
UDK [51+53]-051 Getaldić M.

530.1:140.8

Izvorni znanstveni članak

Primljen 5. X. 2012.

MARIJANA BORIC

Zavod za povijest i filozofiju znanosti

Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti u Zagrebu

mbuljan@hazu.hr

PRINOS MARINA GETALDIĆA PREOBRAZBI NOVOVJEKOVNE ZNANOSTI

Sažetak

Sustavnom analizom djela *Promotus Archimedes* u članku se nastoji ukazati na Getaldićev prinos preobrazbi novovjekovne znanosti. Navedeno je djelo bilo predmetom višestrukih analiza s područja povijesti fizike, no izostala je sveobuhvatna interpretacija. Stoga se u ovome radu spomenuto djelo analizira na nekoliko razina i s različitih motrišta smještajući ga u opće filozofske okvire i razmatrajući njegove epistemološke dosege. Pokazalo se da je Getaldićev stil izlaganja fizikalne građe geometrijskom metodom rani nagovještaj širenja geometrijske metode na različita područja filozofije XVII. stoljeća. Osim uvođenja matematike pri opisivanju fizikalnih problema naglašava se i drugo važno obilježje djela, a to je njegova eksperimentalna zasnovanost omogućena stvarnim mjerenjima. Getaldićev pristup u ovome fizikalnom djelu svojstven je novovjekovnomu istraživanju prirodnih znanosti, a djelo *Promotus Archimedes* uklapa se u opće filozofske tendencije doba u kojemu je nastao.

Ključne riječi: Marin Getaldić, novovjekovna znanost, prirodna filozofija, epistemologija, geometrijska metoda, eksperiment, simbolička algebra

Uvod

Marin Getaldić¹, najistaknutiji hrvatski matematičar i fizičar na prijelazu iz XVI. u XVII. stoljeće, objavio je ukupno sedam djela, od kojih je šest matematičkoga sadržaja, dok je jedno s područja fizike,² naslova

- 1 Marin Getaldić (Marino Ghetaldi, Marinus Ghetaldus) rođen je 2. listopada 1568. u dubrovačkoj plemićkoj obitelji, kojoj se rodoslovlje može pratiti od druge polovine XIII. stoljeća. Školovao se u Dubrovniku. Kao dvadesetogodišnjak primljen je u Veliko vijeće Dubrovačke Republike. Važan preokret u Getaldićevu životu nastaje 1595. kada s Marinom Gučetićem putuje u London da bi pomogao srediti ostavštinu Nikole Gučetića. Presudne poticaje za bavljenje znanostima dobio je za vrijeme studijskoga boravka u europskim znanstvenim središtima i u susretima sa znanstvenicima (Michel Coignet u Antwerpenu, François Viète i Alexander Anderson u Parizu, Galileo Galilei u Padovi). Getaldić se u Parizu 1600. susreće s Vièteovom algebarskom metodom. Nakon povratka u Dubrovnik 1601. godine nastavlja s eksperimentalnim radom započetim u Europi. Tiska u Rimu 1603. godine prva djela: *Neki stavci o parabolama*, gdje potaknut optičkim pokusima provodi matematičko istraživanje svojstava parabole, i *Unaprijeđeni Arhimed*, fizikalno djelo o relativnim omjerima težina, usustavljeno u teoreme, probleme i tablice s rezultatima mjerenja vlastitom hidrostatskom vagom. Smatra matematiku znanostima koja najpreciznije opisuje svijet. Vjeruje u primjenu pokusa kao praktičnoga aspekta znanosti koji potom treba matematički provjeriti i dokazati. S Galilejem je izmjenjivao tiskane radove. Dopisivao se s najuglednijim matematičarima iz kruga rimskih isusovaca, Christoforom Claviusom i Christoforom Grienbergerom. Karl Guldin nagovarao ga da bude priređivač Vièteovih sabranih djela. Obnovitelj je tvrđave Pozvird, najviše utvrde u fortifikacijskome sustavu Maloga Stona (1604.).

Potaknut Vièteovim radom, Getaldić objavljuje restauracije dvaju zagubljenih spisa grčkoga matematičara Apolonija iz Perge *O nagibima* i *O dodirima*.

Getaldićeva djela imaju velik odjek u novovjekovnoj prirodnoznanstvenoj literaturi. Njegovim su se prinosima služili sljedeći znanstvenici: Kaspar Schott, William Oughtred, Pierre Herigon, John Lawson, Samuel Horsley, Ruben Burrow, Michelangelo Ricci, Alexander Anderson, Marin Mersenne, Jakob Christmann, Cyriaq de Mangin i drugi. Svoja dva najvažnija djela, *Zbirku različitih zadataka* (Venecija, 1607.) i *O matematičkoj analizi i sintezi* (Rim, 1630.), Getaldić je započeo pisati u isto vrijeme s namjerom da u prvome rabi metode antičke matematike, a u drugome simboličku algebru primijenjenu na raznorodnoj građi. Preminuo je 1626. godine ne dočekavši objavljivanje djela *O matematičkoj analizi i sintezi*. Ono je posve inovativno po svojim metodama. Primjenom algebarske metode na geometrijske probleme Getaldić je ostvario izvrsne rezultate i približio se utemeljenju analitičke geometrije.

- 2 U starijoj se literaturi o Getaldiću zastupalo mišljenje da je napisao i neka optička djela za koja se navodilo da su ostala u rukopisu i zatim zagubljena. Naime Getaldić je iste godine kada je izašao *Promotus Archimedes* tiskao još jedno djelo – *Neki stavci o parabolama* (*Nonnullae propositiones de parabola*). Eksperimentiranje s paraboličnim zrcalima Getaldića je dovelo do novih matematičkih rezultata. Iako je povod istraživanju bio praktične naravi i optičke prirode, glavni znanstveni rezultat djela jest njegov matematički prinos pa se u literaturi najčešće navodi kao matematičko djelo. Samo ponekad je Getaldićevo djelo *Neki stavci o parabolama* bilo navođeno i kao optičko djelo. Tako je zapis

Unaprijeđeni Arhimed ili o uspoređivanju težine i obujma tijela različite vrste (naziv izvornika: *Promotus Archimedes seu de variis corporum generibus gravitate et magnitudine comparatis*. Romae, Apud Aloysium Zannettum, 1603.).³

Getaldićevo djelo *Promotus Archimedes* bilo je zapaženo još u XVII. stoljeću, a zapisi o njemu javljaju se i u sljedećim stoljećima, sve do današnjih dana.⁴ Zbog svoje važnosti imalo je velikoga utjecaja na rad znanstvenika koji su nastavili istraživanja na tome području, zabilježeno je u povijesti znanosti, a o njemu je napisan i veći broj znanstvenih radova.⁵

nizozemskoga matematičara Gerharda Johanna Vossa (1577. – 1649.) izazvao pomutnju u kasnijoj literaturi. On je naime u svome djelu *De universae mathesios et constitutione liber* (*Knjiga o prirodi i ustroju opće matematike*) (Amsterdam, 1660.) navodio opisne naslove pa je tako postupio i za Getaldićevo djelo zapisavši ga na stranici 111. kao: *O parabolii i zrcalima kojima se može upaljivati* i uz to mu pogrješkomo pripisao Dominisovo djelo *O dugi*. Pogrješke koje su iz toga nastale detaljno je objasnio Žarko Dadić u radu „Neki stavci o parabolii Marina Getaldića“, u: MARIN GETALDIĆ, *Sabrana djela I*, ur. Žarko Dadić, Institut za povijest prirodnih, matematičkih i medicinskih nauka JAZU, Zagreb, 1972., str. 83. – 84. Dadić zaključuje kako ne postoje izgubljena Getaldićeva djela iz optike i objašnjava genezu pomutnje. Dubrovački povjesničar Serafin Cerva (1686. – 1759.) prenio je navod iz Vossove knjige, a iz Cervina ga je djela preuzeo dubrovački povjesničar F. Apendini početkom XIX. stoljeća. Daljnjim prenošenjem tih podataka i njihovim iskrivljavanjem i dopunjavanjem te razdvajanjem naslova u konačnici se došlo do popisa od čak pet Getaldićevih optičkih zagubljenih rukopisa. Rukopise navode Oton Kučera u radu „O Marinu Getaldiću, patriciju dubrovačkom, znamenitom matematiku i fiziku na početku XVII. vijeka“, *Rad JAZU*, sv. 117, Zagreb, 1893., str. 38. i Juraj Majcen, „Spis Marina Getaldića Dubrovčanina o parabolii i paraboliičkim zrcalima (g. 1603)“, *Rad JAZU*, knj. 223, Zagreb, 1920., str. 2.

