

# ASTROGEODETSKA DELA V SLOVENIJI

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

## Izvleček

Republiška geodetska uprava Slovenije (RGU) izvaja s pomočjo prof.dr. Krešimirja Čolića in njegove ekipe določevanje geoida za trigonometrične točke I. reda. Projekt je razdeljen v tri faze. Cilj naloge je določitev polja sile teže, predvsem odklona navpičnice in najbolj pomembne ploskve težnostnega polja – ploskve geoida na območju Slovenije.  
**Ključne besede:** astrogeodetska mreža, geoid, odklon navpičnice, Slovenija

## Abstract

Republican Surveying and Mapping Administration of Slovenia with the aid of prof.dr. Čolić and his team works on the execution of geoid definition for trigonometric points of 1<sup>st</sup> order. The project is divided into 3 phases. The aim of the task is to define field weight, above all deflection of the vertical and the most important gravity field surfaces – surfaces of the geoid in Slovenia.  
**Keywords:** astrogeodetic net, geoid, Slovenia, deflection of the vertical

## IZHODIŠČA

Samo Republika Slovenija ima od vseh republik nekdanje Jugoslavije vse pogoje, da obstoječe osnovne geodetske mreže povzdigne na sodobno evropsko raven ter postavi geodetsko dejavnost na trdne temelje. Po končanem delu v Sloveniji bo lahko uresničila ta cilj tudi Republika Hrvatska, ki je prostorsko navezana na Slovenijo.

V prispevku je obravnavano naslednje:

- osnovna položajna mreža, ki jo imenujemo triangulacija I. reda ali pa v novejšem času astro(nomsko)geodetska mreža
- osnovna višinska mreža, ki jo imenujemo nivelman visoke natančnosti – NVN (v Evropi uporabljajo termin precizni nivelman)
- gravimetrična mreža I. reda skupaj s tako imenovano osnovno gravimetrično mrežo.

Do današnjega dne nismo uspeli povezati omenjenih treh osnovnih geodetskih mrež nekdanje Jugoslavije s sodobnimi evropskimi mrežami. Povezave nismo

izvedli v času, ko bi to morali storiti – v obdobju nastanka teh mrež v Vzhodni in Zahodni Evropi, zaradi preživetih vojaških razlogov. Zvezni sekretariat za ljudsko obrambo geodetom praktično ni dovoljeval mednarodnega sodelovanja na področju osnovnih geodetskih del. Prepoved se je nanašala celo na izmenjavo podatkov. Posledice takega ravnanja so prazna polja (bele lise) na grafičnih predstavah omenjenih evropskih mrež (prikazi RETRIG, REUN in datoteke sile teže – v obliki tako imenovanih gravitacijskih anomalij prostega zraka).

