

POVIJESNI PROBLEM ODREĐIVANJA GEOGRAFSKE DUŽINE I ODABIRA POČETNOG MERIDIJANA

Josip Faričić

Određivanje geografskog položaja na Zemlji temelji se ponajprije na utvrđivanju vrijednosti geografske širine i geografske dužine. Tim podatcima, poradi reljefnosti Zemlje, često se pridružuje i vrijednost nadmorske visine, odnosno dubine.

Kao i u mnogim drugim područjima ljudskoga djelovanja najnovija se znanstvena, odnosno tehnološka dostignuća – čijim se plodovima u svakodnevnom životu obilato koristimo, a da o njima previše i ne razmišljamo – temelje na višestoljetnim pokušajima neumornih stvaralaca. Ovo razmatranje o problemu određivanja geografske dužine¹ samo je mali dijelić velike priče o povijesnom razvoju spoznaja o Zemlji te primjeni tih spoznaja u različitim sferama gospodarskih i društvenih aktivnosti.

¹ O sličnoj problematici pisala je P. Novosel Žic (1990, 2-8) te M. Marković (2002). P. Novosel Žic (1990) napisala je kraći članak u kojem je, po prvi put u hrvatskoj geografskoj literaturi, jezgrovito ali sadržajno razmatrala problematiku početnog meridijana. M. Marković (2002) je, potaknut popularno-znanstvenom knjigom D. Sobel (2000), napisao knjigu iz koje bi se očekivala cjelovita obrada zanimljive priče o geografskoj dužini. Međutim, iza naslova njegove knjige ne slijedi tekst koji je najavljen. Uz to, ne može se govoriti o *razvoju kartografije do otkrića longitude* (Marković 2002), već bi bilo bolje govoriti o razvoju kartografije do pronalaska i primjene praktičnoga i preciznog određivanja longitude, tj. geografske dužine. *Geografska dužina* je pojam, za koji je teško reći da je (i kada je) otkriven. Pojmovi geografska dužina (longitude) i geografska širina (latituda) potječu od starih Grka, koji su, unatoč pretpostavkama (Pitagora, Parmenid i dr.) i dokazima (Aristotel, Eratosten i dr.) o sfernom obliku Zemlje (Harley i Woodward 1987, 130-176), najčešće prikazivali poznati nastanjeni svijet (ekumenu) u okviru pravokutnika, koji ima dulju stranicu u pravcu zapad-istok (duljina), a kraću stranicu u pravcu sjever-jug (širina). Primjerice, Demokrit je na prijelazu iz 5. u 4. st. pr. Kr. izradio kartu na kojoj je nastanjeni svijet, uokviren u pravokutnik, otprilike dvostruko dulji u odnosu na širinu (Harley i Woodward 1987, 137), dok je Dikearh na kraju 4. st. pr. Kr. nacrtao kartu na kojoj je omjer duljine i širine ekumene otprilike u odnosu 3:2 (Harley i Woodward 1987, 152). Ekumena starih Grka do početka njihovih intenzivnijih veza s narodima jugozapadne, južne i istočne Azije (posebno nakon epohe osvajačkih ratova Aleksandra Makedonskog) uglavnom se podudarala sa širim područjem Sredozemlja koje je doista izduženo u pravcu zapad-istok.

Povijesni problem određivanja geografske dužine

Geografska dužina² je kut od ravnine početnog meridijana do ravnine meridijana zadane točke (Borčić 1955, 18, Baučić, I., i Baučić, V. 1967, 173-174, Frančula i Lapaine 2005). Danas se određuje u odnosu na početni meridijan koji prolazi kroz staru britansku kraljevsku zvjezdarnicu u Greenwichu. Do pronalaska preciznoga načina određivanja geografske dužine kao i do međunarodnog prihvaćanja greenwickskoga početnog meridijana protekla su stoljeća neumornoga rada vrhunskih astronoma, geografa i kartografa.

Određivanje geografske dužine nije bilo jednostavno kao što je to bilo određivanje geografske širine, koja se mogla razmjerno precizno odrediti mjerenjem visine nebeskih tijela, tj. kuta između smjera nebeskog tijela (primjerice Sunca ili zvijezde Sjevernjače) na nebeskoj sferi i horizontalne ravnine u točki stajališta. Budući da je geografska dužina neke točke kut od ravnine početnog meridijana do ravnine meridijana te točke, postavlja se pitanje koji je to početni meridijan, u odnosu na koji će se određivati geografska dužina.

Drugi problem pri određivanju geografske dužine, kad je neki meridijan već odabran kao početni meridijan, jest u mjerenju kuta od ravnine početnog meridijana do ravnine meridijana na kojem se nalazi točka kojoj se određuje geografski položaj. O načinu izmjere tog kuta znanstvenici su raspravljali stoljećima.

Prvi prijedlozi određivanja geografske dužine

Grčki astronom Hiparh u 2. st. pr. Kr. prvi je predložio sferni koordinatni sustav za određivanje položaja na Zemlji unutar kojeg bi se računale dvije temeljne koordinate: geografska širina i geografska dužina (O'Connor i Robertson 1997a). Za određivanje geografske dužine preporučio je mje-

renje vremenskih razlika u nastupu i završetku pomrčina Mjeseca. Na različitim mjestima simultano bi se, prema Hiparhu, promatralo vrijeme nastupa i završetka predviđene pomrčine i nakon toga bi se usporedili podatci tih zapažanja. Međutim, taj način mjerenja, unatoč matematički i astronomski dobro zamišljenoj ideji, za onodobne tehnološke mogućnosti i brzinu komunikacije (razmjene informacije) nije bio praktičan. Osim toga, pomrčina Mjeseca je razmjerno rijedak astronomski događaj, koji je moguće vidjeti samo kada su povoljne meteorološke prilike što dodatno otežava provedbu Hiparhove ideje.