3 Popis starijih Getaldićevih djela iz prve faze njegovoga rada u kojoj isključivo primjenjuje starogrčke matematičke metode i slijedi antičku tradiciju: *Nonnullae propositiones de parabola*, Romae, Apud Aloysium Zannettum, 1603.; *Promotus Archimedes seu de variis corporum generibus gravitate et magnitudine comparatis*, Romae, Apud Aloysium Zannettum, 1603.; *Apollonius redivivus seu restituta Apollonii Pergaei Inclinationum geometria*, Venetiis, Apud Bernardum Iutam, 1607.; *Supplementum Apollonii Galli seu exsuscitata Apollonii Pergaei Tactionum geometriae pars reliqua*, Venetiis, Apud Vincentium Fiorinam, 1607.; *Variorum problematum collectio*, Venetiis, Apud Vincentium Fiorinam, 1607.; *Apollonius redivivus seu restituae Apollonii Pergaei De Inclinationibus geometriae, Liber secundus*, Venetiis, Apud Baretium Baretium, 1613.

4 Getaldićevo djelo *Unaprijeđeni Arhimed* utjecalo je na dva djela iz XVII. stoljeća. To su *Magiae universalis naturae et artis*, koje je godine 1657. (I. i II. dio) i godine 1658. (III. i IV. dio) u Wurzburgu objavio Kaspar Schott i djelo Williama Oughtreda *Opuscula mathematica hactenus inedita*, postumno objavljeno 1677. godine u Oxfordu. Budući su ta dva djela bila poznata u svoje doba, preko njih su Getaldićeva istraživanja imala odjeka ne samo u XVII. stoljeću nego i poslije.

5 Popis važnijih radova koji obrađuju Getaldićevo djelo *Promotus Archimedes*: OTON

Provedena se pak istraživanja zasnivaju isključivo na tradicionalnome pristupu, odnosno Getaldića se promatra kao čistoga matematičara i fizičara pa se dosadašnje analize djela *Promotus Archimedes* isključivo kreću unutar područja povijesti znanosti, odnosno povijesti fizike. Međutim postoje i neistraženi aspekti ovoga djela čijom se analizom istom može dobiti potpuni uvid u vrijednost *Unaprijeđenoga Arhimeda*. Posebne metode kojima se Getaldić služio pri istraživanju i izlaganju fizikalne građe u to su doba bile nešto novo, što ukazuje na mogućnost i potrebu da se njegovo djelo *Promotus Archimedes* vrjednuje i sa širega, filozofskoga motrišta.

1. Dva aspekta djela *Promotus Archimedes*: fizikalni i filozofski

Budući da je zbog svoga sadržaja *Promotus Archimedes* u tradiciji promatran isključivo u kontekstu njegova prinosa fizici, istraživanje ovoga djela s filozofskoga zrenika dodatno će ukazati na stvarnu vrijednost Getaldićeva rada. Kako je, osim ostvarenih vrijednih fizikalnih rezultata, *Promotus Archimedes* prepoznatljiv po metodama što ih je autor u njemu rabio, to nam se dekodiranjem implicitnih stavova zastupljenih u ovome djelu donekle otvara mogućnost odrediti i Getaldićev odnos prema prirodnoj filozofiji. Time je moguće ne samo bolje razumjeti ukupan

KUČERA, „Marina Getaldića ‘*Promotus Archimedes*‘“, *Nastavni vjesnik*, XII, Zagreb, 1904., str. 201. – 227. i 347. – 375.; Ž. DADIĆ, „Prošireni Arhimed Marina Getaldića“, u: M. GETALDIĆ, *Sabrana djela I*, str. 11. – 14.; Ž. DADIĆ, *Hrvati i egzaktne znanosti u osvjet novovjekovlja*, Naprijed, Zagreb, 1994., str. 155. – 192.; ERNEST STIPANIĆ, „Marin Getaldić i njegov rad u matematici i fizici“, *Rasprave i građa za povijest nauka*, knjiga 3, Zagreb, 1969., str. 75. – 112.; E. STIPANIĆ, *Marin Getaldić i njegovo mesto u matematici i naučnom svetu*, Beograd, 1961., str. 127. – 133.; MIHO CARINEO, „*Promotus Archimedes* Marina Getaldića“, *Dijalektika*, god. III, br. 4, Beograd, 1968., str. 51. – 62.; M. CARINEO, „Marin Getaldić's *Promotus Archimedes*“, *Radovi međunarodnog simpozija „Geometrija i algebra početkom XVII stoljeća“ povodom 400-godišnjice rođenja Marina Getaldića*, Zagreb, 1969., str. 81. – 89.; HRVOJE TARTALJA, „Doprinos M. Getaldića u određivanju specifične težine“, *Dijalektika*, god. III, br. 4, Beograd, 1968., str. 41. – 49.; H. TARTALJA, „Doprinos M. Getaldića u određivanju specifične težine“, *Radovi međunarodnog simpozija „Geometrija i algebra početkom XVII stoljeća“ povodom 400-godišnjice rođenja Marina Getaldića*, Zagreb, 1969., str. 71. – 80., PIER DANIELE NAPOLITANI, „La geometrizzazione della realtà fisica: il peso specifico in Ghetaldi e in Galileo“, *Bolletino di Storia delle Scienze Matematiche*, Vol. VIII (1988) fasc. 2, str. 139. – 236.

Getaldićev prinos razvoju i afirmaciji novih matematičkih metoda i njihovih primjena na drugim područjima nego i općenitije promotriti početke sustavne primjene matematike u prirodnoj filozofiji, odnosno fizici, što je osnovno obilježje novovjekovne prirodne znanosti.⁶

Getaldićev fizikalni rad stoga je potrebno razmatrati i u surječju renesansnoga mišljenja te problema metode kao karakterističnoga novovjekovnoga filozofskog problema. Čitav njegov opus, pa tako i fizikalno djelo *Promotus Archimedes*, odražava svijest o važnosti metodološkoga pristupa građi. Djelo je nastalo tijekom njegove prve faze rada, zasnovane na starogrčkoj matematičkoj tradiciji. Time se Getaldić priključuje korpusu renesansnih znanstvenika i filozofa koji, nadahnuti antičkim izvorima, nastoje oživjeti vrhunska dostignuća starogrčke znanosti.

