

Ing. Slavko Cimerman, Zagreb:

Prividne promjene brzine svjetlosti kao novi dinamički element za određivanje koeficijenata terestričke refrakcije

Fizikalna dinamika atmosfere, kao plinovitog tijela s obzirom na temperaturu vlagu i ostale komponente gustoće, dovodi u optičkom promatranju sitnih dijelova atmosfere do shvatanja, da nam se atmosfera predstavlja kao niz tijela različite gustoće, a prema tome i različitog indeksa loma. Koliko bi možda te varijacije gustoće izgledale malene ipak praktični učinci vrše značajni upliv u području geodetskih mjerenja, svrstanih pod upliv refrakcionih neprilika. Moguća točnost u geodeziji prelazi red vrijednosti učinaka refrakcije.

Zraka svjetlosti pri opservacijama (vizura), kao posljedica loma nije niti pravac, niti bilo kakova pravilna geometrijska krivulja. To je razumljivo, jer uvjeti koji stvaraju lom gotovo sigurno nisu pravilno smješteni. Može se očekivati da cio put predstavlja jednu potpuno nepravilnu prostornu cikcak krivulju, koja tek u svojim elementima povoljno malenim predstavlja dijelove pravca. »Momentano stvorena nepravilnost vizure,« t. j. izhodišni oblik krivulje i njezine varijacije uslovljene su stanjem i promjenama u atmosferi na cijelom putu zrake svjetlosti pri opservacijama.

Neprilike i loš utjecaj refrakcije to veći su:

1. što je moguće više tih lomova,
2. što točnija mjerenja uvjetujemo.

Pri t. zv. visinskim mjerenjima učinak je refrakcije mnogo nepovoljniji nego pri horizontalnim mjerenjima, izrazita posljedica promjene specifične gustoće, kao funkcije visine i eventualnih dinamičkih kolebanja oko srednjeg stanja, koje bi predstavljalo ravnotežu makar u jednom ograničenom dijelu vremena.

Mjerimo li neku brzinu na određenom putu, mjerimo je određivanjem podataka za formulu $c = \frac{s}{t}$. Točnost određivanja brzine vezana je na točnost određivanja puta i vremena. Mjerimo li brzinu svjetlosti i nju mjerimo na nekom određenom putu, dakle moramo taj put točno poznavati u granicama točnosti određivanja brzine (c) i vremena (t). Na početku ovog promatranja dozvolimo si pretpostavku potpuno točnog određivanja vremena da bi na taj način jednostavno izvršili promatranje učinaka netočnosti puta na sam rezultat t. j. na brzinu.

Zraka svjetlosti prelazi u atmosferi svoj optički put, koji se razlikuje od geometrijskog puta. To zaključujemo na ranije izvedenoj pretpostavci o putu u vidu cikcak krivulje. Prema tome točnost određivanja puta (dužine) ne može se spašavati nikakvim točnim geodetskim određivanjem te dužine. Sva mjerenja brzine svjetlosti izvedena u atmosferi imaju osnovnu

i bitnu pogrešku, jer se optički put razlikuje od geometrijskog. Za tu razliku se može bez daljnjega utvrditi, da je optički put duži od geometrijskog, t. j. $S_{opt.} > S_{geod.}$

U vakuumu naprotiv imamo granični slučaj da je $S_{opt.} = S_{geod.}$

Prema tome svako mjerenje brzina svjetlosti u atmosferi nosi u sebi pogrešku u neodređenosti razlike $dS = S_{opt.} - S_{geod.}$. Što više za jedan te isti $S_{geod.}$ mogu nastupiti u različito vrijeme različiti $S_{opt.}$, te prema tome možemo očekivati da se i dS mijenja po vremenu.

Pogledajmo:

1. Što je posljedica da je $S_{opt.} > S_{geod.}$, i da u formulu unosimo $S_{geod.}$, a ne stvarni $S_{opt.}$.

