

UDK 528.41:528.283:624.19
Originalni znanstveni članak

NEZAVISNA KONTROLA GEODETSKIH MREŽA IZNAD DUGIH TUNELA POMOĆU ASTRONOMSKI ODREĐENIH SMJERNIH KUTOVA

Nikola SOLARIĆ, Asim BILAJBEGOVIĆ, Miljenko SOLARIĆ,
Drago ŠPOLJARIĆ, – Zagreb, Dresden*

SAŽETAK: U radu je izložena automatizirana astronomska metoda određivanja azimuta i smjernog kuta prema nekom objektu na zemljinoj površini. Točnost astronomskog određivanja azimuta opažanjem zvijezde Sjevernjače pomoću elektroničkih teodolita Kern E2 i Leica T3000 iznosi $\pm 0,4''$. Takva visoka točnost određivanja smjernog kuta omogućuje kontrolu u davanju smjera za proboj tunela. Opisana je primjena te metode i računanje utjecaja komponenata otklona vertikale pri nezavisnoj kontroli geodetskih mreža iznad tunela Chiffa u Alžiru i tunela Nevesinje u Bosni i Hercegovini, dužih od 12 km. Primjena astronomske metode određivanja azimuta i smjernog kuta omogućuje da se drugom nezavisnom metodom kontrolira točnost geodetske mreže. Ujedno se kontroliraju i komponente otklona vertikale, koje utječu na orijentaciju poligonskih vlakova na ulazima u tunel, osobito ako su vizure na točke za orijentaciju strme. To je vrlo važno i pri primjeni suvremene GPS tehnologije.

1. UVOD

Klasične astronomske metode određivanja azimuta i prijelaza na smjerni kut bile su prije neekonomične za većinu geodetskih radova. Zato su se one primjenjivale samo na specijalnim zadacima. Velike mogućnosti što ih danas pruža elektronika, pri primjeni astronomskih metoda određivanja smjernog kuta, omogućuju da se te metode upotrebljavaju vrlo često i u svakodnevnoj geodetskoj praksi. Do toga je naročito došlo poslije automatizacije unošenja podataka horizontalnog i vertikalnog kruga iz elektroničkih teodolita u programabilne kalkulatora, kao što je to kod elektroničkog teodolita Kern E2 i programirajućeg kalkulatora HP 41CX (Solarić,

* Prof.dr.sc. Nikola Solarić, prof.dr.sc. Miljenko Solarić, Drago Špoljarić, dipl.ing., Geodetski fakultet, Kačićeva 26, Zagreb.

Prof.dr.sc. Asim Bilajbegović, Hochschule für Technik und Wirtschaft, 01069 Dresden, Friedrich-List-Platz 1, Njemačka.

1983 i 1984). Tako danas, zahvaljujući velikom napretku elektronike, nije samo olakšano mjerenje duljina pomoću elektroničkih daljinomjera nego i određivanje smjernog kuta.

2. ASTRONOMSKE METODE ODREĐIVANJA AZIMUTA

Klasične astronomske metode, koje su se do sada primjenjivale za određivanje azimuta odnosno smjernog kuta neke strane, rijetko su se upotrebljavale jer su bile neekonomične. Naime, trebalo je utrošiti puno vremena na računanje, a s druge strane ta je metoda zahtijevala specijalne bolje satove, kronometre, radioprijamnike i visokoobrazovano stručno osoblje za potrebe mjerenja i računanja.

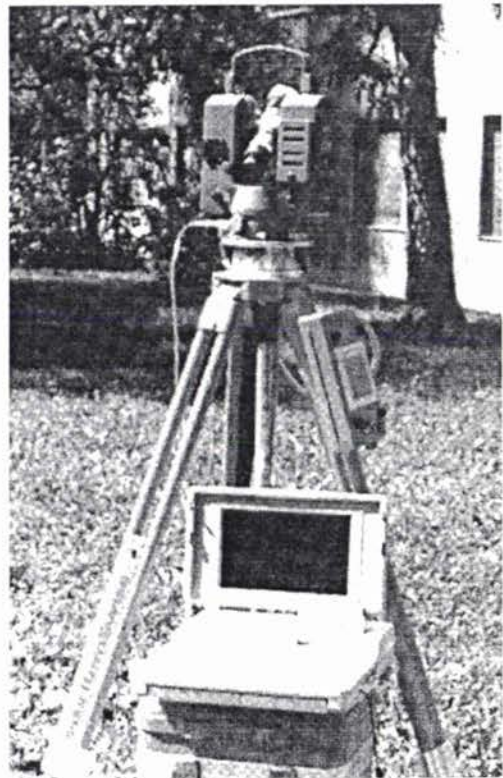
Zahvaljujući naglom napretku na području elektronike, navedeni problemi koji su onemogućivali češću primjenu astronomskih metoda pri određivanju azimuta danas su uglavnom riješeni.

