

NEPOSREDNO MERENJE KOMPONENATA ODSTUPANJA VERTIKALA

(Teorijsko saopštenje)

DUŠAN MANZALOVIĆ, puk. — GIJNA* Beograd

Kada se hoće da definiše oblik geoida, uobičajeno je da se kaže, da je to jedna od ekvipotencijalnih površina, koja se poklapa sa mernom površinom okeana. Takvo shvatanje proširuje se i na kopno, pa se kaže, ako bi bilo moguće da se spoje okeani dosta dubokim kanalima, da bi mogli da se napune vodom, onda bi se i površina vode kanala poklapala sa površinom geoida.

Na bazi Njutnovog zakona gravitacije bilo je oformljeno shvatanje da slobodna površina okeana i mora ima oblik elipsoida i da bi slobodna površina vode u kanalima, koji bi spajali okeane i mora isto predstavljala delove površine elipsoida.

Neravna površina zemljine kore i saznanje o nejednakoj gustini zemljine kore stvorilo je shvatanje kod nekih autora, da bi to moglo da izazove odstupanje slobodne površine okeana i mora od elipsoida, što je dovelo do stvaranja pojma geoida. Ovaj pojam nije naišao na opšte odobravanje geodeta sve donde, dok se nije pojavila razlika između određivanja geografskih koordinata astronomskim i geodetskim putem. To je stvorilo pojam od odstupanju vertikalala i u vezi s tim opšte ubeđenje kod geodeta o postojanju geoida, koji predstavljaju mirnu površinu okeana i mora.

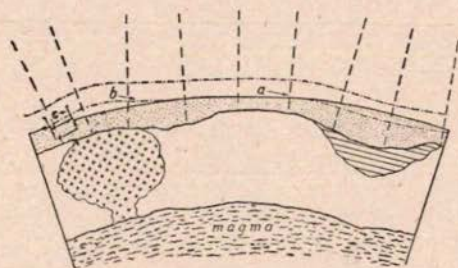
Odstupanje vertikalala je neosporno i u vezi s tim postojanja ekvipotencijalnih površina, koje odstupaju od sferoidalne površine. Ali, ako se postavi pitanje da li se površina okeana i mora poklapa sa nultom ekvipotencijalnom površinom, koja je uzeta da predstavlja geoid, onda se tu mogu da učine takve zamerke, koje to poklapanje osporavaju. Te ću zamerke da stavim analizirajući ovo pitanje u vezi sa hidrostatičkim pritiskom.

Celokupna voda okeana i mora, izuzimajući izolovana mora i jezera, zaprema jedan sud. Ukoliko bi se okeani i mora spojili kanalima, koji bi se ispunili vodom, to bi opet sačinjavalo jedan sud, ili neku vrstu spojenih sudova. U takvom sudu postoji jedan opšti hidrostatički pritisak. Na bazi tog opšteg hidrostatičkog pritiska slobodna površina vode okeana i mora, koja se formirala dejstvom opštih gravitacionih sila, predstavlja sferoidalnu površinu rotacionog sferoida. Neka lokalna odstupanja ove vodene površine od sferoidalne u plusu ili minusu

* GIJNA = Geografski Institut JNA.

čak i do 150 m su neodrživa, jer su u suprotnosti sa zakonima hidrostatičke (1 — str. 182 — 201).

Slika 1 predstavlja zamišljeni presek zemljine kore. Deo na slici dat u tačkicama predstavlja vodeni sloj, deo dat belom površinom predstavlja zemljinu koru sa ujednačenom srednjom gustinom, naprimer 2.67, a deo sa krstićima predstavlja neku utisnutu masu veće gustine od 2.67, a deo šrafiran horizontalnim linijama predstavlja neku uslojenu masu manje gustine od 2.67.