Usljed toga što u formulu za računanje brzine unosimo $S_{geod.}$ umjesto $S_{opt.}$ dobivamo brzinu manju nego što uistinu jest.

2. Što je posljedica ako puštamo da $S_{geod.}$ raste (na pr. sa 100 m na 500 m, na 5 km. na 50 km. i t. d.).

Usljed toga što $S_{geod.}$ raste (praktično to znači produžuje se staza na kojoj vršimo mjerenja) rasti će i $S_{opt.}$. Uzrokom vjerojatnih nepravilnosti, jer je na većem putu stvorena mogućnost veće slučajnosti pojave pravilnih i nepravilnih lomova, a ta može djelovati samo u smislu produženja $S_{opt.}$ diferencija dS će postajati sve veća. Usljed toga čini nam se da je brzina svjetlosti sve manja.

Oboje prema tome predstavlja uzrok sistematske pogreške mjerenja, čiji prauzrok je lom zrake svjetlosti u atmosferi, što se izriče koeficijentom refrakcije. Time je utvrđen odnos prividnih promjena brzine svjetlosti i koeficijenta refrakcije.

Iz razvoja mjerenja brzine svjetlosti poznata je hipoteza o smanjenju brzine svjetlosti. Postavljena je na temelju uporedjenja rezultata mjerenja unazad 50 god. Opaženo je sistematsko smanjenje u iznosu 4 km./sek. godišnje.

Ne mislim tumačiti cjelokupni učinak prividnim promjenama brzine uslijed $dS = S_{opt.} - S_{geod.}$, no držim da ukoliko je postojalo sistematsko produživanje staze mjerenja u atmosferi, da se ostalim uvjetima superponirala i spomenuta prividna promena brzine svjetlosti. Zanimljivo je istaknuti da je Fizeau mjerio na stazi 17 km., a Mickelson na stazi 70 km. Produženja staze su bila sa svrhom povećanja točnosti, jer je vrijeme mjerenja bilo zaista kratko. Međutim produženje ukoliko je s jedne strane omogućilo veću točnost, s druge strane je unosilo jednu novu pogrešku, uslijed neodređenosti razlike dS .

Uz ostalo držim da se bez daljnjega ne može protumačiti ovakova sistematska pojava uzrokom pogrešaka aparature.

Obzirom na spomenutu hipotezu s tehničkog stanovišta je potpuno opravdano proširiti pitanje na pitanje apsolutne pouzdanosti i konstantnosti brzine svjetlosti:

1. Da li je brzina svjetlosti u svim smjerovima jednaka ili se moguće mjenja kao funkcija azimuta, uslijed rotacije zemlje?

Teorija relativnosti utvrđuje da je brzina svjetlosti u svim smjerovima jednaka. potvrđeno je to Michelsonovim interferentnim pokusom. Za nas je još važna ograda koja se može uzeti po M. Bornu, a mogla bi se ovako formulirati: mjerenje brzine svjetlosti se obavlja na jednoj te istoj stazi u oba smjera (tamo i nazad), prema tome ako postoje izvjesne promjene, te se u protivnim smjerovima ukidaju i rezultat je srednja brzina. Metoda rada je dakle takova da bi se eventualne pogreške izazvane spomenutim uzrokom eliminirale.

2. Da li je brzina svjetlosti promjenljiva po vremenu. Na to možemo odgovoriti, da se danas brzina svjetlosti (c) smatra konstantnom.

O samom koeficijentu refrakcije htio bih utvrditi nekoliko bitnih okolnosti. Određivanje koeficijenta refrakcije svodi se na određivanje temperature, tlaka, visinskog kuta, odnosno na obostrana opažanja.