Na kongresu FIG-a (Internacionalne federacije geodezije) 1983. godine predložena je automatizacija određivanja smjernog kuta elektroničkim teodolitom Kern E1 pomoću zenitnih daljina Sunca, zvijezda i planeta (Solarić 1983, 1984), a koja je razvijena na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Zatim je izvršeno i poboljšanje programa (Solarić 1985, 1986, 1991).

Godinu i pol poslije automatizacije astronomskih metoda određivanja azimuta s teodolitom Kern E1 na Geodetskom fakultetu u Zagrebu provedena je automatizacija i s elektroničkim teodolitom Wild T2000 i GRE 3 u tvrtki Wild (Švicarska) (Rutishauser und Scherrer 1984).

Zahvaljujući naglom razvoju PC-a devedesetih je godina omogućeno daljnje poboljšanje ove automatizirane mjerne metode, skraćivanje vremena mjerenja, a i eventualno malo poboljšanje točnosti. Koristeći te nove mogućnosti razvijena je naša nova, poboljšana automatizirana metoda određivanja azimuta astronomskim metodama s elektroničkim teodolitima (Kern E2 i Leica T3000) i notebookom (Solarić et al. 1991; Solarić 1996), (slika 1).

Ta nova automatizirana metoda s notebookom ima više prednosti u odnosu na automatiziranu metodu s HP 41CX.



Slika 1. Elektronički teodolit Kern E2 i notebook za automatizirano astronomsko određivanje azimuta i smjernog kuta.

1. *Ne treba astronomski godišnjak* za računanje prividne rektascenzije, deklinacije zvijezda i zvjezdanog vremena u pola noći jer ih računalo samo računa prema algoritmu iz *Astronomical Almanaca*. Iste te veličine računalo računa za Sunce po algoritmu Lichteneger (1979), kao i prije s HP 41CX.
2. Za jednoga grubog viziranja na zvijezdu ili ciljnu točku moguće je napraviti do 10 finih viziranja, a računalo samo izbacuje gruba pogrešna mjerenja. Na taj se način postiže veća preciznost i skraćuje ukupno vrijeme opažanja.
3. *Postupak određivanja korekcije sata* u računalu prema vremenskim radio signalima *automatiziran* je tako da računalo automatski samo izbacuje grubo pogrešne primljene vremenske radio signale. Određivanje korekcije sata u računalu može se obaviti za približno dvije minute.
4. Računalo *kontrolira je li ispravan položaj teodolita*, a girus je moguće početi s prvim ili drugim položajem teodolita.
5. Za koordinate stajališta mogu se unijeti:
 - a) koordinate x, y u UTM-projkciji (ili Gauss-Krügerovoj) ili
 - b) geodetska širina, duljina i konvergencija meridijana ili
 - c) astronomska širina i duljina.
6. Na kraju opažanja u girusu *dobiva se odmah na terenu srednja vrijednost smjernog kuta* iz svih izmjerenih girusa i *njezino standardno odstupanje*.
7. Prva mjerenja pokazuju da se srednji smjerni kut pomoću zvijezda može odrediti za približno 20 minuta opažanja (u 2 girusa s 5 finih viziranja) sa standardnim odstupanjem 0,2" a pomoću Sunca 1", odnosno može se postići približno točnost od 0,4" pomoću zvijezda i 2" pomoću Sunca.

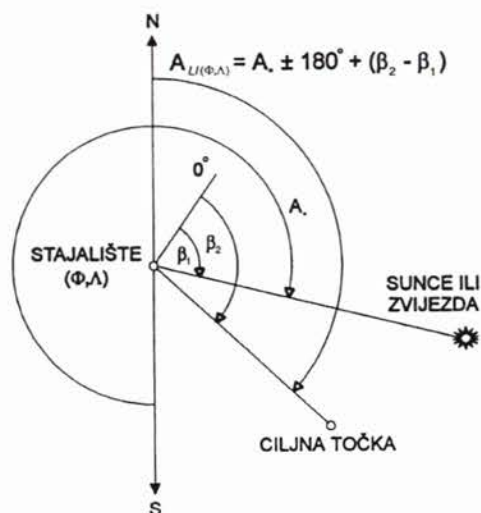
Veći dio potrebnog instrumentarija za astronomsko određivanje azimuta geodetski stručnjak mora posjedovati za normalnu djelatnost. Posebno bi trebalo nabaviti:

- softver za računanje azimuta iz astronomskih mjerenja položaja Sunca ili zvijezda,
- mali tranzistorski prijamnik (iako nije bezuvjetno potreban),
- tamni filter ili Roelofsovu prizmu za opažanje Sunca,
- relej za prijenos vremenskih radio signala s radija u notebook (iako se to može učiniti i ručno).

Dakle, za primjenu astronomskih metoda određivanja azimuta, osim instrumentarija za normalnu geodetsku djelatnost, ne treba neki posebno skupi pribor, već praktički samo softver za računanje azimuta iz astronomskih mjerenja položaja Sunca ili zvijezda.