Sl. 1

Ako se duž profila izmeri intenzitet ubrzanja sile teže, onda će se iznad utisnute mase veće gustine konstatovati pozitivne anomalije sile teže, a iznad uslojene mase manje gustine negativne anomalije sile teže. Dok će u međuprostoru da dođe do poklapanja izmerenog i sračunatog intenziteta ubrzanja sile teže. Preseci ekvipotencijalnih površina za ovu konkretnu situaciju dati su linijama u crticama i tačkicama. Ekvipotencijalna linija *b*, koja se poklapa sa punom linijom *a*, ili od nje odstupa u plusu i minusu predstavlja presek geoida. Sada se javlja pitanje da li se slobodna vodena površina poklapa sa linijom *a*, u ovom slučaju sa linijom sferoida, ili se poklapa sa ekvipotencijalnom linijom *b*, u ovom slučaju sa linijom geoida. S obzirom na svojstva tečnosti da će slobodna površina tečnosti biti uvek upravna na sili koja na nju deluje, vodena površina treba da se poklapa sa ekvipotencijalnom površinom geoida. Ako se ovo uzme za osnovu, što je potpuno opravdano, onda se može zaključiti da je slobodna površina okeana i mora geoidealnog oblika. Ali tu je izgubljeno iz vida da se celokupna vodena masa okeana i mora nalazi u jednom zajedničkom sudu. Prema tome u ovom sudu, koji je gore otvoren, tečnost ima isti nivo, koji je na bazi opštih gravitacionih sila sferoidalnog oblika.

Kada je u toku geoloških perioda usled dejstva endogenih i egzogenih sila dolazilo do formiranja većih i manjih lokaliteta u zemljinoj kori i u zoni omotača sa povećanom ili smanjenom gustinom u odnosu na normalnu (sl. 1), to je u isto vreme u zoni tih lokaliteta povećavalo ili smanjivalo intenzitet gravitacionih sila i dovodilo do lokalne promene pravca sile teže, kako je to ilustrovano vertikalnim linijama u crticama (sl. 1).

Formiranje lokalnih odstupanja vertikalne kroz geološke periode dovelo je i do formiranja lokalnih napona smicanja u odnosu na celokupnu tečnost okeana i mora. Kako tečnost ne podnosi nikakav

napon smicanja, moralo je da dođe do uravnoteženosti i do formiranja i na tom delu sferoidalne površine, jer je to deo fizičkog rotacionog sferoida Zemlje. Upotrebio sam izraz fizički rotacioni sferoid za razliku od elipsoida na kome se vrše računanja, ma da postoji vrlo velika verovatnoća, da među njima a priori ne postoji neka znatna razlika.

Iz prednjeg izlaganja može se izvesti zaključak da ne postoji geoid kao fizička površina okeana i mora, već samo kao jedna od ekvipotencijalnih površina. Slobodna površina okeana i mora kao nulta nivovska površina ima oblik sferoida, pa je treba izražavati terminom fizički sferoid. Pri tome je vrlo važno da se uoči da će slobodna površina tečnosti da zauzme upravan položaj za pravac skrenute vertikale samo onda kada se ta tečnost nalazi u zasebnom sudu u zoni lokalnih odstupanja vertikala. Naprimer sud *c* na sl. 1. To je prirodno i razumljivo i u skladu sa hidrostatikom, kada se ima u vidu da su na prostoru tečnosti u zasebnom sudu skrenute vertikale međusobno paralelne, pa prema tome ne postoji mogućnost stvaranja napona smicanja, te će slobodna površina tečnosti u zasebnom sudu da zauzme upravan položaj u odnosu na skrenute vertikale, t. j. paralelan položaj sa ekvipotencijalnom površinom.

U geodeziji i astronomiji koristi se libela, koja na bazi prednjih izlaganja predstavlja tečnost u zasebnom sudu, pa prema tome ima napred, izneta svojstva.

U vezi tematike ovog rada izvršićemo analizu libele, koja se koristi na nivelirima za izvođenje nivelmana visoke tačnosti i libele koja se koristi ea instrumentima u pozicijskoj astronomiji.

