

Marin Getaldić – preteča novovjekovnog pristupa istraživanju prirode

Matematika je bila u fokusu Getaldićeva rada, ne samo kao područje u kojem je pridonosio razvoju novih matematičkih metoda i zasnivanju novih područja već i izgradnjom novog pristupa istraživanju prirode utemeljenog na eksperimentalnom radu, kvantitativnom pristupu i primjeni matematike nasuprot učestalom dotadašnjem poimanju matematike kao apstraktne discipline neprikladne za opis fizičkog svijeta. Getaldić matematiku uvodi u istraživanje i opis prirodnih pojava te fizikalnih problema, smatrajući je ključem razumijevanja svijeta, najprikladnijom i nezaobilaznom znanošću u istraživanju prirode. Getaldićev pristup istraživanju prirode u potpunosti se odražava se u njegovu djelu *Promotus Archimedes*. U radu se njegov pristup istraživanju prirode smješta u opće filozofske okvire. Getaldićev stil izlaganja fizikalne građe primjenom razmjera i geometrijskom metodom rani je nagovještaj širenja geometrijske metode na različita područja filozofije 17. stoljeća. Getaldić, uz uvođenje matematike u opis fizikalnih problema, naglašava i drugi važan aspekt djela, a to je njegova eksperimentalna utemeljenost, omogućena stvarnim mjerenjima. Njegov pristup u *Promotus Archimedes* preteča je novovjekovnog istraživanja prirodnih znanost i uklapa se u opće filozofske tendencije svojeg vremena. U radu se također prikazuje bogat odjek Getaldićeva *Promotus Archimedes* u novovjekovnoj prirodnoznanstvenoj literaturi u sklopu koje se može razmatrati epistemološke aspekte njegova rada, prinos prijenosu znanja i razvoja novovjekovne znanosti. Iz perspektive intelektualne historije i historije prijenosa znanja, značajan je Getaldićev prinos razvoju hidrostatičke, u kojoj se vrsnoćom rezultata i elegancijom matematičkih izvoda postavlja uz bok Galileu. Getaldić je, eksperimentirajući hidrostatskom vagom i baveći se fizikalnim problemima vezanim uz određivanje relativne težine, dao neka od najboljih rješenja i metoda u tada aktualnom području hidrostatičke.¹

Uvod

Getaldić u svojem ranom i jedinom fizikalnom djelu *Promotus Archimedes* primjenjivao je kvantifikaciju fizike, eksperimentiranje, hipotetsko zaključivanje i matematički dokaz, što se smatra najvažnijim novinama novovjekovne znanosti. Premda se Getaldić nije eksplicitno bavio se filozofijom, niti je bio uključen u

¹ Ovaj rad financirala je Hrvatska zaklada za znanost projektom „Hrvatska znanstvena i filozofska baština: transferi i apropijacije znanja od srednjega vijeka do dvadesetoga stoljeća u europskome kontekstu“ (IP-2016-06-6762).

renesansna filozofska previranja koja su dovela do profiliranja novog poimanja znanosti i utemeljenja novovjekovne znanosti, on je početkom 17. stoljeća, baveći se matematikom i razvojem matematičkih metoda u okvirima njezina autonomnog područja te njihovom primjenom u istraživanju prirode, dao prinos promjeni paradigme i plodonosnoj primjeni opažajnih mogućnosti u suglasju s matematičkim postupcima i metodama. Postigavši vrsne rezultate u području hidrostatike eksperimentirajući hidrostatskom vagom koju je sâm konstruirao, Getaldić je svoje eksperimentalne i teorijske rezultate istraživanja objavio u djelu *Promotus Archimedes seu de variis corporum generibus gravitate et magnitudine comparatis* [Unapređeni Arhimed ili o uspoređivanju težine i obujma tijela različite vrste, Romae, Apud Aloysium Zannettum, 1603], koje je tijekom 17. stoljeća doživjelo bogatu i raznovrsnu recepciju, svjedočanstvo o utjecaju i dosezima ovog Getaldićeva djela. Brojni su se učenjaci 17. stoljeća na različite načine služili Getaldićevim *Promotus Archimedes* i koristili se njime kao polazištem za vlastita istraživanja. Ubrajajući ga među glavne pisce iz područja hidrostatike, stavljali su ga uz bok Galieu i Arhimedu, dok ga matematičar Giuseppe Biancani uvrštava u „znalce mehanike“, navodeći kako Getaldićevim *Promotus Archimedes* započinje tiskana znanstvena produkcija iz mehanike u 17. stoljeću.²

Nastanak djela Promotus Archimedes

Getaldić je djelo *Promotus Archimedes* objavio 1603., neposredno nakon višegodišnjeg putovanja po Europi i nedugo nakon objavljivanja svojeg matematičkog prvijenca *Nonnullae propositiones de parabola* (Rim 1603).³ Budući da se *Promotus Archimedes* temelji na opsežnom eksperimentalnom radu i sistematizaciji dobivenih rezultata, uz popratna teorijska tumačenja i matematičke dokaze, može se zaključiti da je Getaldić na njemu radio duže i da se s problemom uspoređivanja različitih tijela po težini i obujmu susreo već u Dubrovniku, prije odlaska na putovanja po Europi, vjerojatno u vrijeme kada je 1593. obavljao vlastelinsku službu *prodavača soli na Neretvi*.⁴ Potom odlazi na višegodišnje putovanje po

² MARTINOVIĆ 2019: 21-22.

³ O spornom redoslijedu objavljivanja Getaldićeva prvijenca vidi opširnije u: Isto: 23-24.

⁴ Getaldić se do 20. godine života školovao u rodnome gradu, a zatim je nastavio obavljati poslove u službi Dubrovačke Republike. Važan preokret u njegovu životu započinje 1595, kada kao dvadesetsedmogodišnjak s vršnjakom i plemićem Marinom Gučetićem putuje u London kako bi pomogao u sređivanju ostavštine njegova strica, bogatoga dubrovačkoga trgovca Nikole Gučetića. Osnovne podatke o svojem putovanju ostavio je sâm Getaldić u posveti prijatelju i suputniku Marinu Gučetiću na početku svojega djela *Variorum problematum colectione* [Zbirka različitih problema], tiskanog u Veneciji 1607. Prijevod posvete objavljen je u: GETALDIĆ 1972: 109. Prema tom navodu, doznajemo da je putovanje Europom trajalo punih šest godina te da je boravio u Rimu, Londonu, Antwerpenu, Parizu i Padovi. Opširniji životopis i znanstveni rad Marina Getaldića obrađeni su u: STIPANIĆ 1961; ISTI 1969: 75-112; DADIĆ 1994: 155-192; BORIĆ 2020.

centrima onodobne Europe, kojima se koristio i kako bi proširio svoja znanja. U drugoj godini putovanja boravio je u Antwerpenu, gdje mu poticaje za daljnje bavljenje problemom određivanja relativnih težina i za objavljivanjem rukopisa iz hidrostatičke daju matematičari Michel Coignet i Federico Saminati.⁵ O tome doznajemo iz uvodnog poglavlja *Promotus Archimedes*, naslovljenog *Benevolo lectori* [Dobrohotnom čitaocu],⁶ u kojem Getaldić tumači motive i znanstvene poticaje za objavljivanje djela. Ovdje se, pored Coigneta i Saminijata, spominju još dvojica matematičara i astronoma, Christoph Clavius⁷, priređivač Euklidovih *Elementa* i profesor matematike na Rimskom kolegiju, te Teodosio Rossi, službenik papinskog suda Svete Rote, s kojima se Getaldić intenzivno družio u Rimu od proljeća 1602. do ljeta 1603.⁸ Eksperimentalni rad, koji je započeo u Dubrovniku, novim saznanjima obogaćivao je tijekom studijskog putovanja. Prigoda za dopunjavanje i nova saznanja svakako je mogao biti i kontakt s Galileom u Padovi jer se bavio istim područjem, ali ga Getaldić u predgovoru ne spominje. Vrativši se u Dubrovnik 1601., Getaldić nastavlja eksperimentalni rad do početka 1602., kada odlazi u Rim kako bi objavio djela.

Sadržaj, struktura i glavna obilježja djela Promotus Archimedes

Getaldić u djelu *Promotus Archimedes* 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 djela obrađuje se i poznati problem Hieronove krune, koji Getaldić domišljato i egzaktno rješava.⁹ Tim problemom, preuzetim iz Arhimedovih istraživanja,

⁵ Federico Saminati bio je astronom i matematičar, sin uglednog trgovca iz Lucce koji se zbog obiteljskih poslova preselio u Antwerpen. Osim što je Getaldića uputio na zajedničko izučavanje matematike u Coigneta, potaknuo je i Getaldićev susret s najistaknutijim matematičarom toga razdoblja, Francuzom Françoisom Vièteom, što je presudno utjecalo na daljnji Getaldićev matematički rad. Upravo je pred Getaldićev odlazak iz Antwerpena koncem 1599. Saminati tiskao *Tabulae astronomicae* [Astronomske tablice] i jedan primjerak svojeg djela poslao je po Getaldiću Vièteu u Pariz.

