

ASTROGEODETSKA MREŽA SLOVENIJE IN GEOID

doc.dr. Bojan Stopar, dr. Miran Kuhar

FGG-Oddelek za geodezijo, Ljubljana

Prispelo za objavo: 1997-04-24

Pripravljeno za objavo: 1997-07-07

Izvleček

Po zaključku poskusnih sanacij astrogeodetske mreže Slovenije je bil za področje mreže izračunan relativni geoid. Z odkloni navpičnic in geoidnimi višinami točk lahko izvedemo korektno redukcijo opazovanj na referenčni elipsoid. Zanima nas, kako korektno reducirana opazovanja spremenijo položaje točk v mreži in koliko se zato izboljša natančnost mreže.

Ključne besede: *astrogeodetska mreža, geoid, globalna natančnost geodetske mreže*

1 OBLIKA IN VELIKOST ASTROGEODETSKE MREŽE SLOVENIJE

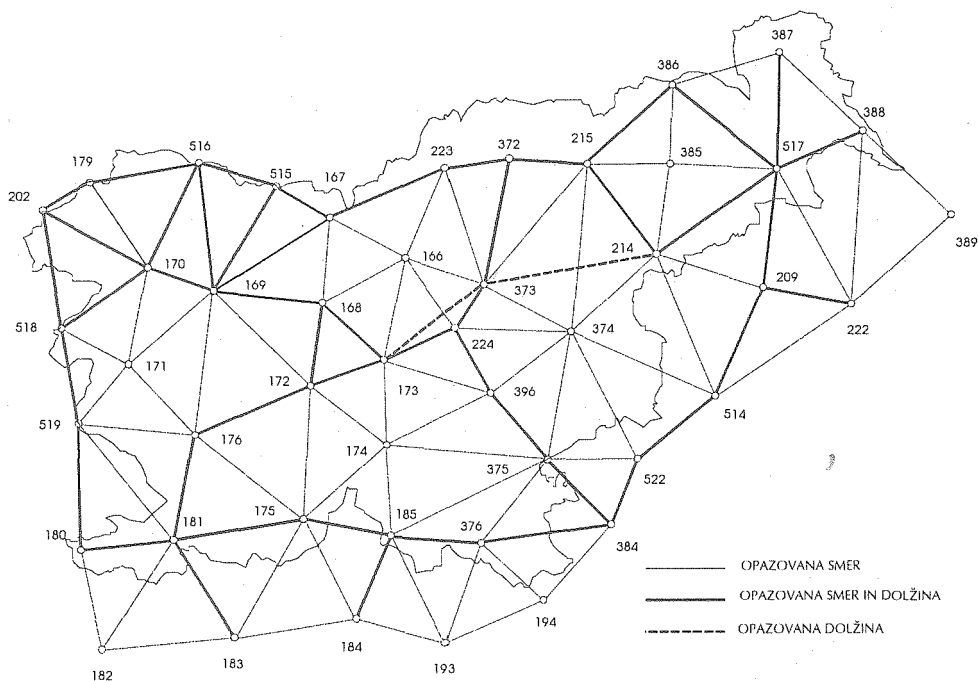
Astrogeodetska mreža Slovenije pokriva ozemlje Republike Slovenije in je po obliki klasična trigonometrična mreža (Slika 1). Zaradi potreb klasične geodezije so trigonometrične točke locirane na vzpetinah in stabilizirane z nižjimi ali višjimi betonskimi stebri. Ko govorimo o astrogeodetski mreži Slovenije, pogosto upoštevamo pri tem tudi prvi niz trigonometričnih točk, ki ležijo na ozemlju Republike Hrvaške. Ta mreža pokriva območje približno 260 km x 180 km. Skupno s točkami na ozemlju Republike Hrvaške je v astrogeodetsko mrežo Slovenije vključenih 46 točk, ki sestavljajo 66 trikotnikov. Zaradi dejstva, da je zdaj na področju mreže državna meja med Slovenijo in Hrvaško, smo v eni različici mreže zadržali samo točke, ki ležijo na ozemlju Slovenije. Mreža na ozemlju Slovenije obsega 34 trigonometričnih točk I. reda. Za potrebe tega prispevka pa smo predpostavili, da je tudi trigonometrična točka 375 Gorjanci sestavni del državne geodetske mreže Slovenije. Zato v tem prispevku kot astrogeodetsko mrežo Slovenije obravnavamo mrežo, ki vsebuje 35 točk, ki skupaj tvorijo 46 trikotnikov. Mreža pokriva območje velikosti 230 km x 140 km.