Određivanje temperature i tlaka se vrši na opservacionoj točki, dakle u jednom ograničenom i bezznačajno malom dijelu puta svjetlosti, koji bi imao biti predstavnik općeg stanja u atmosferi, odnosno tumač pojava loma na cijelom putu. Da je to jedan vrlo ograničen podatak bit će jasno, ako uočimo da prilike na petom, desetom, pedesetom kilometru vizure mogu zaista biti sasvim nešto deseto, nego smo to mi izmjerili kod instrumenta. Principijelna manjkavost je u tome, da se lokalno stanje kod instrumenta superponira cijeloj vizuri i provodi generaliziranje koeficijenata za sumarno stanje i sumarni učinak atmosfere.

Da je to donekle tehnički ispravno i prema tome da je tehnička primjena ovako određenih koeficijenata moguća u to ne možemo sumnjati, jer teoretski i praktički je dokazana ispravnost takve primjene, pošto je moguće popravljati rezultate mjerenja pomoću koeficijenata refrakcije.

Nesumnjivo načinili bismo korak naprijed, ako stvorimo mogućnost u neku ruku dobiti interpretacije atmosferskog stanja i njegovog učinka pri opservacijama na cijelom putu vizure od opservacione do vizurne točke t. j. od instrumenta do signala.

Bitna mogućnost ovog postava nalazi se dakle u ovisnosti prividnih promjena brzine svjetlosti i promjene S_{opt} . Promjene i preslaganja opservacione krivulje zbivaju se i to su promjene S_{opt} odnosno promjene dS , pod uslovom koeficijenata refrakcije u atmosferi, a to se ispoljuje kao promjena brzine svjetlosti.

Uzmemo li brzinu svjetlosti u taj račun kao konstantu, jer je promjena uslijedila radi diferencije dS , i prema tome je to prividna promjena, pa moramo naš račun korigirati u tom smislu, da sav izraz promjene brzine svjetlosti uopće ne postoji, nego postoji promjena puta uzrokovana lomovima, čiji tumač su koeficijenti refrakcije.

Na temelju izvedenog reciprociteta dobivamo mogućnost posrednog tumačenja stanja u atmosferi i tumačenja većih ili manjih deformacija, koje pretrpljuje zraka svjetlosti na opservacionom putu. U prenesenom dovodi to do jednog novog dinamičkog elementa u određivanju koeficijenta refrakcije odnosno do sigurnosti već prije određenih koeficijenata statičkim putem.

Na temelju kvalitativno zahvaćenog problema, jer mi mjerenja nije bilo moguće izvesti, možemo povući zaključak o praktičnoj koristi varijabilnosti brzine svjetlosti po vremenu i opaženih diferencija s time, da iste upućuju na oprez pri upotrebi podataka mjerenja dobivenih u ovom stanju.

Treba međutim uvijek imati pred očima činjenicu, da je bijela svjetlost sastavljena i da crveno imade različiti indeks od plavoga, t. j. da je koeficijent refrakcije također funkcija valne dužine.

Prelaz u infracrveno područje prate povoljniji koeficijenti refrakcije, što u tehničkom riječniku znači manje opservacionih neprilika. Koeficijenti infracrvenog područja su manji i stabilniji prema tome sa tehničkog stanovišta mogu se smatrati eventualno i nekom konstantom.

Koeficijenti refrakcije područja elektromagnetskih centimetarskih i mikrovalova također predstavljaju za nas zanimivo područje proučavanja.

Predpostavka je, da će se u izvjesnim okolnostima trebati mjenjati valnu dužinu zbog povećane apsorpcije vala u atmosferi, a to je pri proizvodnji valova električnim oscilatorom dosta lako postići. Time će se ujedno vrlo jednostavno pratiti odnos koeficijenata refrakcije prema promjeni valne dužine.

Uspjeh ovog istraživanja imade težište u tome da se pronade metoda dovoljno točna za ovo valno područje.

Zahvaćeno istraživanje zahtijeva cio splet novog instrumentarija, novih konstrukcija i novih metoda rada.

Dovršenu metodu trebat će primjeniti na kontinuirano po vremenu, dakle opservatorijsko, mjerenje dužina između dvije stalne geodetske točke, te opažati i registrirati neprestane promjene u dužini t. j. u koeficijentu refrakcije. Ovakav stalni uređaj morat će sadržavati instrumentarij za:

- 1) vidljivi spektar,
- 2) infracrveno područje,
- 3) radarsko područje.