⁶ GHETALDI 1968: 7-8; ISTI 1972: 17.

⁷ Christophor Clavius (Bamberg, 15.-) njemački je matematičar i astronom. Gotovo je pola stoljeća predavao matematiku i astronomiju na Rimskom kolegiju. Zbog njegovih matematičkih znanja i vrsnog poznavanja Euklidovih djela, zvali su ga Euklidom 16. stoljeća. Istaknuo se sudjelovanjem u reformi gregorijanskog kalendara, o čemu je napisao i posebnu raspravu.

⁸ GETALDIĆ 1972: 17.

⁹ Hieronov problem temelji se na legendi da je kralj Sirakuze Hieron, sumnjajući u prijevaru zlatara, tražio od Arhimeda da odredi udio zlata i srebra u njegovoj kruni. Isti je problem Getaldić rješavao još jednom drugom matematičkom metodom u prvom poglavlju pete knjige svojega glavnog djela *De resolutione et compositione mathematica* [O matematičkoj analizi i sintezi], posmrtno objavljenog u Rimu 1630, koristeći se metodom algebarske analize i sinteze. *Problema primum*, u: GHETALDUS 1968: 299-307.

bavili su se mnogi znanstvenici nakon Arhimeda, među njima i Getaldićev suvremenik, Galileo Galilei. Raspravu Getaldić temelji na primjeni Arhimedovih istraživanja i Arhimedova zakona, prema kojem svako tijelo uronjeno u neku tekućinu postaje lakše za težinu količine tekućine koju je uronjeno tijelo svojim obujmom istisnulo. U predgovoru djela napominje da mu je cilj ta istraživanja doraditi jer problem određivanja odnosa između težina i obujmova raznovrsnih tijela nije opširnije protumačen.¹⁰ U djelu se nigdje ne spominje izraz specifična težina, premda je pojam bio uveden u 13. stoljeću u pseudoarhimedovu djelu *De insidentibus in humidum* (ili *De ponderibus*), ali se ni u tom djelu ni u Getaldićevu doba nije koristio u onom značenju koje ima danas¹¹. Ta je specifična težina bila uvijek relativna jer se uzimala uvijek za jedno tijelo u odnosu na neko drugo tijelo istog obujma, koje nije bilo uvijek isto. Slično kao i njegovi prethodnici i suvremenici, tom je problemu pristupao i Getaldić. Naime, nastavljajući tradiciju, koristeći se Arhimedovim principom i hidrostatskim vaganjem, određivao je omjere težina različitih tijela istog obujma ili omjere obujmova različitih tijela istih težina. Pišući svoju hidrostaticku raspravu *Promotus Archimedes*, Getaldić se koristio renesansnim izdanjima antičkih kapitalnih djela. U prvom redu služio se Commandinovima izdanjem Arhimedove rasprave *De iis quae vehuntur in aquis* iz 1565.: „Ali je pomnije i bolje od Commandina i njegovih prethodnika odabrao ključne stručne nazivke za tijelo i obujam: *corpus* i *magnitudo*. Iz Commandinova je izdanja Dubrovčanin naučio kako fizikalne probleme izraziti grafički i svesti ih na geometrijske razmjere. Kad se pak pozvao na Arhimedovo djelo *De sphaera et cylindro*, Getaldić se služio bazelskim izdanjem Arhimedovih *Opera omnia* (1544). Glasoviti navod iz trećeg poglavlja devete knjige Vitruvijeva djela *De architectura* Dubrovčanin je preuzeo iz Philanderova, a ne iz Barbarova izdanja. Time je odabrao ne samo izdanje s više provjerenih znanstvenih obavijesti nego i izdanje bliže njegovoj metodologiji i istraživačkim ciljevima, bez ikakve poveznice s Aristotelovim razumijevanjem lakoga i teškoga i bez ikakva doticaja sa srednjovjekovnom tradicijom nazivka ‘težina po vrsti’ (*gravitas in specie*).“¹²

Kada se usporedi vrijednost Getaldićevih rezultata mjerenja sa suvremenim podacima za specifične težine, pokazuju se vrlo mala odstupanja. Može se zaključiti da su Getaldićevi rezultati mjerenja bili jako dobri, naročito ako se usporede s rezultatima njegovih suvremenika,¹³ što ukazuje na činjenicu da je bio dobar

¹⁰ GETALDIĆ 1972: 17.

¹¹ Uvođenje i razvoj pojma specifične težine detaljno je opisano u: CLAGETT 1961: 91-97.

¹² MARTINOVIĆ 2020: 8.

¹³ Najpoznatijim istraživačem tih problema u 16. stoljeću smatrao se talijanski znanstvenik Niccolò Tartaglia. Tri stoljeća nakon objavljivanja spomenutog pseudoarhimedova djela, Tartaglia ga tiska pod naslovom *Jordani Opusculum de ponderositate* (Venezia 1565) i pritom mu još dodaje 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*.

eksperimentator. Međutim, ni on nije ničim istaknuo odnos težina različitih tijela prema jednom uvijek istom referentnom tijelu, što bi rezultiralo većom općenitošću i rezultate njegovih mjerenja učinilo znatno sređenijim, već je određivao omjere težina različitih tijela istog obujma ili omjere obujmova različitih tijela istih težina. Među razlikovnim obilježjima Getaldićeve metodologije potrebno je istaknuti i kako je za potrebe mjerenja hidrostatskom vagom Getaldić istokario uzorak od kositra u obliku jednakostraničnoga valjka, dok se suvremenici koji su glasili najuglednijima na tom području koristili drugačijim pristupom: Villalpando se služio kockastom posudom s bakrenim stijenkama (tzv. *paratus cubus*), Riccioli olovnom kockom, a Tartaglia do 1551. vagao je „kocku od opeke“ (*cubo di pietra cotta*), kuglice od željeza i olova te kovanice od zlata, srebra i bakra.¹⁴

Djelo *Promotus Archimedes* sadrži teorijski, praktični i tablični dio, koji nisu sasvim odvojeni u posebno naslovljene cjeline, već se prema sadržaju koji se obrađuje u pojedinim dijelovima knjige metodološki izmjenjuju. Vrijednosti ovog fizikalnog djela, uz precizne rezultate eksperimentalnog rada, značajno pridonosi i Getaldićev pristup istraživanjima te njegova metodološka koncepcija, odnosno činjenica da je Getaldić na nov način prezentirao fizikalnu građu, onako kako je izložena građa Euklidovih *Elementa*. Djelo sadrži 72 stranice, na kojima je Getaldić izložio rezultate svojih hidrostatskih istraživanja s pomoću deset poučaka,¹⁵ devet problema,¹⁶ devetnaest stavaka, deset primjera i sedamnaest stranica tabličnog prikaza sistematiziranih rezultata mjerenja, upotpunjenih uputama za provođenje mjerenja i uporabu tablica. Teorijska građa s poučcima, stavicima, problemima i primjerima nije sabrana u jednu cjelinu, već ih Getaldić postavlja u djelo prema tijeku istraživanja teme, kao podlogu za daljnja izlaganja. Poučci su u potpunosti formulirani i dokazivani u duhu antičke matematike, s uzorom na Euklidove *Elemente*, dokazivani ponekad i dvama načinima te popraćeni jednim ili više primjera. Takav pristup prikazu građe iz područja fizike (prirodne filozofije) predstavljao je u to doba novost. Getaldić razlikuje poučke od problema. Dokaze poučaka završava formulacijom *quod erat demonstrandum* [što je trebalo

¹⁴ MARTINOVIĆ 2020: 8.

¹⁵ 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, iako su različita oblika (poučak 8); Težine istovrsnih kugli odnose se među sobom kao kubi njihovih promjera (poučak 9).

¹⁶ Nekoliko problema iz djela *Promotus Archimedes*: Uzmimo dva tijela jednakog obujma, od kojih je jedno kruto, a drugo tekuće. Ako je zadana težina krutog tijela, neka se nađe težina tekućeg (problem I). Ako su zadana dva tijela jednaka obujma, jedno kruto, a drugo tekuće, pa ako je zadana težina tekućeg tijela, neka se nađe težina krutog (problem II). 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 III).

dokazati], dok postupak dolaska do rješenja u razmatranom problemu okončava formulacijom *quod facere oportebat* [što je trebalo načiniti]. Svaki poučak ili problem sadrži i crtež na kojem su tijela prikazana kao krugovi ili pravokutnici, dok su njihove težine geometrijski prikazane kao dužine. S metodološkog motrišta potrebno je istaknuti vrijednost Getaldićeva pristupa i činjenicu da je svjesno odabrao geometrijskim stilom opisati i prezentirati fizikalni sadržaj djela, što će se kasnije proširiti u filozofiji 17. stoljeća i nazvati *geometrijskim načinom* te postati upravo idealom prezentiranja filozofske građe.