2. Izvori i osnovna načela djela *Promotus Archimedes*

Getaldić je djelo *Promotus Archimedes seu de variis corporum generibus gravitate et magnitudine comparatis* objavio 1603. u Rimu, potkraj svoga studijskog putovanja po Europi. Stoga se može zaključiti da se s problemom uspoređivanja različitih tijela po težini i obujmu susreo već u Dubrovniku, prije svoga putovanja po Europi, možda i u vrijeme kada je 1593. godine obavljao vlastelinsku službu „prodavača soli na Neretvi“.⁷ Daljnje poticaje za bavljenje tim problemom i objavljivanje djela dali su mu Michel Coignet i Federico Saminati za vrijeme druge godine njegova studijskoga putovanja i boravka u Belgiji, što sâm Getaldić spominje u predgovoru djela, a u literaturi o Getaldiću navode se i imena nekih drugih znanstvenika koji su na njega mogli utjecati.⁸ Tada je vjerojatno

6 Početci sustavne primjene matematike u prirodnoj filozofiji detaljnije su obrađeni u djelu FREDERICK COPLESTON, *A History of Philosophy*, Vol. III, Late Medieval Renaissance Philosophy, New York, 1993.

7 Opširniji životopis i opis znanstvenoga rada Marina Getaldića objavljen je kao posebno poglavlje u knjizi Žarka Dadića, *Hrvati i egzaktne znanosti u osvitu novovjekovlja*, Naprijed, Zagreb, 1994., str. 155. – 192. Osim toga istu je temu detaljno obradio i Ernest Stipančić: „Marin Getaldić i njegov rad u matematici i fizici“, *Rasprave i građa za povijest nauka*, knjiga 3, Zagreb, 1969., str. 75. – 112.; *Marin Getaldić i njegovo mesto u matematici i naučnom svetu*, Zavod za izdavanje udžbenika NR Srbije, Beograd, 1961.

8 O poticajima za objavljivanje ovoga djela Getaldić detaljno govori u odlomku naslovljenome „Dobrohotnom čitaocu“; objavljeno u: M. GETALDIĆ, *Sabrana djela I*, str. 17.

već obavio najveći dio eksperimentalnoga i teoretskoga posla vezanoga za spomenute probleme. Može se pretpostaviti da je poslije na putu usavršivao svoje djelo. Prigode za dopunjavanje rada svakako su bili susreti s uglednim isusovcem Christophom Claviusom u Rimu, koji ga je nagovarao da objavi ovo djelo, i kontakti s Galileom u Padovi.⁹ Mjerenja koja je objavio u tablicama vjerojatno je jednim dijelom proveo za vrijeme boravka u Dubrovniku 1601. i 1602. godine.

U djelu *Promotus Archimedes* autor piše o načinu određivanja odnosa između težina i obujmova raznovrsnih tijela, sedam krutih i pet tekućina: zlata, srebra, bakra, željeza, olova, kositra, žive, vina, vode, voska, ulja i meda. Na kraju se obrađuje i poznati problem Hieronove krune, koji Getaldić domišljato i točno rješava.¹⁰ Tim problemom, preuzetim iz Arhimedovih istraživanja, bavili su se mnogi znanstvenici, među njima i Getaldićev suvremenik Galileo Galilei. Raspravu je Getaldić temeljio na primjeni Arhimedovih istraživanja i Arhimedova zakona prema kojemu svako tijelo uronjeno u neku tekućinu postaje lakše za težinu one količine tekućine koju je uronjeno tijelo svojim obujmom istisnulo. U predgovoru djela napominje da mu je cilj ta istraživanja doraditi zato što problem određivanja odnosa između težina i obujmova raznovrsnih tijela nigdje nije opširnije protumačen.¹¹ U djelu se nigdje ne spominje izraz specifična težina iako je termin bio uveden u XIII. stoljeću u pseudo-Arhimedovu djelu *De insidentibus in humidum* (ili *De ponderibus*), ali se ni u tome djelu ni u Getaldićevo doba nije rabio u značenju koje ima danas.¹² Ta je specifična težina vazda bila relativna jer ju se uvijek uzimalo za jedno tijelo u odnosu na neko drugo tijelo istoga obujma koje nije bilo uvijek isto. Slično kao i njegovi prethodnici i suvremenici tom je problemu pristupao i Getaldić. Naime, nastavljajući tradiciju, on

9 Uz to se u literaturi spominje još jedan znanstvenik koji je mogao utjecati na Getaldićev rad za vrijeme njegova boravka u Engleskoj. Riječ je o Thomasu Harriotu. O tome više u: ROSALIND TANNER, „Thomas Harriot“, *Radovi međunarodnog simpozija „Geometrija i algebra...“*, str. 161. – 170.

10 Hieronov problem zasniva se na legendi po kojoj je kralj Sirakuze Hieron, sumnjajući na zlatarevu prijevaru, tražio od Arhimeda da odredi udio zlata i srebra u njegovoj kruni.

11 M. GETALDIĆ, *Sabrana djela I*, str. 17.

12 Uvođenje i razvoj pojma specifične težine detaljno je opisano u: MARSHALL CLAGETT, *The Science of Mechanics in the Middle Ages*, Madison, 1961., str. 91. – 97.

je, služeći se Arhimedovim načelom i hidrostatičkim vaganjem, određivao omjere težina različitih tijela istoga obujma ili omjere obujmova različitih tijela istih težina.

Kada se uspoređi vrijednost Getaldićevih rezultata mjerenja sa suvremenim podacima za specifične težine, pokazuju se vrlo mala odstupanja. Može se zaključiti da su Getaldićevi rezultati mjerenja bili vrlo dobri, poglavito ako se uspoređuju s rezultatima njegovih suvremenika,¹³ što ukazuje na činjenicu da je bio dobar eksperimentator. Međutim ni on nije ničim istaknuo odnos težina različitih tijela prema jednomu uvijek istomu referentnom tijelu, što bi rezultiralo većom općenitošću i rezultate njegovih mjerenja učinilo znatno sređenijim, već je određivao omjere težina različitih tijela istoga obujma ili omjere obujmova različitih tijela istih težina.

3. Sadržaj i koncepcija djela *Promotus Archimedes*

Promotus Archimedes sadrži teorijski, praktični i tablični dio, koji nisu posve odvojeni nego se prema sadržaju što se obrađuje u pojedinih dijelovima knjige metodološki izmjenjuju. Vrijednosti ovoga fizikalnog djela, uz već navedene precizne rezultate eksperimentalnoga rada, znatno pridonosi i njegova metodološka koncepcija, odnosno činjenica da je Getaldić na nov način prezentirao fizikalnu građu, onako kako je izložena građa Euklidovih *Elemenata*. Tekst je koncipirao u deset poučaka,¹⁴ devet problema,¹⁵ deset primjera i sedamnaest tablica s

13 Najpoznatiji istraživač tih problema u XVI. stoljeću po mnogima je talijanski znanstvenik Nicolo Tartaglia. Tri stoljeća nakon objavljivanja spomenutoga pseudo-Arhimedova djela Tartaglia ga tiska pod naslovom *Jordani Opusculum de ponderositate* (Venezia, 1565.) dodajući mu i vlastite eksperimentalne rezultate za specifične težine. Međutim eksperimentalnim radom Tartaglia je dobio znatno lošije rezultate specifičnih težina od onih koje je postigao i objavio Marin Getaldić u djelu *Promotus Archimedes*.

14 Primjeri poučaka iz djela *Promotus Archimedes*:

Istovrsna teška tijela sumjerljivih obujmova imaju isti omjer težina kao i obujmova (poučak 2); I nesumjerljiva tijela iste vrste imaju isti omjer težina kao i obujmova. (poučak 3); Tijela iste vrste i težine, teža od vode, imaju u vodi jednaku težinu makar su različita oblika (poučak 8); Težine istovrsnih kugli odnose se među sobom kao kubi njihovih promjera (poučak 9).

