n« puta cijela letva. Ako letva ima puni broj metara, odbijanje »n« ne će predstavljati veću poteškoću.

Ili uzмимо, da osim čitanja natrag i naprijed imamo i mnogo međutočaka (sl. 5.). Uputimo figuranta, da kod »natrag« letvu uvijek drži



Sl. 5.

uspravno, a kod »među« i »naprijed« naglavce. Visina horizonta je onda nadmorska visina točke, na koju se vizira natrag, plus čitanje natrag. A nadmorske visine međutočaka i točke naprijed dobile bi se ne odbijanjem pripadnih čitanja već dodavanjem. Zbrajanje je možda nešto malko brža računaska operacija nego odbijanje. Poznato je, da su na pr. i dekadске dopune izumljene sa svrhom, da se računске operacije odbijanja svedu na zbrajanje.

Ako je čitanje na letvi za neku međutočku općenito, »m«, nadmorska visina te međutočke dobila bi se kao:

$$\text{horizont} - (l - m) = \text{horizont} + m - l$$

ili još bolje:

$$(\text{horizont} - l) + m$$

Prema tome, recimo kad imamo mnogo međutočaka za jedno stajalište instrumenta, samo jednom odbijemo od horizonta dužinu letve, pa onda toj visini naprosto pribrajamo čitanja na međutočke, a ne odbijamo. Kod takovog rada bi bilo potrebno, da dužina letve bude jednaka punom broju metara, recimo što točnije 4 m, kako bi se od visine horizonta što lakše odbio taj puni broj metara.

Neka prednost čitavog postupka bi bila možda u tome, što se za svako stajalište odbije samo jednom okrugao broj (dužina letve), a onda za to stajalište redom pribraja t. j. umjesto odbijanja od horizonta (čitanja za međutočke i čitanja naprijed) d o d a v a n j e tih čitanja iznosu:

horizont — 1

Jasno je, da zahtjev: letva što točnije dugačka recimo 4 m, ima i izvjesnih posljedica na točnost. Opet bi stvar trebalo detaljnije ispitati.

Da me se krivo ne razumije. Nisam naročit pobornik nivelanja »naglavce«, ali mislim, da se mogu desiti slučajevi, kod kojih bi ta metoda mogla i doći u obzir.

Naravno, za tu metodu bi letva morala biti i podesno građena t. j. osim što bi joj dužina morala biti puni broj metara, ona bi morala biti i s obe strane okovana.

REVERZIONE CENTRIČKE LIBELE?

Centričke libele se sve više upotrebljavaju. Prednost im je u tome, da se s njima može horizontirati dotično vertikalizirati ne samo u jednom pravcu. U poređenju sa cijevnim libelama im je velik nedostatak u tome, da su (bar dosada) kud i kamo manje točne. Uz nivelacione letve se mnogo upotrebljavaju.

Centričke ili dozne libele nisu se dosada izrađivale kao reverziona t. j. da bi se mogle upotrebljavati u normalnom i zaokrenutom (naglavce) položaju. Ali držim, da je tehnika već toliko napredovala, da bi se to moglo bez većih poteškoća izvesti.

Na letvi za obrtanje, koju sam u prethodnom poglavlju opisao, zamišljam reverzionu centričku libelu, smještenu negdje u proizvoljnoj visini. Slika njena bi se promatrala u podesno smještenim zrealima ili prizmama, koje bi kod »normalnog« i »naglavce« položaja letve trebali biti u takovoj visini, da opažać može bez poteškoće promatrati mjehur. Čak bi se mogao montirati i kolimator tako, da se od instrumenta može kontrolirati, da li je letva ispravno postavljena.

Usput spominjem, da će možda reverziona centričke libele i inače kod gradnje geodetskih instrumenata naići na izvjesnu primjenu.

AUTOREDUKCIONI NIVELACIONI INSTRUMENT?

Pokušajmo razmotriti još i jednu daljnju mogućnost. Zar se ne bi mogao izgraditi nivelacioni instrument, koji bi odmah davao visinske razlike između čitanja natrag i naprijed?

U modernoj geodeziji se mnogo služimo dvostrukim slikama. Kod teodolita u mikroskopu vidimo dvostruke slike limbusnog podjeljenja, kod daljinomjera u durbinu dvostruku sliku letve i slično. Zar se ne bi mogao konstruirati nivelacioni instrument, koji bi davao slike dviju letava, one »natrag« i one »naprijed« jednu tik uz drugu u istom

vidnom polju? Durbin takovog nivelira imao bi dva objektivna, na dvije suprotne strane. Jedan bi bio okrenut prema letvi »natrag«, drugi prema letvi »naprijed«. Instrumenat bi dakle bio »bi-objektivni« a možda i »bi-okularni«. S oba oka bi se gledalo istovremeno u oba okulara. U vidnom polju bi se vidjele istovremeno slike obiju letava (natrag i naprijed) a istovremeno i mjehur precizne centričke reverziona libele. Posebnim vijcima pomicali bi se objektivni lijevo-desno (poput očiju kakovog insekta) dok slike letava ne bi došle u vidno polje jedna uz drugu. Jedna letva bi imala recimo samo decimetarsku, a druga centimetarsku podjelu. Optičkim mikrometrom dovodile bi se crtice prve letve do koincidencije s crticama druge letve, pa bi se na letvama odmah čitala razlika čitanja t. j. visinska razlika između natrag i naprijed.