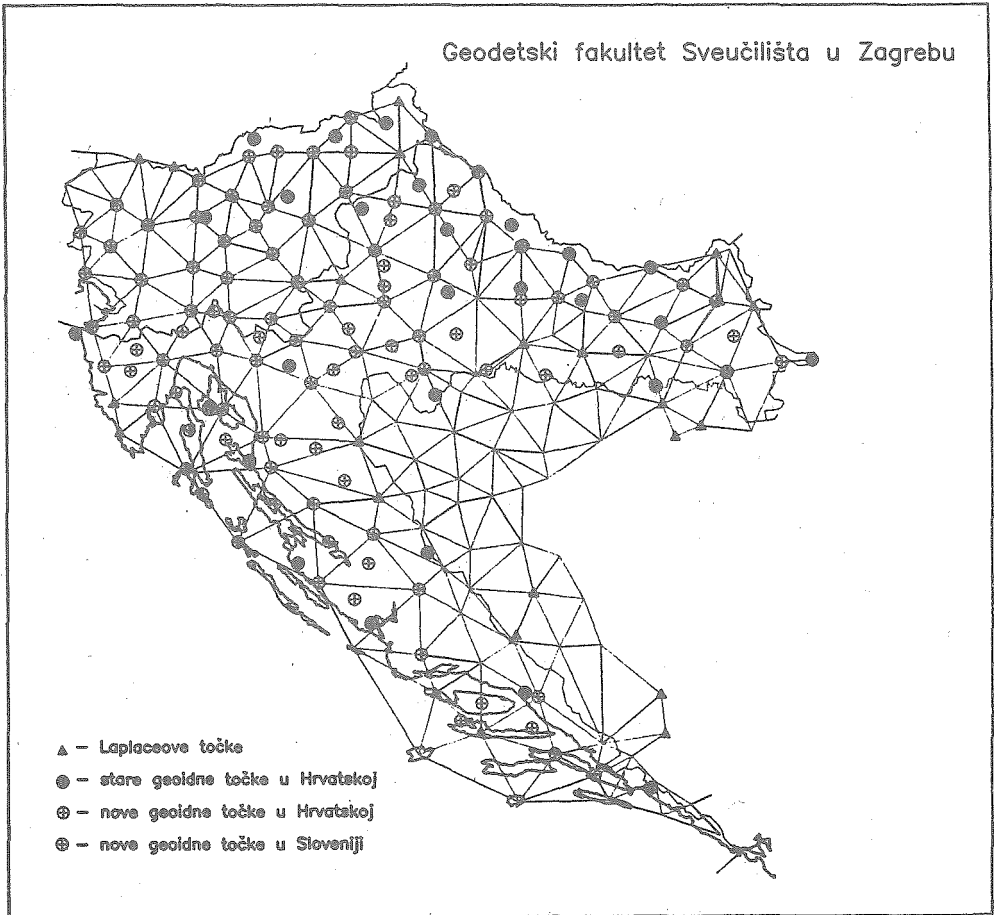
**R**epublika Slovenija meji z Italijo, Avstrijo in z manjšim delom tudi z Madžarsko, ki so se pravočasno vključile v evropske geodetske mreže. To dejstvo odpira možnost tudi Republiki Hrvaški, da se prek urejenih geodetskih mrež v Sloveniji vključi v geodetske mreže Evrope. Posodabljanje gravimetričnih mrež poteka na osnovi zgostitve mreže točk, na katerih so izvedene relativne meritve pospeška sile teže z gravimetri in absolutna merjenja pospeška sile teže in njihovega povezovanja z istovrstnimi meritvami na območju sosednjih držav v Evropi in svetu. Ta dela čakajo pri nas boljše čase zaradi pomanjkanja finančnih sredstev in inštrumentarija. Vseeno smo uspeli urediti in obdelati osnovno višinsko mrežo, tako imenovano NVN-2 za celotno območje Hrvaške in Slovenije. Pričakujemo, da bomo nivelman v vsakdanji praksi lahko sčasoma popolnoma opustili zaradi določevanja nadmorskih (ortometričnih) višin točk na terenu na osnovi modernih satelitskih GPS meritev in preciznega, tako imenovanega „cm-model“ – geoida. To zahteva še ogromno dela. Ob taki analizi stanja lahko ugotovimo, da so samo v Sloveniji od celotnega območja nekdanje Jugoslavije ustrezno ukrepali za konsolidacijo in zagotovitev zadovoljivega stanja osnovne položajne-astrogeodetske mreže. Nedvomno je to zasluga direktorja RGU-ja, Boža Demšarja.

#### OSNOVNA POLOŽAJNA MREŽA SLOVENIJE, ODKLONI NAVPIČNICE IN PLOSKEV GEOIDA

**P**ri osnovni položajni mreži – osnovni trigonometrični mreži so izvedena poleg prejšnjih kotnih opazovanj (natančneje: opazovanj smeri) tudi opazovanja dolžin stranic (oddaljenosti) z elektrooptičnimi razdaljmeri. Opazovanja dolžin so natančnejša, izvedena pa so med večjim številom trigonometričnih točk I. reda. Poleg tega so izvedene poskusne numerične obdelave vseh teh meritev na računalniku. Izvedena je bila kontrolna izravnava slovenskega dela osnovne položajne mreže na ploskvi sprejetega Besselovega referenčnega elipsoida (rotacijskega), ki je zaenkrat zelo netočno prostorsko orientiran. Na ta način je dokazano (Jenko), da so vsa opazovanja (kotov in dolžin) na območju Slovenije izvedena z zadovoljivo natančnostjo. Dokazano je tudi, da je možno na osnovi teh opazovanj, seveda s predhodno izračunanimi redukcijami (korekcijami) opazovanj izračunati geodetske koordinate B, L za vse trigonometrične točke, vključene v položajno mrežo najvišjega I. reda z znanimi numeričnimi metodami. To je dejstvo, za kar se moramo zahvaliti prizadevanjem RGU-ja.

**V**si omenjeni cilji bodo uresničeni samo, če bodo določeni za točke I. reda položajne mreže dodatni parametri, ki so neizogibni predvsem na hribovitem območju, kot je Slovenija. Gre za parametre, ki morajo povezati geometrični model Zemlje, v katerem geodeti računamo koordinate točk državne mreže – privzeti

elipsoid – s fizikalno realnostjo, oziroma stvarnim stanjem na površini Zemlje, na kateri dejansko izvajamo meritve.



