

## Djela stazijih hrvatskih autoza o problemu plime i oseke mora

Plima i oseka mora je pojava koja je od davnine zanimala narode uz morske obale. U vrlo davno doba ona je izazivala čuđenje jer joj nije bio jasan uzrok. Prva znanstvena objašnjenja pokušali su dati stari Grci i od tada ta pojava postaje jedan od vrlo važnih problema kojima su se bavili učenjaci.

U istraživanjima pojave i uzroka plime i oseke mora postoje tri izrazito različita razdoblja. Prvo je prije Newtona, drugo poslije Newtona, a prije Laplacea, a treće nakon Laplacea. U prednjutnovsko doba je pravi uzrok plime i oseke bio nepoznat, pa je sve što je tada učinjeno bilo traženje toga uzroka i sakupljanje činjenica koje su malo po malo dovele do pravilnog matematičkog postavljanja problema. Dvije su činjenice koje je trebalo uočiti u vezi s plimom i osekom mora. Jedna da je pojava općenita, a druga da je pravilna i da se ponavlja u određenim vremenskim razmacima. Uočavanje veze između gibanja Mjeseca i pojave plime već je u doba antike dovelo do spoznaje općenitosti i periodičnosti pojave. To je bio početak približavanja cilju. Ali dok se došlo do spoznaje da ta povezanost dolazi od međusobnog privlačenja Mjeseca i vodenih masa, prošlo je mnogo stoljeća. Najprije se mislilo da se radi o nekom djelovanju Mjeseca koje dolazi od svjetlosti i topline. Tek u 16. stoljeću držalo se da se radi o nekoj sili koja je slična magnetskoj. Na spoznaju opće privlačnosti trebalo je počekati još nekoliko desetaka godina.

Naše pisce je problem plime mnogo zanimalo, pa su o njemu napisali nekoliko djela, ili su tom pitanju posvetili dosta prostora u drugim svojim djelima. Najstarija rasprava o plimi i oseci mora potječe od Zdranina Federika Grisogona, koju je objavio kao posljednje poglavlje svoga djela *De modo collegiandi, pronosticandi, et curandi febris, necnon de humana filecitate, ac denique de fluxu et refluxu maris* god. 1528. u Veneciji. Rođen je u Zadru u drugoj polovici 15. stoljeća, bio je doktor filozofije i medicine. Predavao je astrologiju i matematiku u Padovi, kasnije nakon drugog decenija 16. stoljeća živio je kao praktični liječnik. Za probleme plime i oseke mora zanimalo se u prvom redu s medicinskog staništa, jer je smatrao da te pojave imaju utjecaja na ljudsko zdravlje.

Problem plime on rješava u okviru geocentričkog sustava koji je još tada suvereno vladao znanošću. Sasvim je jasno vidljivo da se Grisogono mnogo oslanja na talijanskog liječnika i astronoma Jacopa Dondija, koji je dao jednu vrijednu teoriju plime u 14. stoljeću. Grisogono zamišlja kao i Dondi, da Sunce i Mjesec proizvode ispod sebe maksimalnu elevaciju mora. Zamišlja također da se ta maksimalna elevacija nalazi i na protivnoj strani Zemlje, ali ujedno traži i uzrok te druge elevacije, odnosno druge dnevne plime. Njegov uzrok nalazi on u tački neba koja je Mjesecu ili Suncu nasuprot u odnosu na Zemlju. Dvije bi elevacije proizveli dakle Mjesec i tačka koja mu je protivna (nadir položaja, kojemu je Mjesec u zenitu), a dvije bi elevacije proizveli Sunce i njegova protivna tačka. Očito je da ta pretpostavka nije ispravna sa stajališta međusobnog privlačenja tijela, ali je ona mogla biti vrlo korisna i zapravo jedina moguća spekulacija u okviru geocentričkog sustava. Pokazuje se naime, da se uz prihvaćanje nepomičnosti Zemlje i shvaćajući da se dvije polovice Mjeseca nalaze s protivnih strana Zemlje, dakle u zenitu i nadiru nekog mjesta, računski dobiva isti rezultat, kao da se prihvati pomičnost Zemlje, cijela masa Mjeseca na svom pravom mjestu i naravno u oba slučaja postojanje gravitacije.