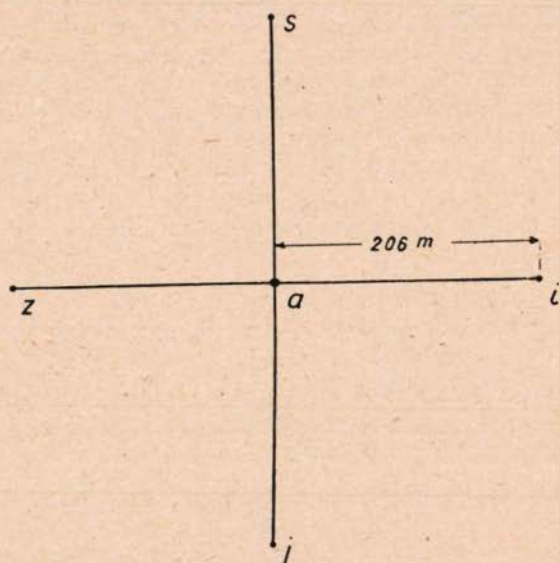
Nivelir za nivelman visoke tačnosti ima libelu čija je osetljivost 10" za jedan pars.

Napred je rečeno da libela predstavlja tečnost u zasebnom sudu. To znači da će slobodna površina njene tečnosti da zauzme položaj paralelan sa ekvipotencijalnom površinom mesta gde se libela nalazi, a sama tačnost registrovanja položaja ekvipotencijalne površine u zavisnosti je od osetljivosti libele. Libela na niveliru za nivelman visoke tačnosti registruje položaj ekvipotencijalne površine sa tačnošću 10", a to znači da je ta tačnost daleko ispod tačnosti, kojom se registruje odstupanje vertikala. Prema tome može da se kaže da nivelman visoke tačnosti registruje sferoidalne nivovske površine fizičkog sferoida sa velikom tačnošću (1 mm na 1 km). Ali kada su u pitanju odstupanja ekvipotencijalnih površina od sferoida kao posledica lokalnih anomalija sile teže, nivelman visoke tačnosti je nemoćan da ih registruje sa zadovoljavajućom tačnošću zbog nedovoljne osetljivosti libele na niveliru. Iako ovo registrovanje odstupanja ekvipotencijalnih površina od sferoida ne dolazi pri nivelanju do punog izražaja, ipak se ne može negirati izvesno sistematsko delovanje odstupanja vertikala na nivelman visove tačnosti. Koliko je i kakvo je ovo delovanje ne može se reći, jer je nedovoljno ispitano, ali se ono može za naš slučaj tretirati kao delovanje, koje će izazvati izvesno sistematsko odstupanje nivelmana, pa se kao takvo može odstraniti određenim postupkom nivelanja, o čemu će biti reči u docnijem izlaganju.

Instrumenti u pozicijskoj astronomiji imaju libele čija je osetljivost $1''$ za jedan pars, a to znači da se na njima registruje položaj ekvipotencijalnih površina sa tačnošću $\pm 1''$.

Ako se prednje izlaganje uzme kao osnova, onda se neposredno merenje komponenata odstupanja vertikalna može da izvede na sledeći način:

Izabere se ravno zemljište takvih dimenzija da se iz tačke a (slika 2) mogu da obezbede horizontalne vizure u pravcu meridijana i prvog vertikalna do rastojanja 206 m.