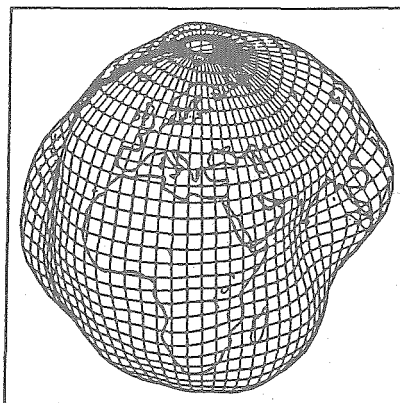
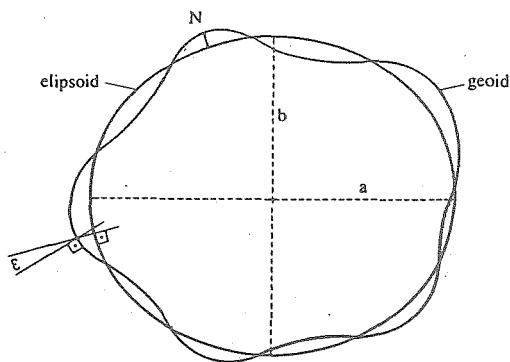
Slika 1: Skica stanja mreže

Povezujoče količine, o katerih govorimo, lahko imenujemo osnovni fizikalni parametri v geodeziji. To so:

- Odklon navpičnice – kot (prostorski) med fizikalno podano smerjo svinčnice oziroma naravne smeri vektorja sile teže ali vertikale in izključno geometrično pogojene smeri normale na referenčni elipsoid, ki je odvisen samo od dimenzij in nameščanja, lociranja tega elipsoida v telesu Zemlje.
- Undulacije (višine) geoida, ki ponazarjajo dviganje in spuščanje nepravilne ploskve geoida glede na veliko bolj umirjeno ploskev elipsoida.

To sta dve najbolj pomembni karakteristični količini polja sile teže Zemlje, tretjo pa predstavljajo anomalije polja sile teže. Geoid, kot najpomembnejša nivo-ploskev v polju sile teže Zemlje (gravitacije), ki se nahaja približno na višini

srednjega nivoja morja, ima to lastnost, da je v vsaki točki pravokoten(a) na smer navpičnice, ki se spreminja od točke do točke. Zaradi te lastnosti in dejstva, da nosi ploskev geoida veliko število informacij o razporeditvi in zgradbi mase zemeljske skorje, je jasno, da imajo navedeni osnovni fizikalni parametri v geodeziji velik pomen tudi za druge geo-dejavnosti. Posebno to velja za dejavnosti, ki se ukvarjajo z izkoriščanjem rudnih bogastev ter dejavnostmi, ki se ukvarjajo z geološko-geofizikalnimi raziskavami rudnih ležišč, posebej ogljikovimi hidrati in zemeljskim plinom. V Sloveniji in Hrvatski so odkrili veliko število rudnih nahajališč na osnovi obdelave gravimetričnih opazovanj in računanja anomalij sile teže. Pri določanju lokacije rudnih najdišč so praviloma uporabili samo eno komponento vektorja sile teže – njegovo velikost (intenziteto). Sigurno bi lahko dosegli več, če bi uporabili tudi spremembe smeri vektorja naravnega polja sile teže v stojiščih na enem območju, ki jih ponazarjajo komponente  $\xi$ ,  $\eta$  odklona navpičnice. Komponente odklona navpičnice se najbolj natančno določijo na osnovi astronomskih in geodetskih opazovanj. Zaradi definicije geodezije, ki pravi, da je osnovna naloga geodezije določitev oblike Zemlje in velikosti njenega težnostnega polja in širokega razpona delovanja geodetov, lahko rečemo, da so geodetski strokovnjaki povezovalni člen med inženirsko-tehničnimi, geoznanstvenimi in informacijskimi dejavnostmi (geoinformatika in podobno).



Slika 2: Ponazoritev odnosa geoida in elipsoida      Slika 3: Oblika geoida s poudarjenimi nepravilnostmi

Odklone navpičnice običajno razložimo kot vektorske količine na dve med seboj pravokotni komponenti (nasprotno od anomalij sile teže, ki so skalarji). Omenjeni komponenti sta:

- $\xi$  – komponenta (projekcija) v ravnini meridiana (sever-jug, N-S)
- $\eta$  – komponenta (projekcija) v ravnini prvega vertikala (E-W).

