

Matej Varga, univ. bacc. ing. geod. et geoinf. ▸ diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: mvarga@geof.hr

# RUĐER BOŠKOVIĆ U GEODEZIJI

POVODOM 300. GODIŠNJICE ROĐENJA  
GENIJALNOG HRVATSKOG ZNANSTVENIKA

## 1. ZNANOST U BOŠKOVIĆEVO DOBA

Boškovićevo doba obilježeno je sukobom triju filozofija: Aristotelove, Descartesove i Newtonove.

Aristotel (384. pr. Kr. - 322. pr. Kr.), inače Platonov učenik, osnovao je peripatetičku filozofsku školu. Aristotelovci su smatrali da se Zemlja nalazi u središtu poznatog svijeta koji se sastoji od četiri elementa - zemlje, vode, zraka i vatre. Nakon Aristotela Klaudije Ptolemej detaljno je objasnio geocentrični sustav po kojemu se Zemlja nalazi u središtu svijeta u kojemu zadržava stalni položaj.

Nikola Kopernik poljski astronom, teolog i matematičar, u 16. stoljeću dao protutežu Aristotelovom i Ptolemejevom modelu. Pretpostavio je da se u središtu svijeta ne nalazi Zemlja, već da se Zemlja i planeti gibaju oko Sunca. Kopernikova teorija predstavlja začetak heliocentričkog poimanja svemira. Jedan od značajnijih protivnika Aristotelove peripatetičke filozofije, a koja se u 16. st. još uvijek smatrala ispravnom, bio je i slavni Galileo Galilei, a kojega je inkvizicija, zbog učenja o Kopernikovom heliocentričkom sustavu, osudila na doživotnu tamnicu.

Učenje u školama i sveučilištima o gibanju Zemlje bilo je strogo zabranjeno. Rene Descartes, francuski filozof, fizičar i matematičar, tijekom 17. stoljeća je ipak uspio objaviti prirodnu filozofiju koja se temeljila na Kopernikanskom heliocentričkom sustavu. Descartesova filozofija prethodila je Newtonovoj i njegovom slavnom djelu *Matematička načela prirodne filozofije* (lat. *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*). U Načelima Newton izlaže zakone gibanja (početak klasične mehanike), teoriju gravitacije te se nastavlja na

rezultate istraživanja Galileja i Keplera. Newtonovi teoremi i postavke smatraju se začetkom moderne fizike i označavaju konačni krah Aristotelove peripatetičke filozofije.

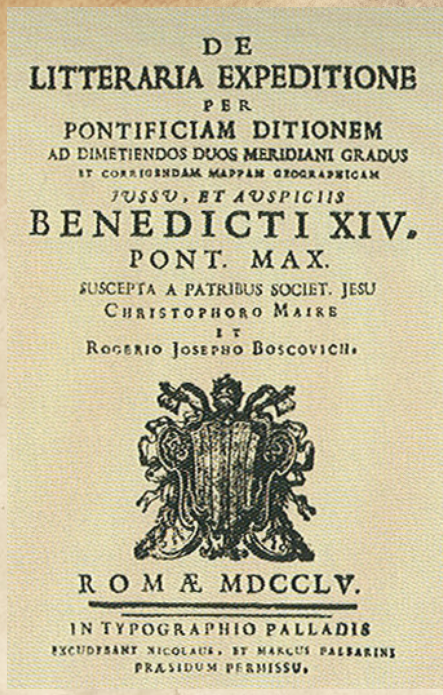
U vrijeme kada se Bošković školovao stara tradicija i Aristotel još uvijek nisu postali prošlost. Na sveučilištima su se podučavala znanja temeljena na Aristotelovoj peripatetičkoj filozofiji, iako se počeo osjećati snažan utjecaj najnovijih znanja, istraživanja i ideja, prije svega Kopernika, Descartesa i Newtona. Za rješavanje praktičnih i teorijskih zadataka se, sve do početka 17. stoljeća, u matematici upotrebljavala pretežito geometrijska metoda. Boškovića je tradicionalni isusovački Rimski kolegij također podučavao na temeljima geometrijske tradicije i to će duboko obilježiti njegov znanstveni i geodetski rad.