2 SANACIJE ASTROGEODETSKE MREŽE SLOVENIJE

Zaradi zgodovinskih razlogov je položaj astrogeodetske mreže na referenčnem elipsoidu napačen, mreža ima velike deformacije merila in ni homogena natančnosti (Jenko, 1986). Zato so po letu 1974 začeli v Sloveniji z deli za sanacijo slovenskega dela astrogeodetske mreže nekdanje Jugoslavije. Sanacije so obravnavale astrogeodetsko mrežo Slovenije s priključenim prvim nizom točk na Hrvaškem. Največji pomen je bil dan izmeri dolžin v mreži oziroma določitvi merila uradno veljavne državne geodetske mreže. Poleg izmerjenih dolžin je bilo na novo določenih

tudi veliko nadmorskih višin točk, tako da imajo zdaj vse točke določene nadmorske višine (Jenko, 1986).

Rezultat sanacij je končna poskusna izravnava državne geodetske mreže v lokalnem koordinatnem sistemu v Gauss-Kruegerjevi projekcijski ravnini, brez uvedbe kakršnih koli pogojev ali vezi v izravnavo. V to izravnavo so vključeni podatki opazovanj smeri iz let 1963 do 1966 in novo izmerjene dolžine. Za določitev položajev 46 točk je bilo uporabljenih 222 smeri in 49 dolžin. V izravnavi sta bili uporabljeni vrednosti referenčnih standardnih deviacij a priori za smeri $\sigma_{0s} = 0,45''$ in za dolžine $\sigma_{0d} = 0,038$ m. Vrednost referenčne standardne deviacije, določene a posteriori, je $\hat{\sigma}_0 = 1,0106$ (Jenko, 1986). Na podlagi te izravnave je bilo določeno merilo uradno veljavne mreže tako, da so bile uradno veljavne koordinate točk primerjane s koordinatami točk, ocenjenih v poskusni izravnavi. Rezultat teh primerjav je potrditev domnev, da ima mreža, poleg tega da je premaknjena in zasukana, tudi močne deformacije merila. Linearne deformacije merila se gibljejo v mejah od $-43,7$ mm/km do $+11,0$ mm/km, kar pomeni, da je uradno veljavna mreža, glede merila, dokaj nehomogena (Jenko, 1986).



Slika 1

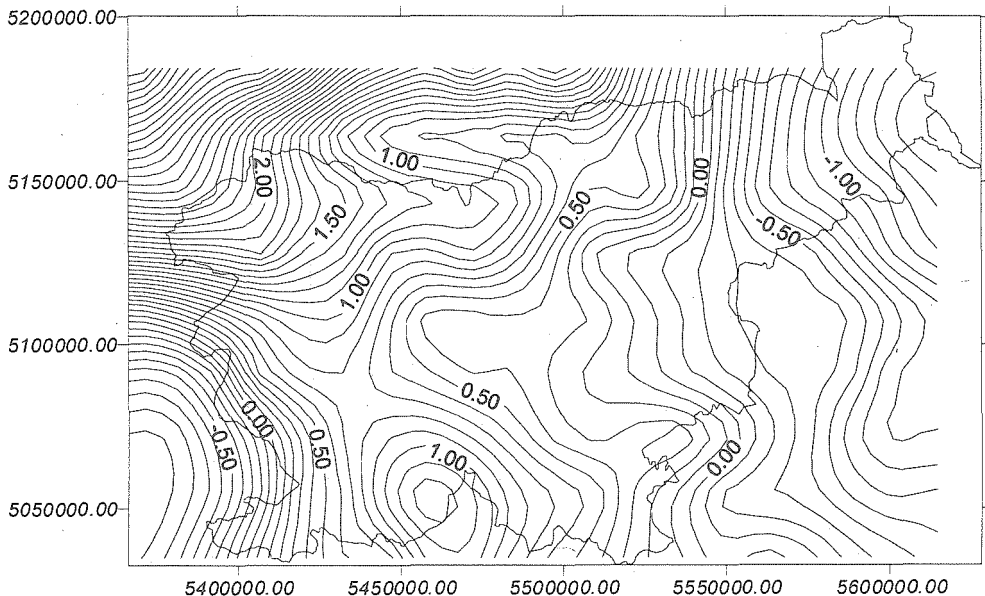
Za zaključek sanacij mreže je bila opravljena tudi poskusna astronomsko-geodetska orientacija državne geodetske mreže. Za orientacijo so bile uporabljene 4 astronomske širine, 6 astronomskih dolžin, 6 astronomskih azimutov, izmerjenih na šestih Laplacejevih točkah, in 12 geoidnih točk z danimi astronomskimi koordinatami. Rezultat orientacije mreže so geodetske koordinate točk mreže. Iz primerjav geodetskih koordinat, pridobljenih po orientiranju geodetske mreže, in