U starom vijeku geografski položaj se utvrđivao i svjetlosnom signalizacijom, ali to nije mnogo značilo pri prevaljivanju većih udaljenosti, primjerice prilikom plovidbe na otvorenom moru. Također, geografska dužina nastojala se izračunati putem osnovnih trigonometrijskih funkcija pravokutnoga trokuta. Uspoređivane su razlike geografske širine točke polazišta i točke trenutnog položaja, kut plovidbe te duljina puta prijeđene relacije (koja bi se izračunala na temelju usporedbe vremena koje je bilo potrebno da se prijeđe odgovarajuća relacija i prosječne brzine kretanja). Na (ne)preciznost takvog mjerenja utjecali su brojni čimbenici. Brzina brodova nije bila stalna, a na smjer i brzinu plovidbe utjecali su vjetrovi, morske struje i valovi te manevarske značajke brodova. Kut plovidbe nije se mogao precizno mjeriti jer se na Sredozemlju u starom vijeku još nije koristio kompas i dr. Za precizno određivanje geografskog položaja ponajviše su bili zainteresirani pomorci jer im je to bilo neophodno za planiranje smjera plovidbe, osobito kada se radilo o plovidbi na otvorenom moru. Pri obalnoj plovidbi bilo je mnogo lakše, savladavati različite navigacijske zadatke koristeći terestričke orijentire.

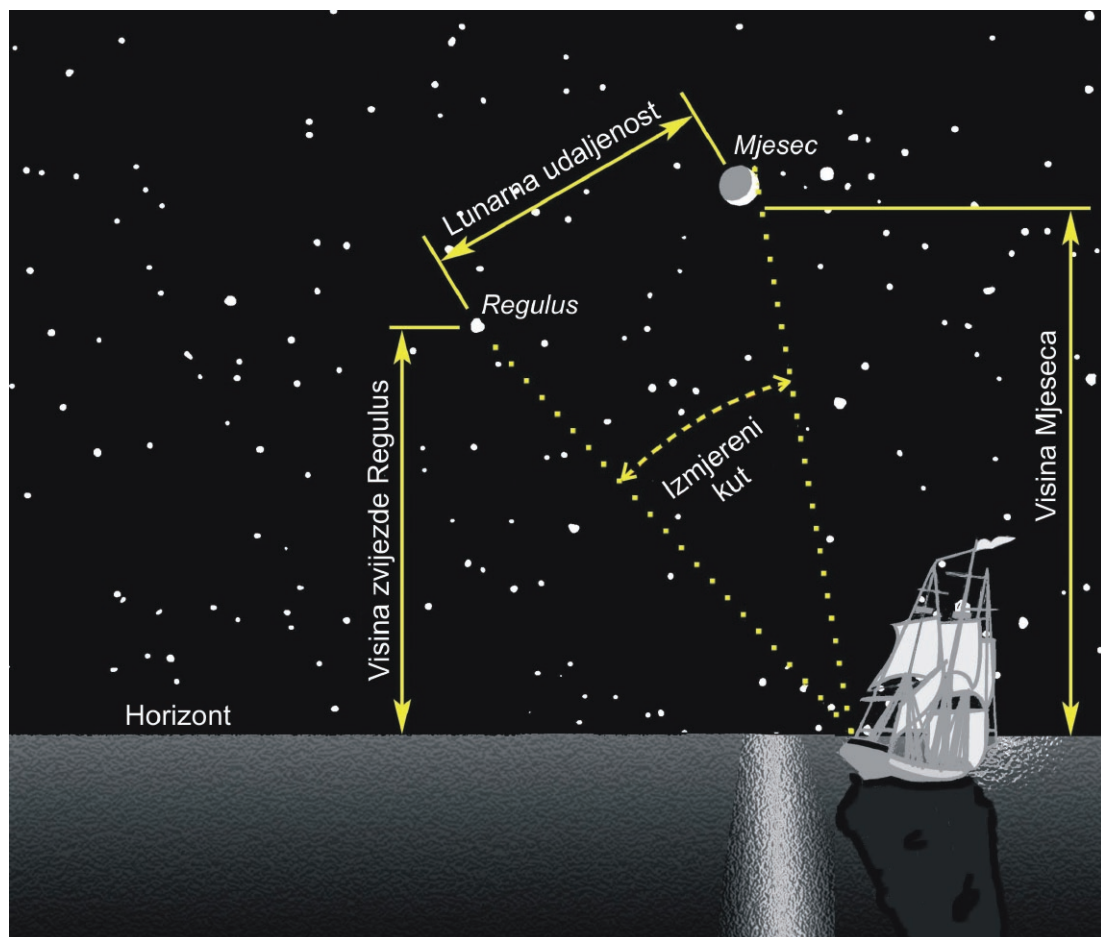
Nakon srednjovjekovnog razdoblja tijekom kojega se, osim u arapskim znanstvenim krugovima, nije ozbiljnije raspravljalo o sfernom

² U hrvatskoj znanstvenoj i stručnoj literaturi koriste se kao sinonimi pojmovi geografska dužina, zemljopisna dužina i longituda. *Longituda* je pojam koji se koristi u brojnim europskim jezicima (primjerice, eng. *longitude*, fra. *longitude*, tal. *longitudine*). Hrvatski naziv *geografska dužina* doslovni je prijevod njemačkog pojma *geographische Länge*. Taj pojam je, po svojoj prilici, u hrvatsko znanstveno nazivlje uveo Bogoslav Šulek. U *Hrvatsko-njemačko-talijanskom rječniku znanstvenog nazivlja* (1875, II, 1339) pod natuknicom *zemljopisni* B. Šulek navodi pojam *zemljopisna dužina* uz njemačku inačicu *geographische Länge* i talijansku inačicu *longitudine geografice*.

obliku Zemlje, a tako ni o problemu određivanja koordinata geografskoga koordinatnog sustava, dolazi do oživljavanja antičkih geografskih i kartografskih tradicija, posebno u vidu reevaluacije Ptolemejeve kartografske baštine. Jedan od priređivača Ptolemejeve *Geografije* i pripadajuće zbirke karata bio je Johann Werner. On je 1514. u komentaru IV. poglavlja *Geografije* predložio da se geografska dužina računa s pomoću podataka o udaljenosti Mjeseca od zvijezda (O'Connor i Robertson 1997a).

