

PRIKAZ IZVEDENE I. FAZE ASTROGEODETSKIH DEL V SLOVENIJI (1988-1992)

prof.dr. Krešimir Čolić
Zavod za višu geodeziju,
Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
(za objavo priredil Dušan Mišković,
Geodetski zavod Slovenije, Ljubljana)
Prispelo za objavo: 27.3.1992

Izveleček

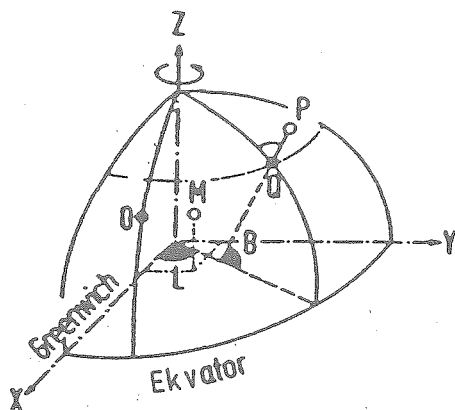
Prispevek opisuje potek I. faze projekta astrogeodetskih del v Sloveniji in njen pomen za geodetsko in druge stroke.
Ključne besede: astrogeodetska mreža, geoid, odklon navpičnice, Slovenija

Abstract

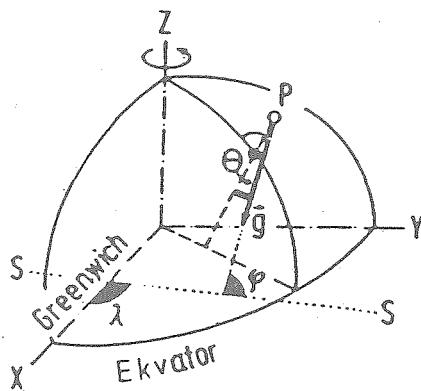
The article describes the performance of the 1st phase of the project of astrogeodetic works in Slovenia and its importance for surveying and other branches.
Keywords: astrogeodetic net, geoid, Slovenia, deflection of the vertical

POJEM: GEOIDNA TOČKA

Geoidna točka je stalna geodetska točka na površini Zemlje, na kateri so izvedena poleg nujno potrebnih geodetskih opazovanj tudi ustrezna astronomska opazovanja. Vsaka geoidna točka ima geodetske koordinate (L,B) – geodetsko dolžino in geodetsko širino ter astronomske koordinate (λ, φ) – astronomsko dolžino in astronomsko širino. Astronomske koordinate točk dobimo z astronomskimi meritvami na površini Zemlje. Astronomske koordinate kažejo smer vektorja sile teže v stojišču, glede na katero orientiramo v prostoru inštrument z libelo. To je naravna smer, odvisna od nepravilne porazdelitve gostote mas Zemlje. Geodetske koordinate točke, ki jih dobimo z geodetskimi metodami, se nanašajo na izbrani matematični, geometrični model Zemlje. Običajno je ta model rotacijski elipsoid z določenimi dimenzijami in orientacijo telesa Zemlje v prostoru, na katerega nanašamo meritve in na površini katerega izvajamo zapletena računanja – referenčni elipsoid. Geoidne točke služijo za povezavo med naravnim stanjem pri izvajanju meritev v naravi in matematično idealizirano predstavo modela, na katerem računamo (Slika 1, Slika 2).



Slika 1: Geodetske ali elipsoidne koordinate: P je točka na površini Zemlje; Q je pravokotna projekcija te točke na referenčni elipsoid; (B, L) geodetske koordinate; M je težišče Zemlje – geocenter.



Slika 2: Parametri naravne smeri vektorja sile teže g ; (λ, φ) astronomska dolžina in širina; θ odklon navpičnice; $S-S$ je sled meridijana, ki gre skozi točko P na ravnino ekvatorja.

DOLOČANJE NOVIH GEOIDNIH TOČK V SLOVENIJI V I. FAZI DEL

Zagrebska ekipa je v času od začetka opazovalne sezone leta 1988 do konca opazovalne sezone leta 1991 (obdobje treh let) uspešno izvedla nočne astronomske meritve na 24 trigonometričnih točkah I. reda na celotnem območju Slovenije. Astronomske koordinate je določila tudi na dveh točkah mreže Karavanškega predora. Približno enako število astronomskih opazovanj je izvedla na trigonometrih v mejnem pasu s Hrvatsko. Opazovanja niso bila izvedena na dveh točkah prvega reda (Privis, Samoborska Plješivica) zaradi poraščenosti. Astronomska opazovanja so izvedena z modificiranim in razširjenim kompletom Zeiss Ni-2 astrolabom. Zunanja natančnost določevanja astronomskih koordinat znaša $\pm 0,4''$, kar uvrščamo med najbolj natančna astronomska opazovanja te vrste. Astronomske koordinate so določene z metodo enakih višin. Opazovanja izvedemo najmanj v dveh nočeh zaradi zmanjšanja sistematičnega pogreška refrakcije. V eni noči je praviloma uspela opazovati eno skupino zvezd (25-30 ustrežno izbranih zvezd) na enem stojšču. Razlog za takšno produktivnost ni v pomanjkanju avtomatizacije, ampak v velikih oddaljenostih med točkami I. reda.