uradno veljavnih koordinat so bile določene vrednosti zamikov posameznih točk uradno veljavne državne geodetske mreže. Ti zamiki znašajo v smeri y-osi od -335,3 m do -341,9 m in v smeri osi x-osi od -84,8 m do -91,7 m (Jenko, 1986). Zaradi nepoznavanja geoida v času sanacije mreže ima poskusno izravnana sanirana mreža dve pomanjkljivosti:

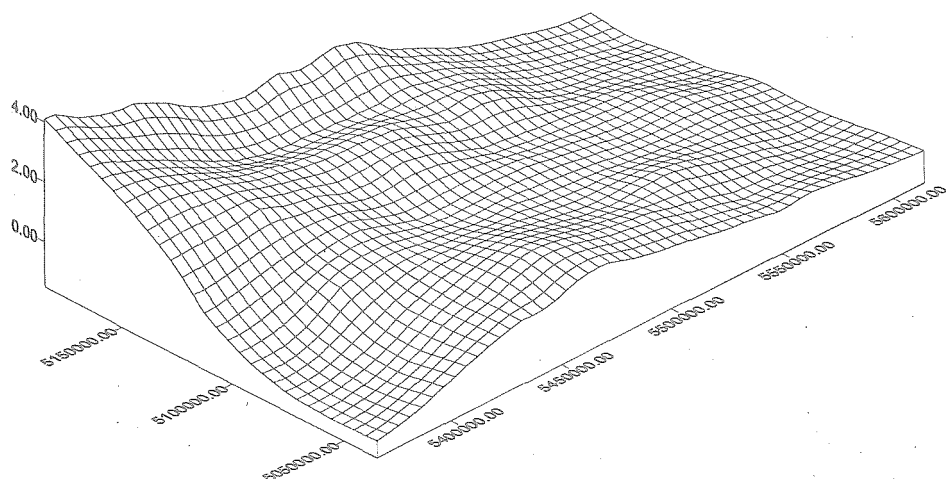
- opazovane smeri niso popravljene za vplive odklonov navpičnic
- dolžine so reducirane na referenčni elipsoid na podlagi nadmorskih namesto elipsoidnih višin točk.

3 DOLOČITEV PLOSKVE GEOIDA NA OBMOČJU ASTROGEODETSKE MREŽE SLOVENIJE

Po zaključku zadnjih raziskav, ki so obravnavale državno geodetsko mrežo, je bil za območje Slovenije in dela Hrvaške določen relativni geoid (Čolić et al., 1992). Relativni astrogeodetski geoid, ki ga imamo trenutno na voljo, je določen na podlagi astronomskih koordinat 42 točk mreže in geodetskih koordinat, ki so pridobljene kot rezultat poskusne astronomsko-geodetske orientacije mreže. Rezultat izračuna geoida so relativne geoidne undulacije, ki predstavljajo relativno obliko ploskve geoida (Sliki 2 in 3). Poleg relativne oblike ploskve geoida so želeli avtorji geoid tudi absolutno orientirati, zato so ploskev geoida absolutno orientirali s pomočjo geopotencialnega modela OSU91A (Ohio State University 91A). Absolutne geoidne undulacije se gibljejo v območju med 44,3 m in 48,5 m. Natančnost določitve geoidnih undulacij znaša 1 dm (Čolić et al., 1992).



Slika 2



Slika 3

Na podlagi zaključkov sanacij astrogeodetske mreže Slovenije predpostavljamo, da je uradno veljavna astrogeodetska mreža Slovenije temeljito obravnavana in nas v okviru tega prispevka ne zanima več. Zanima nas samo končna poskusna izravnava astrogeodetske mreže, opravljena v okviru programa sanacije astrogeodetske mreže Slovenije.