Bit je astronomskih metoda određivanja azimuta i prijelaza na smjerni kut u tome da se u smjeru ciljne točke očita horizontalni krug β_2 (slika 2), a zatim se prema nebeskom tijelu očita horizontalni krug β_1 i istodobno izmjeri zenitna daljina ili očita vrijeme opažanja. O tim metodama vidi npr. (Muller, Eichhorn 1968; Ramsayer 1970; Sigl 1978; Steinert 1996).

Iz zenitne daljine ili vremena opažanja nebeskog tijela i poznatih koordinata stajališta (Φ, Λ) može se izračunati azimut nebeskog tijela A_* u trenutku mjerenja. Zatim se izračuna azimut strane $A_{LI(\Phi, \Lambda)}$ dodajući $(\pm 180^\circ + (\beta_2 - \beta_1))$ (slika 2). Poslije toga se pomoću poznatih komponenata otklona vertikale ξ, η prelazi na azimut na elipsoidu $\alpha_{LI(EL)}$ (Heiskanen, Moritz 1967; Torge 1980; Zakatov 1976).



Slika 2. Princip određivanja azimuta prema ciljnoj točki astronomskim metodama.

$$\alpha_{LI(EL)} = A_{LI(\Phi, \Lambda)} - \eta \operatorname{tg} \Phi + \frac{\eta \cos A_{LI(\Phi, \Lambda)} - \xi \sin A_{LI(\Phi, \Lambda)}}{\operatorname{tg} z_{LI}}, \quad (1)$$

gdje je:

Φ – astronomska širina stajališta,

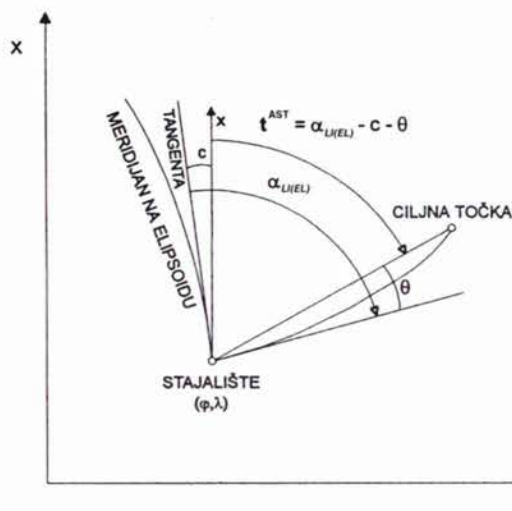
Λ – astronomska duljina stajališta,

z_{LI} – zenitna daljina strane prema ciljnoj točki.

Poslije toga treba prijeći s azimuta na elipsoidu na smjerni kut u geodetskoj projekciji t^{AST} (vidi npr. Borčić 1976; Frančula 1979; Thomas 1952), uzimajući u obzir konvergenciju meridijana c i utjecaj zakrivljenosti geodetske linije u projekciji θ ako se radi o duljim stranama (slika 3).

Paketi programa za HP 41CX, a sada i za notebook, za određivanje smjernog kuta daju na displeju informacije opažaču što treba raditi pa ga tako vode. Opažač može izabrati želi li za koordinate stajališta unijeti Φ, Λ ili X, Y (u UTM ili Gauss-Krügerovoj projekciji), a po odgovarajućim potprogramima automatski se iz X, Y računa odgovarajući φ, λ, c . Algoritme za te prijelaze vidi (Frančula 1979; Thomas 1952). Ovdje su φ i λ geodetska širina i duljina stajališta, određene geodetskim načinom na usvojenom elipsoidu. Osim toga, iza pitanja su uvijek navedene jedinice u kojima treba unijeti odgovarajuću veličinu. Opći i mjerni podaci mogu se pri radu s HP 41CX pohraniti na kasetu, a notebookom u memoriju računala. Zbog svega toga rad s tim programima ne zahtijeva od opažača veće znanje od normalnog rada s HP 41CX ili notebookom. Potrebno vrijeme za opažanje pri automatskom radu s HP 41CX iznosi za prvi girus približno 10 minuta, a za svaki sljedeći girus približno 4 minute.

Ispitivanja točnosti automatskog određivanja azimuta elektroničkim teodolitom Kern E2 i programabilnim kalkulatorom HP 41CX na Opservatoriju Hvar (jednom



Slika 3. Prijelaz s azimuta na elipsoidu na smjerni kut strane prema ciljnoj točki.

od zavoda Geodetskog fakulteta u Zagrebu) pokazala su da se mjerenjem u pet girusa za približno pola sata opažanja postiže sljedeća točnost (vanjska točnost):

a) prema metodi zenitnih daljina:

- opažanjem Sunca $\pm 2,6''$, ako se opaža u optimalno vrijeme, ujutro do 9 sati ili poslije 15 sati, kada je Sunce najmanje 10° iznad horizonta (Solarić, Špoljarić 1988),
- opažanjem zvijezda u blizini digresije $\pm 1,4''$ (Solarić et al. 1990),

b) prema metodi satnog kuta (vremena opažanja):

- opažanjem Sunca $\pm 2,0''$ u optimalno vrijeme, ujutro do 9 sati ili poslije 15 sati, ali može se opažati i u podne s nešto manjom točnošću (Solarić, Špoljarić 1988),
- opažanjem Sjevernjače (Polarnice) $\pm 0,5''$ (Solarić et al. 1992).