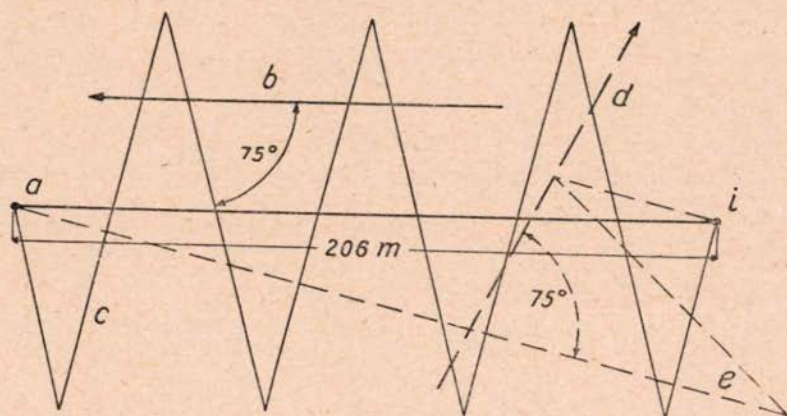


Sl. 2

U tački a podigne se betonski stub za astronomska posmatranja, a na krajevima ukrštenih duži i i u neposrednoj blizini betonskog stuba postave se nivelmanski repereri sa reperima na gornjoj površini stuba. Na stub se postavi univerzalni instrumenat i izvrši njegovo horizontiranje. Pri postavljanju instrumenta treba ga postaviti tako da dva podnožna zavrtnja budu u pravcu istok-zapad, ako se hoće da meri komponenta odstupanja vertikalne u ravni meridijana, ili u pravcu sever-jug, ukoliko se hoće da meri komponenta odstupanja vertikalne u ravni prvog vertikalna. U horizontalnom položaju durbina odredi se visina optičke ose durbina, time što će se nivelirom da vizira u visinu horizontalno postavljene optičke ose i ta visina prenese na nivelmansku letvu, koja je postavljena na reper pored stuba. Bilo bi poželjno da se ta visina prenese sa tačnošću od 1 mm, ali i ukoliko se napravi greška od nekoliko milimetara, to ne smeta, jer je položaj instrumenta strogo simetričan u odnosu na krajnje tačke (sl. 2). Posle toga se putem nivelmana visoke tačnosti visina optičke ose sa nivelmanske letve prenese na krajeve ukrštnih linija (sl. 2). Ovo prenošenje

treba da se izvrši sa tačnošću 1 mm, što je moguće obaviti, ako se pažljivo radi, jer su dužine nivelmanskih vlakova relativno kratke.

Pri izvođenju ovog nivelmana treba voditi računa da pravac niveliranja ne zaklapa manji ugao od 75° sa pravcem odstupanja vertikalne mesta gde se vrše merenja ordstupanja vertikalne (sl. 3).



Sl. 3

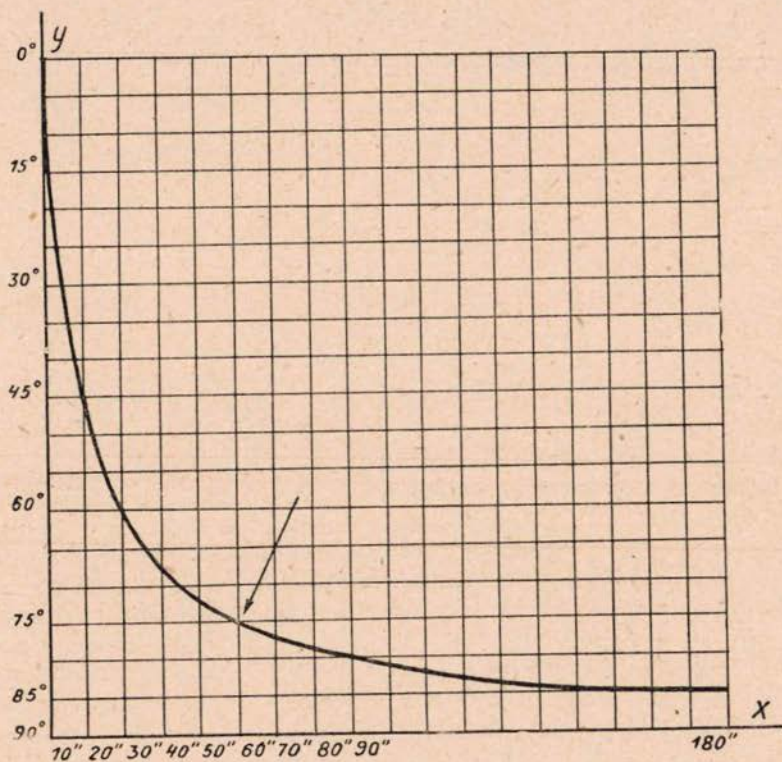
Na slici 3 tačka *a* je mesto univerzalnog instrumenta, dok je tačka *i* mesto repera. U slučaju da pravac odstupanja vertikalne predstavlja linija *b*, nivelmanski vlak treba da ima oblik pune linije *c*. Ako bi linija *d* predstavljala pravac odstupanja vertikalne, onda bi nivelmanski vlak trebao da ima oblik linije u crticama *e*. Prema tome, u zavisnosti od pravca odstupanja vertikalne nivelmanski vlak može da dobije razne oblike, čija oformljenja ne predstavljaju nikakve poteškoće. Pošto ne raspolažemo sa pravcem odstupanja vertikalne, njega treba predhodno približno odrediti, o čem će biti govora u docnijem izlaganju.