4 POPRAVKI TERESTRIČNIH OPAZOVANJ

Pri redukciji opazovanj na površino referenčnega elipsoida moramo upoštevati dve skupini popravkov. Prva skupina so popravki, ki upoštevajo vpliv zemeljskega gravitacijskega polja na opazovanja. Druga skupina so geometrijski popravki, ki izhajajo iz geometrije rotacijskega elipsoida. Predpostavimo, da so geometrijski popravki opazovanj opravljeni korektno. Ker se vrednosti popravkov opazovanj obeh skupin popravkov seštevajo, lahko na podlagi znanih parametrov geoida izračunamo popravke opazovanj, ki še niso bili izračunani. Trenutno imamo na voljo relativne geoidne višine in relativne odklone navpičnice, ki jih lahko uporabimo za redukcijo opazovanj na površino referenčnega elipsoida.

4.1 Redukcije opazovanj v astrogeodetski mreži Slovenije

Opazovano smer s_{ij} med točkama P_i in P_j moramo z navpičnice reducirati na normalo v točki P_i za vpliv komponent odklona navpičnice na stojišču ξ_i in η_i ; oziroma popraviti za vrednost C_{2ij} (Sideris, 1990):

$$C_{2ij} = -(\xi_i \sin\alpha_{ij} - \eta_i \cos\alpha_{ij}) \cot Z_{ij}, \quad (4.1-1)$$

kjer je α_{ij} geodetski azimut in Z_{ij} zenitna razdalja med točkama P_i in P_j . Če zenitne razdalje nismo opazovali, jo določimo iz izraza:

$$\cot Z_{ij} = \frac{h_j - h_i}{D_{ij}^E} - \frac{D_{ij}^E}{2R_m}, \quad (4.1-2)$$

kjer sta h_i in h_j elipsoidni višini točk P_i in P_j , D_{ij}^E dolžina geodetske linije med točkama in R_m srednji radij ukrivljenosti elipsoida v azimutu a_{ij} med točkama P_i in P_j . Vpliv odklona navpičnice na vrednost zenitne razdalje lahko zanemarimo. Iz izrazov za geometrijske redukcije opazovanj lahko ugotovimo, da nepoznavanje geoidnih undulacij vpliva tudi na vrednost azimutalne redukcije. Ker je razlika geoidnih undulacij med sosednjimi točkami mreže vedno manjša kakor 2 m, lahko ta popravek, ker ne dosega niti 0,0001", zanemarimo.

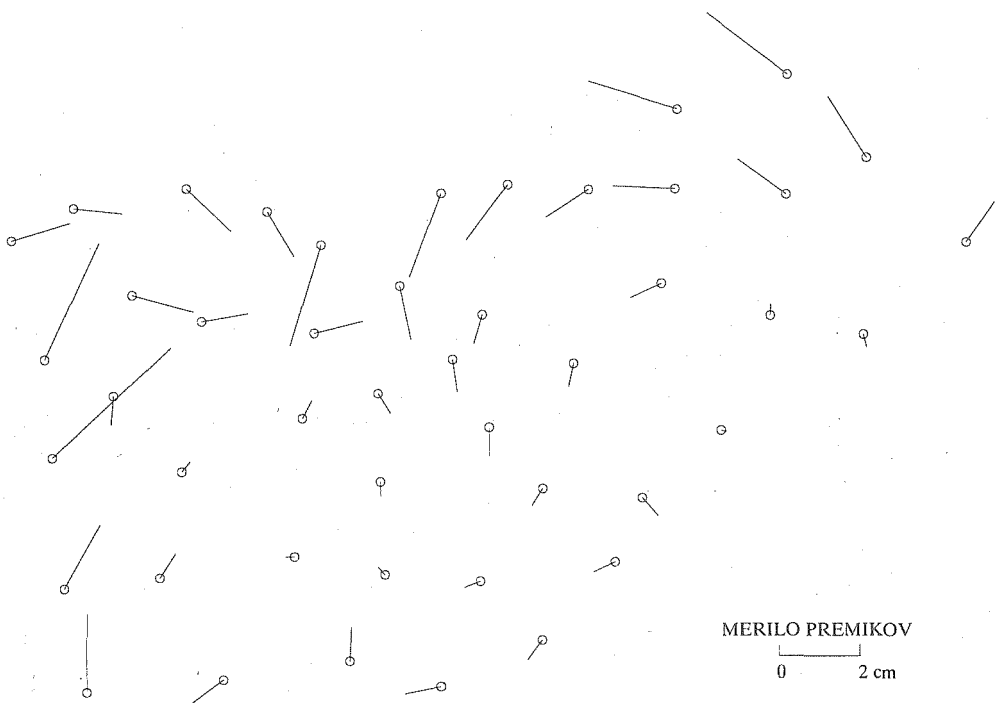
Kot vidimo iz zgornjih enačb, so popravki opazovanih smeri odvisni od velikosti odklona navpičnice v opazovališču, azimuta opazovane smeri in zenitne razdalje proti opazovani točki. Absolutno največji popravek opazovane smeri v astrogeodetski mreži Slovenije je na točki 518 Korada proti točki 202 Kanin, in znaša $C_2 = 0,5231''$. Vendar podatka o odklonu navpičnice na točkah 179 Mangart, 515 Košuta, 202 Kanin in 194 Privis nimamo. Glede na to, da se točke 179, 515 in 202 nahajajo na veliki nadmorski višini, na teh točkah pa so opazovane smeri proti sosednjim točkam, ki prav tako ležijo relativno visoko, lahko pričakujemo, da v mreži ni absolutno večjih popravkov opazovanih smeri.