Prva probna opažanja s Kernom E2 i notebookom ukazuju da se pomoću Sjevernjače postiže točnost od $\pm 0,4''$, a pomoću Sunca $\pm 1,5''$.

3. PRIMJENA ASTRONOMSKO ODREĐENIH SMJERNIH KUTOVA PRI KONTROLI GEODETSKIH MREŽA IZNAD DUGIH TUNELA

Pri kontroli geodetske mreže iznad tunela dolazi u obzir određivanje azimuta odnosno smjernog kuta strane opažanjem Sjevernjače na ulazu i izlazu tunela (slika 4. i 6.) jer se tom metodom postiže visoka točnost. Najispravnije bi bilo pomoću astrolaba Zeiss Ni 2 astronomskim načinom odrediti koordinate stajališta Φ, Λ na ulazu i izlazu tunela i s pomoću njih odrediti azimut strane $A_{L(\Phi, \Lambda)}$. Nakon toga treba izračunati iz poznatih koordinata X, Y koordinate stajališta φ, λ i konvergenciju meridijana c te odrediti komponente otklona vertikalne ξ i η u lokalnoj geodetskoj projekciji (upotrebljavajući razlike između Φ i φ , a također i razlike Λ i λ).

U praksi se češće događa da na terenu imamo samo pravokutne koordinate stajališta X,Y, a naknadno u birou iz topografskih masa izračunamo topoizostazijske komponente otklona vertikalne ξ i η . Takvu su situaciju imali autori na geodetskim mrežama iznad tunela Chiffa u Alžiru i Nevesinje u Bosni i Hercegovini. Zato smo iz X,Y izračunali φ , λ , c i pri određivanju azimuta astronomskom metodom umjesto Φ , Λ za računanje uzeli φ , λ , zatim u birou odredili utjecaj komponenata otklona vertikalne ξ i η na smjerni kut.

Automatsko preračunavanje mjerenih veličina za utjecaj komponenata otklona vertikalne ξ, η pomoću HP 41CX zahtijeva dosta vremena*. Zato su rezultati određivanja azimuta korigirani prema formuli koju smo izveli analogno izvodima u (Heiskanen, Moritz 1967; Torge 1980; Zakatov 1976):

$$\alpha_{LI(EL)} \approx A_{LI(\varphi, \lambda)} + \frac{\eta \cos A_* - \xi \sin A_*}{\operatorname{tg} z_*} + \frac{\eta \cos A_{LI(\varphi, \lambda)} - \xi \sin A_{LI(\varphi, \lambda)}}{\operatorname{tg} z_{LI}}, \quad (2)$$

gdje je:

$A_{LI(\varphi, \lambda)}$ – azimut strane automatski određen ako umjesto Φ i Λ u račun uzmemo φ i λ ,

z_* – zenitna daljina zvijezde,

z_{LI} – zenitna daljina prema ciljnoj točki.

Smjerni kut strane $t_{LI(\varphi, \lambda)}^{AST}$ određen astronomskom metodom, nekorigiran za komponente otklona vertikalne, računan sa zadanim elipsoidnim koordinatama stajališta φ , λ , bit će:

$$t_{LI(\varphi, \lambda)}^{AST} = A_{LI(\varphi, \lambda)} - c - \theta.$$

Smjerni kut strane t^{AST} određen astronomskom metodom i korigiran za utjecaj komponenata otklona vertikalne, analogno jednadžbi 2, bit će:

$$t^{AST} \approx t_{LI(\varphi, \lambda)}^{AST} + \frac{\eta \cos A_* - \xi \sin A_*}{\operatorname{tg} z_*} + \frac{\eta \cos(t_{LI(\varphi, \lambda)}^{AST} + c) - \xi \sin(t_{LI(\varphi, \lambda)}^{AST} + c)}{\operatorname{tg} z_{LI}}. \quad (3)$$

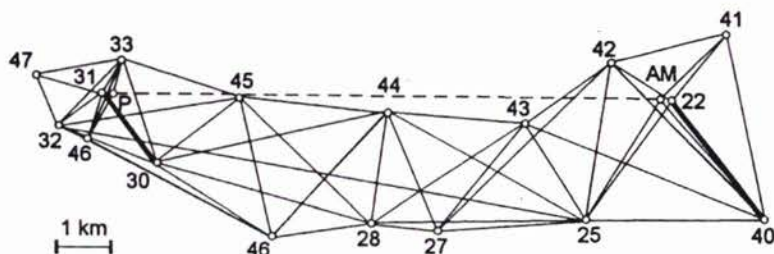
3.1 Geodetska mreža iznad tunela Chiffa u Alžiru

Na temelju izvedene formule korigirani su rezultati određivanja smjernog kuta strana na ulazu i izlazu iz tunela Chiffa (slika 4), te su dobivene vrijednosti smjernih kuteva:

na ulazu $t_{22-40}^{AST} = 137^\circ 27' 25,49''$,

na izlazu $t_{31-30}^{AST} = 139^\circ 08' 53,48''$.