Naime, tijekom dana Zemljin satelit Mjesec prividno putuje na nebeskoj sferi i pri tome se zatekne, u određenom trenutku, na odgovaraju-

ćim udaljenostima od zvijezda koje ga (prividno) okružuju. S pretpostavkom da se u različito doba dana Mjesec nalazi na različitim udaljenostima od pojedinih referentnih zvijezda, Werner je zamislio da se usporede udaljenosti izmjerene iz neke referentne točke (na početnom meridijanu) u određenom vremenu s udaljenostima koje je promatrač izmjerio iz odgovarajuće točke stajališta (sl. 1). S matematičkog i astronomskog gledišta ta je ideja bila genijalna, ali nepreciznost tadašnjih astronomskih naprava i račun koji je trebalo obaviti nisu omogućavali njenu implementaciju. Međutim, tu metodu razmatrali su i usavršili engleski astronomi tijekom 17. i 18. st.



Sl. 1. Mjerenje lunarne udaljenosti
(Izmijenjeno i dopunjeno prema: Daly 2007)

Flamanski matematičar i kartograf Gemma Frisius prvi je predložio (1530.) određivanje geografske dužine s pomoću računanja razlike mjesnih vremena između početnog meridijana i onoga na kojoj se nalazi zadana točka. Naime, Frisius je tvrdio da se vremenska razlika mjeri na temelju spoznaje o zakonitosti izmjene mjesnih vremena u skladu s dnevnim (zapravo prividnim) gibanjem Sunca. Dnevno je gibanje Sunca nad horizontom, a tako i protok vremena tijekom dana zapravo posljedica rotacije Zemlje, a Frisius tada još nije znao da se Zemlja rotira oko svoje osi. Na Zemlji istodobno postoje sva dnevna vremena. Vremenska se razlika preračunava u stupanjsku udaljenost na principu matematičkog odnosa prema kojem vremenskom okviru srednjeg Sunčeva dana od 24 h odgovara kut od 360° . Iz toga proizlazi da 1 satu odgovara kut od 15° , a vremenu od 4 min kut od 1° . Dakle, ako je vrijeme neke točke na početnom meridijanu 12 h 00 min 00 s, a u točki kojoj se mjeri geografska dužina 13 h 00 min 00 s onda je geografska dužina te točke 15° istočno od početnog meridijana. Za precizan račun Frisiusu je nedostajao precizan sat koji bi stalno pokazivao vrijeme početnog meridijana s kojim bi se uspoređivalo mjesno vrijeme točke kojoj se određuje geografska dužina.

Nastojeći znanstvenike potaknuti na praktičnu metodu određivanja geografske dužine španjolski kralj Filip II. raspisao je 1567. veliku nagradu. Svojevrsni javni europski natječaj ponovio je i njegov nasljednik Filip III. 1598. Osobi koja bi otkrila način preciznog određivanja geografske dužine bilo je ponuđeno 6000 dukata te doživotna godišnja plaća od 2000 dukata (O'Connor i Robertson 1997a). Tako veliki iznos dovoljno govori koju su važnost španjolski vladari pridavali otkriću načina preciznoga određivanja geografskog položaja. To je i logično jer su njihovi brodovi plovili oceanima širom svijeta održavajući veze s velikim kolonijalnim carstvom. Na natječaj španjolskog vladara javio se, uz ostale, i talijanski astronom Galileo Galilei. On je 1616. predložio da se geografska dužina određuje na temelju mjerenja apsolutnog (standardnog) vremena prolaska četiriju netom otkrivenih satelita koji kruže oko Jupitera. Galilei je od 1610. stalno promatrao gibanja Jupiterovih

mjeseca i znao je za nekoliko mjeseci unaprijed odrediti vrijeme njihovih karakterističnih položaja. Da bi se mogla odrediti geografska dužina bilo je potrebno izraditi tabelarni pregled položaja Jupiterovih satelita iz sata u sat nekog standardnog vremena, odnosno vremena početnog meridijana. S tim bi se podacima uspoređivali oni dobiveni mjerenjem na određenoj poziciji kojoj treba odrediti geografsku dužinu. Ta metoda zahtijevala je veliku preciznost i nije bila praktična. Premda bi se tako mogle odrediti vrijednosti geografske dužine pojedinih stabilnih točaka (npr. naselja), Galileovu metodu nije bilo moguće provoditi u svakom trenutku kada se trebala utvrditi geografska dužina niti je to bilo moguće učiniti u pokretu (npr. po danu kada se, osim Sunca, ne vide nebeska tijela, tijekom oblačnog vremena, kada se brod ljula na valovima i sl.). I sam Galileo je bio svjestan činjenice da čak i ubrzani otkucaji srca kao i ubrzano disanje promatrača mogu prouzročiti znatnu grešku pri određivanju položaja Jupiterovih satelita.