Komponenti odklona navpičnic na točkah P_i in P_j ne vplivata na vrednost reducirane dolžine, vplivata pa na vrednosti geoidnih undulacij N_i in N_j . Ker so bile za redukcijo dolžin na površino referenčnega elipsoida namesto elipsoidnih višin uporabljene nadmorske višine, moramo prvotno reducirane dolžine zmanjšati (algebrajsko) za vrednost (Sideris, 1990):

$$\Delta D_{ij}^E = \frac{N_i + N_j}{2R_m} D_{ij}^E, \quad (4.1-3)$$

kjer je R_m srednji radij ukrivljenosti elipsoida v azimutu a_{ij} med točkama P_i in P_j . Na ta način pridobimo dejanske dolžine geodetskih linij na referenčnem elipsoidu. Absolutno največji popravek opazovane dolžine je popravek dolžine med točkama 170 Rodica in 202 Kanin, in znaša $\Delta D_{ij}^E = 0,0102$ m. Zanimivo je, da najmanjši popravek dobi najdaljša izmerjena dolžina v mreži, to je dolžina med točkama 373 Mrzlica in 214 Donačka gora, in sicer $\Delta D_{ij}^E = -0,0001$ m.

Zaradi korektno opravljenih redukcij opazovanj se poleg vrednosti opazovanih količin spremenijo tudi položaji točk v mreži. Reducirana opazovanja smo zato znova izravnali v prosti mreži. Novi položaji se od starih razlikujejo do 4 cm. Najbolj spremenjeni svoj položaj v mreži točka 519 Kamenek, katere položaj se spremeni za $\Delta y = +0,0295$ m, $\Delta x = +0,0275$ m, kar predstavlja razliko v položaju $\Delta P = 0,0403$ m. Na sliki 4 so prikazane spremembe položajev točk v mreži kot posledice redukcij opazovanj na referenčni elipsoid.



Slika 4

5 VPLIV GEOIDA NA NATANČNOST ASTROGEODETSKE MREŽE SLOVENIJE

Poleg spremembe položajev točk v mreži smo želeli ugotoviti, ali se zaradi korektno reduciranih opazovanj na referenčno računsko ploskev spremeni natančnost astrogeodetske mreže. Za ugotovitev sprememb v natančnosti mreže smo obravnavali globalne mere natančnosti geodetske mreže, in sicer:

- srednjo standardno deviacijo $\bar{s}_g = \sqrt{\frac{\text{sled}(\Sigma_g)}{u-d}}$
- generalizirano standardno deviacijo $\bar{s}_g = \sqrt[{}^{u-d}]{\det(\Sigma_g)}$
- maksimalno lastno vrednost λ_{\max} kovariančne matrike Σ_g in
- homogenost astrogeodetske mreže oziroma vrednost kvocienta $\frac{\lambda_{\min}}{\lambda_{\max}}$.