* Danas bi se to pomoću notebooka lagano i brzo moglo automatski preračunati. Međutim, za vrijeme rada na mrežama Chiffa i Nevesinje nije bio razvijen softver za automatsko određivanje smjernog kuta pomoću notebooka.



Slika 4. Geodetska mreža iznad tunela Chiffa u Alžiru.

Iz koordinata X,Y koje su dobivene izjednačenjem punim minimiziranjem mjenjenih pravaca i duljinama izračunani su na klasičan geodetski način smjerni kutevi istih strana:

$$t_{22-40}^{GEO} = 137^{\circ}27'33,76'' \text{ i } t_{31-30}^{GEO} = 139^{\circ}09'01,38''.$$

Zatim su izračunane razlike između smjernih kutova određenih astronomskim i geodetskim načinom ($t^{AST} - t^{GEO}$) za navedene strane te je dobiveno:

$$\Delta t_{22-40}^{AST-GEO} = t_{22-40}^{AST} - t_{22-40}^{GEO} = -8,27'',$$

$$\Delta t_{31-30}^{AST-GEO} = t_{31-30}^{AST} - t_{31-30}^{GEO} = -7,90''.$$

Nakon toga je izračunana razlika između navedenih razlika za pojedine strane te je dobiveno:

$$\Delta(\Delta t^{AST-GEO}) = \Delta t_{22-40}^{AST-GEO} - \Delta t_{31-30}^{AST-GEO} = -0,37''.$$

Teoretski bi ta razlika trebala biti jednaka nuli, ali je i takva razlika iznosa $0,37''$ vrlo mala i pokazuje da je geodetska mreža iznad tunela Chiffa dobro postavljena. Osim toga može se istaknuti da je to dobra nezavisna kontrola homogenosti ("čvrstoće") mreže s drugom nezavisnom metodom neovisnom o klasičnoj geodetskoj metodi mjerenja pravaca i duljina. Utjecaj smjernog kuta na točnost proboja, pogotovo kod dugih tunela, vrlo je velik, a upravo se ovim postupkom smjerni kut nezavisno kontrolira.

Astronomskom je metodom određivan smjerni kut $t_{LI(\varphi,\lambda)}^{AST}$ (u jednadžbi 3), pomoću Kerna E2 i HP 41CX, i to na ulazu u tunel (poznatih koordinata stajališta φ , λ), jednu noć u 12 girusa, a na izlazu iz tunela u dvije noći s ukupno 21 girusom. Standardno odstupanje određivanja smjernog kuta astronomskom metodom $s_{tLI(\varphi,\lambda)}^{AST}$ iz prekobrojnih mjerenja iznosilo je:

$$s_{tLI(\varphi,\lambda)}^{AST} = 0,4''.$$

Može se procijeniti da je standardno odstupanje komponenta otklona vertikale s_{η} i s_{ξ} iznosilo:

$$s_{\eta} = s_{\xi} = 0,4''.$$

Smjerni kut t^{AST} na ulazu u tunel Chiffa određen je astronomskim načinom i izračunan prema jednadžbi 3, sa standardnim odstupanjem $s_{I\ AST}$. To standardno odstupanje, uz zanemarivanje konvergencije meridijana, možemo izračunati po sljedećoj formuli:

$$s_{I\ AST} = \sqrt{(s_{LI(\varphi,\lambda)}^{AST})^2 + (s_{\eta} \cos A_* / \operatorname{tg} z_*)^2 + (s_{\xi} \sin A_* / \operatorname{tg} z_*)^2 + (s_{\eta} \cos t_{LI(\varphi,\lambda)}^{AST} / \operatorname{tg} z_{LI})^2 + (s_{\xi} \sin t_{LI(\varphi,\lambda)}^{AST} / \operatorname{tg} z_{LI})^2}.$$

Na geografskoj širini približno 36° i pri $A_* = 180^\circ$, $t_{LI(\varphi,\lambda)}^{AST} = 137^\circ$, $z_* = 54^\circ$ i $z_{LI} = 55^\circ$ standardno odstupanje smjernog kuta određenog astronomski iznosi:

$$s_{I\ AST} = 0,57''.$$

Približno jednako standardno odstupanje smjernog kuta dobiveno je i za stranu na izlazu iz tunela.