Dalje, treba razjasniti zašto ugao preseka pravaca nivelanskog vlaka i odstupanja vertikalne nesme da bude manji od 75° . To je potrebno da bi se izbeglo pri nivelanju dejstvo lokalnih anomalija sile teže na nivelirsku libelu. Ovo je dejstvo, kako je ranije izneto, sistemske prirode i srazmerno je uglu ukrštanja libeline ose i pravca odstupanja vertikalne. Kada su ove dve linije paralelne dejstvo je najveće i postepeno opada sa povećanjem ugla ukrštanja. Pri uglu ukrštanja od 90° uopšte ne postoji nikakvo dejstvo.

To se lepo vidi na dijagramu (slika 4).

Na ordinatnoj osi *y* nanete su veličine uglova preseka libeline ose i pravca odstupanja vertikalne, a na apscisnoj osi *x* nanete su veličine opadanja osetljivosti libele srazmerno uglu preseka. Iz oblika krive opadanja libeline osetljivosti vidi se da je za ugao preseka od 75° osetljivost vrlo gruba ($60''$), jer tu kriva naglo prelazi u domen horizontalnoga pravca, što predstavlja njen neosetljivi deo, pa se prema tome može sa sigurnošću

tvrditi, da anomalije sile teže neće moći pod iznetim uslovima izvođenja nivelmana da deluju na libelu, da to izazove neko sistematsko odstupanje nivelmana. Sa druge strane ugao preseka od 75° dozvoljava da dužina nivelmanskog vlaka bude i pod takvim uslovima relativno kratka. U najnepovoljnijim uslovima (poklapanje pravca odstupanja vertikale sa pravcem meridijana ili prvog vertikala) dužina nivelmanskog vlaka iznosi 826 m, dok u najpovoljnijim uslovima dužina vlaka iznosi 206 m (sl. 3).



Sl. 4

Da bi izlaganje bilo jasnije, predpostavićemo da se nivelman visoke tačnosti radi u zoni sa odstupanjem vertikale od $10''$. Osetljivost libele na niveliru iznosi $10''$ za jedan pars. Kada bi nivelmanski vlak išao u pravcu odstupanja vertikale, moglo bi da se predpostavi da će libelina osa da zaklapa sa sferoidalnom nivovskom površinom u nivou instrumenta ugao od $10''$ (jedan pars). To je u isto vreme veličina slučajne greške libele $\pm 10''$. Javlja se pitanje koliko će ovaj sistematski nagib libele u odnosu na sferoidalnu površinu da utiče na nagomilavanje nekog sistematskog odstupanja na dužini nivelmanskog vlaka od 206 m. Na ovo pitanje je teško dati odgovor, jer se to odstupanje samo predpostavlja, ali je nedovoljno ispitano da bi se dala njegoova veličina. Za naš slučaj odstupanja