#### NUJNOST DOLOČANJA GEOIDNIH TOČK

Od vseh možnih postopkov določanja odklona navpičnice in geoidnih undulacij (oziroma anomalij višin pri uporabi kvazigeoida) ima izrazito prednost astrogeodetska metoda. Ta metoda ne zahteva merskih podatkov sosednjih držav, zahteva pa terenska astronomska opazovanja na velikem številu točk. To so občutljiva in težavna nočna opazovanja, ki zahtevajo relativno veliko časa. Druga ugotovitev je,

da so po uspešni uporabi te metode v ZR Nemčiji in Švici metodo zelo uspešno uporabili tudi v Avstriji. Tamkajšni kolegi so izvedli nova astronomska opazovanja v nekaj letih (zaključno do leta 1986) na skoraj šeststo stalnih geodetskih točkah. Opazovanja so izvedli z originalnim tovarniškim kompletom Zeiss Ni-2 astrolaba brez kakršnihkoli razširitev in izboljšav, ob izredno težkih nočnih pogojih in pretežno v goratem svetu. S tem delom so sedaj na svetu prvi v določevanju karakterističnih parametrov polja sile teže, predvsem pa pri določevanju odklona navpičnice in ploskve geoida. Pri delu so uporabili klasični astrogeodetski nivelman in sodobno metodo kolokacije po metodi najmanjših kvadratov. Geodeti v Avstriji so imeli veliko prednost pred nami, saj so imeli astronomske koordinate ( $\lambda$ ,  $\varphi$ ) za vse trigonometre I. reda – teh je približno 100. Določevanje astronomskih koordinat na mreži I. reda predstavlja zaradi velike oddaljenosti točk in opazovanja na vsaki točki najtežji del naloge, zato so nove točke projektirane v planinskih dolinah v bližini cest.

V Sloveniji smo imeli samo sedem uporabnih geoidnih točk in dva para Laplaceovih točk (poleg astronomskih koordinat sta določena na teh točkah tudi obojestranska astronomska azimuta  $\alpha$ ). To stanje je še iz obdobja Avstroogrške monarhije. V Sloveniji so določili še pet geoidnih točk v projektu raziskave recentnih premikov Karavank – v sodelovanju z Avstrijo. Toda te točke so preblizu ena drugi in imajo zaradi tega manjši pomen za določitev oblike geoida na omejenem območju. Na pobudo prof.dr. Kresimirja Čolića je bil predlagan projekt določitve geoidnih točk v Sloveniji. Pred tem projektom sta prof.dr. Čolić in prof.dr. Abdulah Muminagić (Građevinski fakultet Univerzitetu u Sarajevu) izdelala projekt zgostitve geoidnih točk na celotnem območju Jugoslavije. V dela na določitvi geoida se je vključil tudi prof.dr. Florijan Vodopivec, ki je predlagal enakomerno gostoto 43 geoidnih točk, predvidenih v dostopnih in ravninskih predelih. Zaradi nevarnosti, da pri računanju interpolacije ne bi prišlo do nezaželjene in nevarne ekstrapolacije na trigonometrih I. reda, ki so na višjih nadmorskih višinah, smo morali ta projekt opustiti kljub veliki racionalnosti izvedbe terenskih del. Ugotovili smo, da je smotrna le avstrijska rešitev, ki so jo uporabili tudi v drugih, že omenjenih državah.

#### PROJEKT DOLOČITVE NOVIH GEOIDNIH TOČK NA OBMOČJU REPUBLIKE SLOVENIJE V TREH FAZAH

Projekt določitve novih geoidnih točk v Sloveniji je bil razdeljen na tri faze:

I. faza (1988-1992): (zaradi vojne v Sloveniji in na Hrvaškem je zaključek del premaknjen na konec leta 1993) Planirana je izvedba meritev z Zeiss Ni-2 astrolabom (z modifikacijami prof.dr. Nikole Solarića) ter določitev astronomskih geodetskih koordinat na 33 trigonometrih I. reda. Ljubljanska ekipa je izvedla opazovanja na petih, zagrebška ekipa pa na 24 točkah. Hrvaška ekipa je določila približno enako število geoidnih točk v mejnem območju Hrvatske, potrebnih tudi za določitev ploskve geoida in izravnave astrogeodetske mreže na območju Slovenije. Plan je predvideval določitev astronomskih koordinat tudi na določenem številu trigonometrov II. reda v letu 1992 ter GPS meritve na 4-5 reperjih NVN-2. Aktivnosti naj bi uskladili glede na razpoložljiva materialna sredstva. Preliminarne velikosti odklonov navpičnice in geoidnih undulacij  $N'$  naj bi uporabili v popravljeni izravnavi trigonometrične mreže I. reda. RGU je v letu 1991 uredil digitalni model reliefa

100x100 (DMR 100). Dogovorjeno je bilo, da RGU izdelata tudi prvo stopnjo digitalnega modela gostote (DMG) pripovršinskih mas skorje Zemlje v rastru 2,5'x2,5', kar znaša približno 4,5 km x 3,5 km. Za uspešno določitev geoida, odklonov navpičnice in undulacij geoida pa bo treba izdelati DMR in DMG za območje dosti prek meja Slovenije.