Promjene maksimalnih elevacija tumačio je Dondi zajedničkim djelovanjem Sunca i Mjeseca. Kako je smatrao da su djelovanja obih tijela jednaka, zaključio je da se elevacije u konjukciji i opoziciji podvostručuju, a u kvadraturama poništavaju. Grisogono je ta Dondijeva tumačenja prihvatio i



dopunio kvantitativnim određenjem elevacija za razne položaje Sunca i Mjeseca. Da bi postigao svoj cilj Grisogono najprije promatra elevacije kakve bi bile, da svako od ovih tijela pojedinačno djeluje na morske vode. Uzima visinsku razliku između najveće depresije i najveće elevacije i nju dijeli na sedam dijelova, smatrajući dakle da je elevacija kod najnižeg položaja nula, a kod najvišeg sedam. Prema tome dok Sunce prijede prvu četvrtinu svoga dnevnog ophoda od istoka do zenita, more se podigne od nule do sedam, u drugoj četvrtini spusti od sedam do nule, u trećoj opet podigne do sedam, a u četvrtoj spusti do nule. Svo to podizanje i spužtanje događa se po Grisogonu jednoliko. Potpuno jednaka promjena elevacija potjecala bi i od Mjeseca, pa bi se u času konjukcije i opozicije elevacija podvostručila. Već slijedećeg dana odmakao bi Mjesec od Sunca i taj niz elevacija bi se pomakao za jedan dalje, pa bi se dobio novi zbroj. Treba istaknuti da se u grubim crtama zaista može tako dobiti sve elevacije, koje nastaju pod djelovanjem Sunca i Mjeseca i da se tok tih promjena približno podudara s funkcijom koja izlazi iz Newtonove teorije.

Grisogonova teorija oslonila je dosta traga u kasnijoj literaturi o problemu plime i oseke mora. Već god. 1588. ponovno objavljuje Grisogonovo poglavlje o plimi Gallucius u svom djelu *Theatrum mundi et temporis*, i vrlo se pohvalno izražava o toj teoriji. Poznati talijanski matematičar Cardano u svom djelu *De rerum varietate*, koje je izašlo god. 1557. u Baselu, prenosi Grisogonovu teoriju, Grisogonova ideja o privlačnom svojstvu protivne tačke neba Mjesecu i Suncu korištena je i u nekim kasnijim teorijama, pa tako i u teoriji Hieronymusa Borrusa u 16. stoljeću.

Dubrovački pomorac Nikola Sagroević napisao je o plimi i oseci mora dva djela. Jedno je od njih *Ragionamenti sopra la varità de i flussi et riflussi del mare oceano occidentale*, koje je objavio posthumno njegov brat Ivan Sagroević god. 1574. Drugo djelo, koje je objavio također posthumno njegov brat god. 1780. ima naslov *Discorsi de i flussi e riflussi del Faro di Messina*. Za ovo drugo djelo nije dosad poznato da li je negdje sačuvano. Od autora koji ga spominju izgleda da ga je vidio samo Riccardi, koji je naveo podrobne podatke o djelu u svojoj bibliografiji matematičkih djela u Italiji god. 1870.

Sagroević ne istražuje mnogo uzroke plime, budući da je njegovo djelo posve praktičnog karaktera. Prihvata da je uzrok svakako Sunce i Mjesec, ali njihovo djelovanje dovodi u vezi sa svjetlošću i toplinom. Pomoću svjetlosti pokušava objasniti i različitosti elevacije, zatim najveću plimu u vrijeme konjukcije i opozicije, a najveću oseku u vrijeme kvadrature, ali to mu ne ide sasvim od ruke. Njega ipak više zanima praktično pravilo, kojim bi mogao odrediti vrijeme visoke vode. On kaže, kad je Mjesec u konjukciji sa Suncem, visoka voda nastupa tri sata poslije ponoći ili kad je Mjesec

