

JEDAN NAČIN ODREĐIVANJA UTICAJA REFRAKCIJE KOD PRECIZNIH GEODETSKIH MERENJA

Dr Slobodan KONTIĆ dipl. inž. — Beograd

Prilikom visoko preciznih merenja dolazi do sniženja tačnosti merenih rezultata usleg delovanja greške refrakcije. Veličina tog uticaja mogla bi se računati na niže opisani način.

Ako sredina kroz koju prolazi linija vizure nije homogena, nego je sastavljena od slojeva različitih gustina, debljina »dh« i indeksa prelamanja n_j , to će se linija vizure pri prolasku kroz njih iskriviti i odstupiti od prave linije. Krivina putanje zraka (linije vizure) kroz te sredine može se odrediti koristeći princip Ferma i varijacioni račun uz izvesnu njihovu modifikaciju.

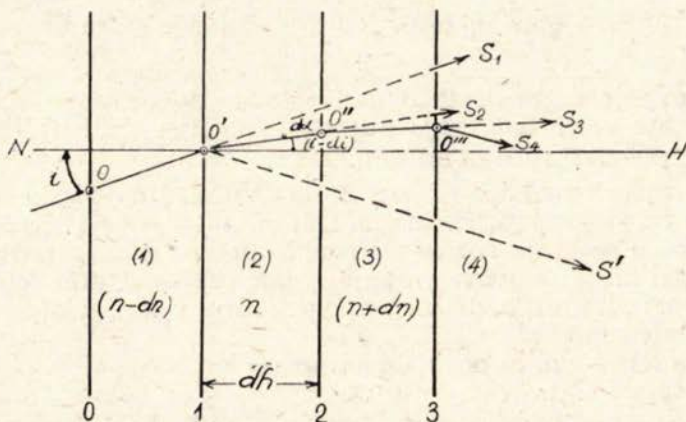
Neka je NH — linija normale na pravac pružanja slojeva (slika 1); O-stanična tačka sa koje se vrši merenje; OS₁ — pravac linije vizure do prve prelomne površine, odnosno površine između vazdušnog sloja (1) kome pripada stanica sa koje se vrši merenje a ima indeks prelamanja (n_{dn}) i prvog narednog vazdušnog sloja (2) u kome se lomi linija vizure i čiji je indeks prelamanja »n«; S₂ — pravac vizure u drugom vazdušnom sloju (2) sa indeksom prelamanja »n«. Neka je »i« ugao koji zaklapa liniju vizure sa normalom na prvu prelomnu površinu, odnosno graničnu površinu između staničnog vazdušnog sloja (1) i prvog narednog vazdušnog sloja (2) u kome dolazi do prelamanja linije vizure.

Veličina ugla »i« može se dobiti opažajući pravac vetra na stanici ili pravac strujanja vazdušnih masa u odnosu na jednu od vizura koje treba ostvariti sa stanične tačke. Kao što će se kasnije videti, dovoljno je veličinu ovog ugla izmeriti sa tačnošću jednog stepena. Ovo je moguće dobiti pomoću specijalno urađenih malih vetrokaza koji bi se lako mogli montirati na teodolit. Veličinu odgovarajućeg ugla »i_k« za svaku »k-tu« vizuru dobićemo ako uglu »i_p« (koji zaklapa pravac početne vizure sa pravcem pružanja vazdušnih masa, odnosno pravcem vetra) dodamo ugao između početne vizure i »k-te« vizure. Pravac vetra ili strujanja vazduha u isto vreme će predstavljati i pravac pružanja vazdušnih slojeva u odnosu na staničnu tačku sa koje se vrši merenje kao i svih ostalih tačaka na koje se vrši viziranje. Radi kontrole pravca pružanja vazdušnih slojeva treba izmeriti pravac ovih slojeva i u nekim tačkama sondiranja duž linije vizure. Međutim, prestankom vetra dolazi do ekstremnog formiranja temperaturnih slojeva, zbog

toga treba povećati broj sondažnih tačaka na pravcu linije vizure prilikom mirnog bezvetrovitog vremena i obratno.