Premda djelo donosi raznolike problemske sadržaje koji se izmjenjuju u nizu neprekinutih tematskih cjelina, većina je njih neimenovana i djelo nema sadržaja koji bi olakšao pregled izložene građe. Započinje posvetom u znak zahvalnosti uvaženom Séraphinu Olivieru Razaliju, titularnom patrijarhu aleksandrijskom i povjerljivoj osobi francuskog kralja Henrika IV. i pape Pia IV, napisanom dana 25. travnja 1603.¹⁷ Zatim slijedi predgovor *Benevolo lectori*,¹⁸ nakon čega je Getaldić izložio rezultate svojih istraživanja koja se sadržajno mogu razdijeliti na sedam cjelina. U tih sedam cjelina, od kojih samo dvije imaju istaknut naslov, izmjenjuju se teorijski sadržaji, praktične upute i sistematizirani tablični prikaz rezultata njegova eksperimentalnog rada, grupiran u ukupno šest tablica. Teorijski dio na kojem se bazira Getaldićev *Promotus Archimedes* sadrži ukupno deset poučaka. Prva cjelina sadrži prvih sedam poučaka, zajedno sa sedam stavaka, problemom I i primjerom I, te iz njih slijede sva daljnja razmatranja.¹⁹ Druga je cjelina praktičnog i kratkog sadržaja naslova *Quomodo ponderada sint corpora solida in aqua* [Kako čvrsta tijela treba vagati u vodi]. Sadrži uputu za korištenje hidrostatskom vagom te odražava Getaldićevu domišljatost i preciznost u eksperimentalnom radu koja se ogleda u napomeni da se zbog točnosti mjerenja za ovjes tijela koriste konjske dlake jer je gotovo jednako teška kao voda pa stoga neće ništa niti dodati niti odbiti težini tijela koje se važe.²⁰ Treća cjelina sadrži problemski dio (problemi II-VIII, popratni primjeri II-VIII i stavci IX-XV), koji se bavi problemima određivanja težine ili obujma čvrstoga tijela ili tekućine.²¹ Četvrta cjelina, prema Getaldićevu zapisu, nastala je neposredno prije objavljivanja djela i obrađuje problem vaganja dvaju tijela jednakoga obujma, a različitih oblika.²² Potaknuta je primjedbom recenzenta koji je nabacio sumnju da se iz težine što je tijela imaju dok su u vodi ne može izvesti pravi omjer težina, nego samo u slučaju kada su istog oblika.

¹⁷ GHETALDI 1968: 3-6; GETALDIĆ 1972: 15-16.

¹⁸ GHETALDI 1968: 7-8; GETALDIĆ 1972: 17.

¹⁹ Prva teorijska cjelina ne sadrži naslov i završava primjerom uz problem I. Vidi: GHETALDI 1968: 9-18.

²⁰ Isto: 18; GETALDIĆ 1972: 27.

²¹ GHETALDI 1968: 19-36; GETALDIĆ 1972: 28-42.

²² GHETALDI 1968: 36-38; GETALDIĆ 1972: 42-44.

Getaldić poučkom VIII, stavkom XVI dokazuje kako je pretpostavka recenzenta pogrešna. Peta cjelina pretežito je tablična.²³ Započinje poučkom IV, stavkom XVII i donosi četiri tablice s uputama i popratnim primjerima. Tablice nose sljedeće naslove: 1. *Ad comparandum inter se duodecimi corporum genera gravitate, et magnitudine* [Tablica za međusobno uspoređivanje dvanaest vrsta tijela po težini i obujmu];²⁴ 2. *Altera, ad comparandum inter se duodecimi corporum genera gravitate, et magnitudine* [Druga tablica za međusobno uspoređivanje dvanaest vrsta tijela po težini i obujmu];²⁵ 3. *Ad inveniendas sphaerarum gravitates ex dana diametrorum magnitudine tabula* [Tablica za pronalaženje težina kugli iz zadane veličine njihovih promjera – načinjena za šest različitih kovina: zlato, olovo srebro, bakar, željezo i kositar];²⁶ 4. *Ad inveniendas diametrorum magnitudines ex data sphaerarum gravitate, tabulae* [Tablica za pronalaženje veličine promjera iz zadane težine kugli]²⁷. U uputi za uporabu tablice za pronalaženje težina kugli iz zadane veličine njihovih promjera Getaldić donosi opis kositrenog uzorka u obliku jednakostraničnog valjka²⁸ i otisnutu duljinu mjere *drevna rimska polustopa*²⁹, uz napomenu kako ona veličinom odgovara rimskom pedlju, kojim se u praksi služe. Getaldić kao vrstan eksperimentator, težeci minimalizirati pogreške i perfektuirati rezultate mjerenja, na kraju djela u ispravcima navodi kako je mjera bila ispravno otisnuta, ali se nakon što se papir osušio nešto smanjila, stoga joj treba dodati četvrtinu unce kako bi se dobila točna duljina polustope.³⁰ Šesti dio naslova *Quomodo Archimedes argenti mixtionem deprehendit in auro* [Kako je Arhimed ustanovio primjesu srebra u zlatu] donosi Getaldićevo rješenje problema Hijeronove krune,³¹ zatim Vitruvijev navod,³² problem IX, primjere I-II, poučak X i stavke XVIII-XIX. Posljednji, nenaslovljeni sedmi dio započinje tumačenjem *qua ratione ex gravitate auri cognosci possit eius qualitatis* [kako se iz težine zlata može doznati njegova kakvoća]³³ te sadrži naputak za određivanje vrsnoće zlata³⁴, uz dvije tablice naslova *Tabula ad inveniendam qualitatem auri, ex gravitate quam habet in aere et aqua* [Tablica za pronalaženje kakvoće zlata iz težine

²³ GHETALDI 1968: 39-59; GETALDIĆ 1972: 44-60.

²⁴ GHETALDI 1968: 40; GETALDIĆ 1972: 46.

²⁵ GHETALDI 1968: 41; GETALDIĆ 1972: 47.

²⁶ GHETALDI 1968: 44-49; GETALDIĆ 1972: 48-51.

²⁷ GHETALDI 1968: 50-57; GETALDIĆ 1972: 54-58.

²⁸ GHETALDI 1968: 42-43; GETALDIĆ 1972: 52-53.

²⁹ GHETALDI 1968: 42; GETALDIĆ 1972: 52.

³⁰ GHETALDI 1968: 42, 80; GETALDIĆ 1972: 52.

³¹ GHETALDI 1968: 59-69; GETALDIĆ 1972: 60-67.

³² GHETALDI 1968: 60; GETALDIĆ 1972: 60-61.

³³ GHETALDI 1968: 67; GETALDIĆ 1972: 67.

³⁴ GHETALDI 1968: 74; GETALDIĆ 1972: 72.

koju ono ima u zraku i vodi]³⁵ i *Tabella partis proportionalis denominatorum auri* [Tablica razmjernog dijela označitelja zlata],³⁶ uz koje Getaldić daje upute o različitim načinima korištenja ovim tablicama i primjere koji će rastumačiti i olakšati njihovu uporabu. Djelo završava popisom korekcija.³⁷

Eksperimentalna utemeljenost djela Promotus Archimedes

Važno obilježje djela *Promotus Archimedes* njegova je eksperimentalna utemeljenost. U antici i srednjovjekovlju zbog kvalitativne prirode fizikalnih tumačenja, pokusima se nije pridavalo veliko značenje. Potaknuto renesansnim promjenama pristupa istraživanju prirodnih znanosti, ističe se važnost primjene pokusa kao osmišljenog i metodski osviještenog propitivanja prirode. Getaldić se u svojem istraživanju koristi pokusom te na temelju eksperimentalnog rada u djelu donosi rezultate mjerenja, sistematizirane u tablice. Njegovi sustavni i bogati tablični prilozi daju nam uvid u kvalitete Getaldićeva eksperimentalnoga rada. Dobiveni rezultati sistematizirani su i grupirani u odgovarajuće tablice, koje uglavnom slijede nakon izloženog teorijskog i praktičnog dijela s uputama. Cjelokupan tablični dio djela sadržava šest tablica za uspoređivanje težina i obujmova za navedenih dvanaest tijela, zatim za određivanje težine kugle iz zadanog polumjera i obrnuto te za određivanje kvalitete zlata. Pored toga, teorijska razmatranja i praktične upute upotpunjeni su detaljnim opisima postupaka eksperimentiranja. Getaldić u drugoj cjelini naslova *Quomodo ponderanda sint corpora solida in aqua* opisuje postupak vaganja tijela u vodi s pomoću vage jednakih krakova sa zdjelicama. Tekst svjedoči o tome s koliko je pozornosti i preciznosti Getaldić izvodio pokuse, nastojeći predvidjeti i izbjeći moguće pogreške i odstupanja koja se javljaju tijekom provođenja pokusa.³⁸ Sprava kojom se koristio vrsta je hidrostatske vage, za koju se pretpostavlja da ju je sâm konstruirao. Nije razjašnjeno je li Getaldić tu vagu konstruirao potpuno samostalno prije puta po Europi ili se to dogodilo nakon povratka u Dubrovnik, kada je određene ideje za izradu tog instrumenta mogao dobiti od Galilea u Padovi ili iz nekog drugog izvora. Naime, Galileo je na početku svojeg znanstvenog rada napisao raspravu o hidrostatskoj vagi i njezinoj primjeni. Za Getaldićeva života taj rukopis nije objavljen, ali postoji mogućnost da ga je vidio, zajedno s Galileiovom vagom za vrijeme boravka u Padovi. Ipak, Getaldićeva vaga znatno se razlikovala i bila je savršenija od sličnih sprava kojima su koristili njegovi prethodnici i suvremenici,

³⁵ GHETALDI 1968: 75; GETALDIĆ 1972: 73.