LIBELANJE?

Nivelacija i nivelanje su riječi francuskog porijekla, koje se i izvan geodezije u dnevnom životu dosta upotrebljavaju. Pod njima se razumijeva »izravnavanje« razlika, kao neko »svađanje na istu visinu«, poravnavanje dotično planiranje. Međutim u geodeziji je nivelacija zapravo mjerenje visinskih razlika odnosno »ustanovljivanje« visina, a ne neko njihovo aktivno narušavanje.

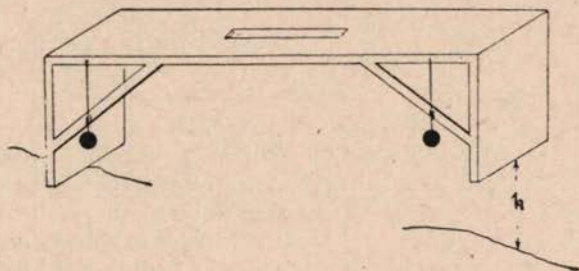
Francuzi za libelu kažu »niveau« ili »nivele« a za nivelaciju »nivelment«. Neki stari naši autori (vidi na pr. Dr. Köreškönji: Geodäsia, Zagreb 1872.) su upotrebljavali za libelu riječ »razulja« a za niveliranje »razanje«. Englezi i Američani kažu za prvu »level«, za drugo »leveling«. Dakle iz naziva za libelu kao da se stvara naziv za niveliranje ili obratno, jer je libela osnovni sastavni dio nivelmanskih instrumenata današnjice. U vezi toga nameće se pitanje, zar ne bi bilo možda bolje, da se je i kod nas umjesto naziva »niveliranje« ili »nivelacija« uvelo »libelanje« ili obratno umjesto naziva libela naziv »nivela«?

Riječ libela dolazi od latinskog »libra«, što će reći »vaga«. Česi za libelu upotrebljavaju i riječ »vodovažka« (vaga s vodom). Nivelacija je kao neko vaganje visinskih razlika. Švedani nivelanje direktno zovu vaganjem (avvågning). Rusi za libelu kažu »уровень« a za nivelanje »нивеллировка« ili »нивеллирование«.

ZAGLAVAK

Započeo sam pa ću i završiti s historijom. Kakovi su bili nivelacioni instrumenti prije Herona Aleksandrinca? Bili su u načelu autoredukcionog t. j. davali su ne čitanja »natrag« ili »naprijed« već odmah neposredno visinske razlike. Prema tome ideja autoredukcionog nivelira ne treba da začuđuje. Grci su predheronske nivelacione instrumente zvali »horobates«. Bila je to dugačka klupa (sl. 6.). Odozgo joj je daska imala užljebinu (udubinu), u koju se je ulijevala voda. Kad je voda jednoliko odstupala od gornjeg ruba, takova starinska »libela« je vr-

hunila, klupa bila vodoravna, pa se je ispod odgovarajuće njene noge izravno mjerila visinska razlika h terena. Dakle slično kao kod letava za profiliranje. Kako rekoh, ova starinska sprava nije imala čitanja »naträg« i »naprijed«, već je odmah neposredno davala visinske razlike. Još jednostavnije nego li s užljebinom i vodom, radilo se s horobatesom na principu viska.



Sl. 6.

Noge od »nivelacione klupe« bile su kosim prečkama spojene s gornjom daskom. Na tim prečkama bile su označene posebne marke. Dva viska visjela su jedan preko lijeve, a drugi preko desne prečke. Kada su viskovi pogađali marke, horobates je bio horizontalan.

Kod pisanja gornjeg članka mislio sam, da je »nivelacija naglavce« moj izum. Međutim o tome je već kod nas pisao god. 1939. u Tehničkom Listu (XXI., 9/10, str. 124) Ing. Nikola Čubranić pod naslovom POJEDNOSTAVNENJE RADA KOD IZVOĐENJA DETALJNOG NIVELMANA. Drug Dr. Ing. Čubranić je tamo zamislio ne samo obrtanje nivelacione letve, već još više t. j. detaljni nivelman, kod kojeg bi se neposredno — bez računanja — dobivale nadmorske visine niveliranih točaka.