u greku i garbinu. Niska voda pak nastaje kad je Mjesec u maestralu i širokom. Nakon toga on se udaljuje od Sunca. Svaki dan napreduje prema istoku i za 4/5 sata kasnije stiže u greku, tako da visoka voda zakašnjava svaki dan. Takva tumačenja nalazimo već kod Pedra de Medine, od kojega je Sagroević i uzeo ta tumačenja. Ali to zakašnjavaње nije jedino što uzrokuje odstupanja sata plime. Sagroević konstitira da to vrijedi samo za Španjolsku obalu od rta sv. Vicenza do rta Finisterre i u Biskajskom zaljevu. U Engleskom su kanalu pak razne morske mijene. Sagroević daje pravilo kako se i za takva mjesta nalazi sat visokog mora. Za svako mjesto treba naći sat u kojem je visoka voda, ako se Mjesec nalazi u konjukciji sa Suncem. Za druge se dane za to mjesto nalazi sat visoke vode tako da se onom vremenu visoke vode u konjukciji dodaje po 4/5 sata dnevno.

Sagroević je bio u prvom redu praktični motrilac pojave. Njega je zanimalo kada se i gdje javlja visoko more i to je marljivo bilježio. On daje podatke za pojedina mjesta uz Atlantsku obalu Evrope počevši od Gibraltarskog tjesnaca. Sagroević je u tome bio vjerojatno jedan od najpoznatijih motrilaca toga doba, kad Petrišević, glasoviti filozof s otoka Cresa, o kojem će još biti govora, prenosi njegove podatke za zapadnu obalu Evrope i na njima više puta temelji svoja zaključivanja. Iste te podatke preuzima i Francis Bacon u 17. stoljeću, po svoj prilici preko Petriševićeva djela, a da Sagroevića ne spominje.

Franjo Petrišević u svom djelu *Nova de universis philosophia*, koje je izašlo god. 1591. u Ferrari posvećuje problemima plime i oseke mora dosta prostora. On je objavio mnogo raznih podataka o plimi i oseci mora, a onda iznio i svoja tumačenja postanka plime i njezine uzroke. Daje vrlo iscrpno podatke o satu nastupa plime, veličini plime za razna mjesta starog i novog svijeta, koje je sakupio iz raznih djela, bilo pomoraca, bilo učenjaka. K tome daje i vrlo važan povijesni pregled tumačenja pojave plime u starom, srednjem i novom vijeku. To Petriševićovo djelo bilo je jedan od glavnih izvora za povijest rješenja plime i oseke mora do kraja 16. stoljeća.

U vezi s problemom plime, Petrišević je iznio jednu vrlo zanimljivu ideju o međusobnoj vezi svih dijelova svijeta. On dapače kaže, da iz te veze slijedi srodstvo, od srodstva simpatije, od simpatije naklonost, a od naklonosti djelovanja, od čega pak pomicanje svih voda. Očito je da je Petrišević pri tome mislio na neku vrst težnje ili privlačnosti. U tome se dakle može naslutiti jezgra pojma gravitacije, što bi bilo nužno poznavati za pravilno objašnjenje pojave plime i oseke. Međutim, Petrišević nije u tome otišao do kraja i nije dovoljno iskoristio tu ideju za objašnjenje plime i osebe.

Premda se Petrišević bavio uglavnom teoretskim i filozofskim objašnjenjima plime i oseke mora, ipak se doznaje iz njegova djela da je on i promatrao gibanje mora u Osorskom kanalu, dakle u svom rodnom kraju. On je promatrao strujanja i opazio, kako kaže, da more po dvadeset puta u danu struji i zaključio da su u njemu strujanja znatna, čak znatnija nego u grčkom Euripu, koji je klasični primjer ove pojave.

Opširno djelo o plimi i oseci mora napisao je Marko Antun Dominis i objavio ga god. 1624. u Rimu pod naslovom *Euripus seu de fluxu et refluxu maris sententia*. Dominis se rodio u Rabu god. 1560. Bio je lektor matematike u Padovi, zatim profesor retorike, logike i filozofije u Bresciji, zatim senjski a onda splitski biskup. Pored djela o plimi pisao je i jedno djelo iz optike.