## 2. BOŠKOVIĆEV ŽIVOT

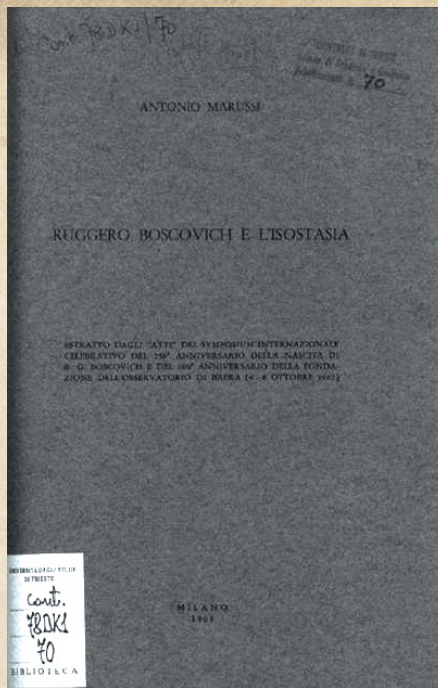
Ruđer Bošković rođen je 11. svibnja 1711. u Dubrovniku. Od samoga je rođenja pokazivao sklonost učenju, a nakon školovanja na Dubrovačkom kolegiju, sa svega 14 godina, otišao je na nastavak studija na slavni Rimski kolegij (Collegium Romanorum). Tamo je učio retoriku, filozofiju, logiku, fiziku i matematiku. Bošković se posebno isticao u filozofiji i matematici, a Crkva je vrsne učenike znala cijeniti. Već 1732. godine s profesorom matematike Oracijem Borgondiom rješavao je probleme oblika Zemlje i gibanja planeta. Nekoliko slijedećih godina proveo je poučavajući mlađe generacije gramatiku, a usput je temeljito studirao Newtona. Studij teologije Bošković je, uz posao nastavnika logike i matematike, započeo 1738. godine. Boškovićeva predavanja matematike bila su zahtjevna i često puta nadopunjena najnovijim saznanjima i osobnim spoznajama (URL-3).

Tijekom toga vremena Bošković uči astronomiju i pokazuje interes za probleme određivanja oblika i veličine Zemlje i nejednakosti ubrzanja sile teže. Tako ga je papa Benedikt XIV. angažirao za određivanje duljine luka meridijana između Rima i Riminija. Usput je napravio i geografsku kartu Papinske države.

Nakon toga posla za Boškovića se pročulo te je vrlo brzo angažiran na poslovima poput istraživanja pukotina na Crkvi sv. Petra u Rimu, problemi-



SLIKA 1. Naslovnica De litterariae expeditione



SLIKA 2. A. Marussi, Ruggero Boscovich e l'Isostasia

Supeka, dobio ime Ruđera Boškovića. Po Ruđeru Boškoviću, jednom od najgenijalnijih i najplodnijih hrvatskih znanstvenika, nazvan je i krater na Mjesecu.

### 3. GEODETSKI RAD RUĐERA BOŠKOVIĆA

Bošković je neosporno bio i geodet. Od ranih dana zanimalo ga je određivanje oblika i veličine Zemlje. Tako je 1739. godine objavio djelo *O argumentima starih za kuglasti oblik Zemlje* (lat. *De veterum argumentis pro telluris sphaericitate*). Te je godine objavio još jedan značajni rad, *Rasprava o obliku Zemlje* (lat. *Dissertatio de telluris figura*), gdje raspravlja i sumnja u mogućnost definitivnog određivanja veličine i oblika Zemlje na temelju opažanja duljine perioda matematičkog njihala i mjerenja duljine meridijana (Dadić 1987).

Od 1750. do 1752. godine Bošković je, s bliskim suradnikom Christopherom Maireom, izveo geodetska mjerenja dva stupnja duž meridijana od Rima do Riminija. Cilj tih mjerenja bio je izmjeriti dužinu meridijanskog stupnja na meridijanu, kako bi svoja mjerenja mogli usporediti s geodetskim