³⁶ GHETALDI 1968: 75; GETALDIĆ 1972: 73.

³⁷ GHETALDI 1968: 80.

³⁸ GETALDIĆ 1972: 27.

a Galilejev rukopis objavljen je tek 1656. pa Kučera smatra kako Getaldić u tom pogledu ima apsolutni prioritet.³⁹

Primjena matematičke metode i dokaza

Premda u djelu *Promotus Archimedes* nema posebnih cjelina u kojima Getaldić eksplicitno tumači važnost uvođenja matematike u fizikalna istraživanja, niti zaključaka što taj korak značajno donosi prirodnoj filozofiji i razvoju spoznaje, on je vrlo svjestan uloge koju ima matematika u razumijevanju svijeta i traženju izvjesnosti nove spoznaje. Shvaćajući pravo značenje matematike za istraživanje prirode, Getaldić smatra geometrijsku metodu najprikladnijom za prezentiranje istražene fizikalne grade. Tvrdnje izložene po uzoru na klasične matematičke formulacije dokazuje potom matematičkim metodama, oslanjajući se upravo na činjenicu da se matematiku smatralo idealom dokazne znanosti. Taj strogi matematički pristup, koji utjelovljuju Euklidovi *Elementi*, zadržava Getaldić u svim segmentima djela *Promotus Archimedes*. Svjestan potrebe dokazivanja svih iskazanih tvrdnji, Getaldić na kraju trećeg poučka kaže:

„Ono što smo dokazali u dvama prethodnim poučcima, neki pretpostavljaju kao nešto po sebi poznato, i kao da je to neki sasvim opći aksiom koji su tobože sasvim dobro i mudro sami uvidjeli. Međutim Euklid bi isto tako mogao pretpostaviti da je 20. stavak njegovih *Elementa* 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 težina 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.“⁴⁰

Getaldić se matematičkom metodologijom koristi višestruko, ne samo u istraživanju i dokazivanju činjenica već i u načinu prikazivanja dobivenih zaključaka, stoga cjelokupno djelo oblikuje po uzoru na karakterističan ustroj starogrčkih matematičkih djela. Konzistentno primjenjuje različite matematičke postupke u istraživanju fizikalnih sadržaja. Po uzoru na Arhimeda, služi se primjenom razmjera i logističke metodologije te aritmetičkom interpretacijom geometrije i pritom na jedinstven i plodonosan način spaja različite tendencije antičke znanstvene tradicije.

Odjeci, recepcija i istraživanja Getaldićeva djela Promotus Archimedes

Premda je Getaldić stvarao u dubrovačkoj sredini koja je bila prožeta utjecajima renesanse i humanizma, znanja su se u tu sredinu prenosila znatno sporije u odnosu

³⁹ KUČERA 1904: 371-372.

⁴⁰ GETALDIĆ 1972: 21.

na zapadnoeuropske države koje su pružile izvorni dom modernoj znanosti tijekom 16. i 17. stoljeća. U dubrovačkoj izolaciji stvorio je nova teorijska i praktična znanja te izvorna djela koja su imala bogat odjek u europskoj znanstvenoj zajednici ne samo za vrijeme njegova života već i kasnije, tijekom 17. i 18. stoljeća.⁴¹ Na primjeru njegova opusa, a osobito djela *Promotus Archimedes*, vidljivo je kako se prijenos znanja ipak nije odvijao samo iz europskih znanstvenih središta prema periferiji, već je u Getaldićevu slučaju taj proces prijenosa znanja tekao u obama smjerovima.

Zbog svoje važnosti u razvoju hidrostatike, djelo *Promotus Archimedes* imalo je osobitog odjeka u znanstvenim krugovima onodobne Europe, čitavo stoljeće nakon njegova objavljivanja, a predmetom je istraživanja povjesničara znanosti sve do današnjih dana. Oton Kučera prvi je od hrvatskih znanstvenika istraživao djelo *Promotus Archimedes* i njegove odraze. Ukazao je na njemačku i englesku recepciju Getaldićeva djela, odnosno upozorio na dva djela: *Magia universalis naturae et artis* (1658) isusovca Kaspara Schotta i *Opuscula mathematica hactenus inedita* (1677) Williama Oughtreda.⁴² O odrazima djela *Promotus Archimedes* pisali su još Ernest Stipanić⁴³, Hrvoje Tartalja⁴⁴, Mirko Dražen Grmek⁴⁵ i Žarko Dadić⁴⁶, a u novije vrijeme Ivica Martinović⁴⁷ načinio je opsežno istraživanje recepcije Getaldićeva djela te objelodanio članak i raspravu *Riccioli, Schott, Kircher: tri isusovačka polihistora o Getaldićevu djelu Promotus Archimedes*, objavljenu u trima djelima s recentnim spoznajama o širokoj i dosada nepoznatoj recepciji ovoga Getaldićeva djela, potpunije određivši njezin stvarni opseg i značenje u europskom kontekstu. Među stranim istraživačima koncem 20. stoljeća, svoj doprinos istraživanju odraza Getaldićeva *Promotus Archimedes* dali su Pier Daniele Napolitani,⁴⁸ Jens Høyrup⁴⁹ i Michael John Gorman⁵⁰. Najraniji odjek *Promotus*

⁴¹ DADIĆ 2017: 95-104, 111-118; MARTINOVIĆ 2018, 2019a, 2019b, 2020.

⁴² KUČERA 1893: 35, bilj. 1; ISTI 1904: 201-227, 347-375.

⁴³ STIPANIĆ 1961: 189; ISTI 1969: 87.

⁴⁴ TARTALJA 1968: 41-49.

⁴⁵ GRMEK 1969: 116-119.

⁴⁶ DADIĆ 1972: 11-14; ISTI 1982: 147-180, osobito 156-157; ISTI 1994: 155-192, osobito 165-166; ISTI 2017: 78-81, osobito 81.

⁴⁷ MARTINOVIĆ 2018: 23-141, o djelu *Promotus Archimedes* na: 41, 49, 60, 61, 62, 71, 82, 87, 88, 100, 112, 114, 119, 122, 124, 139, 140; ISTI 2019a: 7-90; ISTI 2019b: 379-486; ISTI 2020: 7-124.

⁴⁸ NAPOLITANI 1988: 139-236, o Getaldićevu radu: 178-212, o percepciji *Promotus Archimedes*: 179, bilj. 114.

⁴⁹ HØYRUP 1990: 114-149, o Getaldićevu *Unaprijedenom Arhimedu*: 137-138.

⁵⁰ GORMAN 1999: 238-343, s uputnicama na Getaldića na 315 i 340 (navedeno prema: MARTINOVIĆ 2019a: 19-20).