Nizozemska je također raspisala veliku nagradu za znanstvenika koji će otkriti praktično rješenje određivanja geografske dužine, i to 1636. I na taj se natječaj prijavio G. Galilei, s time da je doradio svoj prijedlog iz 1616. Kada je član nizozemskog stručnog povjerenstva htio posjetiti Galileija da bi se osobno uvjerio u funkcioniranje predloženog postupka to mu je bilo onemogućeno jer je Galilei po odredbi Inkvizicije, nakon dugog postupka u kojima su se nesporno sučeljivali različiti znanstveni i teološki pogledi, bio u svojevrsnom kućnom pritvoru u svojoj rezidenciji nedaleko od Firence.

Za rješenje problema određivanja geografske dužine bila je zainteresirana i Francuska. Taj znanstveni problem u vrijeme kolonijalne ekspanzije te intenzivnoga razvoja prirodnih znanosti i aplikacije teoretskih istraživanja, uz ostalo i u kartografiji, nametnuo je svojevrsnu kompeticiju među vodećim europskim državama. Kardinal Richelieu, francuski premijer za vladavine Louisa XIII., okupio je tim znanstvenika koji su trebali pronaći dugo traženi odgovor. Osim što je određen novi početni meridijan (meridijan kanarskog otoka Ferroa), nije pronađen način utvrđivanja

geografske dužine. Richelieuovim stopama krenuo je i premijer kardinal Mazarin te ministar J. B. Colbert, jedan od najposobnijih ministara Louisa XIV. Znanstvenici okupljeni oko *Académie Royale des Sciences* (Francuske akademije znanosti), utemeljene 1666., među kojima i nizozemski fizičar Christiaan Huygens, približili su se modelu određivanja geografske dužine. Huygens je 1656. konstruirao mehanički sat s njihalom, koji je bio do tada najprecizniji instrument mjerenja protoka vremena. Taj izum otvorio je put novim metodama određivanja geografske dužine, a sasvim slučajno poslužio je i za dokazivanje spljoštenosti Zemlje na polovima (Faričić 2005).

Kartograf i astronom Jean Dominique Cassini krajem 17. st. predložio je određivanje geografske dužine organiziranim promatranjima vremena prolaza satelita oko Jupitera. Za njihovo promatranje bilo je potrebno voditi složenu organizaciju preciznih mjerenja, što za tadašnje prilike nije bilo nimalo jednostavno. Cassini je na taj način zapravo bezuspješno pokušao reevaluirati Galileijevu metodu. Povjerenstvo Francuske akademije znanosti zaprimalo je u međuvremenu i druge različite prijedloge koji su trebali riješiti problem određivanja geografske dužine. Tako je, primjerice, J. Graindorge, prior benediktinskog samostana Fontenay blizu Caena, izjavio kako je došao do načina na koji se geografska dužina može odrediti lakše nego geografska širina. Kad je taj francuski redovnik svoju metodu izložio Ch. Huygensu i J. Picardu, oni su zaključili da je predloženi postupak beskoristan (O'Connor, Robertson 1997a).

Problem određivanja geografske dužine nastojali su riješiti i ponajbolji engleski znanstvenici okupljeni u *Society of London for the Promotion of Natural Knowledge* (kraće *Royal Society*), akademsko društvo koje je 1662. osnovao kralj Charles II. Štoviše, prema preambuli Povelje Kraljevskog društva, koju je sastavio znameniti arhitekt Christopher Wren, pronalazak praktične metode određivanja geografske dužine zacrtan je kao jedan od najvažnijih znanstvenih ciljeva te ustanove (O'Connor i Robertson 1997b). Predložene postupke drugih europskih znanstvenika, engleski znanstvenici nisu prihvaćali. Primjerice, Isaac Newton protivio se implementaciji Cassini-

jeve ideje o praćenju Jupiterovih satelita. Bili su razmatrani i sasvim neobični prijedlozi, poput korištenja "praha susjećanja" kojim bi se na daljinu, u određeno standardno vrijeme, pokušale zacijeliti rane ozlijeđenog psa ukrcanog na brod. Ta se metoda zapravo temeljila na ideji Kenelma Digbyja koji se hvalio da je izumio metodu liječenja na daljinu (O'Connor i Robertson 1997b; Sobel 2000, 41-42).

Od katastrofe britanske flote do izuma kronometra

Pouzđano i praktično utvrđivanje vremenskih razlika među pojedinim točkama na Zemlji omogućeno je tek izumom i upotrebom kronometra (od grč. *kronos* = vrijeme i *metron* = mjera), tj. "čuvara vremena" (eng. *time keeper*). Presudan događaj koji je najvjerojatnije znatno ubrzao pronalazak metode određivanja geografske dužine bila je katastrofa britanske ratne flote. Britansko ratno brodovlje stradalo je 22. listopada 1707. zbog pogrešnog određivanja geografske dužine. Kod otočja Scilly, uz jugozapadnu obalu Engleske, poginulo je više od 2 000 mornara i vojnika, uključujući i zapovjednika admirala Cloudesleya Shovela. Apsurdna je činjenica da je taj britanski admiral nešto prije oluje dao objesiti mornara koji se usudio prigovoriti nadređenom časniku kako računaju s pogrešnim geografskim položajem flote.