Bivša Zvezna geodetska uprava je določila na območju Slovenije astronomske koordinate na štirih trigonometrih I. reda (dva para Laplaceovih točk) s tedanjimi astronomskimi metodami. Dejanska natančnost teh koordinat ni znana, ker na teh točkah niso izvedena nova simultana določanja astronomske širine in astronomske dolžine. Predlagamo, da se na teh točkah izvedejo astronomska opazovanja s simultano metodo ter, čeprav z zakasnitvijo, preveri azimut vsaj na enem paru teh točk v Sloveniji (priporočilo: Jeruzalem – Kamenek) in na enem paru Laplaceovih točk v mejnem delu Hrvatske. Ljubljanska ekipa (Dušan Mišković in Matjaž Accetto) je v letu 1990 uspešno končala astronomska opazovanja z originalno posodobljenim kompletom Zeiss Ni-2 astrolaba. Opazovanja so izvedli na petih

trigonometrih I. reda v mreži osrednje Slovenije. Podatke so obdelali v začetku leta 1991.

Med trigonometri I. reda sta ostala nedoločena samo Kanin in Mangart. Izredno koristno bi bilo izpolniti prevelike praznine med posameznimi trigonometri I. reda z novimi geoidnimi točkami. Določevanje ploskve geoida na testnem območju Slovenije in delu Hrvatske bo možno šele po določitvi astronomskih koordinat na dopolnilnih točkah, oziroma po izračunu odklona navpičnice na vseh vključenih točkah na osnovi znanih geodetskih in astronomskih koordinat. Šele tedaj bo moč trditi, da je končan osnovni del I. faze.

PRVI REZULTATI

VI. fazi je poglobljena naloga podati nujne fizikalne parametre oziroma iskane vrednosti komponent ξ , η odklona navpičnice in na osnovi teh parametrov izračunane preliminarne geoidne undulacije N za vse trigonometrične točke I. reda. Iz objektivnih razlogov ni možno narediti drugače, kot da najprej izračunamo te količine z zadovoljivo začetno natančnostjo, ki omogoča izračun prej omenjenih redukcij opazovanih kotov in dolžin stranic osnovne položajne astrogeodetske mreže z natančnostjo 10^{-5} do 10^{-6} . Vsekakor je možno iterativno približevanje končni rešitvi z nekaj sukcesivnih izravnjav. Pri tem imamo začetne vrednosti za odklone navpičnice ξ° , η° na osnovi izmerjenih astronomskih in približnih geodetskih koordinat, ki jih dobimo na osnovi geometrične izravnjave. Rezultat druge izravnjave, v kateri upoštevamo ξ° , η° in B° , L° , so izboljšane koordinate B' , L' . Na novo dobljene geodetske koordinate B' , L' uporabimo za določitev novih vrednosti odklonov navpičnic ξ' , η' upoštevaje astronomske koordinate λ , φ (te koordinate so v računu nespremenljive). Postopek ponavljamo do iteracije, ko ocenimo, da na osnovi razpoložljivih podatkov ni možno dobiti boljših rezultatov.

Prvi pomemben rezultat I. faze bo popravljena izravnava osnovne položajne mreže. S tem rezultatom bo odprta možnost za povezovanje te mreže z ustrežno mrežo v Evropi. Rezultat naj bi bil po projektu dosegljiv do konca leta 1993. Omenjeno izravnavo astrogeodetske mreže na območju Slovenije imenujemo preddefinitivna, saj nujnih količin za računanje redukcij, predvsem geoidnih undulacij tedaj še ne bomo poznali z najvišjo potrebno natančnostjo. To na začetku vključevanja fizikalnih parametrov v izravnavo ni potrebno, predvsem, če se zavedamo negotovosti nadmorskih višin trigonometrov I. reda v planinskih predelih Slovenije. Višine trigonometrov I. reda so določene s trigonometričnim nivelmanom na osnovi nekorektnega matematičnega modela. Jasno je, da je treba čim prej vključiti fizikalne parametre v prvo popravljeno izravnavo triangulacije. Analiza rezultatov te izravnjave bo dala pomembna spoznanja o nadaljevanju in dokončanju naloge. Geoid bomo lahko določili z večjo natančnostjo na osnovi natančnejših komponent odklonov navpičnic (te so bolj natančne zaradi popravljenih B in L). Kot lahko sklepamo iz razlage, so vsi faktorji razložene problematike med seboj povezani, velikosti teh parametrov pa so med seboj odvisne v procesu njihovega določevanja.