mjerjenjima na istoj geografskoj širini. Iz tih podataka mislili su dobiti neke nove zaključke o obliku Zemlje. Prema matematičkoj definiciji elipsoida, svi bi meridijani trebali biti jednake duljine, a sve paralele kružnice. Bošković je smatrao da to nije točno, a što je pomoću mjerenja i dokazao. Instrumentarij i metode koje je koristio tijekom mjerenja su: triangulacija meridijana Rim-Rimini, sektor kojim se određivala udaljenost cirkumpolarnih (stacionarnih) zvijezda do zenita, uređaj za verifikaciju kvadranta, kružni kvadrant (za mjerenje kutova u trokutima), letva za mjerenje baze, komparator dužine i tro-nožac. Korištene instrumente osmislio je sam Bošković. Provedene su dvije

mjerjenjima na istoj geografskoj širini. Iz tih podataka mislili su dobiti neke nove zaključke o obliku Zemlje. Prema matematičkoj definiciji elipsoida, svi bi meridijani trebali biti jednake duljine, a sve paralele kružnice. Bošković je smatrao da to nije točno, a što je pomoću mjerenja i dokazao. Instrumentarij i metode koje je koristio tijekom mjerenja su: triangulacija meridijana Rim-Rimini, sektor kojim se određivala udaljenost cirkumpolarnih (stacionarnih) zvijezda do zenita, uređaj za verifikaciju kvadranta, kružni kvadrant (za mjerenje kutova u trokutima), letva za mjerenje baze, komparator dužine i tro-nožac. Korištene instrumente osmislio je sam Bošković. Provedene su dvije

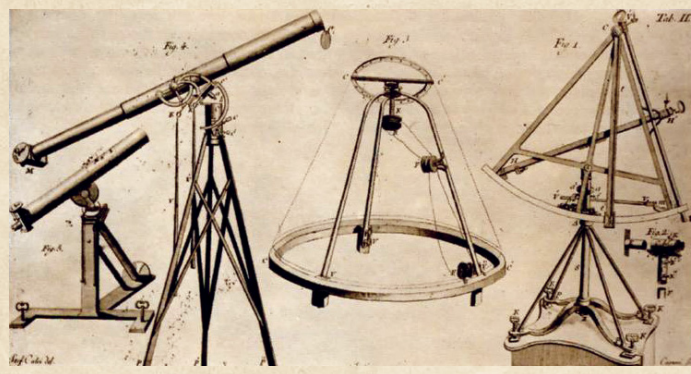
U Francuskoj je 1759. upoznao i mnoge istaknute znanstvenike poput Clairauta i D'Alemberta. Treba također napomenuti kako su u francuskoj Akademiji i znanstvenim krugovima Boškovića veoma cijenili. Nakon Pariza, otišao je u London. Tamo se druži i radi s engleskim znanstvenicima pa su ga 1760. primili u Royal Society. Preko Venecije, Carigrada, Krakova i Beča, Bošković se 1763. vratio u Rim.

Ubrzo potom isusovački ga je kolegij i Papa Benedikt XIV. zamolio da u Breri sagradi zvezdarnicu. Bošković je to i učinio, a usput je uspio isposlovati odličan astronomski instrumentarij te nastavio svoja mjerenja i istraživanja. Ali Bošković je bio ispred svoga vremena te je često sticao i mnoge neprijatelje. Na zvezdarnici u Breri često se nije slagao s tradicionalnim isusovcima. Posebno se nije slagao s Lagrangeom, s kojime je dijelio upravljanje zvezdarnicom u Breri pa ju je 1772. godine Bošković napustio i otišao u Francusku.

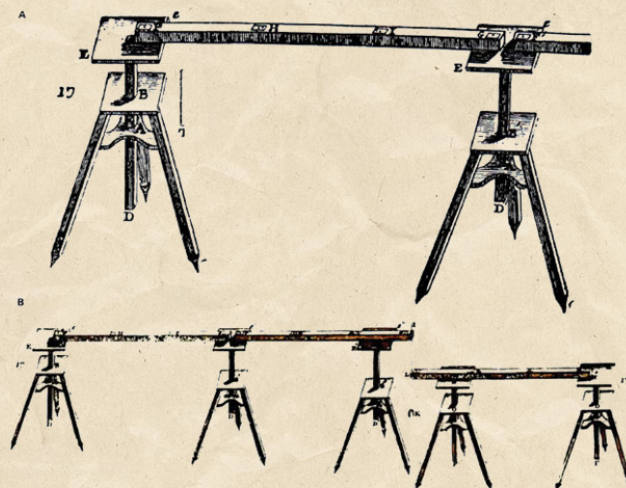
Nakon godine dana dobio je francusko državljanstvo te odličan posao upravitelja optike za mornaricu. Vrlo brzo su počele spletke protiv Boškovića. Koliko je Bošković u Francuskoj imao prijatelja (Clairaut, Condorcet, Messier, Mechain...) toliko je imao i protivnika. Među protivnicima posebno su se isticali Enciklopedisti, francuski prosvetitelji 18. stoljeća, D'Alembert i Diderot. Laplace francuski astronom i matematičar, poznat po genijalnim radovima u astronomiji, statistici i fizici također je osporavao neke Boškovićeve ideje.