Od tada su se brojni znanstvenici počeli aktivnije baviti problemom određivanja geografske dužine. Poseban interes izazvala je analiza prijedloga Williama Whitsona i Humphreya Dittona, matematičara koji su 1713. i 1714. osmislili organiziranje svjetlosnih i zvučnih signala koji bi se prema određenim pravilima (šifra signala, vrijeme odašiljanja, geografski položaj točke iz koje se odašilje signal i dr.) odašiljali s plutajućih brodova, tj. platformi usidrenih na otvorenom moru (O'Connor i Robertson 1997b; Sobel 2000, 45-47). Na taj način pomorci bi mogli odrediti geografsku dužinu, a s time i geografski položaj. Međutim, temeljna zamjerka toj metodi jest nemogućnost stabiliziranja referentnih pozicija, tj. sidrenja na otvorenom oceanu te kašnjenje zvuka u odnosu na vrijeme kad je takav signal pušten (a za zvučni signal bila

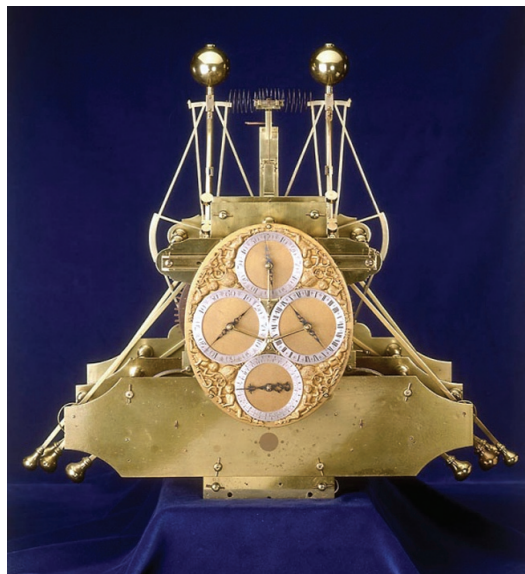
je predviđena topovska paljba). Premda je Wittson-Dittonov prijedlog odbačen, pomorci i trgovci su inspirirani njihovim novinskim člancima i knjigom o određivanju geografske dužine uputili svojevrsnu peticiju britanskom parlamentu.

Poučen tragičnim iskustvom i znanstvenim sučeljavanjima bez konkretnog praktičnog prijedloga britanski je parlament 1714. donio *Zakon o geografskoj dužini* (Act of Longitude), a vlada je osnovala *Odbor za geografsku dužinu* (Board of Longitude). Taj odbor, sastavljen od tadašnjih eminentnih znanstvenika, profesora sa sveučilišta u Oxfordu i Cambridgeu, kraljevskog astronoma, predstavnika Admiraliteta i predstavnika Parlamenta, raspisao je nagradu od 20 000, 15 000 i 10 000 funti za metodu koja bi omogućila određivanje geografske dužine s točnošću od 30' (1. nagrada), 45' (2. nagrada) ili 60' (3. nagrada) nakon šestotjednog putovanja na otvorenom moru. I. Newton, načelno je predložio da se razmotri ideja o korištenju preciznog sata (koji bi pokazivao vrijeme početnog meridijana) na koji ne bi utjecali kretanje broda, promjene temperature i vlage zraka te promjene vrijednosti gravitacije s obzirom na promjenu geografske širine. Uz tu ideju, aktualizirana je i Wernerova ideja o mjerenju lunarne udaljenosti.

Prvi dovoljno precizan sat, kasnije nazvan kronometar, konstruirao je yorkshirski tesar i urar John Harisson 1737. Harrison je, zbog opravdanih kritika, usavršavao inicijalni model (H1) koji je Odboru za geografsku dužinu predstavio 24. lipnja 1737. (sl. 2), pa je izradio još H2, H3 i H4 inačicu (sl. 3a), a započeo je i s izradom 5. modela (H5). No vodeći engleski znanstvenici bili su sumnjičavi prema korištenju tog instrumenta. Primjeni Harissonovog kronometra najviše su se protivili kraljevski astronomi James Bradley i Nevil Maskelyne, a podupirao ih je i njemački astronom Tobias Mayer. Za njih je primjena kronometra u biti predstavljala tehničko rješenje određivanja geografske dužine. Oni su bili pobornici znanstveno utemeljenoga određivanja geografske dužine s pomoću tzv. lunarne udaljenosti i u tome su postigli značajne rezultate. Na temelju Mayerovih tablica o položajima Mjeseca u pojedinom dijelu dana za sve dane u godini te Maskelyneovih

pokusa na Sv. Heleni i Barbadosu, Maskelyn je 1766. objavio prvi *Nautički godišnjak* (Nautical Almanac) s podacima za položaj Mjeseca za svaka tri sata u odnosu na Sunce i deset referentnih zvijezda. Naknadno je razradio matematičke formule kako bi znatno skratio vrijeme koje je potrebno da se na temelju tih podataka te podataka koje bi izmjerio promatrač u određenoj točki stajališta izračuna vrijednost geografske dužine. S time je taj astronom učinio velik iskorak u određivanju geografske dužine, a nautički godišnjaci su od tada postale redovite publikacije koje se izrađuju za potrebe pomoraca diljem svijeta.

Zbog nesuglasja unutar povjerenstva koje je trebalo provjeriti funkcionalnost predloženih metoda te s obzirom na činjenicu da je provjeravanje kronometra bilo povjeravano osobama koje su zastupale sasvim različite poglede na rješavanje problema određivanja geografske dužine (npr. Maskelynu), Harrison je desetljećima čekao dok kronometar nije isproban prema pravilima predviđenim za dodijeljivanje nagrade. Model H4 konačno je 18. studenog 1761. ukrcan na brod *Deptford*, koji je isplovio iz Plymoutha prema britanskoj koloniji Jamajki. U luku Port Royal na Ja-



Sl. 2. H1 – Harrisonov prvi model kronometra

Izvor: <http://www.nmm.ac.uk/server/show/conWebDoc.355>, 11. 02. 2008.

majki brod je s kronometrom stigao 19. siječnja 1762. Tijekom putovanja čuvanje naprave bilo je povjereno Johnovom sinu Williamu Harissonu, a provjeravao ju je zapovjednik *Deptforda*. Kronometar je nakon nekoliko mjeseci vraćen u matičnu luku. Kontrola sata pokazala je da je razlika u vremenu iznosila svega 1 min i 53 s, što odgovara vrijednosti od 28' geografske dužine. Međutim, ni tada Harissonovi nisu dobili zasluženu nagradu zbog opravdanih prigovora da je proces izrade kronometra predug i preskup pa tako i nedostupan širem broju korsinika, a da je, naprotiv, metoda lunarne udaljenosti za vedra neba i uz posjedovanje odgovarajućih tablica (nautičkih godišnjaka) dostupna svima.