vertikale od 10" i slučajne greške libele $\pm 10''$ može se sa velikom verovatnoćom pretpostaviti, da će se ovo sistematsko odstupanje od 10" i slučajna greška libele da utiču da se smanji uticaj ovog sistematskog odstupanja. Kako i koliko ostaje neodređeno, ali je važno da se uoči da će ovo sistematsko odstupanje imati tendenciju smanjivanja. Tako uočeno sistematsko odstupanje nećemo određivati, već ćemo ga odstraniti metodom rada, a on se sastoji u tome, da se pri nivelanju libelina osa postavlja u odnosu na pravac odstupanja vertikale pod uglom od 75° . Time je osetljivost libele u odnosu na pravac odstupanja vertikale šest puta umanjena (60"), pa će odstupanje vertikale od 10" u odnosu na slučajne greške libele 60" da bude bez uticaja. To će omogućiti da se nivelanje obavi strogo po sferoidalnim nivovskim površinama fizičkog sferoida. Ovo treba dobro uočiti, jer je to ključ rešenja pitanja merenja komponenata odstupanja vertikala.

Ukoliko bi odstupanje vertikale bilo manje od napred iznetog slučaja, utoliko bi i uticaj sistematskog odstupanja bio manji. Pri određivanju astronomskih tačaka imamo skoro uvek mogućnost, da izaberemo takvo mesto, gde će odstupanje vertikale da bude ispod 10", pa će time neposredno merenje komponenata odstupanja vertikala moći da dobije uopšteni karakter.

Ako se ipak desi slučaj većeg odstupanja vertikale, ono se isto tako može povoljno da suzbije povećavanjem ugla preseka pri nivelanju između libeline ose i pravca odstupanja vertikale, u skladu sa samom veličinom odstupanja vertikale.

Samo prenošenje visine optičke ose obavlja se na način, da se dobijenoj visini na letvi, koja se nalazi na reperu, naprimer, u tački *s*, doda ili oduzme dopuna, da bi se dobila visina optičke ose univerzalnog instrumenta. To se radi tako, da se pročita visina na letvi, i zabeleži, onda se letva stavi u horizontalan položaj i pomoću preciznog lenjira odmeri dopuna do visine optičke ose, dodajući pri tome popravku za krivinu Zemlje, čime je dobijena visina tačke viziranja. Zatim se na letvu montira mira, koja može da se izradi tako da se merenje komponenata odstupanja vertikale može da obavlja danju ili noću. Sam indeks mire, u obliku horizontalne crte debljine 1 mm, treba poklopiti sa određenom visinom tačke viziranja.

Isti se postupak prenošenja visine optičke ose obavi i na suprotnoj tački (*j*). Time smo odredili dve tačke po visini u pravcu meridijana instrumenta na istoj sferoidalnoj nivovskoj površini. Linija koja spaja te dve tačke predstavlja u isto vreme i liniju horizonta, čiji je položaj određen u granicama 1", jer je visina optičke ose preneti na tačke (*s*) i (*j*) sa tačnošću 1 mm, a 1 mm na rastojanju 206 m vidi se pod uglom od jedne sekunde.

Merenje komponente odstupanja vertikale u ravni meridijana obavlja se tako, da se navizira horizontalnim koncem na indeks mire tačke (*s*). Zatim se durbin upravi u pravcu mire tačke (*j*) okretanjem oko alhidadne osovine. Ako se indeks mire u tački (*j*) ne pojavi na horizontalnom koncu, što će najverovatnije da se desi, onda se polovina odstupanja dotera podnožnim zavrtnjem, a druga polovina mikrometarskim zavrtnjem durbina.

To se ponavlja dok se i severni i južni indeks mire ne pojave strogo na horizontalnom koncu. Time je alhidadna osovina dovedena u upravnost na sferoidalnu nivovsku liniju u visini instrumenta i u ravni meridijana mesta instrumenta. Posle toga navizira se na severnu miru i u tom položaju instrumenta dotera se mehur Talkotove libele da bude na sredini cevi i zabeleži njegov položaj. Zatim se navizira na južnu miru okretanjem durbina oko alhidadne osovine, pa se ponovo zabeleži položaj mehura Talkotove libele. Ako se ne pojavi razlika, znači da ne postoji odstupanje vertikale u ravni meridijana mesta instrumenta. Ukoliko se pojavi razlika, ona se sračuna i podeli sa dva. Sračunata vrednost predstavlja veličinu komponente odstupanja vertikale u sekundama u ravni meridijana mesta instrumenta.