IZVEDBA NUJNIH PREDDEL

Pri raziskavah ploskve geoida gre za določitev vseh parametrov sile teže, ker so med seboj povezani. Kljub temu najbolj nazorno prikazuje nepravilnosti tega polja ploskev geoida, čigar raziskave so v geodeziji najtežje.

Poleg priprav, povezanih s šolanjem kadra in študijem tematike smo na Geodetski fakulteti v Zagrebu izvedli tudi druga predдела, potrebna za vse tri faze. Vsekakor je to nabava potrebnega inštrumentarija in računalniške opreme (PC HP-Vectra RS/25). Uspešno reševanje naloge omogoča sofisticirana programska oprema, ki je bila izdelana v obdobju priprav in jo je treba še dodelati, če želimo določiti geoid z astrogeodetsko-(gravimetrično)geološko metodo. Pri tem ne smemo pozabiti na uporabo satelitskih modelov Zemljinega polja gravitacije. Prispevek k raziskavi geoida bodo dali pričakovani altimetrijski podatki, dobljeni s satelita ERS-1, ki je bil lansiran v poletnem času leta 1991. Interesantna bo povezava tako dobljenega geoida na morju z modelom geoida, o katerem govorimo. Pomembna so v Zagrebu izvedena dela na izdelavi datotek, kot so datoteka srednjih velikosti $\overline{\Delta g}$ datoteke Bougeovih anomalij sile teže in datoteke anomalij svobodnega zraka za površinske elemente $5,0' \times 7,5'$ oziroma $5' \times 5'$ na celotnem jugoslovanskem območju ter za celotni akvatorij Jadranskega morja. Omenjene količine bi morali zajeti v predvidenem digitalnem modelu gravitacijskih anomalij – DMGA. Iz tujine smo dobili ustrezne podatke $\overline{\Delta g}$ za območje izven jugoslovanskega prostora v precej grobem rastru. Pred začetkom del za določitev geoida smo izdelali za I. fazo potrebno datoteko višinskih podatkov reliefa v bazičnem rastru oziroma DMR-ju $2,5' \times 2,5'$ ter nujno potrebni datoteki globin baze sedimentov ter globin Mohorovičičeve diskontinuitete v rastru $10' \times 15'$. V računalniški spomin so vnesene tudi srednje višine in gravitacijske anomalije za bloke $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ in $30' \times 30'$ na celi Zemeljski obli ter srednje višine reliefa za bloke $5' \times 5'$ in srednje vrednosti gravitacijskih anomalij za bloke $6' \times 10'$ na območju sosednjih držav. Končno sodi v nujno potrebne datoteke tudi izdelana datoteka astrogeodetskih odklonov navpičnice na astrogeodetskih točkah celotnega območja Slovenije in mejnega dela Hrvatske.

SODELOVANJE S TUJINO

V projektu so od leta 1988 sodelovale slovenske raziskovalne inštitucije. V pomoč so nam bili strokovnjaki v centrih za raziskavo geoida (polja sile teže) v Nemčiji, Švici in ZDA. Najuspešnejša je pomoč in sodelovanje avstrijskih inštitucij, s katerimi že več let uspešno sodelujemo (TU Graz, TU Dunaj in BEV ter Montanuniversität Leoben). Omeniti je treba organizacijo prvega IAG simpozija v Dubrovniku in na Hvaru 1989. leta in Postajo za opazovanje plimnih valov v Zagrebu. Pomagali so nam tudi pri izdelavi za določitev geoida potrebnih datotek. Na osnovi teh povezav načrtujemo, da bomo preliminarno določitev geoida na celotnem zajetem testnem območju Slovenije, s širšim obmejnim delom Hrvatske, uspešno dokončali.

IZDELAVA DMR-JA 500 IN DMG-JA

Pri zapletenih računanjih geoida potrebujemo poleg astrogeodetskih odklonov navpičnic tudi druge osnovne podatke, kot so DMR v rastru vsaj $20' \times 20''$ (približno: $400m \times 400m$) ter DMG (pri) površinskih zemljinih mas. Raster slednjega je lahko $2,5' \times 2,5'$, ali še boljše $1,25' \times 1,25'$. Za območje Slovenije je treba prirediti DMR