Bošković se nakon tih problema odlučio posvetiti objavljivanju svojih znanstvenih radova iz područja astronomije i optike. 1782. je godine otputovao u Italiju gdje je do 1787. izdao više radova od kojih je najznačajniji rad *Djela koja se odnose na optiku i astronomiju* (lat. *Opera pertinentia ad opticam et astronomiam*). Ionako slabašnoga zdravlja, uz probleme s nogama, bubrezima i plućima, Bošković je upadao u teška duševna stanja. Patio je od tjeskobe i malodušnosti te se često nije mogao kontrolirati. Umro je 13. veljače 1787. od komplikacija izazvanih upalom pluća.

U Zagrebu je 1950. godine osnovan Institut za znanstvena istraživanja na području atomske fizike, koji je na prijedlog hrvatskog fizičara Ivana



SLIKA 3. Instrumenti iz zvezdarnice u Breri



SLIKA 4. Boškovićevi stalci za geodetska mjerenja



SLIKA 5. Bošković na novčanici

vrste mjerenja, astronomska i geodetska; astronomska za određivanje duljine luka na nebeskoj sferi i geodetska za određivanje duljine luka meridijana. Tijekom geodetskih mjerenja Bošković se služio triangulacijskom mrežom. Mreža se protezala na 240 km i sadržavala 11 trokuta. Najkraća stranica bila je duljine 22,8 m, a najdulja 68 m. Meridijanski luk između Rima i Riminija mjerio se s dvije osnovice dužine otprilike 12 km. Triangulacijska mreža naknadno je ucrtana na zemljovidu Papinske države (URL-2).

Za mjerenja su korišteni i tronožni stalci koje je sam izmislio. I iako ih je Bošković već tada koristio, u geodetsku su praksu ušli kasnije kada ih je Gauss intenzivno koristio pa su po njemu i nazvani, Gaussovi stalci.

Rezultate mjerenja Bošković je objavio u knjizi *De litteraria expeditione per pontificiam ditone ad dimentendos meridiani gradus et corrigendam mapam geographicam, iussu et auspiciis Benedicti XIV*, gdje je približno odredio oblik i veličinu Zemlje. Za rješavanje zadataka priklonio se geometrijskoj metodi iako je analitička metoda za to bila mnogo jednostavnija i brža. Prema Boškoviću, duljina luka stupnja meridijana jednaka je 111,027 m, a meridijanski opseg Zemlje 39.969,72 km. Osim toga, dokazao je da tekućina koja rotira oko osi u ravnoteži i da je njen oblik elipsoidalan i spoljošten na polovima. Zemljinu fizičku površinu definirao je kao površinu u čijoj je svakoj točki smjer ubrzanja sile teže okomit na nju samu. Pri tome je posebno istaknuo kako fizička površina ovisi o raspodjeli masa u unutrašnjosti Zemlje (URL-3).

Predmet Boškovićevog rada bile su i pogreške u mjerenjima. Nastojao je da mjerenja budu čim pouzdanija i čim manje opterećena pogreškama. Za mjerenja provedena od 1750. - 1752. uveo je tri uvjeta korekcija: da njihove razlike budu proporcionalne razlikama sinusa zemljopisnih širina, da zbroj pozitivnih korekcija bude jednak zbroju negativnih i da zbroj svih korekcija bude najmanji mogući. Prvi uvjet izlazi iz pretpostavke funkcionalne ovisnosti o spljoštenosti Zemlje i mjerenju, drugi iz slučajne (stohastičke) raspodjele pozitivnih i negativnih pogrešaka, a treća korekcija se uvodi kada i ako su ispunjena prve dvije korekcije. Metoda je nazvana *metodom izjednačenja pogrešaka*, a sam ju je Laplace nazvao genijalnom (Dadić 1987). Kasnije ju je njemački matematičar F. Gauss (1777.-1855.) dopunio minimumom kvadrata pogrešaka, zbog čega se on i smatra osnivačem teorije pogrešaka. Iz ovoga je evidentno kako je Boškovićeva metoda izjednačenja pogrešaka preteča Gaussove metode najmanjih kvadrata.