Potpuno isti postupak se obavi i pri određivanju komponente odstupanja vertikale u ravni prvog vertikala mesta instrumenta. Samo predhodno treba instrumenat okrenuti tako, da dva podnožna zavrtnja dođu u pravac sever-jug.

Da bi se dobila kontrola i povećala tačnost merenja komponenta odstupanja vertikale na napred izloženi način, treba postupak ponoviti najmanje tri puta i to od prenošenja visine optičke ose na reper pored instrumenta do merenja samih komponenta odstupanja vertikale.

Pošto je merenje komponenta odstupanja vertikale uslovljeno poznavanjem pravca odstupanja vertikale, a mi ga neznamo, za prvo merenje treba odrediti približno pravac odstupanja vertikale na bazi morfologije terena. Iz prvog merenja komponenta dobiće se pravac odstupanja vertikale a zadovoljavajućom tačnošću, jer je njeovo poznavanje pri nivelanju potrebno samo radi suzbijanja sistematskog odstupanja nivelmana, pa njegova slučajna greška određivanja može imati i stepenske vrednosti.

Napred izloženi način neposrednog merenja komponenta odstupanja vertikala je mnogo jednostavniji od načina određivanja odstupanja vertikala, koji se danas primenjuju, jer su odbačena gravimetriska merenja. Pored toga, obećava veću tačnost, pošto bazira na vrlo preciznim merenjima sa mogućnošću ponovljanja. Dalje, ne bazira ni na kakvim pretpostavkama o strukturi kemljine kore i njenog omotača, pa se a priori može zaključiti da će dati realnije rezultate.

Ovo moje saopštenje predstavlja samo teorisko razmatranje. Predpostavljam da će ono izazvati interesovanje da se i praktično proverí. Ta provera mogla bi da se obavi na sledeći način:

Univerzalni instrumenat treba postaviti ispod nekog masiva na prelazu iz ravnice u brdovite predele, gde se unapred može da predpostavi odstupanje vertikale i tu izmeriti komponente odstupanja vertikale na napred izneti način. Zatim bi sledila ostala ispitivanja u zavisnosti od toga, što se hoće da proverí, koristeći pri tome već poznate metode.

Ukoliko bi se praktičnom proverom dobili zadovoljavajući rezultati, to bi omogućilo da se umesto mukotrpnih i još uvek problematičnih određivanja odstupanja vertikala pređe na njihova neposredna merenja. Dalje, to bi vremenom omogućilo i odbacivabnje samog merenja odstupanja vertikala, jer bi bili u mogućnosti da izbacimo libelu iz pozicijske

astronomije, time što bi putem nivelmana visoke tačnosti mogli da postavimo alhidadnu osovину u vertikalni položaj, ne na geoid, već na nivovsku površinu fizičkog sferoida. To bi se jedne strane omogućilo da se iz astro-geodetskih radova izbaci geoid, kao vrlo neposredan posrednik, a sa druge strane fizički rotacioni sferoid, kao matematička površina, postao bi osnova na kojoj bi se i izvodili i računali astro-geodetski radovi. To bi u krajnjoj liniji, vremenom, dovelo i do toga, da bi nulti fizički sferoid, kao matematička površina, postao osnova apsolutnih koordinata objekata na Zemlji. Pored toga, dobila bi se apsolutna osnova za ispitivanje, koji je od dosadašnjih referenc-elipsoida bio relativno najbolji, što se prema dosadašnjem nivou astro-geodetskih dotignuća može smatrati neostvarljivim.

Literatura: I. Vučić-Ivanović: Fizika I, Beograd 1960.