Da bi se provjerila mogućnost umnažanja i provjere Harissonovog modela H4 istaknutom uraru Larcumu Kendallu bilo je povjereno da napravi repliku tog modela. Kendall je napravio kronometar koji je nazvan K1 (sl. 3b). Taj model koristio je James Cook na svom drugom putovanju, pa je on, zapravo, prvi počeo praktično primjenjivati kronometar. Od tada je, ne bez teškoća, kronometar

sve više ulazio u upotrebu u pomorstvu s time da su brojni britanski i francuski urari nastojali maksimalno pojednostavniti i ubrzati izradu naprave koja će biti jeftina, ali i precizna kao izvorni Harissonov model. Dugo su u praksi koegzistirale dvije temeljne metode računanja geografske dužine: metoda upotrebe kronometra (kojim su se opremali svi ratni, trgovački i istraživački brodovi) te metoda računanja lunarne udaljenosti. Budući da je problem određivanja geografske dužine bio riješen, godine 1828. ukinut je *Zakon o geografskoj dužini*, a istom je raspušten i *Odbor za geografsku dužinu*.

Princip određivanja geografske dužine pomoću upotrebe kronometra

Kronometar je precizni sat s vrlo malim i ustaljenim dnevnim hodom. Princip je upotrebe kronometra jednostavan. Kronometar stalno pokazuje srednje Sunčevo vrijeme početnog meridijana (danas je to Greenwich Mean Time, odnosno Universal Time).



a b



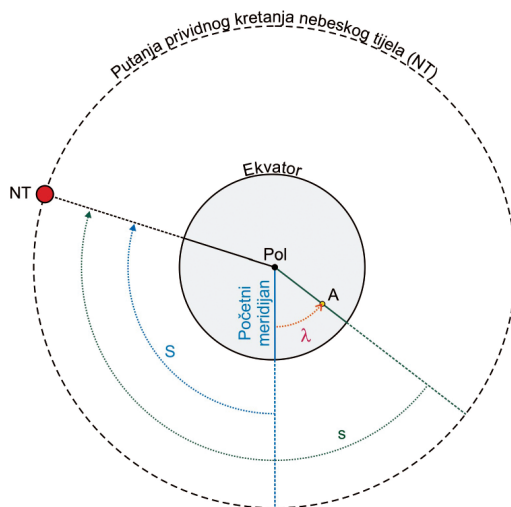
Sl. 3. H4 – Harrisonov usavršeni model kronometra (a) i K1 – Kendallova kopija Harrisonova modela H4 (b)
Izvor: <http://www.nmm.ac.uk/server/show/conWebDoc.355>, 11. 02. 2008.

Geografska dužina nekog mjesta određuje se usporedbom mjesnoga satnog kuta Sunca (ili nekoga drugog nebeskog tijela) i satnog kuta Sunca (ili nekoga drugog nebeskog tijela) za početni meridijan (Klarin 1995, 82-85). Satni je kut, naime, sferni kut koji zatvara ravnina meridijana i ravnina deklinacijskog kruga nekog nebeskog tijela (sl. 4). Satni kut Sunca računa se od trenutka prolaska Sunca kroz gornji nebeski meridijan (dio nebeskog meridijana u kojem se nalazi zenit, za razliku od donjega nebeskog meridijana u kojem se nalazi nadir) od 0° do 360° . Poznavajući te osnovne vremenske, tj. kutne odrednice obavlja se njihova međusobna usporedba i to po sljedećem matematičkom izrazu:

$$\lambda = s - S$$

pri čemu je "λ" geografska dužina, "s" mjesni satni kut mjereno od točke kojoj se određuje geografska dužina, a "S" satni kut mjereno od početnog meridijana. Ako rezultat ima negativan predznak to mjesto ima istočnu geografsku dužinu, a ako je pozitivan onda to mjesto ima zapadnu geografsku dužinu. Vrijednost satnog kuta mjereno od početnog meridijana (S) dobivala se iz *Efemerida* (astronomске tablice s podatcima o vidljivim nebeskim tijelima), a vrijednost mjesnoga satnog kuta mjereno od točke kojoj se određuje geografska dužina (s) trebalo je izračunati prema posebnoj formuli. U nautičkim godišnjacima davala se vrijednost greenwichkog satnog kuta za Sunce, Mjesec, četiri navigacijska planeta (Venera, Mars, Jupiter i Saturn) i Proljetnu točku pa su se, analogno formuli za računanje geografske dužine s varijablama satnog kuta Sunca, mogle koristiti varijable Mjeseca, navigacijskih planeta i sl.

Određivanje geografske dužine olakšano je izumom i prijemom radio-prijemnika jer Greenwichka postaja ima svoju radio stanicu koja stalno emitira podatke o srednjem greenwichkom vremenu, pa se ti podatci uvrštavaju u račun geografske dužine. Izum i primjena radara omogućila je preciznije određivanje geografskog položaja s pomoću radio-goniometra i radio-farova. Suvremena primjena GPS-a (Globalnoga položajnog sustava) omogućuje vrlo precizno određivanje geografskog položaja u bilo kojem trenutku i na bilo kojoj točki na površini Zemlje čime se stubo-



Sl. 4. Geografska dužina (λ) – razlika mjesnog satnog kuta nebeskog tijela (NT) za točku A (s) i satnog kuta nebeskog tijela (NT) za početni meridijan (S) (Izmijenjeno i dopunjeno prema: Klarin 1995, 83)

kom mijenja višestoljetna potraga za efikasnim postupkom određivanja geografske dužine.