15 Nekoliko problema iz djela *Promotus Archimedes*:

Uzmimo dva tijela jednagog obujma, od kojih je jedno kruto, a drugo tekuće. Ako je zadana težina krutog tijela, neka se nađe težina tekućeg (problem 1). Ako su zadana dva tijela

uputama za uporabu. Poučci su u potpunosti formulirani i dokazivani u duhu antičke matematike, s uzorom na Euklidove *Elemente*, dokazivani ponekad i na dva načina, popraćeni primjerima. Takav pristup u fizici (prirodnoj filozofiji) u to je doba bila novina. S metodološkoga motrišta važno je napomenuti da je Getaldić ovo djelo napisao geometrijskim stilom koji će se proširiti u filozofiji XVII. stoljeća i nazvati „geometrijskim načinom“ te postati idealom prezentiranja filozofske građe.

Teorijski dio sadrži deset poučaka, većinom smještenih na početak djela. Međutim oni ipak ne slijede uvijek jedan za drugim; autor ih donosi prema tijeku istraživanja teme, kao podlogu za daljnja izlaganja. Tako je na početak knjige stavljeno prvih sedam poučaka i iz njih slijede sva daljnja razmatranja. Nakon toga slijedi praktični dio koji se sastoji od osam problema i pratećih primjera koji proizlaze iz uvodnoga, teorijskog dijela, čemu je dodana i uputa *Kako se važu kruta tijela u vodi*. Budući da ovaj kratki odlomak izvrsno ilustrira koliko je Getaldić bio precizan i izniman eksperimentator te pokazuje osebujnost njegova stila, vrijedi ga donijeti u cijelosti:

Tijelo koje treba vagati objesi se na jednu zdjelicu vage pomoću konjske dlake. Na drugu se zdjelicu metnu utezi, a obješeno tijelo spusti se u vodu tako da u vodi slobodno visi, i to tako da voda ne dodirne niti zdjelicu na kojoj visi tijelo, niti onu drugu na kojoj su utezi. I tako se važe to tijelo kao da lebdi u zraku.

Rekoh da tijelo koje se važe treba objesiti na konjsku dlaku, jer je gotovo teška kao i voda, pa stoga neće ništa nadodati niti odbiti težini tijela koje se važe.

Ako je tijelo koje važemo tako teško da ga jedna dlaka ne može držati, neka se onda objesi na više dlaka vezanih zajedno, a da tako vezane dlake ne bi tijelu koje se važe nadodale nešto težine, neka se na drugu zdjelicu metne isto toliko dlaka jednakih onima koje vise iz zdjelice na kojoj je obješeno tijelo do obješenog tijela. Tim dodatkom dlaka bit će obje zdjelice jednako teške i premda su one dlake na kojima visi tijelo duže od onih na drugoj zdjelici, i to za dužinu onih dijelova s kojima je tijelo vezano, ipak budući da su oni dijelovi jednako teški kao voda, nalazeći se

jednaka obujma, jedno kruto a drugo tekuće, pa ako je zadana težina tekućeg tijela, neka se nađe težina krutog (problem 2). Ako su zadana dva tijela iste težine, jedno kruto a drugo tekuće, te ako je zadan obujam krutog tijela, treba naći obujam tekućeg tijela (problem 3).

u vodi zajedno s tijelom neće imati nikakvu težinu. I stoga one dlake koje su inače veće od rečenih dijelova, makar su duže, neće biti teže od ostalih, jer su oni dijelovi, kako smo naime već rekli, zajedno s tijelom u vodi. Stoga tako treba vagati kruta tijela u vodi, a to je bilo vrijedno utvrditi.¹⁶

Prvi dio knjige Getaldić zaokružuje obrađujući sedam poučaka o uspoređivanju težina i obujmova, s pratećim problemima i primjerima. Sljedeća cjelina obrađuje i dokazuje vrlo važan poučak VIII. koji kaže da sva jednako teška tijela iste tvari, ma kojega oblika, jednako teže u vodi. Ta tvrdnja suprotna je do tada uvriježenu stavu, proizišlu iz Aristotelove prirodne filozofije, prema kojem tijela različita oblika imaju u vodi različitu težinu. Tu su postavku peripatetici dokazivali argumentacijom koja je polazila od zapažanja da ploča sporije tone nego stožac od iste tvari.

Dok je djelo *Promotus Archimedes* još bilo u tisku, Getaldiću je jedan peripatetičar, kojemu je bilo povjereno da pregleda djelo, uputio kritiku tvrdeći da se iz težine što je tijela imaju dok su u vodi ne može izvesti pravi omjer težina, nego samo u slučaju kada su istoga oblika. Drugim riječima, nepoznati je recenzent zastupao suprotno mišljenje dokazujući svoju tvrdnju peripatetičkom argumentacijom. On naime pretpostavlja da se razmatraju dva tijela iste vrste i težine, od kojih je jedno ploča, a drugo ima oblik stošca, te ih važno u vodi, i to tako da vrh stošca okrenemo dolje, a osnovka stošca i ploha ploče jednako su udaljene od vodoravne ravnine dna. Zatim zaključuje: stožac će u vodi imati težinu veću od ploče zato što voda zaustavlja ploču više od stošca. A to je jasno, tvrdi peripatetičar, jer ako jedno i drugo tijelo istodobno spustimo u vodu, stožac će tonuti brže od ploče.

Getaldić navedene kritike tiska u svome djelu, i to prije iskaza opisana noga problema VIII., te im dodaje svoj odgovor:

Mada se taj argument na mah čini uvjerljivim, ipak se ovdje krivo zaključuje. Istina je da voda više zadržava ploču nego stožac; zadržava je da ne tone većom brzinom, ali joj zato ne uzima ništa od težine i ne može se iz bržeg gibanja jednostavno zaključiti da ima veću težinu, jer bi to moralo vrijediti i za gibanja u zraku, a to je krivo. Međutim, da ne bi

16 M. GETALDIĆ, *Sabrana djela I*, str. 27.

sumnja pod krinkom istine zavela nekoga, idućim poučkom pokušat ću je sasvim ukloniti.¹⁷

4. Pojmovi uzgona i sile

Među fizikalnom građom obrađenom u *Unaprijeđenome Arhimedu* posebno mjesto zauzima Getaldićev osmi poučak s pripadajućim dokazom. Poučak je važan zato što Getaldić u njemu dokazuje tvrdnju da sva jednako teška tijela, ma kojega oblika, jednako teže u vodi, što u to doba nije bila jasna, općeprihvaćena činjenica. Budući da se poučak dokazuje na dva različita načina, ovdje se pozornost usmjeruje na drugi način, odnosno na sažetiji dokaz, jer se iz njega jasnije vidi da su Getaldiću bili poznati pojmovi uzgona i težine kao sile. Iako Getaldić već u dokazu prvoga poučka prvi put spominje izraz sila (*vis*), taj pojam on jasnije rabi u drugome načinu dokazivanja poučka VIII. Analizom teksta dolazi se do zaključka kako je Getaldiću, osim fizikalnih pojmova, također jasno i to da u slučaju kada protivne sile nisu jednake kao rezultat dolazi do gibanja tijela, odnosno, u suprotnome slučaju, kada su protivne sile jednake, tijelo miruje.¹⁸ Stoga se može zaključiti da se Getaldić, usprkos tomu što ga nije izrijekom formulirao, znatno približio načelu ravnoteže sila u spomenutom drugom dokaznom postupku poučka VIII.

Poučak VIII., stavak XVI.:¹⁹

Tijela iste vrste i težine, teža od vode, imaju u vodi jednaku težinu makar su različita oblika.

Dokaz (na drugi način):

Uzmimo dva tijela iste vrste i težine A i B; teža od vode, a različita oblika. Treba pokazati da oba tijela imaju u vodi istu težinu. Neka tijelo A ili pak B ima težinu CD, a težina vode koja ima obujam jednak tijelu A ili B neka bude C. Uzmimo zatim tijelo L koje je lakše od vode, čija težina neka je jednaka C; težina vode koja ima obujam jednak tijelu L neka bude jednaka težini CD. I tako dodavši tijelu L tijelo B, tijelo nastalo spajanjem tih

¹⁷ *Isto*, str. 42.

¹⁸ Ovaj aspekt Getaldićeva rada prvi je razmatrao Miho Cerineo u već navedenim člancima: „Promotus Archimedes Marina Getaldića“ i „Marin Getaldić's Promotus Archimedes“.

¹⁹ M. GETALDIĆ, *Sabrana djela I*, str. 42. – 44.

dvaju tijela bit će jednako teško kao voda. Težina naime jednog i drugog tijela B i L jednaka je težinama CD i C. Težina pak vode koja je obujmom jednaka jednom i drugom tijelu L i B jednaka je istim težinama CD i C. Prema tome tijela B i L spuštenu u vodu neće se podizati niti spuštati, jer tijelo B, teže od vode, vuče tolikom silom prema dnu kolikom ga silom tijelo L vuče prema gore.

Uzmimo zatim drugo kruto tijelo M istovrsno s tijelom L, te istog oblika i obujma. Prikopčajmo tijelu M tijelo A i spustimo ih jedno i drugo u vodu. Na isti način kao gore dokazat ćemo da su oba tijela A i M zajedno jednako teška kao voda, te da tijelo A tolikom silom vuče prema dolje, kolikom ga tijelo M vuče gore. Međutim, tijela M i L vuku prema gore jednake sile, jer su iste vrste, istog obujma i oblika. Dakle, jednakom silom zadržavaju se tijela A i B da ne potonu. Stoga je jasno da tijela A i B imaju u vodi jednaku težinu, a to je trebalo dokazati.

Logičkim slijedom izlaganja poučci VIII. i XIX. odvojeni su od sedam prethodnih poučaka, što je u skladu s tijekom tumačenja građe. Dok su poučci VIII. i XIX. dodani nakon praktičnoga dijela s primjerima, posljednji je – X. poučak dio odlomka o određivanju kvalitete zlata. Općenito govoreći, ovdje je riječ o čvrstim tijelima i tekućinama kojima su ponekad uzimaju jednaki obujmovi, a uspoređuju se težine, odnosno traži se jedna od njih ili se pak uzima da su težine dvaju tijela jednake i tada se uspoređuju obujmovi i traži se nepoznati obujam. Problemi variraju za različite kombinacije čvrstih i tekućih tijela. Getaldić se u potpunosti služi geometrijskom metodom pri prezentiranju fizikalne građe. Nakon što je izložio sedam poučaka, na koje se kasnije poziva u dokaznome postupku složenijih poučaka i problema, slijedi niz od osam problema, svaki popraćen numeričkim primjerom. Osim teorijskomu aspektu Getaldić, potpuno oslonjen na matematičku metodologiju, veliku pozornost pridaje praktičnomu aspektu problema te o tome kaže: „Bit će zgodno da ovom problemu priložimo primjer kako bi svaki koji se bavi matematikom uvidio praktičnu upotrebu. Stoga ćemo i iduće probleme popratiti sličnim primjerima.“²⁰

Primjeri ponekad, osim provedenoga računa za traženu veličinu, sadrže i razrađene posebne slučajeve, primjerice ako su razmatrane

20 Getaldić primjedbu stavlja na početak praktičnoga dijela, u izlaganje problema I. i primjera koji iz njega proizlazi. M. GETALDIĆ, *Sabrana djela I*, str. 26.

veliĉine vrlo male ili vrlo velike, razlikujući pritom postupke u kojima je kruto tijelo teŹe ili lakše od rabljene tekućine. Uz provedeni raĉun u primjerima Getaldić donosi raznovrsne i opširne upute i zapaŹanja vezana za eksperimentalni rad te detaljno razrađene naĉine na koji se prevladavaju poteškoće pri praktiĉnim postupcima.

5. Getaldićeva metodologija

Iako u djelu *Promotus Archimedes* nema posebnih cjelina u kojima autor izrijekom tumaĉi vaŹnost uvođenja matematike u fizikalna istraŹivanja niti zakljuĉaka što taj korak pridonosi prirodnoj filozofiji i razvoju spoznaje, Getaldić je vrlo svjestan uloge što ju ima matematika pri razumijevanju svijeta i traŹenju novih, sigurnih spoznaja. Shvaćajući pravo znaĉenje matematike za istraŹivanje prirode, Getaldić geometrijsku metodu smatra najprikladnijom za izlaganje istraŹene fizikalne grade. Tvrđnje izložene po uzoru na klasiĉne matematiĉke formulacije dokazuje matematiĉkim metodama oslanjajući se na ĉinjenicu da se matematiku smatralo idealom dokazne znanosti.

Dakle vidljivo je kako se u *Promotus Archimedes* Getaldić višestruko sluŹi matematiĉkom metodologijom, ne samo pri istraŹivanju i dokazivanju ĉinjenica nego i pri izlaganju dobivenih zakljuĉaka. Tako je cjelokupno djelo oblikovano po uzoru na starogrĉka matematiĉka djela. Taj strogi matematiĉki pristup, svojstven Euklidovim *Elementima*, zadrŹava Getaldić u svim dijelovima svoga *Unaprijedenoga Arhimeda*. Svjestan potrebe za dokazivanjem svih iskazanih tvrdnjā, na kraju trećega pouĉka kaŹe:

Ono što smo dokazali u dvama prethodnim pouĉcima, neki pretpostavljaju kao nešto po sebi poznato, i kao da je to neki sasvim opći aksiom koji su toboŹe sasvim dobro i mudro sami uvidjeli. Međutim Euklid bi isto tako mogao pretpostaviti da je 20. stavak njegovih *Elementata* nešto sasvim poznato. Svakome je naime poznatije da je zbroj dviju stranica trokuta veći od treće (to zna svaki magarac), negoli da teška tijela iste vrste imaju isti omjer teŹina kao i obujmova, pa ipak Euklid taj stavak

dokazuje, a ne pretpostavlja ga. Stoga i ovaj stavak, koji i nije tako jasan, trebalo je dokazati, a ne pretpostavljati.²¹

Za ilustraciju Getaldićeve metodologije u nastavku se prikazuju prvi poučak, na koji se odnosi citirana primjedba s pripadajućim dokaznim postupkom, i četvrti koji iz njega proizlazi. Getaldićeva uporaba geometrijske metode te njegova karakteristična metodološka cjelina sastavljena od poučka, problema i pratećega numeričkog primjera posvema odražava kvantitativan, novovjeki pristup istraživanju u prirodnim znanostima. Glavna je odlika takva pristupa prožimanje dotada suprotnih tendencija i pristupa, odnosno konvergiranje empirijskoga pristupa i matematičke teorije. Getaldić konzistentno primjenjuje matematiku na istraživani fizikalni sadržaj, analizu provedi strogom znanstvenom metodologijom, a svaki njegov zaključak popraćen je matematičkim dokazima koji su posve u duhu starogrčke matematike i nalik na Euklidove *Elemente* na koje se često poziva.

Međutim važno je istaknuti da se geometrijski stil što ga Getaldić rabi već u prvoj fazi svoga znanstvenoga djelovanja, nagovješćujući tako širenje toga stila u različitim granama filozofije XVII. stoljeća, a koji se u kasnijoj literaturi povezuje isključivo s Euklidom i geometrijskim načinom prezentacije u stilu euklidske matematike, u Getaldića ipak javlja pod utjecajem jednoga drugog antičkog velikana. Naime analizom njegova djela u kojem se uvode kvantificirani i matematizirani eksperimenti pokazuje se da je Getaldiću kao nadahnuće za geometrijsku metodu prije poslužio Arhimed negoli Euklid. Potvrdu za to nalazimo i u uvodnome dijelu u kojemu spominje Arhimeda.²² Neprijeporno, makar bi se Getaldićev stil izlaganja građe u *Promotus Archimedes* doista mogao nazvati i euklidskim, upravo se Arhimed a ne Euklid služio matematikom pri opisivanju fizikalnih problema pa je u tome smislu potpuno opravdano Arhimeda smatrati glavnim uzorom i nadahnućem za ovo Getaldićevo djelo.

²¹ Isto, str. 21.

²² Isto, str. 17.

Poučak I., Stavak I.:

Ako je jedno od dva istovrsna tijela višekratnik drugoga, težina će većega biti veća od težine manjega onoliko puta koliko puta je to tijelo veće od manjega.

Dokaz:

Zadana su dva tijela iste vrste ABC i D, od kojih je tijelo ABC ima težinu EFG, a tijelo D težinu H. Tijelo ABC višekratnik je tijela D. Tvrdim: koliko puta je tijelo ABC veće od tijela D, toliko puta će težina EFG biti veća od težine H. Ako tijelo ABC razdijelimo na dijelove A, B, C od kojih je svaki jednak tijelu D, tada, budući da je tijelo A obujmom²³ jednako tijelu D i budući su iste vrste, bit će težina jednoga jednaka težini drugoga. Ako je težina E jednaka težini H, tada će tijelo A imati težinu E, a tijelo BC težinu FG. Budući da su pak tijela B i D jednakih obujmova, bit će i iste težine. Ako je težini H jednaka težina F, tada će tijelo B imati težinu E, a tijelo C težinu G, i tako će to ići sve dok ne stignemo do zadnjega dijela tijela ABC koji je jednak samom tijelu D. Taj zadnji dio je C, a budući da je obujam tijela C jednak obujmu tijela D, bit će im jednake i težine. Stoga će težina G biti jednaka težini H. Slijedi dakle da koliko tijelo ABC ima dijelova jednakih tijelu D, toliko će težina EFG imati dijelova jednakih težini H. Koliko smo puta odbili tijelu ABC tijelo koje je jednako tijelu D, toliko smo puta težini EFG odbili težinu jednaku težini H. Ako je dakle jedno od dva istovrsna tijela višekratnik drugoga, težina će većega biti veća od težine manjega onoliko puta koliko je to tijelo veće od manjega. A to je trebalo dokazati.

Prikazanom metodologijom Getaldić se služio za prikaz cjelokupne fizikalne građe u navedenome djelu. Svi poučci i problemi prikazani su i dokazivani upravo geometrijskom metodom. Kao primjer Getaldićeve sustavne primjene geometrijske metode u kojoj se osim prethodnih poučaka posebno služi razmjerima može poslužiti poučak IV.

Poučak IV., Stavak IV.:²⁴

Ako je od četiri teška tijela omjer obujma prvoga prema drugome isti kao omjer obujma trećega prema četvrtome, te ako je prvo i drugo tijelo

23 Ovdje kao i na svim drugim mjestima gdje se javlja ovaj pojam Getaldić rabi izraz *magnitudo*. Taj bi pojam trebalo prevesti izrazom *veličina*, ali je posve očito da je zapravo riječ o *obujmu* tijela pa je taj izraz uporabljen u prijevodu.

24 M. GETALDIĆ, *Sabrana djela I*, str. 19.

iste vrste, a isto tako treće i četvrto, bit će i omjer težina prvog tijela prema drugome isti kao trećeg prema četvrtom.

Dokaz:

Ako prvo tijelo A s obzirom na obujam ima prema drugom tijelu B isti omjer kao treće tijelo C prema četvrtom D, te ako su A i B iste vrste, a isto tako C i D, tvrdim da će s obzirom na težinu prvo tijelo A prema drugome tijelu B imati isti omjer kao treće tijelo C prema četvrtom tijelu D. Ako tijelo A ima težinu E, tijelo B težinu F, tijelo C težinu G i tijelo D težinu H, a kako su tijela A i B iste vrste, a isto tako i tijela C i D, odnosit će se E prema F kao A prema B (prema drugom i trećem stavku ovog djela), a G prema H kao C prema D (prema drugom i trećem stavku ovog djela). Ali pretpostavili smo da se A odnosi prema B kao što se C odnosi prema D. Dakle, odnosi se i E prema F kao što se G odnosi prema H. Ako je dakle od četiri teška tijela omjer obujma prvog prema drugome isti kao omjer obujma trećega prema četvrtom, te ako je prvo i drugo tijelo iste vrste, a isto tako treće i četvrto, bit će i omjer težina prvog tijela prema drugome isti kao trećega prema četvrtom. A to je trebalo dokazati.

6. Tablični dio djela *Promotus Archimedes*

Još je jedan važan aspekt djela *Promotus Archimedes* koji zaslužuje da ga se spomene, a to je bogat tablični prilog koji sustavno prikazuje Getaldićev eksperimentalni rad. Ukupnoj vrijednosti *Unaprijeđenoga Arhimeda* neprijeporno pridonose ti usustavljeni rezultati Getaldićevih preciznih mjerenja koji su proizvod posebno osmišljenoga i provedenoga eksperimentalnog rada. Podatci su svrstani u odgovarajuće tablice koje uglavnom slijede iza izloženoga teorijskoga i praktičnoga dijela. Cjelokupni tablični dio sadrži nekoliko tablica za uspoređivanje težina i obujmova za navedenih dvanaest tijela, zatim za određivanje težine kugle iz zadanoga polumjera i obrnuto te za određivanje kvalitete zlata. Osim toga teorijska razmatranja i praktični dio upotpunjeni su detaljnim opisima eksperimentalnih postupaka.

U posebnome poglavlju naslova „*Quomodo ponderanda sint corpora solida in aqua*“ („Kako treba vagati čvrsta tijela u vodi“) autor opisuje postupak vaganja tijela u vodi s pomoću vage jednakih krakova sa zdjelicama. Tekst svjedoči o tome s kolikom je pomnosti i preciznosti

Getaldić izvodio pokuse nastojeći predvidjeti i izbjeći moguće pogreške i odstupanja koja se javljaju tijekom provođenja pokusa. Naprava koju je rabio jedan je tip hidrostatičke vage i može se pretpostaviti da ju je konstruirao sam. Nije razjašnjeno je li ju konstruirao prije puta po Europi ili se to dogodilo nakon puta kada je određene ideje za izradbu toga instrumenta mogao dobiti od Galilea u Padovi ili iz nekoga drugog izvora. Naime Galileo Galilei na početku je svoga znanstvenog rada napisao raspravu o hidrostatičkoj vagi i njezinoj primjeni. Za Getaldićeva života taj rukopis nije objavljen, ali ostaje mogućnost da ga je vidio zajedno s Galileovom vagom za vrijeme boravka u Padovi. Getaldićeva vaga znatno se razlikovala i bila je savršenija od sličnih naprava koje su rabili njegovi prethodnici i suvremenici, a Galilejev rukopis objavljen je istom 1656. godine pa Oton Kučera smatra da Getaldić u tome smislu ima apsolutni prioritet.²⁵

Zaključak

Iako djelo Marina Getaldića *Promotus Archimedes* nije matematičko nego je posvema fizikalno, ono je za razliku od većine dotadašnjih djela s toga područja pisano uz potpunu primjenu matematike na istraživački sadržaj, strogom znanstvenom metodologijom, izloženo po uzoru na Euklidove *Elemente* i popraćeno matematičkim dokazima koji su potpuno u duhu starogrčke matematike. Getaldić se pri dokazivanju poučava u velikoj mjeri služio upravo teorijom razmjera.

Da je Getaldić matematiku smatrao ključnom znanosti za razumijevanje svijeta, razabire se ne samo iz odabira rabljenih matematičkih metoda u djelu nego iz posvete upućene patrijarhu aleksandrijskomu Serafinu Olivariju te poruke uvodnoga dijela u kojem se autor obraća dobrohotnomu čitatelju. Tu se Getaldić divi antičkim temeljima, kojima želi pridodati nešto novo, te je zahvalan prilici što može iskušati svoje snage i proširiti područje znanosti. Matematiku spominje na nekoliko mjesta. Primjerice kada upućuje pohvale Olivariju zbog njegove učeno-
sti, kaže: „Filozofiju tako dobro poznaješ da se čini kao da si uvijek imao

²⁵ Usp. O. KUČERA, „Marina Getaldića ‘*Promotus Archimedes*’“, str. 371. – 372.

i previše vremena, iako si stalno bio zauzet mnogobrojnim poslovima. A što da kažem o izvanrednom poznavanju nebeskih stvari i cijelog svijeta koje si ti s toliko zanosa crpio iz najskrovitijih izvora matematičara...“²⁶

Dakle matematika je za Getaldića znanost koja vodi do pravoga znanja o svijetu i ključ je našega spoznavanja ne samo zemaljskih nego i nebeskih objekata. Slična misao o ulozi matematike implicitno je prisutna i u prvim rečenicama uvoda kojima objašnjava cilj i nakanu svoga djela. Iako je djelo planirano kao fizikalno istraživanje, Getaldić smatra da su za provedbu takva istraživanja kompetentni isključivo matematičari: „Tijela različite vrste matematičari mogu uspoređivati s dvojakog gledišta...“²⁷

Makar to nigdje izrijekom ne tvrdi, Getaldić očito drži da bez poznavanja matematike i njezinih metoda uopće nije moguće pristupiti istraživanju fizikalnih tema. Poput velikoga broja suvremenih mu matematičara služi se Euklidovim postupkom, ali ga ne primjenjuje na matematičkome tekstu nego na fizikalnoj građi, što je uistinu bila novina. Iako se u znatnoj mjeri oslanja na Euklida, Getaldić ipak naglašava prevladavajuću Arhimedovu ulogu. Tako na kraju uvoda ističe: „Čitavom ovom djelcu nadjenuo sam naslov po Arhimedu koga slijedim kao svoga vođu. Naime, on koji je bio najveći učitelj, smatrao je dovoljnim da ovu znanstvenu građu ukratko obradi postavivši sigurne temelje...“²⁸

Iako u *Promotus Archimedes* Getaldić osporava pojedine peripatetičke tvrdnje, mora se reći da filozofija nije predmet njegova zanimanja niti u ovome djelu, a niti u cjelokupnu njegovu opusu. Međutim svojim radom na primjeni matematičkih postupaka i dokaza izvan matematičkih područja te na razvijanju novih matematičkih metoda koje su znatno pridonijele razvoju novih spoznaja u okvirima prirodnih znanosti ovaj je umnik ostavio vidljiv pečat i izvan matematike i fizike. Naime kasno-renesansna matematička istraživanja i interpretacija prirodne filozofije, odnosno fizike odrazila se ne samo na novovjekovnu znanost nego je

26 M. GETALDIĆ, *Sabrana djela I*, str. 16.

27 *Isto*, str. 17.

28 *N. mj.*

u određenome smislu potaknula i nastanak novih filozofskih struja u XVII. stoljeću.

Velik prinos napretku renesansne algebre ponajprije je dao François Vietè uvođenjem simboličke algebre,²⁹ njezinu afirmaciju nastavio je Getaldić, a utemeljenjem analitičke geometrije sve je zaokružio Descartes.³⁰ Tako interpretirana simbolička algebra imala je određenoga utjecaja na filozofiju XVII. stoljeća. Naime kada se uspoređi uporabe matematike u pojedinim filozofskim tekstovima XVI. i XVII. stoljeća, može se primijetiti da je u XVI. stoljeću ta uporaba uglavnom bila simbolična i figurativna, što pak nije slučaj u sljedećem stoljeću. U tome smislu djelo *Promotus Archimedes* izvrstan je primjer rane preobrazbe novovjekovne znanosti.

Getaldićeva primjena matematike u znanosti nije ni simbolična ni figurativna. On rabi matematiku tako što ju povezuje sa stvarnim mjeranjima. Matematika mu služi za oblikovanje osjetilne realnosti te se služi opsežnom matematičkom dedukcijom. Njegovo veliko povjerenje u moć matematike rezultiralo je primjenom opće, paradigmatičke „geometrijske metode“ koja se u XVII. stoljeću u velikoj mjeri javlja kako u djelima istaknutih znanstvenika tako i filozofa. *Unaprijeđeni Arhimed* pravi je uzorak takva fizikalnoga djela, koje je pisano strogo znanstvenom metodologijom, eksperimentalno utemeljeno na stvarnim

29 Detaljni prikaz nastanka simboličke algebre donesen je u: H. L. L. BUSARD, „François Viète“, *Dictionary of Scientific Biography*, sv. 14, New York, 1981., str. 18. – 25., a Vièteov cjelokupan opus dostupan je u reprintu: FRANÇOIS VIÈTE, *Opera mathematica*, New York, 1970. Uz to na hrvatskome jeziku temeljna načela Vièteove simboličke algebre objašnjava ŽARKO DADIĆ, *Povijest ideja i metoda u matematici*, Školska knjiga, Zagreb, 1992., str. 90. – 92.

30 Getaldić je napisao prvi cjeloviti priručnik simboličke algebre *De resolutione et compositione mathematica (O matematičkoj analizi i sintezi)* s primjenom algebarske analize na raznorodnu građu i izvanrednim rezultatima približio se pragu utemeljenja nove matematičke discipline – analitičke geometrije. Djelo je postumno izašlo u Rimu 1630. godine. Posljednji korak prema utemeljenju analitičke geometrije, povezivanjem područja algebre i geometrije, ostvario je sedam godina nakon Getaldića matematičar i filozof René Descartes, što je bilo iznimno važno za daljnji razvitak matematike. Rezultate toga rada objavio je u djelu *La Géométrie* (1637.) koje je pretiskano u izdanju RENÈ DESCARTES, *The Geometry of Rene Descartes*, Dover Publications, New York, 1954. Dodatni uvid u Descartesov matematički rad i razvojni put daje nam njegovo filozofsko djelo *Rasprava o metodi* (Matica hrvatska, Zagreb, 1951.). Upravo to filozofsko djelo ključ je za tumačenje zašto Getaldić, iako je matematički postigao rezultat sličan Descartesovu, ipak nije uspio dati općenitiju interpretaciju i postaviti temelje novomu matematičkom području.

mjerenjima usporedbā specifičnih težina, a rezultati mu u potpunosti izloženi geometrijskom metodom i svrstani u obliku propozicija i teorema koji se dokazuju.

Pristup u eksperimentalnome dijelu istovjetan je načelima izloženima u Galilejevu djelu *Il Saggiatore*. Treba istaknuti da je konstrukcija *more geometrico* samo jedna značajka Getaldićeva *Promotus Archimedes*. Naime drugo, jednako važno obilježje jest eksperimentalna utemeljenost omogućena stvarnim mjerenjima. Teorijska razmatranja i praktični dio upotpunjeni su detaljnim opisima eksperimentalnih postupaka, a dobiveni rezultati usustavljeni u pregledne tablice. Getaldićev eksperiment metodički je planirani zahvat s jasnim ciljem. Razmatranu pojavu on svodi na jednostavne elemente, da bi ju potom podvrgao mjerenju. Primjenom matematike ta mjerenja dobivaju određeno značenje, upotrebljivo u daljnjem istraživanju.

Sve je to razlogom zašto se *Unaprijeđeni Arhimed* spominje u mnogim radovima što se bave poviješću i filozofijom znanosti.³¹ Ovim djelom Getaldić je potpuno na tragu novoga doba: u istraživanju se služi čistom matematikom, njezinim znanstvenim aparatom i metodama, bez simboličkih spekulacija i mistike brojeva, nastojeći pomoću matematike razumjeti, objasniti i dokazati raspoložive činjenice. U skladu s time može se zaključiti da je i cjelokupan njegov rad vezan za razvoj i prakticiranje matematičkih metoda potaknut upravo sviješću da se tek nastankom novih metoda za obradbu teorijskih i praktičnih problema dolazi do novih činjeničnih uvida na temelju kojih se potom mogu stvarati nova gledišta i teorije.

Izvori i literatura

- BUSARD, H. L. L., „François Viète“, *Dictionary of Scientific Biography*, sv. 14, New York, 1981., str. 18. – 25.

31 Npr. PIER DANIELE NAPOLITANI, „La geometrizzazione della realtà fisica: il peso specifico in Ghetaldi e in Galileo“, *Bolletino di Storia delle Scienze Matematiche*, Vol. VIII (1988) fasc. 2, str. 139. – 236.; HØYRUP JENS, „Platonizam ili arhimedizam: O ideologiji i samonametnutom modelu renesansnih matematičara (1400-1600)“, *Godišnjak za povijest filozofije*, 8 (8), Zagreb, 1990., str. 137. – 138.

- CERINEO, MIHO: „Promotus Archimedes Marina Getaldića“, *Dijalektika*, god. III, br. 4, Beograd, 1968., str. 51. – 62.
- CLAGETT, MARSHALL, *The Science of Mechanics in the Middle Ages*, Madison, 1961.
- COPLESTON, FREDERICK, *A History of Philosophy*, Volume III, Late Medieval Renaissance Philosophy, New York, 1993.
- DADIĆ, ŽARKO, *Hrvati i egzaktne znanosti u osvit novovjekovlja*, Naprijed, Zagreb, 1994.
- DADIĆ, ŽARKO, *Povijest ideja i metoda u matematici i fizici*, Školska knjiga, Zagreb, 1992.
- DESCARTES, RENÈ, *Rasprava o metodi*, Matica hrvatska, Zagreb, 1951.
- DESCARTES, RENÈ, *The Geometry of Rene Descartes*, Dover Publications, New York, 1954.
- GETALDIĆ, MARIN, *SABRANA DJELA: Prošireni Arhimed ili O uspoređivanju težine i obujma tijela različite vrste; Neki stavci o paraboli sada prvi put otkriveni i na svjetlo izdani; Zbirka različitih problema; Dopuna Apoloniju Galskom ili Oživjeli preostali dio geometrije dodira Apolonija Pergejskog; Oživljeni Apolonije ili Obnovljena geometrija nagiba Apolonija Pergejca; Oživljeni Apolonije ili Obnovljena geometrija nagiba Apolonija Pergejca*, knjiga druga, ur. Žarko Dadić, Zagreb, 1972.
- GHETALDI, MARINI, *OPERA OMNIA: Promotus Archimedes seu de variis corporum generibus gravitate et magnitudine comparatis; Nonnullae propositiones de parabola; Variorum problematum collectio; Supplementum Apollonii Galli seu exsuscitata Apolloni Pergaei tactionum geometriae pars reliqua; Appolonius redivivus seu restituta Apollonii Pergaei inclinationum geometria; Appolonius redivivus seu restituta Apollonii Pergaei inclinationum geometria de inclinationibus geometriae, liber secundus; De resolutione et compositione mathematica*, ur. Žarko Dadić, Zagreb, 1968.

- HØYRUP, JENS, „Platonizam ili arhimedizam: O ideologiji i samonametnutom modelu renesansnih matematičara (1400-1600)“, *Godišnjak za povijest filozofije* 8 (8), Zagreb, 1990., str. 114. – 149.
- KUČERA, OTON, „Marina Getaldića ‘Promotus Archimedes’“, *Nastavni vjesnik*, XII, Zagreb, 1904.
- KUČERA, OTON, „O Marinu Getaldiću, patriciju dubrovačkom, znamenitom matematiku i fiziku na početku XVII vijeka“, *Rad JAZU*, knj. 117, Zagreb, 1893., str. 19. – 60.
- MAJCEN, JURAJ, „Spis Marina Getaldića Dubrovčanina o paraboli i paraboličnim zrcalima“, *Rad JAZU*, knj. 223, Zagreb, 1920., str. 1. – 43.
- NAPOLITANI, PIER DANIELE, „La geometrizzazione della realtà fisica: il peso specifico in Ghetaldi e in Galileo“, *Bolletino di Storia delle Scienze Matematiche*, Vol. VIII (1988) fasc. 2, str. 139. – 236.
- *Radovi Međunarodnog simpozija „Geometrija i algebra početkom XVII stoljeća“ povodom 400 – godišnjice rođenja Marina Getaldića*, Zagreb, 1969.
- STIPANIĆ, ERNEST, „Marin Getaldić i njegov rad u matematici i fizici“, *Rasprave i građa za povijest nauka*, knjiga 3, Zagreb, 1969., str. 75. – 112.
- STIPANIĆ, ERNEST, *Marin Getaldić i njegovo mesto u matematici i naučnom svetu*, Zavod za izdavanje udžbenika NR Srbije, Beograd, 1961.
- VIÈTE, FRANÇOIS, *Opera mathematica*, New York, 1970.

CONTRIBUTION OF MARIN GETALDIĆ TO TRANSFORMATION OF MODERN SCIENCE

Abstract

The paper tries to point out Getaldić's contribution to transformation of modern science by systematic analysis of the work *Promotus Archimedes*. The mentioned work was the subject of multiple analyses in the area of history of physics, but without comprehensive interpretation. That is why the mentioned work was in this paper analyzed at couple of levels and from different viewpoints putting it into general philosophical frameworks and studying its epistemological ranges. It turned out that Getaldić's style of presenting physical sources by geometrical methods was the early indication of geometrical method expansion to different areas of the 17th century philosophy. Besides introducing mathematics in describing physical problems, the second important characteristics of the work is also pointed out and that is its experimental foundation enabled by the real measurements. Getaldić's approach in this physical work is characteristic for modern research of natural sciences and the work *Promotus Archimedes* fits into general philosophical tendencies of the period in which it was made.

Key words: Marin Getaldić, modern science, natural philosophy, epistemology, geometrical method, experiment, symbolic algebra