Položaj mreže v koordinatnem sistemu je določen s položajem točke 173 Kucelj. Merilo in orientacija mreže sta določena enako kot pri prosti mreži. Kovariančna matrika mreže je v vseh primerih singularna, z defektom $d = 1$ oziroma rangom, enakim $(\Sigma_g) = u - d = u - 1$, kjer je u število koordinatnih neznanek v mreži. Determinanta in sled kovariančne matrike se nanašata samo na koordinatni del kovariančne matrike Σ_g , zato so vse globalne mere natančnosti, zbrane v preglednici 1, med seboj neposredno primerljive. Ker je kovariančna matrika Σ_g singularna, smo

za vrednost determinante kovariančne matrike privzeli produkt od nič različnih lastnih vrednosti kovariančne matrike $\Sigma_{\hat{x}}$. Minimalna lastna vrednost, podana v preglednici 1, je najmanjša od nič različna lastna vrednost kovariančne matrike $\Sigma_{\hat{x}}$. Determinanta kovariančne matrike $\Sigma_{\hat{x}}$ je proporcionalna prostornini hiperelipsoida, ki ga predstavlja enačba kvadratne forme $(\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}})^T \Sigma_{\hat{x}}^{-1} (\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}) - \chi_{1-\alpha}^2(u)$.

Kakor je enačba hiperelipsoida odvisna od vseh elementov kovariančne matrike, je tudi determinanta matrike skalar, ki je odvisen od vseh elementov kovariančne matrike. Zato smo za primerjavo posameznih variant izravnave, kot najpomembnejše merilo natančnosti mreže, obravnavali generalizirano standardno deviacijo $s_{\hat{x}}$.

Kot smo že omenili, obravnavamo posebej celotno astrogeodetsko mrežo, vključeno v poskusno izravnavo v okviru sanacije mreže (Jenko, 1986), in posebej mrežo, ki leži na ozemlju Republike Slovenije. V celotni mreži je na 46 točkah opazovanih 49 dolžin in 222 smeri, na 9 točk mreže ni opazovana nobena dolžina. V mreži, ki zajema samo slovensko ozemlje, je opazovanih 40 dolžin in 160 smeri. Na 5 točk te mreže ni opazovana nobena dolžina. Razmerje med številom opazovanih smeri in dolžin, ki znaša v mreži na ozemlju Slovenije 4:1, je bolj ugodno kakor pri celotni mreži, kjer znaša 4,5:1. Pri slovenski mreži je nekoliko ugodnejše tudi razmerje med številom točk, ki z dolžinami niso povezane, in vseh točk mreže. Razmerje med številom opazovanj in neznank je v obeh mrežah približno enako in je dovolj ugodno.

Poskusne izravnave se nanašajo na:

- 1) izravnavo nereduciranih opazovanj v celotni mreži, z vrednostima referenčnih standardnih deviacij dolžin $\sigma_{0d} = 0,038$ m in smeri $\sigma_{0s} = 0,45''$, kar predstavlja izravnavo z enakimi utežmi opazovanj kot v poskusni končni izravnavi sanacije mreže,
- 2) izravnavo opazovanj, reduciranih na referenčni elipsoid v celotni mreži,
- 3) izravnavo nereduciranih opazovanj v mreži na območju Slovenije,
- 4) izravnavo opazovanj, reduciranih na referenčni elipsoid v mreži na območju Slovenije.

Glede na vrednost generalizirane referenčne variance $\bar{s}_{\hat{x}}$ je najbolj natančna mreža, izravnana na podlagi nereduciranih opazovanj, ki leži na območju Slovenije (3. primer). V obeh primerih je mreža, izravnana na podlagi nereduciranih opazovanj, glede na vsa merila natančnosti, boljša, kot pri izravnavi reduciranih opazovanj. Zahteve homogene natančnosti v veliki meri ne izpolnjujeta niti celotna mreža niti mreža na območju Slovenije.