Na njegov rad izvršio je veliki utjecaj Grisogono. Dominis je prihvatio od Grisogona mišljenje, da privlačno svojstvo ima i protivna tačka neba Mjesecu i Suncu, pa da se ima dvije maksimalne elevacije, ispod Mjeseca i na protivnoj strani Zemlje, ali je nažalost to stanovište kasnije napustio. Naime prema Grisogonovoj teoriji bi svako mjesto na Zemlji moralo imati manju elevaciju od one koja je pod Mjesecom i njegovim nadiorom. Dominis u upozorili da to ne vrijedi: za obale Engleske. On je zato korigirao tu misao i odmah na početku svoje rasprave iznio novu teoriju, po kojoj bi Mjesec jednako privlačio sva mjesta na Zemlji koja se nalaze na jednom transpolarnom krugu, koji prolazi samim Mjesecom, Prema Dominisu cijeli taj krug ima istu elevaciju, a kako se sastoji iz dva polukruga, koji rotiraju skupa s Mjesecom, i to jedan sa strane Mjeseca, a drugi s protivne, dolazi

uvijek do dviju maksimalnih elevacija. Korijen je i tome kod Grisogona, ali mnogo iskrivljen, pa takva dopuna nije koristila daljnjem razvoju rješavanja problema.

U Dominisovo doba još nije bila jasna razlika između plimnog vala i strujanja vode (tj. pomicanja vodene mase). Miješali su se pojmovi brzine plimnog vala i brzine strujanja vode. Tako se čak mislilo da bi struja vode mogla nositi brodove prema zapadu brzinom Mjeseca. Dominis odbacuje takva shvaćanja i jasno kaže da se ne radi o pomicanju vode, nego o napredovanju vala plime, koji uvijek ostavi iza sebe istu količinu vode koliku primi ispred sebe.

Dominis je prihvatio mišljenje mnogih učenjaka njegova doba, da Mjesec i Sunce djeluju na morske vode na sličan način kao što magnet djeluje na željezo. Međutim u to vrijeme je bilo i opiranja takvim shvaćanjima privlačnosti. Galilei je smatrao, da prihvaćanje takve sile znači i priznanje postojanja nekih mističkih utjecaja nebeskih tijela na Zemlju, čega je bilo mnogo u sredovječnim shvaćanjima i Aristotelovoj filozofiji prirode, protiv čega su se upravo borili renesansni mislioci, a naročito Galilei. Galilei je zato tražio objašnjenje plime, koje bi bilo neovisno od bilo kakvih prihvaćanja djelovanja ili utjecaja Mjeseca na vodene mase. Njegova teorija sastojala se u objašnjenju plime kao posljedici rotacije i revolucije Zemlje. U svom poznatom djelu o dva sustava svijeta, koje je izašlo god. 1632, spominje Galilei u vezi s plimom i Dominisa, ali ne po imenu, nego samo rugajući se nekom prelatu, koji drži da Mjesec ima vlast nad vodama. Međutim, Galileov stav nije bio ispravan, jer se u ovom slučaju nije radilo o Aristotelovom shvaćanju utjecaja nebeske sfere na zemaljsku, nego o realnoj sili, koja je u Newtonovoj teoriji dobila i svoju matematičku formulaciju, kao zakon gravitacije.

U 16. stoljeću Šibenčanin Faust Vrančić, poznati inženjer i učenjak, objavio je u svom djelu *Machinae novae* god. 1595. i projekt iskorištavanja plime i oseke mora za pogon mlinova. To je bila dakle sasvim praktična primjena plime mora. On smatra, da bi struja mora u uskim prolazima mogla da okreće mlin. Ali mnogo je zanimljivija ideja o iskorištavanju plime i oseke na obalama oceana. On zamišlja, da bi uz obalu trebalo izgraditi umjetno jezero, koje bi se punilo vodom kad se more podiže. Kod spuštanja mora voda iz jezera bi istjecala i pokretala mlin. Ovaj posljednji projekt u biti je jednak s projektima koji se danas prave za iskorištavanje plime i oseke mora za pogon električnih centrala.