Ispitivanjem je utvrđeno da, kada duva vetar (i ako su vazdušni slojevi izmešani i približno istog sastava i temperature) u blizini zemljine površine u slojevima koji se nalaze oko velikih vrhova nastupa obrnut slučaj od onog koji bi se trebao očekivati. Ovaj slučaj anomalnosti sa porastom visine još više dolazi do izražaja usled smanjenja temperature vazduha oko vrhova. Zbog toga tada treba povećati broj sonde oko vrhova sa velikom nadmorskom visinom.

SLUČAJ



Neka je »da« ugao za koji se promeni pravac linije vizure (sa stanice O ka nekoj tački) u prvom vazdušnom sloju. Taj ugao je jednak za svaki pojedini sloj promeni »di« odgovarajućeg ugla »i«. Ukupni ugao skretanja »a« linije vizure od stvarnog pravca »S₁« biće jednak sumi elementarnih uglova »da«. Veličina »da« prve refrakcije (elementarne refrakcije) linije vizure može se sračunati na sledeći način.

Posmatrajmo tri prva beskonačno tanka sloja približno jednakih debljina »dh« a indeksa prelamanja (n-dn), (n) i (n+dn). Kada zrak (linija vizure) prođe kroz prvu graničnu površinu on će se prelomiti, odnosno promeniti prvobitni pravac. Zbog toga se može uzeti:

$$(n-dn) \cdot \sin i = n \cdot \sin (i-di) \quad (1)$$

odnosno posle transformacije na osnovu (3) dobija se:

$$di = \frac{dn}{n} \cdot \operatorname{tg} i \quad (1a)$$

Znači, zrak (linija vizure) posle prelamanja kroz prvi vazdušni sloj skreneće od svog prvobitnog pravca »i« za veličinu ugla »di«. Kada linija vizure stigne na sledeću drugu površinu ona će se opet prelomiti i promeniti svoj pravac. Na taj način, pod ovim uslovima, ona će se

lomiti izlazeći iz sloja u sloj za veličine » d_i «, i tada će definisati izvesnu krivu liniju čiji se poluprečnik krivine » R_r « može aproksimativno odrediti po poznatom obrascu:

$$R_r = \frac{ds}{d\alpha} \quad (2)$$

gde je: ds — priraštaj luka linije vizure

$d\alpha$ — odgovarajući priraštaj promene pravca (linije vizure) kroz vazdušni sloj

Ako vazdušni sloj ima debljinu » dh «, onda je luk linije vizure koji odgovara tome sloju jednak:

$$ds = \frac{dh}{\cos i} \quad (3)$$

Ulazeći sa jednačinama (3) i (1a) u jednačinu (2) dobija se jednačina:

$$R_r = \frac{dh}{dn} \cdot \frac{n}{\sin i} \quad (4)$$

Veličina zakrivljenosti linije vizure dobiće se po jednačini:

$$Z = \frac{1}{R_r} = \frac{dn}{n \cdot dh} \cdot \sin i \quad (5)$$

$$\text{ostato veličina } g = \frac{dn}{dh} \quad (6)$$

predstavlja gradijent indeksa prelamanja » n « to je:

$$Z = \frac{\text{grad}(n)}{n} \cdot \sin i = \text{grad}(\log n) \cdot \sin i \quad (7)$$

Treba napomenuti da je na osnovu rada [1] veličina indeksa prelamanja, uglavnom, najviše zavisna od talasne dužine upotrebljene svetlosti za materijalizovanje linije vizure, a zatim temperature.