Izravnava	$\bar{s}_{\hat{x}}$	$\bar{\bar{s}}_{\hat{x}}$	λ_{\min}	λ_{\max}	$\frac{\lambda_{\min}}{\lambda_{\max}}$	$\Delta \sigma_0^2$
1)	0,0511	0,0282	0,000031	0,058199	0,000532	1,00523
2)	0,0530	0,0292	0,000033	0,062545	0,000532	1,04209
3)	0,0533	0,0272	0,000033	0,076472	0,000436	1,04755
4)	0,0552	0,0282	0,000036	0,082120	0,000436	1,08555

Preglednica 1

Če obravnavamo skupaj rezultate 1) in 2) izravnave ter rezultate 3) in 4) izravnave, ugotovimo, da so razlike v natančnosti mrež, izravnanih na podlagi nereduciranih in reduciranih opazovanj, posledica različnih vrednosti referenčne variance $\hat{\sigma}_0^2$, ocenjene a posteriori. Referenčna varianca $\hat{\sigma}_0^2$ je namreč uporabljena za izračun kovariančne matrice $\Sigma_{\hat{x}} = \hat{\sigma}_0^2 (A^T P A)^+$ ocenjenih koordinat točk mreže. Kovariančna matrika pa je odvisna od matrice koeficientov enačb popravkov A, ki je v obeh primerih praktično enaka, od matrice uteži opazovanj P, ki je v obeh primerih enaka, in a posteriori ocenjene vrednosti referenčne variance $\hat{\sigma}_0^2$. Če privzamemo za vrednost referenčne variance vedno enako vrednost, pridobimo globalne in lokalne mere natančnosti, ki so, v 1) in 2) izravnavi ter v 3) in 4) izravnavi, popolnoma enake. To pomeni, da ne moremo oceniti razlik v natančnosti astrogeodetske mreže, ki bi bile posledica neupoštevanja redukcij opazovanj na referenčni elipsoid. Po našem mnenju je nemogoče trditi, da se zaradi redukcije opazovanj na referenčni elipsoid spremeni natančnost mreže oziroma da redukcija opazovanj predstavlja izboljšanje natančnosti geodetske mreže.

Če iz vrednosti generalizirane standardne deviacije $\bar{s}_{\hat{x}}$ in srednje standardne deviacije $\bar{s}_{\hat{x}}$ odstranimo vpliv referenčne variance $\hat{\sigma}_0^2$ in primerjamo rezultate izravnave celotne mreže z rezultati izravnave dela mreže na ozemlju Slovenije, vidimo, da je mreža na območju Slovenije nekoliko natančnejša od celotne mreže. Razlike v natančnosti posameznih izravnav nastopijo torej zaradi različnih vrednosti referenčne variance $\hat{\sigma}_0^2$. Vrednosti referenčne variance $\hat{\sigma}_0^2$ so v vseh izravnavač večje od 1. To pomeni, da je za vsaj eno od vrednosti referenčnih standardnih deviacij σ_{0s} in σ_{0d} privzeta premajhna vrednost, kar pomeni, da so uteži vsaj enega tipa opazovanj prevelike.

Dejstvo, da je v 1) izravnavi vrednost $\hat{\sigma}_0^2 \approx 1$, izhaja iz razmerja referenčnih standardnih deviacij smeri in dolžin, ki je bilo določeno na podlagi obširnih analiz za vpliv geoida nereduciranih opazovanj. V teh analizah je bila analizirana posebej natančnost samo opazovanih smeri v posameznih trikotnikih in v celotni mreži skupaj in posebej natančnost opazovanih dolžin (Jenko, 1986). Na podlagi teh analiz je bilo določeno razmerje referenčnih standardnih deviacij smeri in dolžin σ_{0s} in σ_{0d} .

Če bi želeli ugotoviti razmerje natančnosti smeri in dolžin po redukcijah za vrednosti odklonov navpičnice in vrednosti geoidnih višin, bi morali izvesti podobno analizo, kot je bila opravljena (Jenko, 1986). Pri tem pa vemo, da se ocenjena natančnost dolžin ne bi v ničemer spremenila, lahko bi se spremenila le natančnost opazovanih smeri. Med nastajanjem tega dela nismo imeli na voljo originalnih kotnih opazovanj, zato analize natančnosti opazovanih smeri nismo opravili. Zato smo za razmerje referenčnih standardnih deviacij smeri in dolžin σ_{0s} in σ_{0d} privzeli vrednosti, kot sta bili določeni v (Jenko, 1986).