*Archimedes*a sačuvan je u rukopisima Christophora Grienbergera, koji je za dvije javne prigode u auli Rimskoga kolegija priredio izlaganje o problemima iz Arhimeda i pozvao na podatke iz prve Getaldićeve tablice relativnih težina: prvi put nedugo nakon izlaženja Getaldićeva djela, 5. studenoga 1603, u svojem govoru na početku akademske godine i drugi put 23. lipnja 1614, kada je Grienbergov student Giovanni Bardi izlagao Arhimedovu hidrostatičku i pritom se pozvao na omjer relativnih težina bakra i vode iz prve Getaldićeve tablice relativnih težina.⁵¹ Grienbergerove rukopise s uputnicama na Getaldićeva *Unaprijeđenoga Arhimeda* objavio je Gorman u svojoj doktorskoj disertaciji (1998), a potom i u studiji u Feingoldovu zborniku (2003).⁵² Martinović (2018: 23-141) u svojem članku upućuje na Giuseppea Biancanija⁵³, prvoga učenjaka koji je Getaldićeva *Unaprijeđenoga Arhimeda* spomenuo u tiskanim djelima, uvrstivši ga je u dvije svoje matematičke historiografije: *Clarorum mathematicorum chronologia* (1615) i *Apparatus ad mathematicarum studium* (1620), još za vrijeme Getaldićeva života. Još su dvojica isusovaca, obojica Biancanijevi učenici, uputila na Getaldićeva *Unaprijeđenoga Arhimeda* te preuzimala njegovu građu i metodologiju: Mario Bettini u *Apiaria universae philosophiae mathematicae* (1642) i Niccolò Cabeo u *In quatuor libros Meteorologicorum Aristotelis commentaria et quaestiones* (1646).⁵⁴ Također, i Giovanni Battista Odierna u svojem komentaru Galilejeve hidrostatičke rasprave, objavljenom u *Archimede redivivo* (1644), preuzeo je izvadak iz druge Getaldićeve tablice relativnih težina te priložio novu tablicu u kojoj je Getaldićeve podatke za relativne težine kovina i tekućina usporedio s kasnijim podacima Carla Ventimiglie.⁵⁵ Georg Philipp Harsdörffer na naslovnici svojega djela *Delitiae mathematicae et physicae / Die mathematischen und philosophischen Erquickstunden* (1651) uvrstio je Getaldića među deset glavnih izvora djela. Slijedi Getaldićevu metodu za rješavanje Hieronova problema, preuzima ulomke i primjer s istim broječanim vrijednostima, a u deveti dio svoje zbirke, posvećen umijeću vaganja, uključio je dva zadatka s izravnim uputnicama na *Unaprijeđenoga Arhimeda*.⁵⁶

Snažan je utjecaj Getaldićeve hidrostatičke i u astronomskoj sintezi *Almagestum novum* (1651), kapitalnom djelu Giovannija Battiste Ricciolija.⁵⁷ Koristi se

⁵¹ MARTINOVIĆ 2019a: 22.

⁵² Christophorus Grienberger, „IX Problema Terram auream, Talenti potentia movere“, s rubnom bilješkom „ostensum 5 Novembris 1603“, u: Michael John GORMAN, *Christoph Grienberger's mathematical Problemata [1591–1614]*, 1998, 308-324, na 315, navedeno prema: MARTINOVIĆ 2019a: 19.

⁵³ Biancani je bio učenik Markantuna de Dominisa u Bresci i Christophora Claviusa u Rimu.

⁵⁴ MARTINOVIĆ 2019a: 22.

⁵⁵ ISTI 2020: 9, 80-81.

⁵⁶ Isto: 9-10, 80-81.

⁵⁷ ISTI 2019a: 7-90.

Getaldićevim tablicama relativnih težina te Getaldića svrstava u tri najvažnija tumačitelja i nastavljača Arhimedova rada u hidrostatici, uz bok Galileu i Niccolòu Tartagli. Također, Riccioli se koristi Getaldićevim podacima za relativne težine sedam kovina i pet tekućina te smatra kako Getaldićeva metodologija nadmašuje suvremenike po svojoj znanstvenoj strogosti. Riccioli ostavlja i svjedočanstvo o najranijoj recepciji Getaldićeve izmjere drevne rimske stope među profesorima Rimskog kolegija. Getaldićeva tiskana izmjera sačuvala se na cedulji u Grienbergerovoj ostavštini i Atanasius Kircher je o njoj pismom obavijestio Ricciolija.⁵⁸ Drugo, frankfurtsko izdanje Ricciolijeva *Novoga Almagesta* iz 1653. tekstualno se ne razlikuje od bolonjskoga izdanja iz 1651, a pridonijelo je tomu da Getaldićeva metodologija i podaci za relativne težine budu dostupniji u njemačkim zemljama i na sjeveru Europe.⁵⁹

Snažan utjecaj Getaldićeva *Promotus Archimedes* nalazimo u Kaspara Schotta,⁶⁰ koji u trima svojim djelima upućuje na Getaldića. Recepciju Getaldićeva *Promotus Archimedes* unutar Schottova izlaganja hidrostatičke u njegovu djelu *Magia universalis naturae et artis* (1658, 1672, 1677) dosad su prikazala u različitom opsegu četvorica autora (Kučera 1904; Grmek 1969; Dadić 1972, 1982, 1994, 2017; Martinović 2019a, 2019b, 2020), dok je Schottov prvijenac *Mechanica hydraulico-pneumatica* (1657) i Schottovu matematičku enciklopediju *Cursus mathematicus* (1661) unutar istraživanja Getaldićeve recepcije prvi istražio Martinović (2019b).⁶¹

„U predgovoru svoga prvijenca *Mechanica hydraulico-pneumatica* (1657) Schott je Getaldića uvrstio u poduži popis pisaca iz hidrostatičke i pneumatike: između starijih suvremenika i istaknutih znanstvenika iz sljedećega naraštaja. Osim toga smatrao je da četvorica autora iscrpljuju sadržaj ondašnje hidrostatičke: Stevin, Getaldić, Galilei i Giovanni Battista Odierna.“⁶²

Scott je u djelu *Magia universalis naturae et artis* i *Thaumaturgus mathematicus* sustavno izložio osam matematičkih i fizičkih disciplina, a u trećem dijelu trećeg sveska prikazao je hidrostatičku pod naslovom *Magia hydrostatica*, pri čemu je čak jedanaest puta izravno spomenuo Getaldića.⁶³

„Osobito je pohvalio Getaldićevo tumačenje Vitruvijeva izvješća o Arhimedovu otkriću, čak ga je u rješavanju poteškoća u Vitruvijevu tekstu stavio ispred Gali-

⁵⁸ Isto: 8.

⁵⁹ Isto.

⁶⁰ Rimski urednik Kircherovih izdanja (1652 – 1655) i profesor matematike u Würzburgu (1655 – 1666).

⁶¹ Martinović također prvi navodi kasnija izdanja Schottova djela *Magia universalis naturae et artis* (1672, 1677) koja nisu dosad bila zabilježena u istraživanjima Getaldićeve recepcije.

⁶² MARTINOVIĆ 2019b: 383.

⁶³ Isto: 384.

leia, Odierna i Cabea. Njemački je isusovac najopsežnije prikazao Getaldićevu metodu za otkrivanje udjela zlata u Hieronovu zavjetnom vijencu – s pomoću pravila trojnog, pridodavši čak i Getaldićev primjer.⁶⁴

Schott je u *Magia hydrostatica* (1658) komentirao sve bitne sastavnice Getaldićeve metodologije u *Promotus Archimedes*: dokaze u teorijskom dijelu rasprave, podatke u tablicama i primjere uz problem Hieronove krune s primjenama.⁶⁵ I u svojoj enciklopediji svih matematičkih disciplina *Cursus mathematicus* (1661) spomenuo je Getaldića dvaput. Na početku hidrostatičke uputio je na Getaldića kao na jednoga od trojice glavnih pisaca u tom području – uz Arhimeda i Stevina.⁶⁶

Athanasius Kircher u prvom svesku svojega geološkoga djela *Mundus subterraneus* (1665) spominje Getaldića kao svoj izvor uz Arhimeda i Galilea. U drugom svesku *Mundi subterranei tomus secundus* podrobnije izlaže hidrostatičku i tom se prilikom posve oslanja na Getaldića, preuzimajući njegove primjere i podatke.⁶⁷ Istražujući problem Hieronove krune, Kircher je uz Getaldićev naputak za određivanje kakvoće zlata uputio na Marina Mersennea, a Mersenne u svojem djelu *Cogitata physico-mathematica* (1644) na Pierrea Petita, što ukazuje na kanal francuske recepcije Getaldićeva djela *Promotus Archimedes*.⁶⁸ U svojem komentaru *Quaestiones celeberrimae in Genesim* (1623) Mersenne je preuzeo tri Getaldićeve tablice podataka u cijelosti. Petit je objavio dvije tablice na kraju svojega djela *Construction de la regle et compas de proportion* unutar složenoga izdanja naslovljenog *L'usage ou le moyen de pratiquer par une regle toutes les operations du Compas de Proportion* (1634), u koje unosi rezultate Getaldićevih mjerenja.⁶⁹ U predgovoru Petit navodi izvore i opisuje metodologiju te 15 puta izravno spominje Getaldića:

„Predgovor otkriva da francuski mjeritelj sa znanstvenom strogošću primjenjuje Getaldićevu metodologiju u francuskom kontekstu, tj. služeći se pariškim mjerama za duljinu i težinu. U kasnijem djelu *Cogitata physico-mathematica* (1644) Mersenne je na Getaldića uputio u dvjema raspravama: ‘De hydraulicis et pneumaticis phaenomenis’ i ‘Ars navigandi’.⁷⁰

Engleski matematičar William Oughtred također se koristio prvom i drugom Getaldićevom tablicom relativnih težina. U Oughtredovoj preradbi *Ex Promoto Archimede Marini Ghetaldi*, posmrtno objavljenoj u djelu *Opuscula mathematica*

⁶⁴ Isto.