Tijekom putovanja 1950. - 1952. Bošković i C. Maire prikupljali su podatke te na koncu izradili prvi zemljovid Papinske države. Zemljovid je izradio irski isusovac Christopher Maire, uz Boškovićev nadzor i u francuskom je prijevodu i tisku sačuvan u mnogo primjeraka (Dadić 1987).

#### 4. IZOSTATSKA KOMPENZACIJA PO BOŠKOVIĆU

Boškovićeva ideja o kompenzaciji jedna je od prvih u tom području i označava početak razvijanja teorija o izostaziji u fizikalnoj geode-

ziji i geofizici. Bošković je u jednom od pisama zapisao da će undulacija Zemaljske površine, tj. visina Zemaljske površine od nulte razine mora, zapravo potjecati od: »jakog djelovanja podzemnih ognjeva koji uzdižu negdje više, negdje manje razne dijelove kore naše Zemaljske kugle, savijajući ih, zakrivljujući ih, a uzdižući ih na jednom mjestu i spuštajući ih na drugom« (Dadić 1987). Ovo je zapravo ideja o oblikovanju topografske površine Zemlje. Važna su i Boškovićeva zapažanja o horizontalnim promjenama Zemljine kore, a koja mijenjaju Zemljino polje sile teže. Ruđer je pri geodetskim mjerenjima zapazio da na visak geodetskih instrumenata utječu planinske mase, ali s obzirom na masu planine taj efekat nije bio u skladu s njegovim očekivanjem. Zaključio je da je masa neke planine u neskladu s veličinom otklona viska što znači da mu je i gustoća manja od gustoće slojeva u dubljim dijelovima Zemljine kore (Hoffman-Wellenhof, Moritz, 1967). Zaključak je da su se planine uzdigle uslijed širenja tvari u dubini, a to znači da: »uzdizanje ne znači prinos tvari u dubinu; praznina unutar gora kompenzira tvari koje se nalaze nad njima« (Dadić 1987). Drugim riječima, pri izdizanju masa (primjerice planine) zadržava se ista masa iznad istog dijela Zemljine površine, a praznine su upravo te koje kompenziraju tu masu. Time je prvi puta definiran pojam izostazije tj. ravnotežnog stanja Zemljine kore. Gotovo stoljeće kasnije, 1854. godine J. H. Pratt je također opazio nesklad između mjenenog otklona viska i izračunatoga otklona te također došao do pojma izostazije. Boškovićeva ideja o kompenzaciji masa Zemljine kore kroz mase koje leže ispod topografske površine priznata je od mnogih autora kao što su: B. H. Wellenhof, H. Moritz, 1958.; A. Marussi, 1963. i drugi.

#### LITERATURA

- › Dadić, Ž (1987): Ruđer Bošković, Školska knjiga, Zagreb.
- › Heiskanen, W. A., Moritz, H. (1967): Physical Geodesy, W. H. Freeman and Company, San Francisco and London.
- › Hoffman-Wellenhof, B., Moritz, H. (2005): Physical geodesy, Springer-Verlag, Wien.
- › Marković, Ž (1968): Ruđer Bošković, dio prvi, JAZU, Zagreb.
- › Marković, Z (1968): Ruđer Bošković, dio drugi, JAZU, Zagreb.
- › URL-1: Wikipedia, Ruđer Bošković, [http://hr.wikipedia.org/wiki/Ru%C4%91er\\_Bo%C5%A1kovi%C4%87](http://hr.wikipedia.org/wiki/Ru%C4%91er_Bo%C5%A1kovi%C4%87), (10.3.2011.).
- › URL-2: Institut Ruđer Bošković, <http://www.irb.hr/>, (10.03.2011.).
- › URL-3: Moljac, biografije poznatih osoba, <http://www.moljac.hr/biografije/boskovic.htm>, (08.03.2011.).



SLIKA 6. Kip Rudera Boškovića