Problem početnog meridijana

Geografska dužina mjeri se u odnosu na početni meridijan, označen s 0° geografske dužine. Tijekom prošlosti brojni su meridijani bili odabrani kao početni. Istodobno korištenje nekoliko početnih meridijana stvaralo je teškoće u korištenju različitih geografskih, kartografskih i pomorskih izvora te otežavalo suradnju i komunikaciju. Praksa je nametnula rješenje toga dugovječnog problema, koji se odražavao u brojnim sferama života i djelovanja ljudi.

Prvi poznati meridijan ucrtao je Dikearh, Aristotelov učenik. On je povukao meridijan kroz otoka Rodos u pravcu sjever – jug. Budući da je to bio jedini meridijan na njegovoj karti, teško ga je nazvati početnim. Isti je autor ucrtao i paralelu, koja se protezala širinom Ekumene. Nazvao ju je *dijafragma* jer je dijelila Ekumenu na približno dva jednaka dijela.

U 3. st. pr. Kr. Eratosten je na karti Ekumene ucrtao prvu mrežu meridijana i paralela (7 meri-

dijana i 7 paralela). Meridijane je u nepravilnom razmaku ucrtao kroz vodeće centre tada poznate Ekumene, uvećane poslije osvajanja Aleksandra Makedonskog. Izgleda da je vodeći značaj pridao meridijanu Aleksandrije i Sijene, po kojemu je računao opseg velike kružnice.³ Hiparh je kritizirao Eratostenovu mrežu meridijana i paralela i uveo je cjelovitu stupanjsku mrežu s podjelom na 360 stupnjeva. Predlagao je za početni meridijan onaj koji je prolazio kroz grad Rodos na istoimenom otoku. Geograf Marin iz Tira u 1. st. koristio je kao jednu od odrednica mreže meridijana i paralela početni meridijan koji je prolazio krajnjim zapadnim rubom ekumene – Sretnim (Kanarskim) otocima. U tome ga je slijedio znameniti antički geograf i astronom Klaudije Ptolemej koji je za početni meridijan odabrao onaj koji prolazi kroz najzapadniji i nenaseljeni kanarski otok Ferro (17° 39' 59" W od Greenwicha). Uz ostalo, Ptolemej je u svom djelu *Geografski priručnik* dao geografske koordinate za oko 8 000 mjesta, a izradio je i 27 karata u konusnoj projekciji.

Meridijani podjele svijeta

Tijekom srednjeg vijeka dolazi do stagnacije u razvoju kartografije i geografije pa nije toliko istaknut problem određivanja geografske dužine. Plovidbe Atlantikom, vezane uz prva velika geografska otkrića i stvaranje kolonijalnih carstava pojedinih europskih država, zahtjevale su precizno određivanje geografskog položaja, kako bi se pravilno odredio kurs plovidbe. Portugalci i Španjolci bili su glavni rivali u tadašnjoj borbi za kolonije. Papa Aleksandar VI., podrijetlom Španjolac, nastojao je svijet podijeliti na dvije političke sfere, određujući bulom *Inter caetera* od 4. svibnja 1493. granicu na meridijanu koji je 100 liga (1 španjolska liga /*legua*/ = 4179,4 m; 100 liga = 417,94 km) udaljen od zapadne granice Capverdskih (Zelenortskih) otoka. Približno, taj meridijan je dijelio Atlantski ocean na dva dijela na približno 38° W od Greenwicha. Portugalci nisu prihvatili to rješenje jer je sputavalo njihove kolonijalne

interese u novootkrivenim zemljama na zapadu. Dana 7. lipnja 1494. Španjolci i Portugalci sastali su se u Tordesillasu i sastavili ugovor po kojemu su svijet podijelili na portugalsku i španjolsku interesnu sferu tako da su Portugalci dobili prostor istočnije, a Španjolci zapadnije od meridijana koji je prolazio točkom udaljenom 370 liga (1 546,38 km) zapadno od Capverdskih otoka (približno na 46° 37' W od Greenwicha). Pitanje je koliko su se precizno ugovorne strane mogle držati tog ugovora jer nisu raspolagali instrumentarijem određivanja geografske dužine. U svakom slučaju, prema novom ugovoru Portugalci su dobili pravo kolonijalne penetracije u prostor Brazila. Krajem 15. st. ostale europske države još se nisu aktivnije uključile u globalne pomorske aktivnosti pa nisu ni bile uključene kao relevantni čimbenici u globalnu političku podijelu. Međutim, od 16. st., kada se u velika geografska otkrića aktivnije uključuju Nizozemci, Francuzi i Englezi, podjela svijeta na španjolsku i portugalsku interesnu sferu, kao i meridijan te podjele, izgubili su smisao.