⁶⁵ Isto.

⁶⁶ Isto.

⁶⁷ ISTI 2020: 8, 79.

⁶⁸ Isto: 79-80.

⁶⁹ Isto.

⁷⁰ Isto: 8-9.

hactenus inedita (1677), otisnute su kao jedna tablica, premda tekst njegove pre-radbe spominje dvije tablice.⁷¹ Potaknut Schottovim *Magia universalis naturae et artis*, Michael Klaus iz Bratislave, profesor filozofije na Sveučilištu u Beču, u sveučilišnom je udžbeniku *Naturalis philosophiae, seu physicae tractatio prior* (1756) istaknuo četvoricu autora koji upućuju prigovore prikazu Arhimedove metode u Vitruvijevu djelu *De architectura*: Getaldić, Galilei, Odierna i Cabeo.⁷²

Zaključak

Getaldić je djelovao u vremenu kada akumulirano poznavanje antičkih djela i širenje humanističkog obrazovanja prerasta antičku tradiciju te se postupno s pomoću metode preobrazbe utemeljuje i oblikuje novovjekovna znanost. Trebalo je gotovo dvadeset stoljeća da se antička metodologija i pristup istraživanju prirode, upotpunjeni znanjima asimiliranim iz arapske znanstvene i filozofske tradicije, izmijene i razviju nove metode za postizanje novih teorijskih znanja i praktičnih rješenja. Izgrađujući svoj bogat opus Getaldić, se uvelike oslanjao na izvorna antička djela i metode koje je dosljedno primjenjivao na raznorodnoj građi, ali ih unapređuje radom na novom pristupu, metodama i rezultatima vlastitih istraživanja. Njegov se rad većim dijelom zasniva na djelima antičkih učenjaka, među kojima se ističu Arhimed, Euklid i Vitruvije, a pod utjecajem je i Eudoksove teorije razmjera i Arhimedove primjene logističke metodologije, odnosno aritmetičke interpretacije geometrije. Pritom Getaldić na jedinstven i plodonosan način spaja različite tendencije antičke znanstvene tradicije.

Getaldićeva primjena geometrijske metode te njegova karakteristična metodološka cjelina, sastavljena od poučaka, problema i pratećeg numeričkog primjera, u potpunosti odražava kvantitativan, novovjekovni pristup istraživanju prirodne znanosti. Glavne odlike takvog pristupa istraživanju temelje se na prožimanju dotad suprotnih tendencija i pristupa, odnosno baziraju se u Getaldića na konvergiranju empirijskog pristupa i matematičke teorije. Getaldić konzistentno primjenjuje matematiku na istraživani fizikalni sadržaj, analizu provodi strogo znanstvenom metodologijom, a svaki njegov zaključak popraćen je matematičkim dokazima, koji su u potpunosti izvedeni u duhu starogrčke matematike. Služi se Arhimedovom primjenom razmjera i logističke metodologije te aritmetičkom interpretacijom geometrije. Rezultate istraživanja sistematizira i prezentira po uzoru na Euklidove *Elemente*, na koje se u djelu više puta poziva.

Matematika je Getaldiću ona znanost koja vodi do pravog znanja o svijetu i ključ je našeg spoznavanja ne samo zemaljskih već i nebeskih objekata. Slična misao o ulozi matematike implicitno je prisutna i u prvim rečenicama uvoda

⁷¹ Isto.

⁷² Isto: 81.

Promotus Archimedes, kojima objašnjava cilj i nakanu ovog djela.⁷³ Premda je djelo planirano kao fizikalno istraživanje, Getaldić smatra samo matematičare kompetentnima za provođenje takva istraživanja:

„Tijela različite vrste matematičari mogu uspoređivati s dvojakoga gledišta...“⁷⁴

Getaldić smatra da bez poznavanja matematike i njezinih metoda nije niti moguće pristupiti istraživanju fizikalnih tema. Analizom ovog djela u koje se uvodi kvantificirani i matematizirani pristup, uz primjenu eksperimenta, pokazuje se da je, pored Euklida, Getaldiću kao nadahnuće za primjenu geometrijske metode na fizikalnoj građi i u aritmetičkoj interpretaciji geometrije poslužio Arhimed.⁷⁵ Premda bi se Getaldićev stil prezentacije građe u ovom djelu svojim oblikom općenito doista mogao nazvati i euklidskim, upravo je Arhimed, a ne Euklid, bio taj koji se koristio logističkom metodologijom, odnosno aritmetičkom interpretacijom geometrije u opisivanju fizikalnih problema. Arhimed je na tom području dao teorijsku podlogu na koju se u djelu *Promotus Archimedes* oslanja Getaldić pa je u tom smislu potpuno opravdano Arhimeda smatrati temeljnim uzorom i nadahnućem ovoga djela. Nova uloga matematike bila je fundamentalna za novovjekovnu filozofiju prirode. U tom smislu Getaldićevo djelo *Promotus Archimedes* predstavlja izvanredan primjer rane preobrazbe koja se kasnije u potpunosti razvija u novovjekovnoj znanosti. Za razliku od dotadašnje tradicije, Getaldićeva primjena matematike u znanosti nije ni simbolična ni figurativna. On se koristi matematikom povezujući je sa stvarnim mjerenjima. Matematika mu služi za oblikovanje osjetilne realnosti te se Getaldić koristi opsežnom matematičkom dedukcijom. Stoga djelo *Promotus Archimedes* u potpunosti predstavlja rani nagovještaj budućeg razvoja novovjekovne znanosti koji će dvadesetak godina kasnije teorijski izložiti Galileo Galilei u svojem djelu *Il Saggiatore*. Getaldićev novi metodološki pristup istraživanju prirode i rezultati njegova teorijskog i praktičnog rada, sistematizirani i objavljeni u djelu *Promotus Archimedes*, u punoj mjeri odražavaju Getaldićevu važnu ulogu u ranom oblikovanju novovjekovne znanosti, postavljajući Getaldića uz bok Galileiju. O tome svjedoči i bogat prijenos znanja iz Getaldićeva *Unaprijeđenog Arhimeda* tijekom cijelog 17. stoljeća, kojim se prikazuje kao nadahnuće naraštajima znanstvenika, od objavljivanja djela pa sve do početka 18. stoljeća. Prema dosadašnjim saznanjima, čak se trinaest znanstvenika na različite načine koristilo i prenosilo plodove Getaldićevih hidrostatskih istraživanja. Počevši od njegova rimskog učitelja, znanje se prenosilo do mlađih naraštaja učenika i znanstvenika. Još za Getaldićeva života ta su znanja prenosili: Christoph Grienberger, njegov učenik Giovanni Bardi i Giuseppe Bian-

⁷³ GHETALDI 1968: 7-8; GETALDIĆ 1972: 17.

⁷⁴ GHETALDI 1968: 7-8; GETALDIĆ 1972: 17.

⁷⁵ GHETALDI 1968: 7-8; GETALDIĆ 1972: 17.

cani, profesor u Parmi. Utjecaj Getaldićeva *Promotus Archimedes* širili su najviše znanstvenici i filozofi iz isusovačkih krugova pa plodove njegovih istraživanja i nakon Getaldićeva života nastavljaju prenositi isusovci: Mario Bettini, Niccolò Cabeo, Giovanni Battista Riccioli, Kaspar Schott, Athanasius Kircher i Michael Klaus. Osobito su Ricciolijeva, Schottova i Kircherova djela, nastala sredinom 17. stoljeća, istaknula značenje i ulogu Getaldićeva *Unaprijeđenog Arhimeda* u povijesti hidrostatike. Teorijske i praktične rezultate Getaldićevih hidrostatskih istraživanja ugradila su ova trojica isusovaca i polihistora u čak osam tiskanih djela. Uz djela starijih znanstvenika koji su se nadahnjivali Getaldićem, Ricciolijeva, Schottova i Kircherova djela promiču Getaldića u jednog od najutjecajnijih hidrostatičara 17. stoljeća. Za to su osobito značajna tri njihova djela: Ricciolijev *Almagestum novum* (1651), Schottova *Magia universalis naturae et artis* (1658) i Kircherov *Mundus subterraneus* (1665). Različiti su ogranci i modaliteti širenja znanja iz Getaldićeva *Unaprijeđenog Arhimeda*. Osim unutar isusovačkih krugova, prenosila su se razgranatom mrežom znanstvenih veza. Širio se utjecaj Getaldićeva *Unaprijeđenoga Arhimeda* ne samo u Rimu, Parmi i Bologni, kao žarištima isusovačke znanosti, već je proširen i u Engleskoj, Francuskoj, Bavarskoj i na Siciliju, o čemu svjedoče djela Wiliama Oughtreda, Marina Mersennea, Pierra Petita, Georga Philipa Harsdörffera i Giovannija Battista Odierna. Na primjeru Getaldićeva djela *Promotus Archimedes* vidljivo je kako se prijenos znanja ipak nije odvijao samo iz europskih znanstvenih središta prema periferiji, već se u njegovu slučaju taj proces prijenosa znanja odvijao u oba smjerovima i potvrđuje Getaldićev utjecaj u oblikovanju temelja novovjekovne znanosti.