Analizirajući jednačine (5) i (7) vidi se da veličina zakrivljenosti linije vizure pri prolasku kroz vazdušne slojeve različitih indeksa prelamanja zavisi od sledećih parametara:

1. debljine slojeva, odnosno od njihovog broja duž linije vizure (veća debljina, manji broj njih na jednom konstantnom odstojanju).
2. od veličine promene indeksa prelamanja » n «.
3. od pravca linije vizure (i) u odnosu na pravac duvanja vetra, odnosno na pravac strujanja vazdušnih masa.
4. od talasne dužine upotrebljene svetlosti, kojom je materijalizovana linija vizure.

Povećavajući broj sonde duž linije vizure može se donekle uticati na tačnije određivanje veličine parametra, koji je funkcija broja i debljine vazдушnih slojeva.

Druga dva parametra (α i pravac linije vizure) ne zavise od operatora te se ne mogu promeniti zalaganjem operatora pri radu u momentu merenja. Birajući i menjajući veličinu četvrtog parametra, može se donekle smanjiti i dovesti do minimalne vrednosti veličina tog uticaja, tj. postići da zakrivljenost putanje linije vizure bude minimalna, odnosno α_r maksimalno. Ovo će se desiti u slučaju kada je gradijent promene indeksa prelamanja što manji, a samim tim i veličina promene pravca (prelamanje linije vizure) što manja. Kod jednačine (7) se vidi da je prvi koeficijent vrlo mala veličina, pa promena sinusa ugla i za jedan ceo stepen neznatno utiče na vrednost α .

Elementarna refrakcija $d\alpha$ linije vizure pri prolasku iz prvog u drugi vazdušni sloj biće:

$$d\alpha_r = \frac{ds}{R_r} = \frac{ds \cdot dn}{n \cdot dh} \cdot \sin i = \frac{dn}{n} \cdot \operatorname{tg} i \quad (8)$$

Ukupna veličina refrakcije duž jedne linije vizure debljine h biće jednaka:

$$\alpha_r = \int_0^h d\alpha_r = \int_0^h \operatorname{tg} i \cdot \frac{dn}{n} \quad (9)$$

Ako se uzme da je za jednu vizuru veličina $\operatorname{tg} i$ u jednom određenom trenutku viziranja konstantna veličina, onda je:

$$\alpha_r = \operatorname{tg} i \log \left[\frac{n_0}{n_h} \right] \quad (10)$$

Ova pretpostavka može se uzeti obzirom da u veoma kratkom vremenskom intervalu od nekoliko sekunada, vazdušni slojevi duž jednog pravca (linije vizure) na osnovu (2) zadržavaju svoj pravac i osobine, ne samo za tako kratak vremenski interval već i mnogo duže vreme.

U formuli (10) je:

n_0 — vrednost indeksa prelamanja na staničnoj tački, a

n_h — vrednost indeksa prelamanja na kraju vazdušnog sloja, odnosno linije vizure.

Međutim, ako $\operatorname{tg} i$ nije konstantna veličina onda će veličina refrakcije duž neke linije vizure biti jednaka:

$$\alpha_r = \sum_{k=1}^b \operatorname{tg} i_k \cdot \lg \left[\frac{n_0}{n_h} \right] \quad (11)$$

gde je: b — broj uzetih sondažnih tačaka duž jedne linije vizure, u kojima je izvršeno »sondiranje« meteoroloških podataka.

Hidrometeorološka služba izdaje u svakoj zemlji za svaki dan kartu meteoroloških podataka. U nedostatku drugih podataka mogu se, u krajnjoj nuždi, svi ovi podaci uzeti sa karte interpolacijom za svaku vizuru. Međutim ove podatke ne treba uzimati sa karte ako linija vizure ide preko raznih uvala i vodenih površina gde se osetno menjaju meteorološki uslovi koji utiču na promenu indeksa prelamanja.

Na ovaj način dobija se za praksu, približan ali veoma prost obrazac za računanje veličine skretanja linije vizure usled promene indeksa prelamanja vazduha između pojedinih tačaka, odnosno meteoroloških uslova.