Težnja da se pri opservacijama pomaknemo iz vidljivog spektra u pogodnije valno područje, i ovdje treba imati svoj odraz u vidu nabrojenoga. Razlog tome je što prirodni vidni sistem t. j. oko i vidljivi spektar nisu podesni za promatranje detalja na velikoj udaljenosti.

Stabilna opservatorijska motrenja bila bi uvod u primjenu pokretnih tehničkih mjerenja čije metode bi se vremenom pojednostavile.

U težnji za povećanjem točnosti i sigurnosti mjerenja, pokraj današnjeg stanja visoke točnosti instrumentarija, a još uvijek ograničenih mogućnosti, područje zanimanja moderne geodetske metrologije postaje:

- 1) zbivanje pred instrumentom,
- 2) revizija instrumenta i principijelne njegove konstrukcije,
- 3) zbivanje iza instrumenta, t. j. analiza registriranja, te pogreške bilo subjektivnog bilo objektivnog opserviranja.

ZAKLJUČAK

Optički put zrake svjetlosti ($S_{opt.}$) razlikuje se od geometrijskog puta ($S_{geod.}$). Jednaki su samo u vakuumu, ili u iznimnim slučajevima atmosferskog stanja, što se ne može pretpostaviti. Uvijek je u atmosferi $S_{opt.} > S_{geod.}$, a sam $dS = S_{opt.} - S_{geod.}$. Uslijed kolebanja $S_{opt.}$ za jedan te isti $S_{geod.}$ mogu nastupiti razni dS . Pri mjerenju brzine svjetlosti to

uzrokuje pogrešku, čiji uzrok je refrakcija zrake svjetlosti. Opažanjem prividnih promjena brzine svjetlosti, moguće je iste iskoristiti za tumačenje atmosferskog stanja ravnoteže i promjena u svrhu ocjene refrakcije. Izloženo vrijedi osim za područje vidljivog spektra i za područje infracrveno i područje centimetarskih valova. Predlažu se ispitivanja putem opservatorijskih mjerenja

Dodatak s obzirom na Bergstrandov izvještaj pred Internacionalnom Geodetskom i Geofizičkom Uniom u Oslu:

Promjene stanja atmosfere t. j. promjene temperature i tlaka stvaraju optičke promjene koje izazivaju lokalne promjene brzine svjetlosti.

Te promjene mogu se razčlaniti na dvoje:

1) Stvarne promjene izazvane promjenom gustoće medija. Zovimo ih promjene prvog reda. Pošto se gustoća atmosfere mjenja po visini u pravilu, to se može postaviti pitanje odnosa faktične promjene brzine svjetlosti kao funkcije apsolutnih visina krajnjih točaka, odnosno kao funkcije apsolutne visine stajališta i elevacionog kuta dužine.

2) Prividne promjene koje su nastupile kao promjena uslova refrakcije, koja inače uzrokuje veće ili manje skretanje sa pravca i stvara prema tome veće ili manje diferencije optičkog i geometrijskog puta. Nazovimo ih promjene drugog reda.

(Iz iskustva opservacije pravaca na veće udaljenosti može se zaključiti da su refrakcione promjene u kutnom iznosu velike.)

Držim, da po Bergstrandu opaženi utjecaj temperature i tlaka je izazvao obe ove promjene brzine svjetlosti, i tako bi protumačio već prije predviđenu, a sada opaženu pogrešku mjerenja u novoj metodi mjerenja dužina.

Računom i mjerenjem treba ispitivati realnost ovih pretpostavki i odnos učestvovanja pojedine od spomenutih promjena brzine svjetlosti.

Bergstrandova metoda omogućuje dobivanje osim dužine, glavnog produkta, i nusprodukt, t. j. podatak za refrakciju.