Nakon izjednačenja geodetske mreže po principu potpune minimizacije, gdje su izjednačavane duljine i pravci, dobiveno je standardno odstupanje pravca $s_{I\ GEO}$ u iznosu:

$$s_{I\ GEO} = \pm 0,7''.$$

Iz izvedenih se veličina može izračunati da je standardno odstupanje razlike smjernih kutova dobivenih astronomskim i klasičnim geodetskim načinom za jednu stranu iznosilo:

$$s_{\Delta t^{AST-GEO}} = \sqrt{s_{I\ AST}^2 + s_{I\ GEO}^2} = 0,90''.$$

Standardno odstupanje razlika između razlika astronomskih i geodetskih određenih smjernih kutova $\Delta(\Delta t^{AST-GEO})$ za strane na ulazu i izlazu iznosi:

$$s_{\Delta(\Delta t^{AST-GEO})} = \sqrt{0,90^2 + 0,90^2} = \pm 1,27''.$$

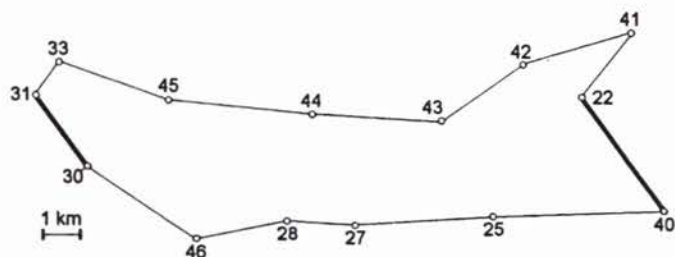
Prema tome, dozvoljeno odstupanje veličina $\Delta(\Delta t^{AST-GEO})$ moglo bi biti (s 95% vjerojatnosti):

$$\Delta(\Delta t_{DOZV}^{AST-GEO}) = 2 \cdot s_{\Delta(\Delta t^{AST-GEO})} = 2,5''.$$

Iz toga slijedi da je izračunani $\Delta(\Delta t^{AST-GEO})$ za tunel Chiffa u iznosu od $0,37''$ znatno manji od dozvoljene veličine za tu razliku, te s velikom pouzdanošću možemo očekivati dobar proboj tunela.

U nadzemnoj mreži tunela Chiffa pokušali smo uzeti samo zatvoreni poligonski vlak (slika 5) te smo dobili razlike u zatvaranju poligonskog vlaka po koordinati X da je $\Delta X = 0,336$ m.

Zatim smo u poligonski vlak uveli u račun astronomski određene smjerne kutove strana na ulazu i izlazu iz tunela. Pri tome smo dobili razlike pri zatvaranju poligonskog vlaka po koordinati X da je $\Delta X = 0,116$ m. Iz toga se vidi da je nesuglasica u zatvaranju poligonskog vlaka, uzimanjem u obzir astronomski određenih smjernih kutova, u ovom slučaju bila 2,9 (gotovo 3) puta manja, tj. da se uključivanjem i izjednačenjem astronomski određenih smjernih kutova dobiva veća točnost.



Slika 5. Zatvoreni poligonski vlak iznad tunela Chiffa.

U mreži na slici 4. izmjereni su svi pravci i duljine u oba smjera te astronomski određeni smjerni kutovi na ulazu i izlazu iz tunela. Jednom je izvedeno izjednačenje mreže metodom potpune minimizacije svih duljina i pravaca bez astronomski određenih smjernih kutova i drugi put s njima. Rezultati nakon izjednačenja s astronomski određenim smjernim kutovima i bez njih nisu pokazivali znatnije povećanje točnosti kada su uvrštena i astronomska mjerenja. To je i razumljivo jer je $\Delta(\Delta t^{AST-GEO})$ bio vrlo malen (0,37"). Iz toga se može zaključiti da se u vrlo točnoj nadzemnoj geodetskoj mreži uvrštavanjem u izjednačenje i astronomski određenih smjernih kutova ne povećava točnost.

Za izvođače geodetskih radova vrlo je važno da s pomoću astronomski određenih smjernih kutova dobivaju drugom metodom nezavisnu kontrolu nadzemne mreže. Na taj način geodeti dobivaju pouzdanost da će proboj tunela biti vjerojatno uspješan ako ne bude pogreška u podzemnoj geodetskoj mreži u tunelu. U manje točnim nadzemnim mrežama (kao što je bilo na slici 4. u zatvorenom poligonskom vlaku), uvrštavanjem astronomski određenih smjernih kutova u izjednačenje dobiva se veća točnost.