Za pridobitev objektivne ocene razmerja uteži opazovanih smeri in dolžin bi lahko opravili a posteriori oceno uteži opazovanih količin. Izhodišče postopka za a

posteriori oceno uteži predstavljajo referenčne variance smiselno sestavljenih skupin opazovanj. V našem primeru imamo taki skupini opazovanih smeri in dolžin. Za korektno a posteriori oceno uteži opazovanj pa moramo imeti toliko in tako razporejenih opazovanj, da bi bilo mogoče oceniti koordinate točk mreže samo na podlagi enega tipa opazovanj. To pomeni, da mora biti število vsakega tipa opazovanj nadštevilno ter da morajo biti opazovanja vsakega tipa enakomerno razporejena po celotni mreži (Kogoj, 1992). V astrogeodetski mreži Slovenije pa ti zahtevi nista izpolnjeni. Število opazovanih dolžin je premajhno, da bi lahko pridobili korektno oceno uteži skupin opazovanj.

S primerjavo rezultatov izravnave celotne mreže in rezultatov izravnave dela mreže na ozemlju Slovenije in neupoštevanjem referenčne variance $\hat{\sigma}_0^2$ v izračunu kovariančne matrike izravnanih koordinat točk mreže vidimo, da je mreža na ozemlju Republike Slovenije nekoliko natančnejša od celotne mreže. Ker pa je v mreži na ozemlju Slovenije vrednost referenčne variance $\hat{\sigma}_0^2 > 1$, lahko sklepamo, da so za vrednosti uteži opazovanj privzete prevelike vrednosti. V tem trenutku pa je nemogoče napovedati, kaj bi za natančnost mreže pomenile spremenjene uteži opazovanj. Za zdaj lahko trdimo le, da z zmanjšanjem mreže ne zmanjšamo tudi globalne natančnosti mreže. Izravnave opazovanj smo izvedli z računalniškim programom GEM3 (Ambrožič, 1988), ki smo ga za potrebe tega prispevka nekoliko priredili.

6 ZAKLJUČEK

Izravnava reduciranih opazovanj v državni geodetski mreži je bila opravljena z namenom primerjave te mreže s sanirano astrogeodetsko mrežo, obravnavano v poskusni izravnavi v okviru sanacije astrogeodetske mreže Slovenije (Jenko, 1986). Prav tako smo s primerjavo rezultatov izravnave celotne mreže z rezultati izravnave dela mreže, ki leži samo na ozemlju Slovenije, želeli ugotoviti, ali zmanjšanje mreže vpliva na natančnost mreže. Na podlagi zgoraj podanih rezultatov lahko trdimo, da s korektno izvedeno redukcijo opazovanj za vrednosti odklonov navpičnic in geoidnih višin ne izboljšamo natančnosti mreže (vsaj ne do te mere, da bi to lahko zaznali) in da z zmanjšanjem mreže samo na ozemlje Slovenije ne zmanjšamo globalne natančnosti geodetske mreže.

Zahvala

Za uporabljene podatke se zahvaljujemo Geodetski upravi Republike Slovenije.

Literatura:

- Ambrožič, T., Izdelava programa za izravnavo ravninske mreže za ATARI in IBM. *Diplomska naloga. FAGG OGG, Ljubljana, 1988*
- Čolić, K. et al., *New geoid solution for Slovenia and a part of Croatia. Proceeding IAG First Continental Workshop on the Geoid in Europe. Praga, 1992, 158-165*
- Jenko, M., *Dela na astronomsko-geodetski mreži v letih 1975-1982. Ljubljana, Inštitut GZ SRS, 1986*
- Kogoj, D., *Izbira najprimernejše metode a posteriori ocene uteži merjenih količin geodetskih mrež. Doktorska disertacija. Ljubljana, FAGG OGG, 1992*
- Kuhar, M., *Raziskave ploskve geoida v Sloveniji. Doktorska disertacija. Ljubljana, FGG-Oddelek za geodezijo, 1996*

- Niemeier, W., Netzqualitaet und Optimierung, Geodaetische Netze in Landes und
Ingenieurvermessung II. Konrad Wittwer, Stuttgart, 1985*
- Sideris, M., The role of the geoid in one-, two- and three- dimensional network adjustments.
Canadian Surveyor, 1990, No. 1, p. 9-18*
- Štopar, B., Sanacija astrogeodetske mreže Slovenije z GPS opazovanji. Doktorska disertacija.
Ljubljana, FGG-Oddelek za geodezijo, 1995*

*Recenzija: Marjan Jenko
Dušan Mišković*