II. faza (1993-1996): planirana je izvedba astronomskih opazovanj na točkah zgotovitve in opazovanja na nekaterih trigonometrih nižjih redov ter morda na drugih stabiliziranih točkah. Razdalja med posameznimi geoidnimi točkami naj bi znašala 10-15 km ali v povprečju pod 12 km. Vse dejavnosti naj bi se uskladile z detajlnim projektom geoidnih točk za celotno območje Slovenije in za mejni pas na območju Republike Hrvaške. Projekt razporeditve točk naj bi pripravili z RGU-jem po možnosti do začetka terenske sezone 1992. Ena od planiranih dejavnosti v tej fazi je tudi razširitev DMR-ja in posebej DMG-ja ter dodanega modela sedimentov (DMS) in Mohorovičičeve diskontinuitete (DMM). Končni rezultat te faze naj bi bil: subdecimetrski model geoida in odkloni navpičnic določeni z natančnostjo okoli 1" na vseh točkah s projektom zajetega območja.

III. faza (po letu 1996): planirano je odpravljanje nezanesljivih mest, ki so ostala po II. fazi v modelu geoida oziroma v količinah Zemljinega polja sile teže (odkloni navpičnice ter anomalije sile teže). Rezultat te faze bo (kombinirani astrogeodetsko-gravimetričnogeološki) model cm – geoida, ki bo po točnosti – ločljivosti zadovoljeval potrebe široke in praktične uporabe učinkovitih GPS meritev. Geoid naj bi določili na območju cele Slovenije z natančnostjo v mejah 1-3 cm na območjih, za katere bomo imeli vse potrebne podatke. Ta cilj bodo omogočila dodatna opazovanja novih geoidnih točk s povprečno oddaljenostjo 7-8 km (mogoče samo 10 km) kot tudi izboljšani modeli: DMR, DMG, DMS, DMM ter zaželeno večje število gravimetrično določenih točk. Računati je treba tudi na nove tehnike meritev.

**O**pisi posameznih faz projekta bodo objavljeni v tej in naslednji številki Geodetskega vestnika.

#### Viri:

- Bašić, T., 1989, *Untersuchungen zur regionalen Geoidbestimmung mit „dm“-Genauigkeit*, Hannover, doktorska disertacija.
- Bretterbauer, K., Reinner, K., 1982, *Die astro-geodatischen Arbeiten fuer das Geoid in Oesterreich*, Zeitschrift fuer Vermessungswesen (ZfV), Stuttgart (107), štev. 11, 334-340.
- Čolić, K., 1971, *Analytische Fortsetzung von Oberflaechenwerten der Schwere nach unten und Bestimmung ihrer Ableitungen im Tunnel*, Bonn, doktorska disertacija.
- Čolić, K., 1975, *Die Gewichtsfaktoren-Methode, ein Verfahren zur topographischen Schwere und Lotabweichungsrechnung*, Zeitschrift fuer Vermessungswesen (ZfV), Stuttgart (100), štev. 12, 584-591.
- Čolić, K., 1978, *Ispitivanje situiranosti astrogeodetskog geoida SFR Jugoslavije*, Geodetski list, štev. 10-12, 275-295.
- Čolić, K., Pesec, P., Sunkel, H., 1990, *Proceedings of the First International Symposium "Gravity Field Determination and GPS Positioning in the Alps-Adria Area"*, Mitteilungen der geodatischen Institute der Technischen Universität Graz, Folge 67, 1-458.
- Čolić, K., Petrović, S., Bašić, T., 1989, *What happens in the least squares fitting of small parts of various geoid models*, Bollettino di geodesia e scienze afine, Firenze (XLVIII), štev. 1, 29-43.
- Moritz, H., 1990, *Advanced physical geodesy*, Wichman, Karlsruhe.

*Sunkel, H., 1982, Das Geoid im Testnetz Steiermark, Mitteilungen der geodatischen Institute der Technischen Universität Graz, Folge 40, 331-345.*

*Torge, W., 1977, Untersuchungen zur Hohen - und Geoidbestimmung im dreidimensionalen Testnetz Westharz Zeitschrift fuer Vermessungswesen (ZfV), Stuttgart (94), šte. 4, 173-185.*

*Recenzija: Marjan Jenko  
prof.dr. Florijan Vodopivec*