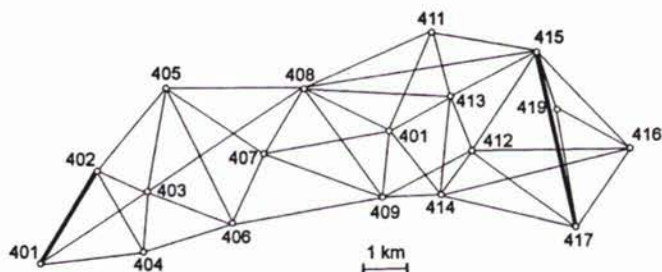
3.2 Nadzemna geodetska mreža iznad tunela Nevesinje u Bosni i Hercegovini

Primjena astronomske metode određivanja smjernog kuta ispitivana je i na nadzemnoj mreži tunela Nevesinje koji je dulji od 12 km. Razlika $\Delta(\Delta t^{AST-GEO})$, dobivena analogno kao i za mrežu tunela Chiffa, iznosi:

$$\Delta(\Delta t^{AST-GEO}) = 1,26''.$$

Dozvoljeno odstupanje veličine $\Delta(\Delta t_{DOZV}^{AST-GEO})$ za tu mrežu iznosi 2,4". Iz toga se vidi da je dobivena veličina $\Delta(\Delta t^{AST-GEO})$ i za tu mrežu manja od dozvoljene veličine te se može očekivati vjerojatno uspješan proboj tunela. Da su otkloni vertikale određeni pomoću Zeiss Ni 2 astrolaba, vjerujemo da bi se ta razlika pokazala još manjom.

Geodetske mreže iznad tunela u Alžiru i u Bosni i Hercegovini, postavljene i izmjerene prije približno 9 godina, određivane su na klasični način mjerenjem kutova i duljina. Tada nismo imali GPS uređaje. Danas, kada se takve geodetske mreže određuju uglavnom GPS-om, automatizirana astronomska metoda određivanja azimuta strana može poslužiti kao nezavisna kontrola homogenosti ("čvrstoće") mreže.



Slika 6. Nadzemna mreža iznad tunela Nevešinj u BiH.

Takvom kontrolom ne kontrolira se samo geodetska mreža nego i veličine komponenta otklona vertikalne (ξ , η). GPS-om se dobivaju koordinate na elipsoidu, a na ulazu u tunnel mjeri se teodolitom na fizikalnoj površini Zemlje i viziranjem na orijentacijske točke orijentiraju se poligonski vlakovi s kojima se ulazi u tunnel. Zato treba uzeti u obzir otklone vertikalne na ulazu i izlazu dugih tunela pogotovo ako su strme vizure na točke za orijentaciju poligonskih vlakova (odnosno podzemne geodetske mreže) s kojima se ulazi u tunnel. Na primjer komponente otklona vertikalne na tunnelima Karavanke i Semmerig iznosile su 10" do 13" (Čolić 1997), te je o njihovom utjecaju trebalo voditi računa. Osobito je u tim slučajevima dobro izvršiti takvu nezavisnu kontrolu da bi geodetski stručnjaci koji vode probaj tunela mogli s većom pouzdanošću ocijeniti hoće li probaj tunela biti uspješan i mirnije ga čekati.

4. ZAKLJUČAK

Smjerni kutovi određeni astronomskim načinom uvršteni u izjednačenje nadzemnih geodetskih mreža manje točnosti pridonose povećanju točnosti mreže. Ako je mreža vrlo visoke točnosti, uvrštavanjem, astronomski određenih smjernih kutova u izjednačenje neće se bitnije povećati točnost, ali se na taj način drugom nezavisnom metodom dobiva kontrola točnosti mreže i geodetskim stručnjacima pruža mogućnost da s većom pouzdanošću ocijene hoće li probaj tunela biti uspješan.

Danas je geodetsku mrežu iznad tunela jednostavnije odrediti suvremenim GPS mjerenjima. Međutim, kontrola smjernog kuta određenog astronomskom metodom i danas je vrlo aktualna jer omogućuje da se na drugi nezavisan način dobije sigurniji uvid u pouzdanost geodetske mreže iznad tunela. Osim toga, dobivene koordinate s GPS-om su na elipsoidu, pa se tom metodom ujedno kontrolira korigiramo li smjer probaja tunela pravilnim komponentama otklona vertikalne ξ, η . To je vrlo važno kod dugih tunela, napose ako su na ulazu-izlazu tunela strme vizure na točke za orijentaciju poligonskih vlakova s kojima se ulazi u tunnel (odnosno za orijentaciju podzemnih geodetskih mreža).