100 v raster 500mx500m. Dogovorjeno je, da bo izdelavo DMG-ja prevzel Geološki zavod Ljubljana oziroma prof.dr. D. Ravnik in njegov sodelavec g. R. Stopar. Razširitev DMR-ja 500 je potrebna 40 do 50 km ob državni meji Slovenije na območju Italije, Avstrije in Madžarske. DMR za območje Hrvatske je že izdelan. Izdelana je že datoteka srednjih višin reliefa topografskih mas na zelo širokem območju okolnega dela Evrope v rastru 2,5'x2,5'. Za DMG velja, da bi podrobna razširitev morala zajeti večjo površino v rastru 2,5'x2,5' tudi za bolj oddaljena območja, ki jih moramo vključiti v izračun topoizostatskih odklonov navpičnice v rastru 5'x5'. DMR in DMG sta potrebna za dokončanje prve faze. V Zagrebu se končuje izdelava začetnega DMG-ja v rastru 2,5'x2,5' za celotno testno območje in v rastru 5'x5' za širše zunanje območje.

GPS TOČKE IN GEOID

Nova satelitska tehnika GPS se uveljavlja v geodetski praksi zaradi izredne natančnosti določanja razlike geocentričnih koordinat (vektorjev) in enostavnega procesa opazovanja. Naša ocena je, da bi bilo koristno izvesti na celotnem testnem območju nekaj GPS opazovanj že v poletju 1992. Ta opazovanja bodo služila izključno za kontrolo in absolutno prostorsko orientacijo dobljenega modela geoida. Minimalno potrebujemo tri ustrezno razporejene točke na reperjih in v vozliščih NVN-2. RGU naj bi planirala 4-5 GPS točk, specialno v ta namen leta 1992, ker predvidevamo, da bomo tudi na hrvaški strani določili nekaj GPS točk v isti opazovalni kampanji. Določanje geoida je nujen predpogoj za širšo praktično uporabo GPS opazovanj.

WEGENER-MEDLAS PROJEKT

Leta 1990 je bila na Geodetski fakulteti v Zagrebu 1. YU konferenca Wegener-Medlas s široko mednarodno udeležbo priznanih strokovnjakov. Določen je bil osnovni princip vzpostavljanja mreže GPS točk pri nas v sklopu obravnavanega geodinamičnega projekta. Geologi (neotektoniki) in geofiziki (seizmologi) so svetovali postavitev točk glede na njihovo znanje o razpokah in linijah razpok ter o izrazitih epicentrih. Pokazala se je potreba po usklajevanju teh predlogov s praktičnimi geodetskimi aspekti (bližina reperjev NVT, mareografov, trigonometrov I. reda in drugo). Tuji partnerji so izrazili željo, da bi finančno in strokovno podprli naša prizadevanja, posebej v Sloveniji in ob obali Jadranskega morja v Hrvatski. V Avstriji so v letih 1989 in 1990 izdelali projekt Osnovne geodinamične mreže Avstrije kot svoj prispevek projektu Wegener-Medlas. Projekt vsebuje določitev 60 GPS točk. Jeseni leta 1990 so določili prvo polovico točk. Njihovemu pozivu, da sodelujemo v prvem delu kampanje istočasnih GPS opazovanj, se nismo mogli odzvati, ker tedaj v Zagrebu in Ljubljani nismo imeli Astech sprejemnikov. V ta namen bi morali stabilizirati izbrane točke, približno 12 v Sloveniji in približno 7-8 na Hrvaškem. Točke morajo biti stabilizirane 4 mesece pred izmero, da se posedejo do stabilne lege. To je zelo pomemben geodinamični projekt v centralnem delu Evrope, v katerem bodo uporabili najnovejšo GPS tehniko. Sprejemnike bodo razmestili istočasno v Italiji, Nemčiji, Švici, Češki in Slovaški ter na Madžarskem. Drugi del projekta je predviden za jesen 1992.

MODEL „DM-GEOIDA“ SLOVENIJE

Pomemben rezultat I. faze del bo „dm-geoid“, ki bo določen za območje celotne Slovenije in mejni pas Hrvatske. Celotno zajeto območje bo imelo dimenzije: po širini $B=2^{\circ}$; po dolžini $L=3^{\circ}$. Natančneje lahko opredelimo območje s koordinatami skrajnih stranic kvadrata $44^{\circ} 40' \leq B \leq 46^{\circ} 40', 13^{\circ} 30' \leq L \leq 16^{\circ} 30'$. Model geoida, dobljen na koncu I. faze, bo natančnejši v nižinskem predelu, ponekod tudi pod ± 10 cm, torej znotraj subdecimetarske natančnosti. Za območje Alp in hribovito območje je predvidena manjša natančnost. Natančnost določitve geoida na teh območjih bo izboljšana v II. fazi del.

Viri:

glej predhodni članek istega avtorja: Astrogeodetska dela Sloveniji

Recenzija: *Marjan Jenko*

prof.dr. Florijan Vodopivec