Bibliografija

- BORIĆ, Marijana. 2012. Getaldić, Descartes i analitička geometrija. *Prilozi za istraživanje hrvatske filozofske baštine* XXXVIII/2 (76): 167-196.
- BORIĆ, Marijana. 2012. Prinos Marina Getaldića preobrazbi novovjekovne znanosti. *HUM – časopis Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Mostaru* 9: 269-290.
- BORIĆ, Marijana. 2020. *Hrvatski velikan Marin Getaldić* [Biblioteka Hrvatski velikani]. Osijek: Privlačica.
- CERINEO, Miho. 1968. *Promotus Archimedes* Marina Getaldića. *Dijalektika* 4/III: 51-62.
- CLAGETT, Marshall. 1961. *The Science of Mechanics in the Middle Ages*. Madison: University of Wisconsin Press.
- COPLESTON, Federick, S. J. 1993. *A History of Philosophy*. Vol. III. New York: Late Medieval Renaissance Philosophy.
- DADIĆ, Žarko. 1972. Prošireni Arhimed Marina Getaldića. U GETALDIĆ 1972: 11-14. Zagreb: Institut za povijest prirodnih, matematičkih i medicinskih nauka JAZU.
- DADIĆ, Žarko. 1982. *Povijest egzaktnih znanosti u Hrvata*. Knj. 1: *Egzaktne znanosti u Hrvata do kraja 18. stoljeća*. Zagreb: Liber.
- DADIĆ, Žarko. 1994. *Hrvati i egzaktne znanosti u osvitu novovjekovlja*. Zagreb: Naprijed.
- DADIĆ, Žarko. 2017. *Povijest znanosti i prirodne filozofije u Hrvata (s osobitim obzirom na egzaktne znanosti)*. Knj. 3: *Rani novi vijek*. Zagreb: Izvori.
- DADIĆ, Žarko, GLESINGER, Lavoslav, TARTALJA, Hrvoje (ur.). 1969. *Radovi međunarodnoga simpozija „Geometrija i algebra početkom XVII stoljeća“ povodom 400-godišnjice rođenja Marina Getaldića (Dubrovnik, 29. IX – 3. X 1968)*. Zagreb: Institut za povijest prirodnih, matematičkih i medicinskih nauka JAZU.
- GETALDIĆ, Marin. 1972. *Sabrana djela*, ur. Žarko Dadić. Zagreb: Institut za povijest prirodnih, matematičkih i medicinskih nauka JAZU – Izdavački zavod JAZU.
- GHETALDI, Marini. 1968. *Opera omnia*, ur. Žarko Dadić. Zagreb: Institut za povijest prirodnih, matematičkih i medicinskih nauka JAZU – Izdavački zavod JAZU.
- GORMAN, Michael John. 1999. *The Scientific Counter-Revolution: Mathematics, Natural Philosophy and Experimentalism in Jesuit Culture 1580-c1670*. Ph. D. thesis. Florence: European University Institute.
- GORMAN, Michael John. 2003. *Mathematics and Modesty in the Society of Jesus: The problems of Christoph Grienberger*. U *The New Science and Jesuit Science: Seventeenth Century Perspectives*, ur. Mordechai Feingold, 1-120. Dordrecht – Boston – London: Kluwer Academic Publishers.
- GRMEK, Mirko Dražen 1969. Nekoliko svjedočanstava o Marinu Getaldiću i odjecima njegova rada. *Rasprave i građa za povijest znanosti* 3: 113-120.
- HØYRUP, Jens. 1990. Platonizam ili arhimedizam: O ideologiji i samonametnutom modelu renesansnih matematičara (1400–1600). *Godišnjak za povijest filozofije* 8: 137-138.
- KUČERA, Oton. 1893. O Marinu Getaldiću, patriciju dubrovačkom, znamenitom matematiku i fiziku na početku XVII vijeka. *Rad JAZU* 117: 19-60.

- KUČERA, Oton. 1904. Marina Getaldića „Promotus Archimedes“. *Nastavni vjesnik* XII: 371-372.
- MARTINOVIĆ, Ivica. 2018. Giuseppe Biancani o Marinu Getaldiću i Marku Antunu de Dominisu. *Prilozi za istraživanje hrvatske filozofske baštine* 44: 23-141.
- MARTINOVIĆ, Ivica. 2019a. Giovanni Battista Riccioli o Getaldićevu djelu *Promotus Archimedes*. *Prilozi za istraživanje hrvatske filozofske baštine* 45/1: 7-90.
- MARTINOVIĆ, Ivica. 2019b. Kaspar Schott o Getaldićevu djelu *Promotus Archimedes*. *Prilozi za istraživanje hrvatske filozofske baštine* 45/2: 379-486.
- MARTINOVIĆ, Ivica. 2020. Athanasius Kircher o Getaldićevu djelu *Promotus Archimedes*. *Prilozi za istraživanje hrvatske filozofske baštine* 46/1: 7-124.
- NAPOLITANI, Pier Daniele. 1988. La geometrizzazione della realtà fisica: il peso specifico in Ghetaldi e in Galileo. *Bolletino di Storia delle Scienze Matematiche* 8/2: 139-236.
- STIPANIĆ, Ernest. 1961. *Marin Getaldić i njegovo mesto u matematici i naučnom svetu*. Beograd: Zavod za izdavanje udžbenika NR Srbije.
- STIPANIĆ, Ernest. 1969. Marin Getaldić i njegov rad u matematici i fizici. *Rasprave i građa za povijest nauka* 3: 75-112.
- TARTALJA, Hrvoje. 1968. Doprinos M. Getaldića u određivanju specifične težine. *Di-jalektika* 3/4: 41-49.
- TARTALJA, Hrvoje. 1969. Doprinos Marina Getaldića u određivanju specifične težine. U DADIĆ, GLESINGER I TARTALJA 1969: 71-80.

Marin Getaldić – The Forerunner of the Modern Approach to Nature Research

Mathematics was the focus of Getaldić's work, not only in the development of mathematical methods and the establishment of new disciplines, but also in building a new approach to nature research based on quantitative approach, application of mathematics and experimental work, as opposed to the hitherto frequent conception of mathematics as an abstract discipline unsuitable for describing the physical world. He introduces mathematics into the research and description of natural phenomena, considering it the key to understanding the world and the most appropriate and unavoidable science in the study of nature. Getaldić's approach to the study of nature is fully reflected in his work *Promotus Archimedes*. Getaldić's style of presenting physical material using scale and the geometric method is an early hint of the spread of the geometric method to various areas of 17th century philosophy, and the paper places it into general philosophical frameworks. In addition to introducing mathematics into the description of physical problems, Getaldić emphasizes another important aspect of the work, and that is its experimental validity, made possible by real measurements.

Seen from the perspective of intellectual history and the history of transfer of knowledge, Getaldić's *Promotus Archimedes* is a significant contribution to the development of hydrostatics, in which he places himself alongside Galileo Galilei with the excellence of results and elegance of mathematical derivations. Getaldić, experimenting with hydrostatic scales and dealing with physical problems related to determining the relative weight, gave some of the best solutions and methods in the then current field of hydrostatics. Inspired by ancient sources (Archimedes, Euclid, Vitruvius, and others), Getaldić not only participated in the transfer of theories and knowledge from the ancient tradition with his work *Promotus Archimedes*, but also contributed significantly to the further development of hydrostatics through new knowledge and through the rich reception of his work *Promotus Archimedes* in the European scientific community of the 17th and 18th centuries.

Getaldić was active at a time when the accumulated knowledge of ancient works and the spread of humanistic education outgrew the ancient tradition, and gradually through methodological transformation, modern science was founded and shaped. It took almost twenty centuries for the ancient methodology and approach to the study of nature, complemented by knowledge assimilated from the Arab scientific and philosophical tradition, to change and develop new methods for achieving new theoretical knowledge and practical solutions. Under the influence of Eudoxus' theory of proportion and Archimedes' application of logistical methodology, that is, the arithmetic interpretation of geometry, Getaldić combines the various tendencies of the ancient scientific tradition in a unique and fruitful way.