LITERATURA

- Borčić, B. (1976): Gauss-Krügerova projekcija meridijanskih zona. Geodetski fakultet, Zagreb.
- Čolić, K. (1997): Tuneli Karavanke i Semmerig (osobna informacija).
- Frančula, N. (1979): Primjena džepnih računala u rješavanju zadataka Gauss-Krügerove projekcije, Geodetski list, 4-6, 95-102.
- Heiskanen, W.A., Moritz, H. (1967): Physical Geodesy. W.H. Freeman and Company, San Francisco and London.
- Lichtenegger, H. (1979): Formelsystem zur Berechnung der Sonnenepheriden, Acta Geod. et Geophys. et Montanistic, Acad. Sci. Hung., 14, (1-2), pp 125-133.
- Mueller, I.I., Eichhorn, H. (1968): Spherical and practical astronomy as applied to geodesy. Frederick Ungar-publishing company, New York.
- Ramsayer, K. (1970): Jordan-Eggert-Kneissl, Handbuch der Vermessungskunde, II a geodätische Astronomie.
- Rutishauser, J., Scherrer, R. (1984): Azimutbestimmung mit Sonne, Wild Heerbrugg, Profis 12, XI.
- Sigl, R. (1978): Geodätische Astronomie, Karlsruhe. H. Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- Solarić, N. (1983): Automatische Bestimmung des Richtungswinkels mit dem elektronischen Theodolit Kern E1 mittels Zenitdistanzen der Sonne, XVIII Internationaler Kongress FIG-Sofia, 19-28. Juni 1983. Tom 10.
- Solarić, N. (1984): Druga poboljšana varijanta automatskog određivanja smjernog kuta elektoničkim teodolitom Kern E2 pomoću zenitnih daljina Sunca, planeta i zvijezda, Zbornik radova XI. jugoslavenskog simpozija o mjerenjima i mjernoj opremi, Novi Sad, pp 132.1-132.10.
- Solarić, N. (1985): Automatische Bestimmung des Richtungswinkels mit dem elektronischen Theodolit Kern E1 mittels Zenitdistanzen der Sonne, Wissenschaftlichen Zeitschrift TU Dresden, Heft 6/1984, pp 114-117.
- Solarić, N. (1986): Treća poboljšana varijanta automatskog određivanja smjernog kuta elektoničkim teodolitom Kern E2 pomoću zenitnih daljina Sunca, planeta i zvijezda, Zbornik radova XII. jugosl. simp. o mjerenjima i mjernoj opremi Beograd, pp 143-152.
- Solarić, N. (1991): Automatic grid azimuth by hour angle of sun, a star, or a planet using an electronic theodolite Kern E2, Astrophysics and Space Science, vol. 177, pp 175-179.
- Solarić, N. (1996): Automatisierte Bestimmung des Azimuts und des Richtungswinkels mit astronomischen Methoden. Lehrbrief, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden.
- Solarić, N., Špoljarić, D. (1988): Accuracy of the automatic grid azimuth determination by observing the sun using Kern E2 theodolite, Surveying and Mapping (USA), No. 1, pp 19-27.
- Solarić, N., Špoljarić, D., Nogić, Č. (1990): Analysis of the accuracy of automatic azimuth determination by measuring zenith distances of stars with electronic theodolite Kern E2, Hvar Observatory Bulletin, vol. 14, No. 1, pp 1-14.
- Solarić, N., Špoljarić, D., Vresk, M., Skender, I. (1991): Automatic determination of the astronomical azimuth by observing a celestial body using electronic theodolite Kern E2 and laptop computer Toshiba T1600, Hvar Obser. Bulletin, vol. 15, No. 1, pp 35-43.
- Solarić, N., Špoljarić, D. (1992): Accuracy of the automatic astronomical azimuth determination by observing the Polaris with Leica-Kern E2 electronic theodolite, Surveying and Land Information Systems, 2, pp 80-85.
- Solarić, N., Špoljarić, D., Lukinec, Z. (1994): Accuracy of automatic astronomical azimuth determination by Astronomical Methods with the Leica-Kern E2 theodolite, Surveying and Land Information Systems (USA), No. 1, pp 5-19.
- Torge, W. (1980): Geodesy. W. de Gruyter, New York and Berlin.

Steinert, K.G. (1996): Azimutbestimmung mit Hilfe der Gestirne. Lehrmaterial für das Lerngebiet Vermessung an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden.

Zakatov, P.S. (1976): Kurs vyššej geodezii. Moskva.

INDEPENDENT CONTROL OF GEODETIC NETWORKS ABOVE LONG TUNNELS BY MEANS OF ASTRONOMICALLY DETERMINED AZIMUTHS

The work presents the automated astronomical method of determining azimuth and grid azimuth toward to some object on the surface of the Earth. The accuracy of astronomical azimuth determination by observing Polaris with electronic theodolite Kern E2 and Leica T3000 amounts to $\pm 0.4''$. Such high accuracy in grid azimuth determination enables the control in setting the direction for the tunnel cutting. The paper also describes the application of this method and computation of the influence that the deflection components of the vertical have during the independent control of geodetic networks above the tunnel Chiffa in Algeria and the tunnel Nevesinje in Bosnia and Herzegovina. They are longer than 12 km. The application of astronomical method in azimuth and grid azimuth determination makes it possible to obtain the control of geodetic network accuracy with another independent method. At the same time, the deflection components of the vertical are also controlled. They can significant to influence on the orientation of traverses at the entrances into tunnels, especially if the line of sight to the orientation points are steep. It is also very important in modern GPS technology.

Primljeno: 1997-04-15