Iz obrasca se vidi, ako se želi povećati tačnost dobijenih merenja, potrebno je povećati i broj »sondi« duž svake linije vizure. Međutim ako se radi o približno istim topografskim uslovima ispod putanje linije vizure, onda se broj »sondi« može smanjiti, jer se u tom slučaju radi o veoma malom broju različitih vazdušnih slojeva u pravcu jedne vizure.

Osim toga vidi se da je veoma važno što tačnije odrediti vrednosti indeksa prelamanja za svaki pojedini elementarni vazdušni sloj, jer njihov odnos (logaritamska vrednost relativne promene indeksa prelamanja) je glavni član u jednačini (11), koji određuje veličinu popravke » α'_r «, pod uslovom da su vrednosti uglova » i « male.

Kada su vazdušni slojevi takvog pravca u odnosu na pravac linije vizure da se vrednost ugla » i « kreće u granicama: $80^\circ \leq i < 90^\circ$ i postoji maksimalna vrednost drugog člana, onda se dobija i maksimalna vrednost ukupne popravke » α'_r «. Ako se desi da je ugao » i « = 90° , onda je granična vrednost » α'_r « = 0.

Kada postoji više različitih vazdušnih slojeva duž jedne linije vizure, onda za definitivnu vrednost popravke treba uzeti sumu svih pojedinih popravaka sračunatih za svaki pojedini vazdušni sloj.

Ovde nije potrebno navoditi diskusiju za pojedine osnovne slučajeve, koji su sami po sebi iz formule očigledni. Ovde je uzet slučaj da se linija vizure kreće u jednoj horizontalnoj ravni, te na taj način su i dobijene, vrednosti popravke, samo za horizontalnu komponentu refrakcije. Ako se želi dobiti i veličina komponente vertikalne refrakcije, onda se na približno sličan način može dobiti i njena vrednost.

Ako bi se želela sračunati odjednom prostorna vrednost ukupne refrakcije, onda bi se račun malo komplikovao, što nije potrebno obzirom, da kod čisto geodetskih merenja takva vrednost refrakcije nije potrebna.

Ipak, kada se vrši merenje u cilju određivanja položaja raznih satelita i njima sličnih letilica, onda se mora linija vizure i njeno prelamanje posmatrati u prostoru. Na taj način moraju se upotrebiti nešto komplikovanije formule.

The method for determination of the refraction influence in the geodetic measurements

The author studies at some length the problem of determining the refraction components making at the same time an attempt to simplify their mathematical solutions. He also suggests a method for decreasing the refraction components to their lowest limit.

The paper includes furthermore the principal causes leading to both the rupture of the sight line and the occurrence of the »refraction error«.

In order to define the sight line, the author finds out the basic mathematical expression of the sight line path as well as the way for computing all the parameters that equation involves. A detailed analysis of each partial solution is also given.

In the conclusion it is stated that the final expression for the evaluation of the refraction components is not only very simple but also advantageous for practical purposes.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕФРАКТИВНЫХ ВЛИЯНИЙ В ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ

В этой статье автор даёт теоретическую обработку проблемы определения и вычисления составляющих рефракции, и в связи с этим выводит свою формулу весьма пригодную для практики.

Кроме того, автор предлагает и способ которым можно уменьшить влияние вызывающе рефракцией до минимума.

В дальнейшем автор выдвигает и главные параметры, вызывающие переломление луча (линии визуры) и приводит к отклонению действительного пути луча (линии визуры) от идеальной прямой линии, создавая таким образом т.к. «ошибку из-за рефракции».

На конце, в заключении автор излагает и способ определения всех параметров появляющиеся в выражении для вычисления составляющих рефракции, так же как и их влияние в отдельных экстремных случаях.

LITERATURA

- (1) — Kontić ing. Slobodan: Doktorska disertacija
- (2) — Godišnjak Savezne Hidrometeorološke službe 1948—1964. g.
- (3) — Dr Kašanin: Viša matematika I i II