Getaldić's application of the geometric method in the physical work *Promotus Archimedes*, and its characteristic methodological unit composed of a lesson, problem and accompanying numerical example, fully reflects the quantitative, modern approach to the study of natural science. The main features of Getaldić's research are based on the permeation of hitherto opposite tendencies and approaches; they are based on the convergence of the empirical approach and mathematical theory. Getaldić consistently applies mathematics to the researched physical content, conducts the analysis with a strict scientific methodology, and each of his conclusions is accompanied by mathematical evidence, which is entirely derived in the spirit of ancient Greek mathematics. He uses Archimedes' application of scale and logistical methodology, as well as the arithmetic interpretation of geometry. He systematizes the results of the research and presents them on the model of Euclid's *Elements*, to which he refers several times in his work.

For Getaldić, mathematics is the science that leads to true knowledge about the world and it is the key to our knowledge. Archimedes served as an inspiration for Getaldić to apply the geometric method upon the physical structure and in the arithmetic interpretation of geometry. Although Getaldić's style of presenting the material in this work could be called Euclidean in its form, it was Archimedes, not Euclid, who used the logistical methodology, that is, the arithmetic interpretation of geometry in describing physical problems. Also, Archimedes provided the theoretical basis in this area on which Getaldić relies in his work *Promotus Archimedes*, so in that sense it is justified to consider Archimedes as the fundamental inspiration of this work.

The new role of mathematics was fundamental to the modern philosophy of nature. In this sense, Getaldić's *Promotus Archimedes* is an outstanding example of an early transformation that later fully developed in modern science. Unlike the previous tradition, Getaldić's application of mathematics in science is neither symbolic nor figurative. He uses mathematics to connect it to real measurements. Mathematics serves Getaldić to shape sensory reality and he uses extensive mathematical deduction. Therefore, the work *Promotus Archimedes* fully represents an early hint of the future development of modern science, which some twenty years later will be theoretically exposed by Galileo Galilei in his work *Il Saggiatore*. Getaldić's new methodological approach to nature research and the results of his theoretical and practical work, systematized and published in *Promotus Archimedes*, fully reflect Getaldić's important role in the early formation of modern science, placing Getaldić alongside Galileo. This is evidenced by the rich transfer of knowledge from Getaldić's *Advanced Archimedes* throughout the 17th century, which is presented as an inspiration to generations of scientists, from the publication of the work until the beginning of the 18th century. The paper presents a strong echo of *Promotus Archimedes* in modern natural science literature, which discusses its contribution to the transformation of modern science and

epistemological aspects of Getaldić's work. According to preceding knowledge, as many as thirteen scientists have used and transmitted the findings of Getaldić's hydrostatic research in various ways. Starting from his Roman teacher, knowledge was passed on to younger generations of students and scientists. Even during Getaldić's lifetime, this knowledge was passed on by: Christoph Grienberger, his student Giovanni Bardi and Giuseppe Biancani, a professor in Parma. The influence of Getaldić's *Promotus Archimedes* was spread mostly by scientists and philosophers from Jesuit circles, so the findings of his research continue to be passed on after Getaldić's life by Jesuits: Mario Bettini, Niccolò Cabeo, Giovanni Battista Riccioli, Kaspar Schott, Athanasius Kircher and Michael Klaus. In particular, Riccioli's, Schott's and Kircher's works, created in the middle of the 17th century, emphasized the importance and role of Getaldić's *Advanced Archimedes* in the history of hydrostatics. The theoretical and practical results of Getaldić's hydrostatic research were incorporated by these three Jesuits and polyhistorians into as many as eight printed works. Along with the works of older scientists who were inspired by Getaldić, Riccioli's, Schott's and Kircher's works promote Getaldić into one of the most influential hydrostaticists of the 17th century. Three of their works are particularly significant for this: Riccioli's *Almagestum novum* (1651), Schott's *Magia universalis naturae et artis* (1658) and Kircher's *Mundus subterraneus* (1665). There are different branches and modalities of spreading knowledge from Getaldić's *Advanced Archimedes*. Except within Jesuit circles, they were transmitted through an extensive network of scientific connections. The influence of Getaldić's *Advanced Archimedes* spread not only in Rome, Parma and Bologna, as foci of Jesuit science, but also in England, France, Bavaria and Sicily, as evidenced by the works of William Oughtred, Marin Mersenne, Pierre Petit, Georg Philip Harsdörffer, and Giovanni Battista Odierna. The example of Getaldić's work *Promotus Archimedes* shows that the transfer of knowledge did not take place only from European scientific centers to the periphery, but in his case the process of transfer of knowledge took place in both directions and Getaldić's influence in shaping the foundations of modern science is confirmed.

Keywords: Marin Getaldić, natural philosophy, mathematics, geometric method, epistemology, experiment, modern science, knowledge transfer, hydrostatics

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

Marijana Borić
Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti
Ante Kovačića 5
HR-10000 Zagreb
marijanaboric.hazu@gmail.com

FILOZOFSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

ZAVOD ZA HRVATSKU POVIJEST
INSTITUTE OF CROATIAN HISTORY
INSTITUT FÜR KROATISCHE GESCHICHTE

RADOVI

53

BROJ 3

ZAVOD ZA HRVATSKU POVIJEST
FILOZOFSKOGA FAKULTETA SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

The logo for FF press, featuring the letters 'FF' in a stylized font with a horizontal line through them, followed by the word 'press' in a lowercase sans-serif font.

ZAGREB 2021.

RADOVI ZAVODA ZA HRVATSKU POVIJEST
FILOZOFSKOGA FAKULTETA SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

Knjiga 53, broj 3

Izdavač / Publisher
Zavod za hrvatsku povijest
Filozofskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu
FF-press

Za izdavača / For Publisher
Domagoj Tončinić

Glavna urednica / Editor-in-Chief
Inga Vilogorac Brčić

Gostujući urednici / Guest Editors
Vlasta Švoger i Željko Dugac

Uredništvo / Editorial Board
Jasmina Osterman (stara povijest/ancient history), Trpimir Vedriš (srednji vijek/medieval history), Hrvoje Petrić (rani novi vijek/early modern history), Željko Holjevac (moderna povijest/modern history), Tvrtko Jakovina (suvremena povijest/contemporary history), Silvija Pisk (mikrohistorija i zavičajna povijest/microhistory and local history),
Zrinka Blažević (teorija i metodologija povijesti/theory and methodology of history)

Međunarodno uredničko vijeće / International Editorial Council
Denis Alimov (Sankt Peterburg), Živko Andrijašević (Nikšić), Csaba Békés (Budapest), Rajko Bratož (Ljubljana), Svetlozar Eldarov (Sofija), Toni Filiposki (Skopje), Aleksandar Fotić (Beograd), Vladan Gavrilović (Novi Sad), Alojz Ivanišević (Wien), Egidio Ivetić (Padova), Husnija Kamberović (Sarajevo), Karl Kaser (Graz), Irina Ognyanova (Sofija), Géza Pálffy (Budapest), Ioan-Aurel Pop (Cluj), Nade Proeva (Skopje), Alexios Savvides (Kalamata), Vlada Stanković (Beograd), Ludwig Steindorff (Kiel), Peter Štih (Ljubljana)

*Izvršni urednik za tuzemnu i inozemnu razmjenu /
Executive Editor for Publications Exchange*
Martin Previšić

Tajnik uredništva / Editorial Board Assistant
Dejan Zadro

Adresa uredništva/Editorial Board address
Zavod za hrvatsku povijest, Filozofski fakultet Zagreb,
Ivana Lučića 3, HR-10 000, Zagreb
Tel. ++385 (0)1 6120191

Časopis izlazi jedanput godišnje / The Journal is published once a year

Časopis je u digitalnom obliku dostupan na / The Journal in digital form is accessible at
Portal znanstvenih časopisa Republike Hrvatske „Hrčak“
<http://hrcak.srce.hr/radovi-zhp>

Financijska potpora za tisak časopisa / The Journal is published with the support by
Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske

Časopis je indeksiran u sljedećim bazama / The Journal is indexed in the following databases:
Directory of Open Access Journals, EBSCO, SCOPUS, ERIH PLUS, Emerging Sources Citation
Index - Web of Science

Poseban broj
Proizvodnja i cirkulacija znanja

Special Issue
Production and Circulation of Knowledge

Naslovna stranica / Title page by

Marko Maraković

Grafičko oblikovanje i računalni slog / Graphic design and layout

Marko Maraković

Lektura / Language editors

Samanta Paronić (hrvatski / Croatian)

Edward Bosnar (engleski / English)

Tisak / Printed by

Tiskara Zelina d.d., Sveti Ivan Zelina

Naklada / Issued

200 primjeraka / 200 copies

Ilustracija na naslovnici

Muza Klio (Alexander S. Murray, *Manual of Mythology*, London 1898)

*Časopis je u digitalnom obliku dostupan na Portalu znanstvenih časopisa
Republike Hrvatske „Hrčak“ <http://hrcak.srce.hr/radovi-zhp>*

*The Journal is accessible in digital form at the Hrcak - Portal of scientific
journals of Croatia <http://hrcak.srce.hr/radovi-zhp>*