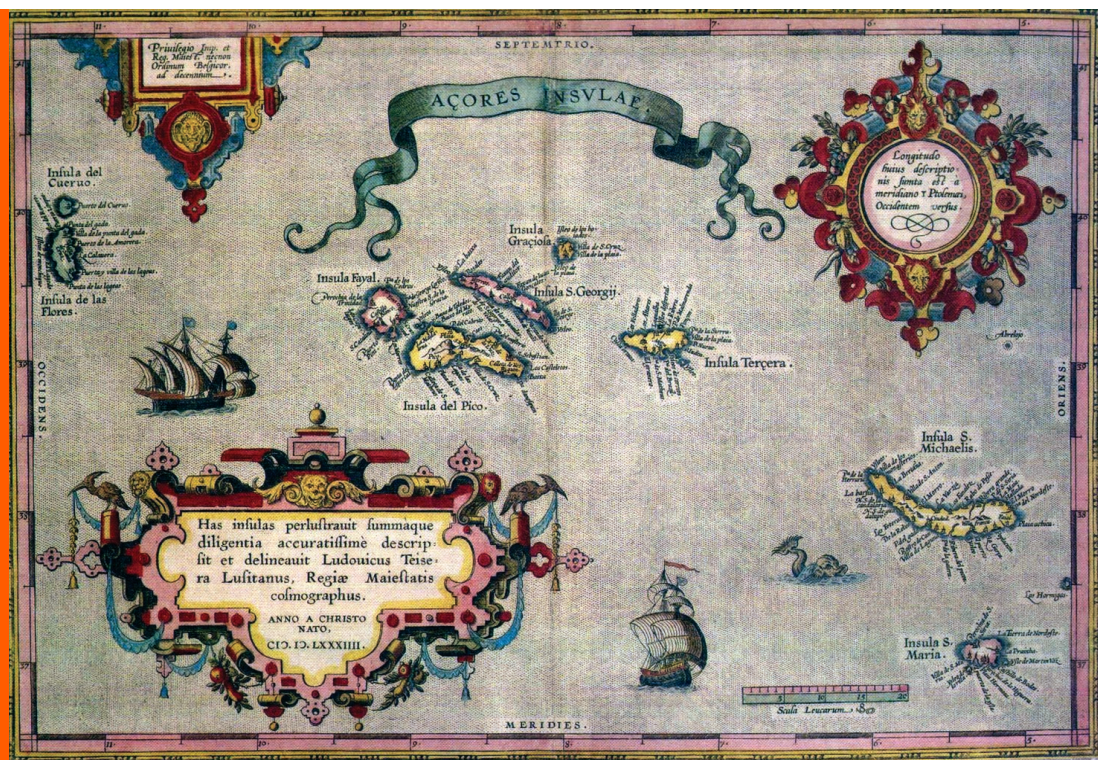
Duboke političko-geografske razlike među vodećim europskim pomorskim silama, uvelike povezane uz natjecanje za stjecanje novih kolonijalnih posjeda i tržišta, odrazile su se i u pomorskoj geografiji i kartografiji. Od 16. st. počele su se intenzivnije izrađivati pomorske i geografske karte, i to na sve jasnije razrađenoj matematičkoj osnovi, ali to je generiralo i supostojanje brojnih početnih meridijana. Jasnih kriterija za uvođenje jedinstvenog početnog meridijana nije bilo (niti je moglo biti), a tadašnja politička situacija kao i stupanj društveno-gospodarskih veza među različitim državama nisu omogućavali kompromisno i za sve obvezujuće rješenje. Jedinstvena rješenja nisu postojala niti unutar pojedinih država, pa čak niti kod pojedinih geografa i kartografa. Tako je, primjerice, znameniti nizozemski kartograf Gerard Mercator koristio čak četiri početna meridijana, dakako ne simultano već na različitim kartama, i to: meridijan otočića Fuerteventura u Kanarima, meridijan zelenortskih otoka, meridijan koji prolazi kroz otočić Corvo u zapadnom dijelu

³ Velika kružnica je svaka kružnica koja nastaje presjekom sfere ravninom koja prolazi kroz središte sfere. Na Zemlji zamišljenoj kao kugli među paralelama samo je ekvator velika kružnica, a to su i svi meridijani s pripadajućim antimeridijanima.

Azora te meridijan koji prolazi kroz otočiće Sao Miguel i Santa Maria u istočnom dijelu Azora (na oko 30° W od Greenwicha; usp. sl. 5). Mercator je geografsku dužinu mjerio od 0° do 360° pa nije bilo zapadne i istočne geografske dužine već jedinstvena geografska dužina, mjerena u smjeru rotacije Zemlje, od zapada prema istoku. Mjerenje geografske dužine od 0° do 360° predlagao je Hiparh još u 2. st. pr. Kr. Početni meridijan koji prolazi kroz Sao Miguel i Santa Mariju u Azorima koristili su i Abraham Ortelius (1570.) i Christopher Saxton (1583.). Početni meridijan koji prolazi kroz otočić Corvo u Azorima na globusu je 1601. označio Iodocus Hondius (Washburn 1982, Hooker 2006), a isti meridijan je kao početni na kartama označavao i nizozemski kartograf Willem Janszoon Blaeu.

Brojni su se geografi i kartografi odlučivali za početni meridijan koji prolazi Azorima poradi činjenice da su pomorci (a prvi među njima K. Kolumbo), primjetili da u tom području nema

magnetske deklinacije već da magnetna igla u kompasu istodobno pokazuje i magnetski i geografski pol. Međutim, kasnijim istraživanjima utvrđeno je da se izogona koja povezuje sve točke s vrijednošću magnetske deklinacije od 0° (agona) ne podudara s meridijanom već da i na istom meridijanu postoje različite vrijednosti magnetske deklinacije. Također, utvrđeno je da se vrijednost magnetske deklinacije tijekom vremena mijenja i u istoj točki. Na to je s pravom upozorio Joan Bleau koji je 1622. predložio da se, načelno sljedeći Ptolemejevu baštinu, za početni meridijan odabere onaj koji prolazi vrhom El Pico na kanarskom otoku Tenerife. To je, po svoj prilici, prvi pokušaj da se jasno fiksira točka kojom prolazi početni meridijan jer se do tada početni meridijan okvirno određivao kao linija koja prolazi kroz otok ili cijelu skupinu otoka (Washburn 1982). Na nekim je kartama tako uopćeno definiran meridijan nazivan *Ptolemejev meridijan* (sl. 6).



Sl. 5. