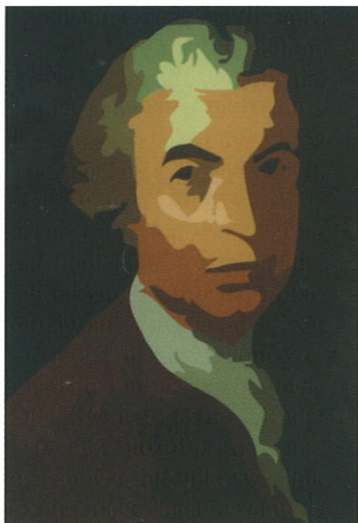




300. godišnjica rođenja Ruđera Boškovića, ili 300 godina života Ruđera Boškovića među nama



Podsjećanje na godišnjice rođenja ili smrti osoba, koje su svojim životom i djelima ostavile snažan pečat za buduća pokoljenja, prilika je da se nove generacije upoznaju s njima. Dimenzija, snaga i odjek poruka kroz djela koja su iza sebe ostavili je različit. Iznimni su ljudi čija su djela i danas prisutna u jednakoj snazi kao i u vrijeme kad su nastajali, iznimni su ljudi koji su svojim djelovanjem pokazali takvu talentiranost i okušali se u velikom broju znanstvenih disciplina, iznimni su ljudi koji su u svom vremenu živjeli dimenziju Europe bez granica, kao građani Europe. Sve je to je bio – Ruđer Bošković – znanstvenik, filozof prirode, matematičar, fizičar, tehničar, pjesnik, svećenik i diplomata. Zato nije točno kada kažemo da obilježavamo 300. godišnjicu rođenja Ruđera Boškovića, već možemo reći da obilježavamo 300 godina njegovog života među nama.

Što nam danas Ruđer Bošković poručuje kroz svoj život i djela. Prije svega da izvrsnost i talentiranost treba uvijek razvijati i poticati. Izvrsnost je generator napretka, novih spoznaja, nove kvalitete života. Izvrsnost je vrijednosni sustav i organizacija društvenog života. Za Hrvatsku bi izvrsnost značila stvaranje dodatne vrijednosti u svim segmentima društva.

Druga dimenzija proizlazi iz prostora njegovog djelovanja, a to je europski prostor. Biti suveren na cijelom prostoru Europe, današnjim jezikom Europske unije, je poruka u kom pravcu treba usmjeriti Hrvatsku. Ona je povezana i s izvrsnošću jer se izvrsnost prepoznaje u kvaliteti.

Treća dimenzija je posvećenost svojoj misiji i svom radu, bez koje nije moguće stvarati velika djela i mijenjati društvo.

Na kraju, četvrta dimenzija je duhovnost iz koje je proizašla takva erupcija talentiranosti, novih znanja i spoznaja. To kod Boškovića nije moguće odvojiti jer predstavlja jednu cjelinu, naravno i poruku današnjim generacijama.

Ruđer Bošković može za hrvatsko društvo biti "svjetionik" koji obasjava visoke domete ljudskog stvaranja i korištenja istog za opće dobro.

Goran Granić

SADRŽAJ

300. godišnjica rođenja Ruđera Boškovića, ili 300 godina života Ruđera Boškovića među nama.....	1
Kronologija važnijih događanja u organizaciji obilježavanja 300. obljetnice rođenja Ruđera Boškovića.....	2
Središnja svečana proslava 300. obljetnice rođenja Ruđera Boškovića.....	2
Govor predsjednika HATZ-a prof. dr. sc. Stanka Tonkovića	2
Govor ministra Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa dr. sc. Radovana Fuchsa.....	3
Govor predsjednika Hrvatskog sabora Luke Bebića	4
Govor predsjednika Republike Hrvatske prof. dr. sc. Ive Josipovića.....	5
Bošković i tehničke znanosti	6
Uvod.....	6
Ruđer Bošković usavršitelj i izumitelj instrumenata i predlagatelj novih metoda mjerenja i provjere instrumenata	6
Matematička i statistička obrada astronomskih i geodetskih mjerenja.....	9
Bošković i geodezija, geologija i geofizika.....	11
Bošković i kartografija.....	13
Boškovićevi hidrotehnički radovi.....	15
Statičke ekspertize Ruđera Boškovića	15
Boškovićev prijedlog za osnivanje geodetske škole	16

Engineering Power/Tehničke znanosti, Bulletin of the Croatian Academy of Engineering/Glasnik Akademije tehničkih znanosti Hrvatske

HATZ, 28 Kačić Street, P.O.Box. 59, 10001 Zagreb, Croatia,
e-mail: HATZ@hatz.hr, web: www.hatz.hr

Vol 18 (poseban broj) 2011 – ISSN 1331-7210

Editor-in-Chief/Glavni urednik: Stanko Tonković

Editor/Urednik: Miljenko Lapaine

Secretary/Tajnica: Melanija Strika

Phone/Fax: + 385 1 4922 559 Fax: + 385 1 4922 569

Technical Editor/Tehnički urednik: Vladimir Pavlić, GRAPA, Zagreb, Croatia

Translator/Prevoditelj: Valentin Lapaine

Printed by/Tisak: Denona d.o.o.

Kronologija važnijih događanja u organizaciji obilježavanja 300. obljetnice rođenja Ruđera Boškovića

Dopisom Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa (MZOŠ) od 7. travnja 2008. Akademiji tehničkih znanosti Hrvatske (HATZ) povjerena je organizacija Proslave obilježavanja 300. obljetnice rođenja Ruđera Boškovića. Odlukom svojega Predsjedništva HATZ je prihvatio tu čast i dužnost. Prvi prijedlog programa obilježavanja obljetnice izradio je prof. dr. sc. Z. Kniewald u rujnu 2008. CAETS i Euro-CASE zamoljeni su za pokroviteljstvo obilježavanja godišnjice, što su oni krajem 2008. prihvatili.

U svibnju 2008. prof. dr. sc. Z. Kniewald i prof. dr. sc. S. Tonković razgovarali su u sjedištu francuske Académie des Technologies s predsjednikom Dr. Françoisom Guinotom te u Veleposlanstvu RH u Parizu s veleposlanikom M. Galićem i tajnikom Veleposlanstva o organizaciji obilježavanja u RH i u Francuskoj.

Početkom veljače 2010. održan je prvi razgovor u MZOŠ-u na kojem se raspravljalo o programu obilježavanja, njegovoj organizaciji i modalitetima financiranja. Utvrđena je i potvrđena hitnost akcije. Na sastanku u

MZOŠ-u održanom sredinom lipnja 2010. bilo je prisutno 17 zainteresiranih osoba. Rezultat toga sastanka bio je prijedlog programa koji je obuhvatio velik broj ideja i mogućih aktivnosti u vezi s obilježavanjem Boškovićeve obljetnice u Hrvatskoj i u inozemstvu. Nakon još nekoliko radnih sastanaka završni Program obilježavanja 300. obljetnice rođenja Ruđera Boškovića izradio je dr. sc. G. Granić i predao MZOŠ-u.

Istaknimo još da je Hrvatski sabor na prijedlog Vlade RH donio odluku o proglašenju 2011. godine "Godinom Ruđera Boškovića" u Republici Hrvatskoj. Tom odlukom određeno je da Hrvatski sabor, Predsjednik Republike Hrvatske i Vlada Republike Hrvatske budu pokrovitelji svih događanja kojima će se obilježiti "Godina Ruđera Boškovića", a Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa i Akademija tehničkih znanosti Hrvatske zaduženi su za operativnu provedbu programa kojima će se obilježiti "Godina Ruđera Boškovića".

Stanko Tonković

Središnja svečana proslava 300. obljetnice rođenja Ruđera Boškovića

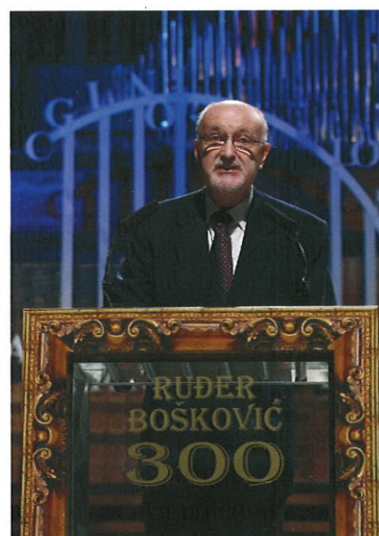
Dana 17. svibnja 2011, u organizaciji Akademije tehničkih znanosti Hrvatske i Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa, u Koncertnoj dvorani Vatroslav Lisinski održana je središnja svečana proslava 300. obljetnice rođenja Ruđera Boškovića.

Glazbeno scensko djelo dočaralo je doba u kojem je stvarao veliki znanstvenik i filozof. Pred mnogobrojnim auditorijem svoje divljenje i hvalu liku i djelu Ruđera Boškovića izrekli su u pozdravnim govorima predsjednik Akademije tehničkih znanosti Hrvatske prof. dr. sc. Stanko Tonković, ministar znanosti, obrazovanja i športa dr. sc. Radovan Fuchs, predsjednik Hrvatskog sabora Luka Bebić i predsjednik Republike Hrvatske prof. dr. sc. Ivo Josipović.

Uvaženi poznavatelji života i djela Ruđera Boškovića dr. sc. Ivan Koprak, akademik Žarko Dadić, dr. sc. Stipe Kutleša i dr. sc. Ivica Martinović govorili su o različitim aspektima njegovih životnih aktivnosti. Glazbeni dio programa obogatili su, za ovu priliku posebno pripremljene, skladbe Borisa Papandopula, Domagoja Koščaka i mladog skladatelja Zvonimira Duspera.

Po mišljenju prisutnih i tiska za uspješnost proslave zaslužni su sigurno i Krešimir Dolenčić (redatelj), Aljoša Paro (scenografija), Willem Miličević (video i foto obrada) i izvršni producent dr. sc. Goran Granić, glavni tajnik Akademije tehničkih znanosti Hrvatske.

Govor predsjednika HATZ-a prof. dr. sc. Stanka Tonkovića



*Predsjednik HATZ-a prof. dr. sc.
Stanko Tonković govori
na svečanoj proslavi*

Iznimno mi je drago i posebna mi je čast da vas, na ovoj svečanoj proslavi povodom obilježavanja 300-te obljetnice rođenja Ruđera Josipa Boškovića (Rogerio Josepho Boscovich), mogu sve najsrdanije pozdraviti u ime Akademije tehničkih znanosti Hrvatske, jednog od organizatora i naravno moje osobno.

Ruđer Bošković bio je čovjek ispred svog vremena. On je jedno od najvećih imena ne samo u hrvatskoj, već i u svjetskoj znanstvenoj povijesti. Često ga nazivaju znanstvenikom, no ja bih ga možda nazvao najsvestranijom osobom o kojoj sam

ikada čitao ili čuo. Nevjerojatno je što je sve učinio u 76 godina svog života. Isusovac po školovanju i studiju, uz znanstveni rad, bio je filozof i teolog, diplomat, vrsni pregovarač, književnik i pjesnik, te na kraju i visoki dužnosnik u francuskoj mornarici. No, glede vremena kad je živio, skoro su nepojmljive njegove ispravne i revolucionarne predodžbe o fizikalnoj strukturi i građi prirode (atomi, atomske jezgre i molekule, u njegovom najpoznatijem djelu Teorija prirodne filozofije – Philosophiae Naturalis Theoria, 1758), koje su kasnije bile poticaj i vodič mnogim znanstvenicima u evoluciji moderne fizike čestica. Tu je i velik broj znanstvenih radova iz područja matematike, astronomije, optike, geodezije i kartografije, hidrotehnike, te poznate statičke ekspertize (kupola bazilike Sv. Petra u Rimu, carska knjižica u Beču i milanska katedrala). Ruđer Bošković prvenstveno je bio znanstvenik i filozof, no i u rješavanju praktičnih problema konstrukcije astronomskih, optičkih i geodetskih instrumenata, isto tako dolazi do izražaja njegova genijalnost. Njegovi znanstveni radovi i ideje utjecali su na mijenjanje znanstvene slike svijeta, a njegov doprinos znanosti, ali i njegova tehnološka i tehnička rješenja svrstavaju ga u sam vrh neizostavnih i nezaboravljivih svjetskih znanstvenika i mislilaca.

Hvala još jednom svim nazočnima što ste svojim prisustvom uveličali današnju svečanost!

Govor ministra Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa dr. sc. Radovana Fuchsa



Ministar znanosti, obrazovanja i športa dr. sc. Radovan Fuchs govori na svečanoj proslavi

Iznimno mi je zadovoljstvo i ugodna dužnost obratiti vam se danas ovdje u ime predsjednice Vlade Republike Hrvatske gospođe Jadranke Kosor te u svoje osobno ime, u prigodi obilježavanja 300. godišnjice rođenja Ruđera Boškovića, hrvatskog znanstvenika kojemu je povijest, kao i svakom istinskom vizionaru, nakon duge vremena dala za pravo. Kada bismo prosječno obrazovane Europljane

upitali o Ruđeru Boškoviću, odgovor, uvjeren sam, ne bi sadržavao ni najsiromašnije biografske podatke. U tom se pogledu Boškovića ne može uspoređivati s Descartesom, Galilejem, Newtonom, Leibnizom i drugim velikanima novovjekovne misli. Međutim, kao potpuna suprotnost stoji činjenica kako je Boškovićeve višeslojna znanstvena dimenzija suverena na mnogim poljima, zadužila hrvatsku i europsku znanost te je svojim kritičkim duhom, vjerodo-

stojnošću, temeljitošću uspjela pronaći svoje zasluženo mjesto na svjetskoj znanstvenoj mapi.

Ruđer Bošković, čije je znanstveno djelo nastajalo punih pet desetljeća, ponudio je bitno drukčije shvaćanje prostora i vremena u usporedbi s mnogim uglednim suvremenima. U doba kada je prosvjetiteljstvo sve jasnije i borbenije isticalo senzualistički, materijalistički i ateistički pogled na svijet, Bošković se uvjeren otklonio od takvog površnog shvaćanja te je, nadilazeći vlastito okruženje i sâm povijesni trenutak, ponudio bitno drukčije shvaćanje čime je trasirao nove puteve razvoju ljudskog univerzuma, pobijedivši sve što predstavlja negaciju istine i pravednosti. Spomenik velikom hrvatskom geniju podigao je on sam, s više od 75 knjiga kapitalnih radova iz matematike, mehanike, astronomije, optike, filozofije i književnosti, premda je ljudska djela smatrao trošnim i prolaznim.

Svaka je obljetnica ujedno i prigoda da se pošalje poruka o sustavu vrijednosti jednoga društva, odnosno da se odnosom prema sadašnjosti pokaže i odnos prema povijesti. Drugim riječima, sadašnjost i prošlost osvjetljavaju jedna drugu, svako bavljenje prošlošću, zapravo je i traženje tumačenja sadašnjosti.

Povezanost znanja i društvenoga razvitka osobito je uočljiva u vremenu u kojemu živimo. Uspješna budućnost danas se veže uz društvo koje obilježava kultura znanja, ne zanemarujući ekonomiju znanja. Taj se trend ovisnosti o znanju, njegovom unaprjeđivanju, širenju i prihvaćanju, ubrzava i postaje središnja točka. Znanost, kao područje u kojem se stvara novo znanje, jest središnji pokretač razvoja, djelatnost koja omogućuje zadovoljavanje društvenih potreba, osobito onih u području rada i opće kvalitete života. Znanje i prateća tehnološka rješenja središnji su resurs na kojem počiva društveno blagostanje. Rast blagostanja, zapravo, temelji se na znanstvenicima koji stvaraju i primjenjuju novo znanje te ga prenose budućim generacijama. Postojeća razina kompetentnosti, kreativnosti, djelotvornosti, odgovornosti i kompetitivnosti znanstvenog rada u Republici Hrvatskoj, unatoč znatnim osobnim postignućima, ne odgovara potrebama ubrzanog društvenog razvoja. Bez hitnih i opsežnih promjena sadašnja razina stvaranja, primjene i širenja novog znanja ne omogućava ostvarivanje blagostanja. U tom smislu, zakonska, organizacijska i financijska reforma sustava znanosti, i njezinog istraživačkog i obrazovnog dijela, uvjet je održanja Republike Hrvatske u civilizacijskom prostoru Europe i razvijenog svijeta. Mi budućnost Hrvatske vidimo među razvijenim zemljama Europe i svijeta, a danas nema nijedne zemlje koja bi svojim građanima jamčila blagostanje, demokraciju i ljudska prava, a da nije poklonila najveću pažnju razvoju znanosti i izobrazbe.

Sve nam to posredno, svojim životom, i neposredno, svojim djelom, poručuje i danas na ovome mjestu Ruđer Bošković. Njegova izvrsnost, predanost i europska utemeljenost poruka su i poziv našoj generaciji, a njegova stalna aktualnost i genijalnost naš su podstrek.

Govor predsjednika Hrvatskog sabora Luke Bebića



*Predsjednik Hrvatskoga sabora
Luka Bebić govori
na svečanoj proslavi*

O Ruđeru Boškoviću, njegovom životu i djelu, rečeno je i napisano doista mnogo. Pa ipak, ni tri stoljeća nakon njegovog rođenja on nas ne prestaje oduševljavati, i koliko god se činilo teškim reći nešto novo o njemu, Ruđer Bošković i danas predstavlja istinsko nadahnuće znanstvenicima, ali i široj javnosti.

Neosporno je da je Ruđer Bošković bio iznimna osoba, genij, kakvi se ri-

jetko rađaju i u daleko većim i naprednijim nacijama. Ono što nas možda najviše privlači njemu, njegova je polivalentna osobnost: po vokaciji je bio znanstvenik, istraživač i izumitelj, filozof, diplomat i književnik, svjetonazorski je bio kozmopolit, domoljub i veliki humanist.

Ja se neću upuštati u analizu i ocjenu njegovih velikih znanstvenih dostignuća, o tome će ionako malo kasnije govoriti njegovi cijenjeni kolege po struci. No, mislim da je ovo dobra prigoda da se svi zapitamo: što Ruđer Bošković znači za Hrvatsku danas?

Ruđer Bošković je jedan od hrvatskih velikana kojim se osobito ponosimo i koji Hrvatskoj donosi znatan ugled u svijetu. Bio je idealist predan znanosti i dobrobiti svijeta, pokretali su ga istinska znatiželja, ljubav prema istraživanju univerzuma i otkrivanju njegovih tajni. Njegova otkrića su donijela napredak cijelom čovječanstvu. Za to je, uz izniman talent, bilo potrebno i mnogo samoprijegornog rada, upornosti, kreativnosti te ponešto avanturističkog nemira.

Možemo slobodno ustvrditi da Ruđer Bošković utjelovljuje ostvarenje sna o uspjehu čovjeka iz male zemlje. Gledana kroz prizmu njegovog života i izvanrednih rezultata njegovog rada Hrvatska se predstavlja kao zemlja mudrih, upornih i svestranih ljudi. Kao svojevrsni "originalni proizvod" s ovih prostora, Ruđer Bošković nas čini prepoznatljivim i zanimljivim u današnjem globaliziranom svijetu.

Bez namjere da umanjujem nedvojbene uspjehe još relativno mlade hrvatske diplomacije, vjerujem da ćemo se svi uvijek lako usuglasiti oko toga da su hrvatski znanstvenici, zajedno s hrvatskim športašima, uvijek bili najbolji ambasadori svoje zemlje u svijetu, što je bilo naročito važno u vrijeme kada Hrvatska još nije ni postojala kao međunarodno priznata država.

Hrvatska je danas članica svih najvažnijih međunarodnih organizacija, a uskoro će se uključiti i u veliko europsko

društvo. Stoga se postavlja pitanje: želimo li iskoristiti ponuđene prilike, želimo li biti čimbenik, djelatni sudionik, pokretač ne samo u međunarodnoj politici, nego i na području gospodarstva, znanosti i kulture, ili ćemo biti tek pasivni promatrači i potrošači tuđih ideja i proizvoda?

Država se ne može razvijati na zadovoljavajući način niti napredovati ako njeno gospodarstvo počiva isključivo na trgovini, turizmu i građevinskoj djelatnosti. Ono po čemu prepoznajemo vodeće, najnaprednije nacije svijeta njihovi su proizvodi, prije svega s područja informatičkih i komunikacijskih tehnologija, energetike, ekologije, automobilske industrije, medicine, farmaceutike, svemirskih istraživanja... U razvoju proizvoda ključnu ulogu imaju znanstveno-istraživački rad i inovacija, koji u konačnici omogućuju širenje tržišta i gospodarski rast države. To je ona dodana vrijednost koju vodeće nacije svijeta, uz međunarodni ugled, crpe iz rezultata rada znanstvenika, bilo domaćih, bilo inozemnih koje su ugostili te im pružili nesmetane mogućnosti rada i djelovanja.

Niz je hrvatskih znanstvenika koji su uključeni u istraživačke i znanstvene projekte u prethodno spomenutim područjima, kako u zemlji tako i u inozemstvu. Idealno bi svakako bilo kada bi Hrvatska mogla svim svojim znanstvenicima ponuditi odgovarajuće uvjete za istraživanja tako da ne moraju, vođeni znanstveno-istraživačkim duhom, odlaziti u druge države, kao što je to bilo u slučaju Ruđera Boškovića. Međunarodnim priznanjima na temelju vlastitog rada hrvatski znanstvenici donose ugled svojoj domovini koju vole i koju ne zaboravljaju, čak i kada se njihova istraživanja odvijaju u inozemstvu. No, budimo iskreni, činjenica je da najčešće sve ostaje samo na ugledu.

Od prioritetnog je značaja da znanost u Hrvatskoj bude u središtu zanimanja svih odlučujućih društvenih čimbenika. Konsenzus države i gospodarskih subjekata u pogledu važnosti ulaganja u znanost jedini je put koji će našoj zemlji omogućiti da se probije među najnaprednije države koje pridonose napretku cjelokupnog čovječanstva. To je sveobuhvatni pothvat koji zahtijeva jako puno vremena, truda i prije svega vjere u uspjeh, ali su dobit i korist za društvo u cjelini mnogostruki, neprocjenjivi i trajni.

Želim zato ovom prigodom pohvaliti sve primjere ulaganja u znanost i istraživanja, bilo od strane države, bilo kada su sredstva za to odvojile privatne tvrtke. Bilo bi dakako poželjno da takvih ulaganja bude još i više, a ja čvrsto vjerujem da ćemo postupno, s vremenom uspjeti ostvariti i taj san. Hrvatska je bezbroj puta u svojoj povijesti dokazala da je zemlja nadarenih, marljivih, ustrajnih i odvažnih ljudi. Ovdje živi još mnogo Ruđera Boškovića koji tek čekaju biti otkriveni. Pružimo im stoga priliku da razviju svoje talente do maksimuma, čineći tako zadovoljstvo njima, a radeći na dobrobit cijele zemlje! Neka stoga 300. godišnjica rođenja Ruđera Boškovića bude svima nama poticaj za kvalitativni rast, za stremljenja vrhunskim rezultatima uvijek u službi čovjeka i dobra, za izgradnju konkurentnog gospodarstva i društva u cjelini! U tom duhu čestitam ovu značajnu obljetnicu i svim znanstvenicima želim mnogo uspjeha u njihovom radu!

Govor predsjednika Republike Hrvatske prof. dr. sc. Ive Josipovića

Drago mi je da vas mogu danas ovdje pozdraviti na obilježavanju 300-te obljetnice rođenja Ruđera Boškovića, velikog čovjeka, znanstvenika i humanista, koji je svojim djelom zadužio čitavo čovječanstvo. Bio je jedan od vodećih mislilaca svoga vremena i jedan od začetnika moderne znanosti. Ostavio je dubok trag u intelektualnim krugovima tadašnje Europe. Njegove ideje su nadahnuće znanstvenicima sve do danas.

U osobi Ruđera Boškovića bili su na renesansni način ujedinjeni – odani pripadnik reda Družbe Isusove, teolog, filozof, matematičar, fizičar, inženjer, astronom, arheolog, pjesnik, putopisac i diplomat. Bio je profesor na poznatim europskim sveučilištima i član mnogih europskih akademija znanosti, u Londonu, Parizu, Berlinu i Sankt Petersburgu. Njegova svestranost se vidi i po dijapazonu različitih istraživačkih tema i vizionarskih poduhvata kojima se bavio: gradio je mostove, ceste, vodovode, uredio rijeku Tiber, isušivao močvare, popravljao kupolu sv. Petra u Rimu, izmjerio meridijanski luk između Rima i Riminija, utemeljio zvjezdarnicu u Milanu, izumio dalekozor punjen vodom, optički mikrometar, sanjao probijanje Sueskog kanala i smijao se onima koji su ga zbog toga kritizirali.

Postojeći zapisi o Ruđeru Boškoviću svjedoče da je bio maštovit i duhovit, govorili su za njega da je *tuto fuoco* (sama vatra), najnemirniji mozak na svijetu i vrlo tvrdoglav. Volio je grčku i rimsku kulturu, osobito antičku mitologiju, smatrajući da nije nedostojna kršćanina i vjernika i bio je veliki zaljubljenik u glazbu. Ima pravde u tome što je naš veliki majstor Papandopulo posvetio velikom Ruđeru svoju skladbu.

Kao svi veliki ljudi i Ruđer Bošković je bio ispred svoga vremena, ali i sputan njegovim ograničenjima. Njegova osobna drama odvijala se između pripadnosti i poslušnosti isusovačkom redu i Crkvi i njegova filozofskog i znanstvenog uvjerenja i znanstvene imaginacije. Iskreno i srcem odan isusovačkom redu, uporno je tragao za kompromisnim rješenjem između učenja Crkve o mirovanju Zemlje i suvremenih znanstvenih rezultata, osobito Newtonove fizike.

Iako je još kao dječak napustio Dubrovnik, Ruđer Bošković bio je brojnim nitima vezan za rodni kraj. Smatrao je da je služenje domovini obaveza i čast. 1756. godine pisao je svome bratu da “dobru čovjeku najprva stvar na ovom svijetu ima biti rođeno mjesto služiti”. To je potvrđivao i djelom: obavljao je različite diplomatske poslove za Dubrovačku Republiku u razdobljima mira, ali i u razdobljima ratne opasnosti i izdaleka je slao pomoć i davao praktične savjete koji su služili unapređenju života u Republici.

Ako danas, kada obilježavamo tristotu godišnjicu njegova rođenja, razmotrimo poruke koje nam je ostavio u nasljeđe, vidjet ćemo da su vrlo aktualne. Vidjet ćemo da od njega, kako u znanstvenom, tako i u praktičnom i ljudskom smislu i danas trebamo učiti: znao je da su znanost i obrazovanje temelj napretka svakoga društva i pokazao vlastitim primjerom da se ljubav za domovinu ne mjeri riječima već djelima.

Gospođe i gospodo, razumijemo li mi danas tu poruku? Ulažemo li dovoljno u znanost i obrazovanje kao pokretače našega društva? Jesmo li u stanju – kako je nagovijestio predsjednik Sabora – prepoznati one Ruđere koji danas možda djeluju na Institutu Ruđer Bošković, na institutima i sveučilištima u Zagrebu, Rijeci, Dubrovniku, Splitu, Osijeku? Jesmo li im spremni pružiti sve ono što je potrebno?

Mislim da je i ovo trenutak da razmislimo o toj temi, da razmislimo o tome da li su one brojke u proračunu koje se svake godine izdvajaju za znanost i obrazovanje dovoljne. Da li je naša pozornost, naše poštovanje uvijek dovoljno posvećeno onima koji cijeli svoj život uporno i marljivo rade uz knjige, neki mikroskop ili kompjuter?

Osobno mislim da ne činimo dovoljno. To je naša zajednička odgovornost i zato danas, kada se sjećamo Ruđera Boškovića, obećajmo sami sebi da možemo bolje, da smo razumjeli da su znanost i obrazovanje motor suvremenog društva. Ona društva koja to ne budu prepoznala ostat će u pećku bez obzira na formalno članstvo u Europskoj Uniji.

Upravo zato istaknuo bih da je vrijednost nasljeđa koje je Ruđer Bošković ostavio svojoj zemlji, Europi i svijetu nemjerljiva. Bio je vizionar i sanjar – želio je poboljšati svijet i unaprijediti kontekst svoje tri temeljne pripadnosti: znanosti, Crkvi i Domovini.



Predsjednik Republike Hrvatske prof. dr. sc. Ivo Josipović govori na svečanoj proslavi

Bošković i tehničke znanosti

1. Uvod

O slavnom i svjetski poznatom hrvatskom znanstveniku Ruđeru Josipu Boškoviću i njegovu djelu mnogo je dosad napisanih stranica. Bio je znanstvenik širokog polja djelovanja: filozof, matematičar, fizičar, astronom, geodet, konstruktor instrumenata, hidrotehničar, statičar, arheolog, a uz sve to i književnik i diplomat. Pripremajući se za obilježavanje 300. godišnjice njegova rođenja prisjetili smo se u Tehničkim znanostima (2008, Vol. 15, No. 1) ukratko njegova života i djelovanja s posebnim naglaskom na njegov doprinos tehnici. Nakon svečanog obilježavanja te obljetnice sigurno smo još nešto naučili, saznali ili otkrili o našem slavnom prethodniku. To se posebno odnosi na tehničke znanosti, jedno od područja Boškovićeve djelovanja, pa je ovo dobra prigoda da o tome ostane pisani trag koji će onima koji dolaze nakon nas pomoći u istraživanju života i rada toga velikana hrvatske znanosti.

U pripremi teksta koji slijedi znatno su mi pomogli rukopisi koje navodim u popisu literature, a koji su nastali tijekom 2011. godine pri pripremi *Boškovićeve leksikona* što ga uređuje A. Bogutovac, a izdaje Leksikografski zavod "Miroslav Krleža" te monografije *Ruđer Bošković i geoznanosti* pod mojim uredništvom, a u izdanju Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i Matice hrvatske.

2. Ruđer Bošković usavršitelj i izumitelj instrumenata i predlagatelj novih metoda mjerenja i provjere instrumenata

Kao što je Bošković nastojao svaku pretpostavku temeljito razmotriti i podvrći je kritici, isto tako analizirao je i razvijao metode mjerenja i rektifikacije instrumenata, te konstruirao nove i poboljšavao mjerne sprave kojima se služio u neposrednim istraživačkim i stručnim zadacima u astronomiji, geodeziji ili optici.

Većina onodobnih astronomskih i geodetskih opažanja (mjerenja) obavljana su s pomoću nekoliko instrumenata: dalekozor s mikrometrom (za određivanje međusobnih relativnih položaja nebeskih tijela), ura njihalice (za mjerenje vremena), kvadrant (za mjerenje kutova), sektor (za određivanje zenitnih daljina zvijezda) i geodetska mjerna letva (za mjerenje duljine).

Astronomska opažanja Sunčevih pjega i određivanje Sunčeve rotacije, motrenja prolaza Merkura ispred Sunčeva diska, motrenje kometa, pomrčina Sunca i Mjeseca, Jupiterovih satelita kao i geodetska mjerenja sa svrhom izmjere dva stupnja meridijana (Rim–Rimini) poticala su Boškovića na sustavna ispitivanja i razvoj novih instrumenata i metoda mjerenja. Poticajne su i obaveze koje je preuzimao: izgradnja i opremanje nove zvjezdarnice u Breri ili obveze ravnatelja optičkih istraživanja u francuskoj ratnoj mornarici. U tom je razdoblju (1736–1782), prema Boškovićevim izvornim konstrukcijama, izrađeno nekoliko novih instrumenata počev od kružnog mikrometra,

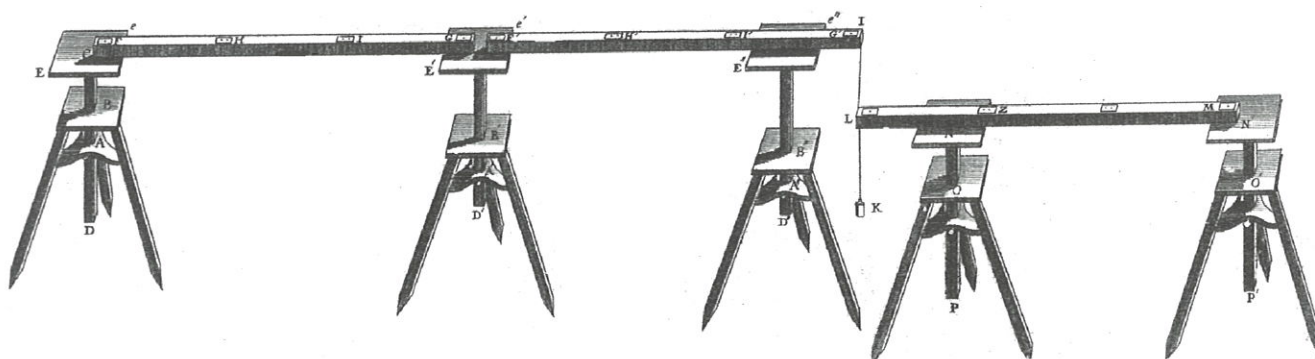
geodetskih stalaka, vitrometra do dalekozora napunjena vodom. A pri izradi geodetske mjerne letve, kvadranta, sektora, ure njihalice i optičkog mikrometra Bošković je predložio značajne izvorne promjene i poboljšanja.

U razdoblju nakon završenog studija filozofije, od 1732., Bošković intenzivno izučava Newtonovu prirodnu filozofiju i počinje objavljivati znanstvene i stručne rasprave iz astronomije te opaža astronomske pojave i događaje (Sunčeve pjege, prolaz Merkura ispred Sunca, pomrčine Sunca i Mjeseca i drugo). U doba studija teologije, ponukan praktičnim problemima pri praćenju kometa u svibnju 1739., počinje se Bošković baviti instrumentima.

2.1. Kružni mikrometar

Umjesto da određuje relativne položaje kometa u odnosu na položaje poznatih zvijezda stajačica s pomoću dalekozora s mikrometrom, Bošković predlaže jednostavniju metodu određivanja relativnih položaja u vidnom polju dalekozora bez posebnog mikrometra. Iz mjerenja vremena ulaza i izlaza nekog nebeskog tijela (npr. kometa) i zvijezde poznatih koordinata (α , δ) u vidno polje dalekozora moguće je izračunati razliku vremena ulaza (izlaza) između zvijezde i kometa, a prema tome i njegovu rektascenziju (α). Tim postupkom moguće je odrediti i razliku deklinacija (δ) kao i promjer vidnoga polja (Marković 1968). U raspravi *De novo telescopii usu ad objecta coelestia determinanda* (O novoj upotrebi dalekozora za određivanje nebeskih objekata) iz kolovoza iste godine Bošković opisuje svoju metodu i konstrukciju kružnog mikrometra.

Ta je Boškovićeve rasprava najstarija publikacija o kružnom mikrometru, pa je prema tome Bošković najvjerojatnije izumitelj kružnog mikrometra. Bošković 1742. objavljuje tri rasprave (disertacije) od koji su dvije tematski vezane uz instrumente i metode opažanja. U disertaciji *De observationibus astronomicis et quo pertingat earundem certitudo* (O astronomskim opažanjima i dokle seže njihova pouzdanost) raspravlja o ondašnjim astronomskim instrumentima, načelima na kojima su konstruirani, provjeri (rektifikaciji), instrumentalnoj pouzdanosti i primjeni u astronomskim mjerenjima. Primjerice, Bošković razmatra veliku korist uporabe mikrometra i nabraja izvore pogrešaka pri takvim mjerenjima. Spominje i kvadrant i upozorava da i u mjerenju zenitnih daljina zvijezda treba biti oprezan jer su nedokazane hipoteze smjera sile teže i pitanje širenja svjetlosti. Pretpostavke u praktičnoj astronomiji na kojima se temelje astronomske metode opažanja analizira u disertaciji *Disquisitio in universam astronomiam* (Istraživanja cjelokupne astronomije). Pomrčina Mjeseca, krajem travnja 1744., povod je raspravi *Nova methodus adhibendi phasium observationes in eclipsibus lunaribus ...* (Nova metoda za primjenjivanje opažanja faza u Mjesečevim pomrčinama ...) u kojoj Bošković iznosi metodu određivanja početka, svršetka ili bilo koje druge faze pomrčine i određivanja promjera sjene i



Mjerna letva na Boškovićevim tronožnim stalcima

prividne brzine Mjesečeva središta pomoću četiriju mikrometarskih mjerenja pomračenog dijela Mjesečevog diska.

Premda je Bošković još 1739. godine razradio teoriju i predložio izvorne metode mjerenja kružnim mikrometrom, značajne uspjehe u konstrukciji i ispitivanju geodetskih, astronomskih i optičkih instrumenata postiže u razdoblju od 1750. do 1785. u epohi ručne izrade instrumenata.

2.2. Geodetski stalci i mjerna letva

Jedan od važnih problema u ondašnjem znanstvenom svijetu bilo je određivanje Zemljina oblika. Taj je problem ponukao i Boškovića, u početku na teorijske rasprave, a potom na konkretna mjerenja i potvrde ili odbacivanje pretpostavki. Od 1750. do 1752. sudjeluje u izmjeri duljine luka meridijana između Rima i Riminija. Tijekom izmjere, Bošković i pomoćnik mu Maire, inzistirali su na maksimalno ostvarivoj točnosti kako geodetskih mjerenja kutova i duljina tako i astronomskih određivanja zenitnih daljina zvijezda. Stoga je Bošković prije mjerenja morao poboljšati ondašnji ili konstruirati novi pribor za mjerenje duljina. Zbog neravnosti terena bilo je nemoguće dovoljno točno izmjeriti kraće duljine do nekoliko kilometara, a kamoli udaljenosti do stotinjak kilometara. Bošković dolazi na ideju da mjerne letve (motke) izdigne iznad tla postavljajući ih u horizontalan položaj u pravcu baze na, za to, posebno konstruirane tronožne stalke. Stalci su tako konstruirani da je podizanjem ili spuštanjem samo središnjeg dijela stalka omogućena jednostavna promjena visine ploče na koju se postavljaju mjerne letve.

Prema Boškovićevom nacrtu izrađene su od starih jarbola 1751. godine tri mjerne letve, svaka duljine 27 rimskih pedalja (5,994 m) s podjelom na svakih 9 pedalja (1,98 m). Krajevi letava (malo dalje od ruba) i podjele označene su mjedenim pločicama s rupicama. Usporedbu duljina mjernih letava pri mjerenju baze obavljao je Bošković s posebnim mjerilom od željeza duljine 9 pedalja, vodeći pritom računa o njegovu istezanju. Prvo je, na temelju poznatoga koeficijenta istezanja željeza i izmjerene temperature, izračunao istezanje željeza te odredio duljinu željeznog mjerila, a potom duljinu mjernih letava. Pri mjerenju duljina Bošković ne dozvoljava da se letve dodiruju. Razmak između mjernih letvi (između rubnih mesinganih pločica) mjerio je šestarom, a iznos očitavao na transverzalnemu mjerilu. Spojna mjesta letava, koje zbog terenskih neravnina nisu bile na istoj razini, postavljao je u vertikalni pra-

vac s pomoću viska. Horizontalnost stalaka i mjernih letava kontrolirana je libelama.

Prijašnja, a i kasnija mjerenja obavljana su "kontaktnim" mjernim letvama, čiji su krajevi određivali njezinu duljinu. Mjerenje s takvim letvama smanjivalo je točnost mjerenja baze, ma kako precizno postavljane jedna letva do druge.

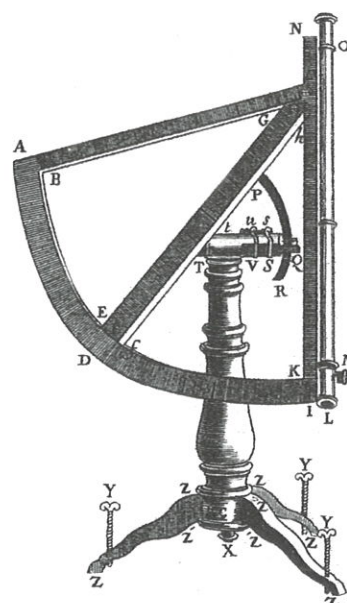
Premda su stalci konstruirani prema izvornoj Boškovićevoj zamisli, nepravедno su nazvani Gaussovima, jer su na Gaussov prijedlog uvedeni u geodetsku praksu.

2.3. Kružni kvadrant i zenitni sektor

Kako je primjenom triangulacije točnost mjerenja duljina umnogome prebačena na točnost mjerenja kutova morao je Bošković znatno poboljšati ondašnje ili konstruirati nove instrumente za mjerenje kutova. U to su doba kvadrant i sektor bili osnovni instrumenti za mjerenje kutova, s čijom je konstrukcijom Bošković bio upoznat. Bošković, međutim, poboljšava te instrumente dodajući im nova instrumentalna rješenja i ispituje njihovu točnost.

a) Kružni kvadrant

Za mjerenje kutova (horizontalnih pravaca) u triangulaciji u to se doba upotrebljavao kvadrant. Boškovićev je



Boškovićev kvadrant

kvadrant izrađen po uzoru na ondašnje kvadrante samo mu je poboljšana preciznost izrade pojedinih dijelova, i dodana neka vrsta mikrometra (izvorno Boškovićevo rješenje) radi povećanja točnosti očitavanja kutova.

b) Zenitni sektor

Položaje zvijezda (zenitne daljine) određuje Bošković temeljito rekonstruiranim sektorom u čiju je izradu dodao nekoliko svojih izvornih instrumentalnih rješenja, koja omogućuju postizanje, za ondašnje prilike, visoke točnosti. Pri izboru zvijezda vodio je računa o njihovim zenitnim daljinama ponajprije zbog instrumentalne uvjetovanosti, ali i što manjeg utjecaja astronomske refrakcije na mjerenja.

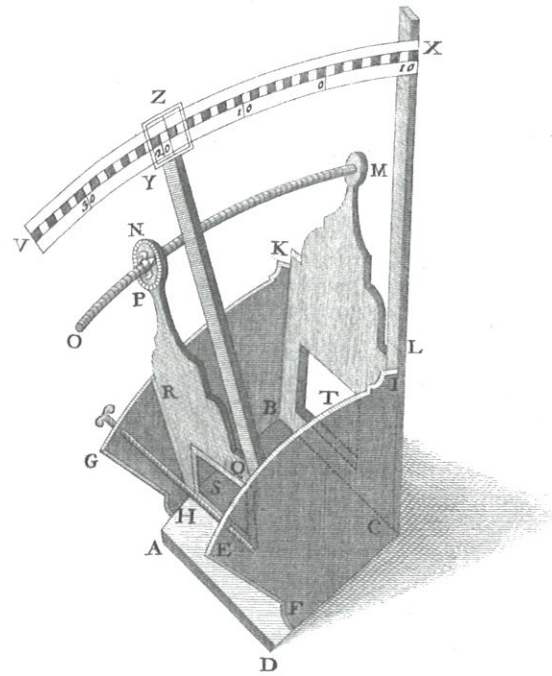
U četvrtoj knjizi izvješća objavljenog u Rimu 1755. godine u 5 knjiga pod naslovom *De litteraria expeditione per pontificiam ditionem ad dimetiendos duos meridiani gradus et corrigendam mappam geographicam (O znanstvenoj ekspediciji po Papinskoj državi sa svrhom da se izmjere dva stupnja meridijana i ispravi geografska karta)* Bošković obrađuje sve probleme/pitanja iz praktične astronomije i opisuje instrumente i pribor koji je upotrebljavao u geodetskoj i astronomskoj izmjeri meridijana Rim–Rimini. I kao što je istaknuto, svi su instrumenti izrađeni prema Boškovićevim idejama i nacrtima, značajno poboljšani s izvornim dodacima i konstrukcijskim rješenjima. Ujedno, Bošković u knjizi predlaže i nove načine rektifikacije instrumenata, iscrpno i kritički analizira pogreške koje mogu nastati pri mjerenju i predlaže postupke za njihovo smanjivanje ili uklanjanje.

Nakon iscrpnih i dugotrajnih mjerenja, a potom računanja i pisanja izvješća o rezultatima izmjere, te izdavanja 1758. godine svog kapitalnog djela *Philosophiae naturalis theoria redacta ad unicam legem virium in natura existentium (Teorija prirodne filozofije svedena na jedan jedini zakon sila koje postoje u prirodi)* Bošković i dalje istražuje, ali i putuje ondašnjom Europom. Tako je u međuvremenu, na temelju istraživanja iz optike, objavio 1755. raspravu *O lećama i dioptričkim dalekozorima (De lentibus et telescopiis dioptriciis)*. Iste je godine izradio i nekoliko sunčanih ura.

2.4. Boškovićev vitrometar

Vrativši se 1763. u Rim, nakon mnogobrojnih putovanja po Francuskoj, Engleskoj i Grčkoj, nenadano dobiva poziv iz Milana i počinje 1764. predavati na sveučilištu u Paviji. Na prijedlog rektora isusovačkog kolegija sv. Marije Bcerske prihvaća se Bošković osnivanja zvezdarnice u Breri. Izradio je sve nacрте, napisao program znanstvenih istraživanja i astronomskih motrenja, te predvidio astronomsku opremu opservatorija, ali i donio svoje vrijedne instrumente, kako bi brerska zvezdarnica postala jednom od najboljih u Europi.

Već od dolaska u Paviju, a osobito nakon izgradnje zvezdarnice, želeći na zvezdarnici organizirati znanstveno-istraživački rad, Bošković se intenzivno bavi istraživanjima leća i poboljšanjima optičkih sprava. Godine 1763. objavljuje prve dvije rasprave djela *Dissertationes quinque ad dioptricam pertinentes (Pet rasprava iz dioptrike)*



Boškovićev vitrometar

u kojima opisuje istraživanja pogrešaka što nastaju zbog debljine i kuglasta oblika leće te zbog različitih lomova svjetlosti.

Za određivanje indeksa loma i rasapa svjetlosti u lećama Bošković konstruira novu spravu nazvavši je vitrometar.

U prvoj inačici iz 1763. godine vitrometar ima dvije staklene prizme, jedna postavljena pod nepromjenljivim kutom, a druga, ispunjena vodom, s mogućnošću promjene nagiba. Promjenom nagiba druge prizme poništavao bi se lom svjetlosti. U drugoj, znatno usavršenoj inačici vitrometra iz 1773., prizmu ispunjenu vodom zamijenio je Abateovom staklenom prizmom promjenljiva kuta. Abatova se prizma sastojala od dvije leće (plankonkavne i plankonveksne) jednake zakrivljenosti. Zakrivljenim plohama prijanjaju leće jedna uz drugu, a ravnim osnovicama određuju kut priklona. Premda je Bošković na temelju mnogobrojnih eksperimenata s vitrometrom upozorio na dvije Newtonove pogrešne pretpostavke, vitrometar mu je ponajprije trebao za ispitivanje i usavršavanje akromatskih dalekozora.

2.5. Dalekozor s vodom

Godine 1766., a potom i 1773., Bošković predlaže pokus kojim bi se ustanovila narav svjetlosti, odnosno ustanovilo je li brzina svjetlosti veća ili manja u gušćem sredstvu. Ujedno bi se opažala aberacija svjetlosti. Bošković se, kao i Newton, zalagao za korpuskularnu prirodu svjetlosti, a prema tome brzina svjetlosti bi u gušćem sredstvu (npr. voda) morala biti veća, a aberacija manja. Za takav eksperiment zamislio je novu vrstu dalekozora u kojem je cijev ispunjena vodom – dalekozor s vodom.

Predloženi pokus, zbog financijskih razloga, Bošković nikada nije izveo. Međutim, u odsječku *Theoria, & constructio novi telescopii propositi* drugog sveska *Opera pertinentia ad opticam, et astronomiam* objavio je i

rastumačio teoriju i uporabu novoga dalekozora. Taj pokus i danas slovi kao *jedna od Boškovićevih najblistavijih zamisli*.

2.6. Ura njihalica

Bošković je 1769., prethodno razradivši novu vrstu ure njihalice, poboljšanu u odnosu na prijašnje, ponudio Kraljevskoj akademiji znanosti u Parizu svoju konstrukciju ure na prosudbu. Bošković je svojom konstrukcijom ure njihalice želio popraviti na novi i osjetljiviji način kompenzaciju ure zbog promjena temperature, te način dizanja/spuštanja središta oscilacije bez zaustavljanja ure. Osnovna je primjedba prosudbenoga povjerenstva da Bošković nije upućen u najnoviji razvoj urarstva, navodeći koja to konstrukcijska rješenja Boškovićeve ure njihalice nisu nova i nisu u skladu s ondašnjim teorijskim i praktičnim razvojem urarstva. Bošković iste godine odgovara prosudbenom povjerenstvu u tekstu *Descrizione d'un nuovo pendolo a correzione (Opis nove ure njihalice s korekcijom)* i prikazuje konstrukciju ure njihalice i njezine sastavne dijelove. Tekst je objavljen kao poglavlje u članku talijanskog fizičara G. Toalda.

2.7. Optički mikrometar (prizme s promjenljivim kutom, Boškovićeve prizme)

Boškovićevo dugogodišnje istraživanje i poboljšanje kvalitete astronomskih instrumenata i leća, uklanjanje njihovih pogrešaka i pogrešaka pri mjerenju nastavljeno je i nakon što postaje ravnateljem optičkih istraživanja u francuskoj ratnoj mornarici. Još dok je boravio u Breri konstruirao je novi instrument – vitrometar – za ispitivanja i usavršavanje akromatskih dalekozora. Ta je istraživanja nastavio i u Parizu, jer je francuska mornarica koristila akromatske dalekozore na svojim brodovima. Bošković se bavio i teorijskim istraživanjima i konstrukcijom novog optičkog mikrometra.

Potaknut izumom fizičara A. Rochona, koji je 1777. godine konstruirao mikrometar za mjerenje malih kutnih udaljenosti između Sunca i planeta kao i međusobnih udaljenosti zvijezda, Bošković predlaže da se prizma od gorskoga kristala (čistog quartza), kao u Rochonovoj konstrukciji, zamijeni prizmom od običnog stakla uz uvjet da je prizma manja od objektiva dalekozora. U takvom mikrometru slika jednog objekta nastaje neposredno, a slika drugog od zraka koje su prošle kroz prizmu. Bošković poboljšava i taj mikrometar upotrijebivši dvije prizme s kružnim osnovama, kasnije nazvane *Boškovićevim prizmama*, koje rotiraju oko zajedničke osi postavljajući ga u dalekozor između objektiva i žarišta. Taj je princip primijenio i Bosshardt (1920) za redukciju kosih duljina na horizont primjenom para jednakih prizama koje rotiraju u suprotnim smjerovima.

2.8. Boškovićev gravimetar

Bošković je zamislio i u raspravi *O nejednakosti sile teže na različitim mjestima Zemlje* (1741) opisao prototip gravimetra u kojem bi se utjecaj sile teže prenosio na uteg

preko elastičnoga pera i preko kotačića na kazaljku. Tu je bio ispred svojega vremena jer su se prvi suvremeni gravimetri pojavili tek u prvoj polovici XX. st. (L. LaCoste i A. Romberg, 1936).

3. Matematička i statistička obrada astronomskih i geodetskih mjerenja

Varićak (1910) opisujući Boškovića kao matematičara kaže: “I ako je on na pr. u filozofiji duh, koji se uzdiže visoko nad prividne pojave, što ih sjetilima zapažamo, – u matematici nije on prijatelj spekulacija. Ne izmišlja sam apstraktnih problema i ne gradi matematičkih kula na tankoj grani od oblaka, već se ponajviše trudi oko pitanja, koja su mu se sama i posve prirodno nametnula kod njegovih astronomskih i geodetskih poslova ili kod razmišljanja i fizikalnim problemima. Tako su poradi astronomskih specijalnih zadaća nastala njegova istraživanja i sfernoj trigonometriji; a u tome je zacijelo razlog, što se mnogo bavio i oko teorije konusnih presjeka. Geodezija ga je dovela do prvoga pokušaja i računu izravnavanja, što je igda učinjen. A jer je već prije mnogo razmišljao i utjecaju gorskih masa na njihalo, – na što se mora uzimati obzir kod mjerenja u geodeziji i astronomiji – rado se na prijedlog Montignyev zabavio oko problema tijela maksimalne atrakcije, i prvi ga riješio. Svojstva krive crte sinusoide ispituje sintetički stoga, što mu je ona trebala kod određivanja pojavljivanja i iščezavanja Saturnova prstena; na teškoće u pojmu pravca upozoruje raspravljajući i pravocrtnom širenju svjetlosti i t. d.

Dade se potanko dokumentirati, da se Bošković gotovo nikada ne bavi oko matematike zaradi matematike same; ona je njemu samo snažno pomoćno oruđe za ispitivanja u drugim područjima, pa je stoga oko njena usavršavanja nastojao. S tim ne stoji ni malo u protivuriječju ni to, što on govori na pr. i diskretnoj geometriji ili što u matematičkim radovima više puta nabacuje pitanje i postojanju ili nepostojanju neizmjerne velikoga; to su samo odbljesci njegovih filozofskih nazora.”

3.1. Sferna geometrija

Boškovićev prvi znanstveni doprinos matematici bila je rasprava *Trigonometriae sphaericae constructio (Konstrukcija sferne trigonometrije, 1737)*. U šest je propozicija ponudio rješenje za osnovne probleme sferne trigonometrije upotrijebivši grafičku konstrukciju, tj. prikaz odnosa među veličinama s pomoću crteža u ravnini.

Bošković se bavio sfernom trigonometrijom kako bi olakšao njezinu primjenu u astronomiji i geodeziji. Tu je raspravu s manjim izmjenama ponovno objavio u trećem svesku *Opera pertinentia ad opticam et astronomiam (Djela iz optike i astronomije, 1785)*. Istaknuo je da se u njoj prikazani postupci mogu korisno upotrijebiti kad nije potrebna velika točnost, odnosno za provjeru podataka dobivenih računskim putem.

U radu *Trigonometria sphaerica (Sferna trigonometrija, 1745)* Bošković je na 23 stranice sustavno raščlanio sfernu trigonometriju. U uvodu je naveo tri leme iz elementarne geometrije i definirao sferu, velike kružnice (prema

Boškoviću najveće kružnice), promjer, polove, sferni kut, sferni trokut i njegova svojstva. U prvom dijelu obradio je pravokutni sferni trokut, u drugome kosokutni, na kraju je dao pregledan popis 13 kanona (*canones*) i 3 pravila (*regulas*) koji su obuhvatili sve moguće slučajeve sfernih trokuta. Za razliku od svojeg djela iz 1737. u kojima se bavio grafičkim konstrukcijama, ovdje je izveo relacije koje vrijede među elementima trokuta. Bošković formule nije pisao simbolima, kao što je to danas uobičajeno, nego ih je opisivao riječima.

Taj je rad bio iste godine uvršten u udžbenik A. Tacqueta *Elementa Euclidea Geometriae planae ac solidae, et selecta ex Archimede Theoremata ejusdemque Trigonometria plana* (Euklidske osnove geometrije ravnine i čvrstih tijela te odabrani teoremi iz Arhimeda i njegova ravninska trigonometrija, 1745).

U prvom svesku djela *Elementorum universae matheseos* (Elementi sveukupne matematike, 1754) Bošković na 77 stranica s 13 slika donosi poglavlje *Trigonometrija* u kojem je dao osnove ravninske i sferne trigonometrije. Drugi svezak obuhvaća algebru. Najoriginalniji je treći svezak, koji sadrži teoriju konika i transformacija geometrijskih mjesta. U tom se svesku Bošković bavio i pitanjima neprekidnosti i beskonačnosti u geometrijskom kontekstu.

3.2. Boškovićeve diferencijalne formule sferne trigonometrije

Odnosi među elementima sfernog ili ravnog trokuta važni su pri ispitivanju pogrešaka mjerenja u astronomiji i geodeziji. Bošković je proučavao diferencijalne promjene elemenata (sfernog) trokuta u sklopu ispitivanja astronomskih instrumenata, što ga je zamislio i provodio kao ravnatelj Zvezdarnice u Breri. Oko 1770. izveo je četiri formule u kojima se diferencijalna promjena jednoga od šest elemenata bilo kojega trokuta (triju stranica i triju kutova) povezuje s diferencijalnim promjenama bilo koja tri od pet ostalih elemenata.

Izveo je formule koje je nazvao glavnim ili općim diferencijalnim formulama sferne trigonometrije. Članak o tome poslao je pariškoj *Académie des sciences* na objavljivanje početkom 1772. ali je, nažalost, povukao članak premda je bio prihvaćen za tisak, i objavio ga je tek u četvrtom svesku svojih *Opera pertinentia ad opticam, et astronomiam* pod naslovom *De formulis differentialibus trigonometriae / De formules differentielles de trigonometrie* (Djela koja se odnose na optiku i astronomiju pod naslovom *Formule diferencijalne trigonometrije*, 1785), gdje je napisao: "...kad imamo malu promjenu jednog od šest elemenata, najmanje tri od pet preostalih će se također malo promijeniti – ta promjena može utjecati na preostala četiri i čak na svih pet. Diferencijalne stranice ili kutova nazivam tim malim promjenama. Među tim diferencijalima postoji međusobna povezanost, s pomoću koje se jedne mogu odrediti u ovisnosti o drugima. Ta je veza izražena jednadžbama ili analogijama, kako se uzme. Ovdje ću dati formule koje sadrže te opće jednadžbe i način na koji one mogu poslužiti u pojedinim slučajevima s nekoliko primjera njihove primjene na probleme astronomije."

Bošković je glavne diferencijalne formule sferne trigonometrije izveo na dva načina: elementarnim geometrijskim razmatranjima i diferenciranjem odabranih relacija za sferni trokut. Te je formule uspješno primijenio na odabrane astronomske probleme u tom, ali i u drugim poglavljima djela *Opera pertinentia ad opticam, et astronomiam*.

Glavna je Boškovićeva zasluga u tome što je od velikoga broja formula koje povezuju diferencijalne elemente trokuta (Bošković ih je izbrojio 500) izabrao četiri, iz kojih lako proizlaze sve ostale formule.

Odgovor na pitanje zašto je odabrao baš te četiri formule dao je u uvodnom dijelu rasprave *O općoj ideji predmeta ove Opuscule* (*Idée générale de l'objet de cet Opuscule*) u kojem objašnjava da su moguća ova četiri slučaja: 1. tri stranice i jedan kut; 2. dvije stranice i dva kuta od kojih je jedan između tih dviju stranica; 3. dvije stranice i dva kuta njima nasuprot i 4. tri kuta i jedna stranica.

3.3. Bošković-Laplaceova metoda

Metoda procjenjivanja pogrešaka mjerenja i matematičkog uklanjanja njihova utjecaja na konačni rezultat mjerenja temelji se na Boškovićevim postavkama prema kojima podatke dobivene mjerenjima duljine meridijanskih lukova treba obraditi tako da: a) razlike stupnjeva meridijana budu proporcionalne razlikama sinusa versus ($\text{versin } x = 1 - \cos x$) dvostrukih geografskih širina, b) zbroj pozitivnih popravaka bude jednak zbroju negativnih popravaka (po apsolutnoj vrijednosti), c) zbroj apsolutnih vrijednosti svih popravaka bude što je moguće manji.

Boškovićevi prethodnici, npr. grčki astronomi Hiparh iz Nikeje i Ptolemej, astronomi T. Brahe, J. Kepler i G. Galilei, engleski matematičar R. Cotes, tražeći načine otklanjanja utjecaja pogrešaka mjerenja primjenjivali su izvjesne srednje vrijednosti ili aritmetičku sredinu kao temelj dobivanja najpouzdanijih vrijednosti. Nije bila objektivna ni metoda njemačkog astronoma T. Mayera, Boškovićeva suvremenika, jer je klasificiranje podataka u skupine koje se u njoj primjenjivalo ovisilo o kriteriju klasifikacije. Bošković je prvi predložio metodu utemeljenu na objektivnim kriterijima.

U prvom pokušaju pronalaženja Zemljina oblika usporedio je Bošković svoje mjerenje duljine luka jednoga stupnja meridijana između Rima i Riminija i četiri druga mjerenja koja je smatrao dovoljno točnima. Bila su to mjerenja provedena u Južnoj Americi u Quitou, na Rtu dobre nade u Južnoafričkoj Republici, u Parizu u Francuskoj i u finskoj pokrajini Laponiji. Želio je odrediti elipsoid koji bi bio u skladu sa svih pet izmjerenih meridijanskih stupnjeva. Do rješenja je najprije pokušavao doći kombinirajući dvije po dvije duljine meridijanskoga luka koje odgovaraju jednom stupnju geografske širine. Budući da taj postupak nije dao zadovoljavajuće rezultate, smislio je novi, koji je davao bolje procjene izmjerenih vrijednosti.

U sažetku djela *O znanstvenom putovanju po Papirskoj Državi u svrhu mjerenja dvaju meridijanskih stupnjeva i ispravljanja geografske karte* (1757) u četvrtom svesku *De Bononiensi scientiarum et artium Instituto atque Academia commentarii*, prvi put je detaljnije opisao svoj

postupak uklanjanja utjecaja pogrešaka na rezultate mjerenja. Opširnije ga je objasnio u čl. 395 u dopunama latinskim stihovima *Novije filozofije Benedikta Staya* (1760).

Istaknimo da Bošković-Laplaceova metoda nije ograničena u primjeni samo na procjenjivanje pogrešaka mjerenja i uklanjanje njihova utjecaja na rezultate mjerenja duljine luka meridijanskoga stupnja, nego se može primjenjivati na svaki srodan problem u kojem podaci slijede linearni odnos. Današnjim rječnikom može se reći da Bošković-Laplaceova metoda prilagođava položaj pravca skupu točaka ravnine (*Boškovićev pravac*) tako da zbroj svih odstupanja bude jednak nuli, i da pritom zbroj svih apsolutnih vrijednosti odstupanja bude najmanji moguć.

Boškovićeva i Maireovo djelo dopunjeno je i prevedeno s latinskoga na francuski pod nazivom *Voyage astronomique et géographique dans l'État de l'Église* (1770). U njemu je najpotpunije izložena Boškovićeva metoda uklanjanja utjecaja pogrešaka mjerenja na rezultat mjerenja u *Bilješki (Note)* na kraju petoga poglavlja, gdje je dan i primjer računanja u koji su bila uključena najnovija mjerenja.

Primjenu svoje metode Bošković je protumačio geometrijski, uz malo računanja i bez analitičkog pristupa, kojim bi se postupak opisao analitičkim matematičkim izrazima. Francuski matematičar P. S. de Laplace zainteresirao se za Boškovićev rad. Laplace se, među ostalim, u nekoliko navrata bavio problemom određivanja geometrijskog oblika Zemlje, a kroz to i Boškovićevom metodom uklanjanja utjecaja pogrešaka mjerenja, koju je prihvatio i razradio. U svojem djelu *O nekoliko točaka sustava svijeta (Sur quelques points du système du monde, 1789)*, Laplace je primijenio Boškovićevu metodu uklanjanja utjecaja pogrešaka mjerenja te dao njezin prvi analitički prikaz i izvod. Zahvaljujući tomu, metoda koju je izvorno osmislio Bošković naziva se Bošković-Laplaceovom metodom.

4. Bošković i geodezija, geologija i geofizika

4.1. Određivanje duljine meridijanskoga luka i definicija metra

U Boškovićeva doba znalo se da Zemlja nije kugla, ali nije bilo jasno je li ona spljoštena ili izdužena na polovima, pa je određivanje Zemljina oblika bilo važna znanstvena tema. Među prvim su Boškovićevim radovima oni o određivanju Zemljina oblika.

Bošković je pretpostavljao da je Zemljin oblik nepravilniji od rotacijskog elipsoida, tj. da meridijani nisu jednako dugački i da paralele nisu kružnice, a ta se pretpostavka mogla potkrijepiti mjerenjem duljina lukova različitih meridijana na približno istim geografskim širinama. Kako bi proveo takvo mjerenje, prvo je morao naći pokrovitelja. Papi Benediktu XIV. bila je potrebna nova točna karta Papinske Države, a kako se za izradu karte i za mjerenje duljine meridijana izvode donekle slična mjerenja, papa je postao pokrovitelj toga vrlo zahtjevna pothvata. Bilo je potrebno osmisliti geodetsku trigonometrijsku mrežu, postaviti i izmjeriti dvije baze te mreže, obaviti geodetska i

astronomska mjerenja kutova i na kraju sve izračunati i prikazati na karti.

Bošković do tada nije imao praktičnih iskustava s geodetskim mjerenjima. Međutim, bio je informiran o radovima svojih prethodnika i suvremenika, uočio je pogreške ili nedostatke u njihovim metodama mjerenja te ih nastojao otkloniti. Kako bi izbjegao nedostatke u mjerenju duljine baze geodetske trigonometrijske mreže, izumio je (1751) tronožne geodetske stalke. Tajnik *Académie des sciences* J.-J. Dortous de Mairan poslao mu je mjernu letvu pariških akademika, dugačku jedan toaz (oko 1,95 m) i izrađenu od željeza, na kojoj su bile ucrtane manje mjerne jedinice: stope, palci i dijelovi palca. Izravno izmjerena duljina rimske baze razlikovala se samo za jedan korak od duljine rimske baze izračunane iz trigonometrijske mreže počevši s duljinom riminske baze, što pokazuje da su svi geodetski radovi izvedeni vrlo precizno.

Za određivanje duljine meridijanskoga luka između Rima i Riminija Bošković se poslužio trigonometrijskim lancem koji se sastojao od 11 trokuta na udaljenosti od gotovo 240 km. Pritom je najkraća stranica trokuta iznosila 22,79 km, a najdulja 68,27 km. Trigonometrijski lanac postavljen je tako da je prva točka prolazila vrhom kupole bazilike sv. Petra u Rimu. Kutovi u trokutima mjereni su kvadrantom polumjera 3 pariške stope (oko 90 cm), a zatim su svedeni na horizont. U radionici *Collegium Romanum* izrađen je mikrometar koji je Bošković pridodao kvadrantu radi povećanja točnosti očitavanja kutova. Sva računanja trigonometrijske mreže izvedena su od riminske baze, koja se nalazila na maloj nadmorskoj visini tako da njezinu duljinu nije trebalo reducirati na razinu mora. Duljina rimske baze služila je za kontrolu točnosti mjerenja i računa. Astronomska i geodetska mjerenja uzduž meridijana Rim–Rimini Bošković i Ch. Maire izvodili su dvije godine. Bošković i Maire obrađivali su rezultate još gotovo tri godine. Preciznim astronomskim mjerenjima dobili su da srednja vrijednost nebeskoga luka između Riminija i Rima iznosi $2^{\circ}09'47,0''$, tj. da (nakon uvođenja manjih korekcija) duljina jednoga stupnja luka meridijana Rim–Rimini iznosi 56 979 toaza.

Rezultati toga velikog istraživanja, koje je započeo i idejno vodio Bošković, vrlo su detaljno opisani u opsežnom znanstvenom izvješću napisanom u 5 knjiga *O znanstvenom putovanju po Papinskoj Državi u svrhu mjerenja dvaju meridijanskih stupnjeva i ispravljanja geografske karte* (1755). Glavni rezultati objavljeni su još tri puta: 1757. u sažetom izvješću za časopis Bolonjske akademije, koje je prevedeno s latinskoga na hrvatski i objavljeno u Zagrebu 1961., zatim 1760. u dopuni uz spjev B. Staya *Novija filozofija Benedikta Staya* i 1770. u francuskom prijevodu *Voyage astronomique et géographique dans l'État de l'Église*. Zahvaljujući tomu, o izmjeri meridijanskoga luka Rim–Rimini danas postoji opsežna i detaljna dokumentacija kakva ne postoji ni o jednoj drugoj izmjeri meridijanskoga luka.

U tim radovima Bošković i Maire su dokazali da se duljina jednoga stupnja meridijanskoga luka Rim–Rimini izmjenjena na srednjoj geografskoj širini od 43° razlikuje za čak 69 toaza od duljine pariškoga meridijana kako su je odredili C.-F. Cassini de Thury i N. L. de Lacaille na

srednjoj geografskoj širini od $43^{\circ}31'$. Teorijski je razlika zbog razlike geografskih širina mogla biti svega 8 toaza. Bošković je analizirao i pogreške u izvođenju mjerenja te je došao do zaključka da one nisu mogle biti tako velike da bi razlika iznosila 69 toaza. Dobiveni rezultati potvrdili su Boškovićevu pretpostavku da je Zemlja složenijeg oblika od rotacijskog elipsoida. Bošković je prvi znanstvenik koji je tu pretpostavku izrekao, a potom i dokazao.

Bošković je nastojao da se mjerenja meridijanskoga luka izvedu i u drugim zemljama. Njegovim je zauzimanjem na dvoru carice Marije Terezije omogućeno austrijskom astronomu J. Liesganigu mjerenje duljine meridijanskoga luka u Ugarskoj. Tako su obavljena mjerenja duljina dva-ju lukova: od Varaždina do Brna i od Czuroka (Čuruga, Vojvodina) do Kisteleka (Mađarska) u razdoblju od 1760. do 1768. Na Boškovićev poticaj izmjerena je duljina meridijanskoga luka u Piemontu (1759). Kad je Bošković boravio u Engleskoj, razložio je u *Royal Society* kakva bi bila korist za znanost kad bi se takva mjerenja izvela i u Americi. Nakon toga su engleski astronom Charles Mason (1728–1786) i engleski istraživač i astronom Jeremiah Dixon (1733–1779) uz mjerenja u Sjevernoj Americi zbog razgraničenja i uspostave crte koja se danas zove *Mason–Dixon Line* izmjerili i duljinu luka meridijana.

Četrdeset godina nakon Boškovićevih mjerenja duljine meridijanskoga luka (1793) francuska je Narodna skupština na prijedlog povjerenstva pariške *Académie des sciences* zaključila da se u svrhu uvođenja jedinstvenih i točnih mjera za duljine uzme desetmilijuntni dio kvadranta Zemljina meridijana. Ta je duljina, “*prirodna i za sve narode stalna i nepromjenljiva*”, nazvana metrom. Francuski znanstvenici nisu uzeli u obzir pogreške mjerenja i njihov utjecaj na krajnji rezultat ni Boškovićev dokaz da svi meridijani nisu jednako dugi.

4.2. Zemljin oblik

Kad kažemo *Zemljin oblik* nije odmah jasno što pod tim mislimo. U geoznanostima je prihvaćena definicija Zemljina oblika ili geoida prema kojoj je to ploha stalnoga potencijala Zemljine sile teže koja najbolje aproksimira srednju razinu mora. U svakoj točki ona je okomita na smjer sile teže. Zbog nepravilnosti u rasporedu Zemljine tvari i njezine različite gustoće ta je ploha glatka, ali nepravilna i valovita. Budući da se geodeti i astronomi pri postavljanju mjernih instrumenata u horizontalan položaj služe viskom, važno im je što točnije poznavati Zemljin oblik.

Zemljinu unutarnju strukturu Bošković je povezao s oblikom Zemljine površine u djelima *O dokazima starih za sferni oblik Zemlje* (1739), *Rasprava o Zemljinu obliku* (1739) i *O nejednakosti sile teže na različitim mjestima Zemlje* (1741). U djelu *O znanstvenom putovanju po Papinskoj Državi u svrhu mjerenja dvaju meridijanskih stupnjeva i ispravljanja geografske karte* (1755), pisao je o geoidu premda nije upotrebljavao taj naziv, koji je u geoznanosti uveden stoljeće poslije: “... *naziv Zemljin oblik, koji naoko ima neko stalno i određeno značenje, u stvari ima značenje veoma nestalno i nejasno. Površina koja ograničava mora, jezera i rijeke, brda, polja i doline, doista je,*

bar za mene, vrlo nepravilna, pa čak i nestalna, jer se na bilo koji način mijenja svakim pokretanjem valova i Zemljinih gruda. No oni, koji ispituju Zemljin oblik, ne raspravljaju o tom njezinom obliku. Mjesto njega uzimaju drugi oblik, koji je nekako pravilan i vrlo blizak onom spomenutom, što bi se dobio kad bi mu se brda i brežuljci sravnili s tlom, a doline ispunile. Ali i taj je pojam Zemljina oblika opet vrlo nejasan i nestalan. Kao što su naime bezbrojne vrste pravilnih krivulja koje mogu prolaziti kroz dani broj danih točaka, tako su bezbrojne vrste pravilnih ploha koje mogu obavijati i zatvarati Zemlju na taj način da u danim točkama dodiruju ili sva ili dana brda i brežuljke. Ili ako neka ploha mora tako prolaziti kroz sredinu brežuljka i brda, da bude pravilna i da izvana isključiti isto toliko materije, koliko ispod sebe uključuje praznog zraka, dok se ne dođe do one prave, za mene nepravilne, Zemljine plohe, koju vidimo, isto tako mogu se dobiti bezbrojne i međusobno vrlo različite plohe, koje zadovoljavaju problem. One mogu biti čak takve, da ne pokazuju nikakvu zamjetljivu grbavost, a ni ta riječ ne sadržava tako određen pojam. (...) Što onda, ako je nepravilnost Zemljina oblika tolika – a to je slobodno naslućivati na temelju onoga, što smo prije kazali – da su i sami meridijani nejednaki i da se paralele ne podudaraju s kružnicama?”

Objašnjavajući svrhu izmjere duljine meridijanskoga luka u Papinskoj Državi 1750., Bošković je napisao: “*Već odavno u meni se duboko bilo usadilo nagađanje o nepravilnosti, koju bi u Zemljin oblik mogao unijeti nejednak splet njezinih dijelova. Ako je takva nejednakost golema i ako se nalazi čak u dijelovima vrlo udaljenim od Zemljine površine, isto će tako golema morati biti i ta nepravilnost. Ako je pak nejednakost neznatna i u blizini površine, kao što su sama brda i doline, pouzrokovat će u obliku neznatnu neravnost, ali će pobrkati sav postupak kojim se za određivanje oblika uzimaju stupnjevi*”.

Prilikom izmjere duljine meridijanskoga luka Bošković je opazio da je djelovanje privlačnih sila gorskih masa na otklon viska astronomskih i geodetskih instrumenata znatno manje od očekivanoga pa je zaključio da su planine šuplje. Slična neslaganja između očekivanih i izmjerenih otklona viska opažena su na ekspediciji triangulacije Andi 1735., a objavio ih je francuski geofizičar P. Bouguer 1749.

U Boškovićevu radu *O znanstvenom putovanju...* prvi put je u razmatranjima o građi Zemlje upotrijebljen pojam kompenzacije: “*Mislim da je gore izdiglo uglavnom toplinsko širenje tvari u dubini (...). Praznina koja time nastaje unutar gora kompenzira nagomilane tvari tvari koje se nalaze nad njima*”.

Zamisao o kompenzaciji masa Bošković je upotrijebio u raspravi *O astronomskim opažanjima i dosezima njihove pouzdanosti* (1742) razmatrajući plime i oseke uz pretpostavku o srednjoj gustoći Zemlje; pritom je smatrao da se težina čvrstih dijelova Zemlje kompenzira podzemnim špiljama i praznim međuprostorima. To je na tragu L. da Vincija, koji je smatrao da sama krutost kore nije dovoljna da izdrži golem pritisak planinskih masiva, te je zagovarao potrebu drugačijeg objašnjenja.

U *Djelima koja se odnose na optiku i astronomiju* (1785) Bošković je tumačio da su unutrašnji Zemljini dijelovi gušći od vanjskih, koristeći pojam kore, nagovješćujući pojmove izostatičke plohe, i diskontinuiteta: "...iz maloga djelovanja što ga i goleme gore vrše otklanjanjem niti njihala u astronomskim instrumentima, za koje je doduše nađeno da postoji, ali je sitno, čini se da se može izvesti da je gustoća Zemlje u većoj dubini ispod površine mnogo veća nego blizu površine same; premda bi to moglo potjecati i odatle što gore imaju goleme šupljine u svom krilu. Većina njih, a možda i sve, potječu od zemaljskih slojeva silom uzdignutih djelovanjem nutarnjih ognjeva, ali u tom slučaju njihova masa ne izvodi veće privlačenje nego bi ga izvodila prije svoga izdizanja; što pridolazi, samo je privlačna sila vodene mase koja se uvukla u preostale praznine i ispunila ih do neke visine, pa mora biti jedini uzrok onog malog otklona".

Osim što je prvi uveo pojam kompenzacije, Bošković je prvi upozorio na utjecaj razdiobe masa u Zemljinoj unutrašnjosti: "...otkloni viska prije potječu od utjecaja širokih površina kontinenata i mora nego od pojedinih bregova i da bi stoga mogli biti sustavnoga značaja".

Bošković je shvatio važnost gravimetrijske izmjere stoljeće prije tvorca prvih teorija izostazije (hidrostatske ravnoteže dijelova Zemljine kore i plašta). Izmjeru je proveo određivanjem duljine sekundnog njihala. Istaknuo je potrebu da se provedu sustavna mjerenja u što više točaka na kopnu i na moru. Zamislio je i prototip gravimetra (instrumenta za mjerenje jakosti sile teže, odnosno razlika njezinih vrijednosti) kojim bi se prenosio utjecaj sile teže na uteg tog aparata preko elastičnoga pera i kotačića na kazaljku koja bi pokazivala promjenu težine. Takav bi se instrument mogao smjestiti i na brodu, što bi omogućilo da se za vrijeme plovidbe mjeri iznos sile teže na više mjesta.

Neovisno o Boškoviću, rasprava britanskog matematičara J. H. Pratta 1854. o neslaganju izračunanoga i opažanoga otklona viska prilikom izmjere tzv. indijskog meridijana potaknula je engleskog matematičara G. B. Airyja 1855. da objavi teoriju izostazije – teoriju "o podržavanju velikih gorskih masa u hidrostatskoj ravnoteži nad donjim gušćim masama zemaljske magme, pri čemu dijeli zemaljsku koru od tih masa i omeđuje je s donje strane tzv. izostatičkom površinom". Prema Airyjevoj teoriji kompenzacije topografskih masa planine plutaju na tekućoj lavi veće gustoće, odnosno što je planina viša to dublje tone. Airyjeva zamisao nije odmah bila prihvaćena, a njome se nastavio baviti Pratt u svojim radovima; prema Prattu planine su se izdigle iz podzemlja slično fermentirajućem tijestu.

Postojanje izostatske plohe potvrđeno je tek početkom XX. st. analizom hodokrona potresa (grafa koji pokazuje ovisnost vremena putovanja opaženog potresnog vala o udaljenosti epicentra) hrvatskog seizmologa A. Mohorovičića te otkrićem granice između Zemljine kore i plašta (Mohorovičićev diskontinuitet ili Moho). Danas je potvrđeno da je veći dio Zemlje izostatski kompenziran.

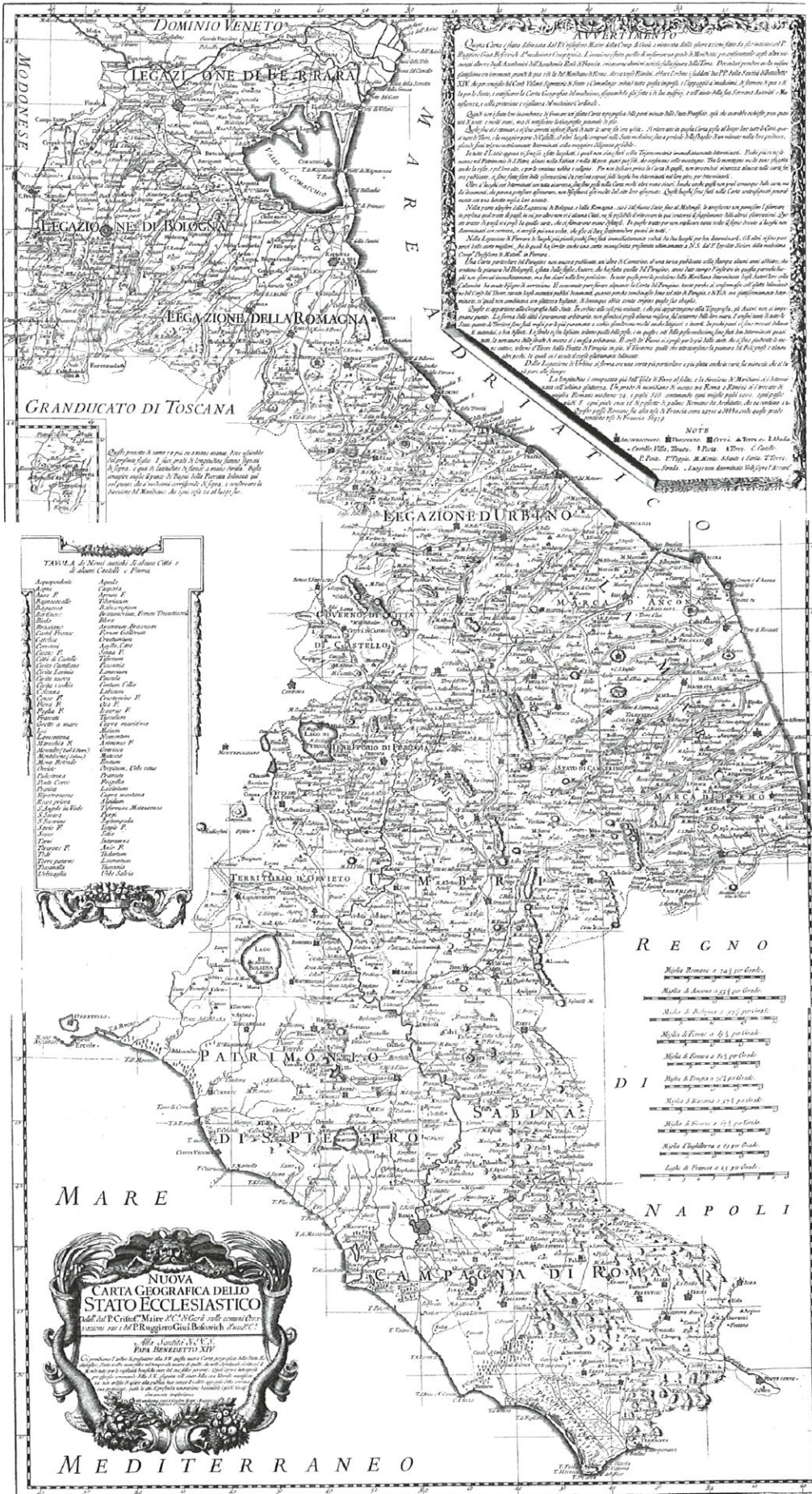
Slika. Boškovićev model odnosâ na površini i u dubini Zemlje te nadogradnje teorijom izostazije. Prema suvremenim spoznajama kontinentalna kora manje je gustoće (2700 do 3000 kg/m³) od oceanske kore (2900 do 3200 kg/m³), a veće prosječne debljine (oko 40 km) od oceanske kore (oko 7 km). Samo kruti dio Zemlje, koji se sastoji od oceanske ili kontinentalne kore i najplićega dijela Zemljina plašta, dijeli se u tektonske ploče.

5. Bošković i kartografija

Boškovićev suautorski rad na prvoj egzaktnoj karti Papinske Države među pretečama je hrvatske kartografije. Prvi je poticaj za geodetska mjerenja Boškoviću dao portugalski kralj Ivan V. pozivom da sudjeluje u izradi karte pograničnoga područja Brazila. Kako ga je zanimalo tada aktualni problem određivanja Zemljina oblika, Bošković je prihvatio poziv uz uvjet da mu se poslije završena posla na kraljev trošak omogući mjerenje jednoga meridijanskog stupnja u blizini ekvatora. Kardinalu S. V. Gonzagi, državnomu tajniku Svete Stolice i Boškovićevu prijatelju, nije se svidjela ideja da Bošković ode na tako dalek i nesiguran put te je ishodio nalog i sredstva pape Benedikta XIV. da umjesto u Brazilu Bošković izmjeri duljinu dvaju stupnjeva uzduž meridijana Rim – Rimini i popravi postojeću kartu Papinske Države.

Sa suradnikom, engleskim isusovcem, astronomom i kartografom Ch. Maireom Bošković je na terenskim radovima proveo dvije (1750–52) akademske godine. Rezultati su objavljeni u znanstvenom izvješću *O znanstvenom putovanju po Papinskoj Državi u svrhu mjerenja dvaju meridijanskih stupnjeva i ispravljanja geografske karte* (1755), koje je podijeljeno u pet knjiga. Prvu, četvrtu i petu knjigu napisao je Bošković, a drugu i treću Maire. U prvoj knjizi Bošković je iznio svrhu (određivanje oblika Zemlje), poteškoće (penjanje na kule, zvonike i gorske vrhove) i rezultate istraživanja. Treća knjiga *Prikaz onoga što je izvedeno da bi se ispravila karta Papinske Države (Enarratio eorum, quae ad corrigendam tabulam geographicam Ditionis Pontificiae peracta sunt)* u 25 poglavlja govori o radovima koji su prethodili izradi nove karte. Na njezinu se kraju nalazi popis 84 grada kojima su geografske širine i dužine određene trigonometrijski. Uz djelo je na tri lista tiskana *Nova geografska karta Crkvene Države (Nuova carta geografica dello Stato Ecclesiastico)*, koja zbog velikog formata nije bila uvezana u knjigu. Kartu je izradio Ch. Maire, a tekst na karti (*Avvertimento*) je Boškovićev.

Uz prikaz Papinske Države, koja je u doba izrade karte obuhvaćala područje današnje središnje Italije, na karti se nalaze četiri kartuše. U lijevom donjem kutu u kartuši je naslov karte s imenima autora i posvetom na talijanskom jeziku, u gornjem desnom kutu tekst *Napomene (Avvertimento)* na talijanskom jeziku i tumač znakova i kratica, s desne su strane grafička mjerila. U ukrašenoj kartuši, smještenoj uz okvir karte s lijeve strane, s *Popisom imena nekih starih gradova, dvoraca i rijeka (Tavola de' Nomi antichi di alcune e di alcune Città di alcuni Castelli e*



Kopija Nove karte Crkvene Države (Nuova carta geografica dello Stato Ecclesiastico, 1755), Zbirka Novak

Fiumi) imena su napisana usporedno na talijanskom i latinskom jeziku.

Za razliku od latinskog izdanja geodetskog izvješća, u francuskom prijevodu karta Crkvene Države (*Carte de l'État de l'Église*) smanjena je na trećinu (mjerilo oko 1:1 122 000) i uvezana u knjigu te tako i očuvana u više primjeraka. U *Napomeni (Avertissement)* piše da je izrađena prema Boškovićevoj i Maireovoj *Novoj geografskoj karti Crkvene Države (Nuova carta geografica dello Stato Ecclesiastico)*. Sadrži samo 3 grafička mjerila, na kojima su mjerne jedinice za duljinu izražene u talijanskim i francuskim miljama te u milji koja nije imenovana, a karta ne sadrži tumač znakova i kratica, što korisnicima otežava uporabu.

6. Boškovićevi hidrotehnički radovi

Najpoznatiji Boškovićevi hidrotehnički radovi su: radovi s tîkom Tibera (u kojima analizira štete iznad Ponte Felice i ispod Ponte di Rustica), izvješća o razgledavanju štete i radovima sanacije u Porto di Magnavacca, izvješća *Scrittura* o uzrocima i štetama na uređajima u Fiumicinu nastalim zbog nabujalog Tibera 1750. i 1751. godine, hidrotehničke probleme rijeke Po, ispitivanje stanja bujica Caina i Nistore za Perugiu (1771), te ispitivanje stanja o bujici Tidone (1771) za Piacenzu. Za vojvodu od Modene, Bošković piše mišljenje o novim radovima koji su se izvodili na rijeci Panaro. U stručnom mišljenju o ušću Adige u more daje (1773) za mletačku Republiku, prijedlog metode obrambenih mjera koje sprječavaju eroziju. Godine 1757. izdaje Rimske "Scrittura" o vodama u raspravi s crkvom Sv. Agneze. Značajni su radovi i mjere za sanaciju luka, među kojima su najpoznatije mjere za sanaciju luka u Riminiju (1764) i Savoni (1771), dok su radovi u luci Jakina pod obalom Capo di Monte objavljeni 1774. Posebno neistraženo poglavlje Boškovićeve rada u hidrotehnici s njegovim podnescima pravne i stručne prirode izrađeni su za Republiku Luccu u sporu s Toscanom 1756. godine i kasnije.

Većina tih radova je objavljena, osim: procjena šteta nastalih na pritokama Fiumicina 1750/51. godine, mišljenja o močvarama uz Lago di Sesto koje nastaju izlivanjem rijeke Arno u graničnom pojasu Republike Luce i vojvodine Toscanne 1756. ili izvješće o fontanama u Perugiji 1772. koji su očuvani u rukopisu.

S kardinalom Simoneom Buonaccorsijem rekonoscirao je i istraživao močvarno područje Pontinskih močvara od 19. siječnja do 25. ožujka 1764. godine kada je proveo tri mjeseca na terenu obilazeći na konju i u čamcima. Na kraju je izradio izvještaj o tom velikom radu, međutim posao se nastavlja 1774. kada je boravio u Parizu, gdje sastavlja pravila za konzorcij tada osnovan za isušenje tih močvara.

Danas je poznato 17 hidrotehničkih radova u kojima je Bošković aktivno sudjelovao. Kronološkim redoslijedom to su:

- Procjena šteta nastalih na kolčanim ogradama Fiumicina, plavnog rukavca Tibera (1751)



**RUĐER
BOŠKOVIĆ**

REKONSTRUKCIJA KUPOLE
Svetog Petra u Vatikanu

PRVI DAN 13.9. 2011.

10101 ZAGREB

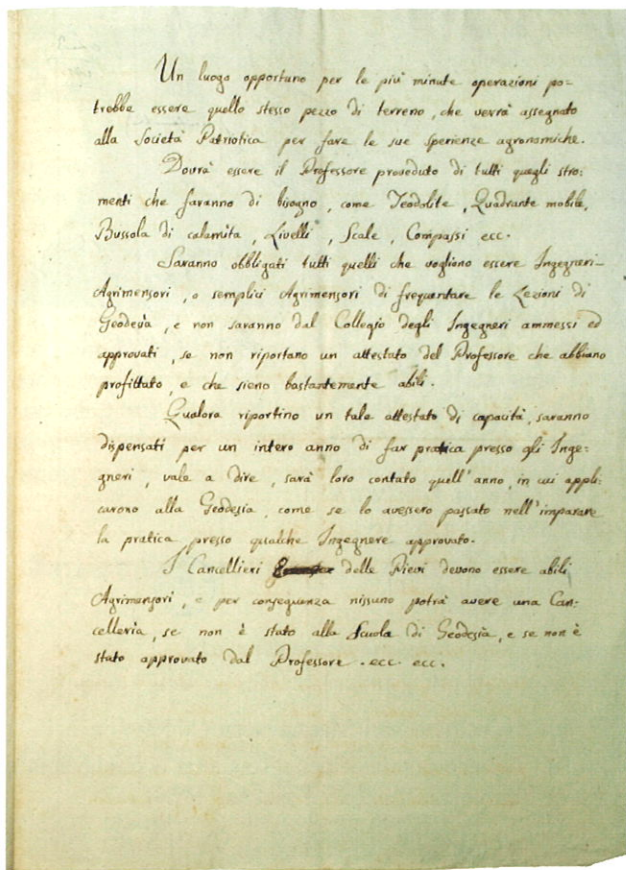


Prigodna poštanska marka

- Izvješće o posjetu luci Magnavacca (1752)
- Projekt Ozzeri, potaknut nesuglasticama o poplavama u graničnom pojasu Luce i Toscanne (1756)
- Izvješće o vodama u raspravi s crkvom Sv. Agneze (1757)
- Dio Boškovićeve pisma M. Clairautu o problemu teorije toka i oseka mora (1761)
- O učincima tri brane prema poplavi rijeke Po (1763)
- Plan za isušivanje Pontinskih močvara, s mišljenjem projekta koji su prethodno izradili Manfredi i Bertaglia (1764)
- Procjene uzroka šteta u luci Rimini uz prijedloge otklanjanja šteta (1764)
- Mišljenje o nasipima uz rijeku Po (1764)
- Pismo sa znanstvenom podlogom o načelima hidraulike u Lecchievu djelu *Idrostatica* (1765)
- Očevid bujica u okolici Perugie (1766)
- Izvješće o štetama luke Savoni, o uzrocima i popravcima (1771)
- Mišljenje o rijeci Tidone u Piacenzi (1771)
- Prijedlog obnove rada fontana u Perugiji (1772)
- Mišljenje o rijeci Adige i utoku u more s usporedbom prosudbi Antonija Lorgne i Šimuna Stratika o uređenju njezinog korita (1773)
- Ustroj povjerenstva kojem bi bio povjeren rad na isušivanju Pontinskih močvara (1774)
- Primjedbe na Ximenesov projekt novoga oteretnog kanala Nuovo Ozzeri u Lucci (1781)

7. Statičke ekspertize Ruđera Boškovića

Pukotine na kupoli crkve sv. Petra u Rimu potaknule su Boškovića 1742. godine da se pozabavi i problemima građevinske tehnike. Želeći zaštititi tu građevinu, papa je matematičarima Boškoviću, Jacquieru i Le Seureu povjerio



Rukopis Ruđera Boškovića

zadatak da ispitaju uzroke i predože rješenje. Na temelju istraživanja oni su objavili djelo *Mišljenje trojice matematičara o štetama koje su s enašle na kupoli sv. Petra (Parere di tre matematici sopra i danni, che si sono trovati nella cupola di S. Pietro)*. Na toj publikaciji nisu označena imena autora, ali je Bošković na kraju venecijanskog izdanja svoje *Teorije* 1763. godine napisao da je to djelo napisao on sam.

Neobično je što je o tehničkom problemu zatraženo mišljenje matematičara jer se dotad o građevinskim problemima raspravljalo samo na temelju iskustava, a zahvate na građevinama izvodili su arhitekti praktičari bezu ikakva teorijskog razmatranja. Mišljenje matematičara bilo je, međutim, sasvim drukčije od mišljenja arhitekata i temeljilo se na matematičkoj metodi. Takav put rješavanja građevinskih problema bio je potpuno revolucionaran i nepoznat u dotadašnjem graditeljstvu. Znajući da će izazvati reakciju i protivljenje tadašnjih arhitekata u predgovoru je istaknuto da iskustva dobivena na malom broju malih građevina nisu dovoljna, nego da se moraju primijeniti općenitija načela koja primjenjuje mehanika.

U matematičkom rješavanju toga problema Bošković se koristio grafičkom shemom prema kojoj se zaključivalo o napredovanju pukotina. Na temelju te sheme zaključeno je da težina kupole proizvodi bočnu silu koja njezinu podlogu potiskuje prema vanjskoj strani. Kako bi se to spriječilo, predloženo je da se u kupolu ugrade novi obruči. Premda su rad Boškovića i njegovih suradnika neki autori kritizirali, već 1743. i 1744. godine arhitekti su na kupoli sv. Petra ugradili još pet željeznih obruča, upravo onako

kako je to zamislio Bošković na temelju matematičke teorije.

Nakon toga Bošković se još nekoliko puta upustio u rješavanje građevinskih problema. Istraživao je nosivost stupova u crkvi St. Géneviève u Parizu, zatim kupolu katedrale u Milanu i oštećenja na dvorskoj knjižnici u Beču.

8. Boškovićev prijedlog za osnivanje geodetske škole

Boškovićevi mnogobrojni radovi s područja matematike, astronomije, optike i fizike zadiru u geodeziju i bili su znatan prinos njezinu razvoju, a njegova geodetska istraživanja pridonijela su razvoju kartografije, geofizike i matematike. Bošković nije imao formalnu geodetsku naobrazbu, no smatrao je da je ona potrebna pa je oko 1770. predložio osnivanje i nastavni program geodetske škole u Milanu. Prijepis rukopisa *Projekt geodetske škole (Progetto per una Scuola di Geodesia)* objavljen je 1931. pod naslovom *Boškovićeva osnova za geodetsku školu u Milanu*, a danas se rukopis čuva u Državnom arhivu u Milanu (Zbirka autografa, pretinac br. 115). Budući da se o školovanju geodeta u Boškovićevu doba vrlo malo zna, taj je rukopis iznimno važan, kao i njegov cjelokupan doprinos geodeziji koji još uvijek nije dovoljno poznat široj javnosti.

Literatura

- Granić, G. (urednik, 2011): 300-ta godišnjica rođenja Ruđera Boškovića, Program središnje svečane proslave, Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa, Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, Zagreb.
- Lapaine, M. (2008): Ruđer Josip Bošković – Toward the 300th Anniversary of his Birth. *Engineering Power*, 2008, Vol. 7, No.1, 1-2. / Ruđer Josip Bošković – u susret 300. godišnjici rođenja, *Tehničke znanosti*, 2008, Vol. 15, No. 1, 1-2.
- Lapaine, M. (2011): Bošković-Laplaceova metoda, Sferna trigonometrija, Boškovićeve diferencijalne formule sferne trigonometrije, Geodezija, Kartografija, Meridijanski luk, Zemljin oblik. Bit će objavljeno u Leksikonu Ruđera Boškovića, urednica A. Bogutovac.
- Lapaine, M., Kljajić, I. (2011): O Ruđeru Boškoviću i njegovu prijedlogu za osnivanje geodetske škole. Bit će objavljeno u *Geodetskom listu*.
- Malvić, T. (2011): Ruđer Bošković i izučavanje Zemljine građe. Bit će objavljeno u monografiji Ruđer Bošković, urednik M. Lapaine.
- Špoljarić, D., Solarić, N. (2011): Bošković, usavršitelj i izumitelj geodetskih, astronomskih i optičkih instrumenata. Bit će objavljeno u monografiji Ruđer Bošković, urednik M. Lapaine.
- Župan, R., Poslončec-Petrić, V., Frangeš, S. (2011): Ruđer Josip Bošković i kartografija. Bit će objavljeno u monografiji Ruđer Bošković, urednik M. Lapaine.