S problemom plime i oseke mora posebno se bavio i Ruder Bošković. Njegovi radovi pripadaju vremenu poslije Newtona, kad se o tom problemu raspravljalo sa sasvim drugog stanovišta nego prije. God. 1747. objavio je Bošković prvi dio svoga djela *De maris aestu*. Rasprava je bila zamišljena u dva dijela od kojih je tiskan samo prvi, a drugi je djelomično sačuvan u Boškovićevoj ostavštini, koja se čuva na Sveučilištu u Berkeleyu. U objavljenom prvom dijelu rasprave Bošković opisuje najprije stare teorije o postanku plime i oseke mora, zatim opširno sve pojave, a onda iznosi vrlo važna razmatranja o prostoru. Drugi dio koji je djelomično ostao u rukopisu sadrži tek uvodna razmatranja, dok je glavni dio, koji se tiče matematičkih objašnjenja plime izgubljen. Ali kako je Bošković iznosio ta rješenja i u drugim djelima, mogu se dobro upoznati misli iz izgubljenog drugog dijela rasprave. U prvom redu Bošković je dao mali pregled geometrijsko-mehaničkih rješenja u dodacima Stayevu djelu *Philosophia recentioris* pod naslovom *De causa mechanica marini aestus*, koja je izašla u drugom svesku Stayeva djela god. 1760. i tu nalazimo veći dio drugog dijela Boškovićeve rasprave *De maris aestu*. Određivanje eliptičnog oblika površine mora i kritiku stavova Daniela Bernoullija nalazimo opširno u djelu *De litteraria expeditione*, koje je izašlo god. 1755. u Rimu, odnosno u njegovu francuskom prijevodu *Voyage astronomique et géographique*, objavljenom god. 1770. u Parizu. Konačno je Bošković objavio i raspravu *Soluzione geometrica di un problema spettante l'ora delle alte, e basse Maree, e suo confronto con una soluzione algebrica del medesimo data dal Sig. Daniele Bernoulli* u rimskom časopisu *Giornale de Letterati* god. 1748.

Čitav Boškovićev rad na ovom problemu pod velikim je utjecajem Newtona. On kao i Newton najprije promatra perturbacije, koje na Mjesečevu stazu izvodi Sunce, a onda



te rezultate prenosi na slučaj vodenog omotača Zemlje. Boškovićeva metoda je grafička i geometrijska, dakle potpuno protivna metodama, koje su koristili Boškovićeви suvremenici, Euler, Mac-Laurin i Daniel Bernoulli. Boškovićeva opća istraživanja potpuno se upiru na Newtona i ne donose ništa bitno novoga u odnosu na njega. Prvi, međutim, originalni Boškovićeв rezultat sastoji se u izrazu za maksimalnu elevaciju fluida koji omata čvrstu jezgru pod utjecajem vanjske sile, što je upravo slučaj vodenog omotača čvrste Zemlje, na koji djeluju privlačne sile Sunca i Mjeseca. Rezultat koji dobiva Bošković protivan je onome, koji je dobio Daniel Bernoulli. Bošković je zaključio protivno od Bernoullija, da će elevacija fluida biti manja, što je njegova gustoća manja. Tako bi plima atmosfere prema Boškoviću morala biti manja nego što je plima mora.

Drugi važan Boškovićeв rezultat u vezi je s problemom da se nađe mjesto na kojem će biti maksimalna elevacija uz zajedničko djelovanje Sunca i Mjeseca, ako je zadana njihova kutna udaljenost, a koji je postavio Daniel Bernoulli. Ber-

noulli je i sam rješavao taj problem panalitički, ali je došao do jako kompliciranih formula i konačno morao pribjeći aproksimacijama. Bošković je tražio geometrijski put, kojim bi došao do rješenja čak i bez aproksimacija. To geometrijsko rješenje Bošković je iskoristio da nađe i formulu pomoću koje bi se moglo računski pronaći rezultat. Treba naglasiti da je formula koju je dao Bošković sasvim egzaktna i dosta jednostavnija od Bernoullijevih. Ipak se na taj Boškovićeв rezultat može doći i analitičkim postupkom.

Bošković je još rješavao i problem isčezavanja plime na nekim mjestima Zemlje u određeno doba godine, što je već prije njega učinio i Euler. Boškovićeв način različit je od Eulerova i jednostavniji.

To su dakle bili glavni rezultati istraživanja plime i oseke mora koje su postigli naši učenjaci u razdoblju do 18. stoljeća. Oni su svojim priložima bez sumnje zavrijedili da im se u povijesti rješenja plime i oseke mora dade određeno mjesto.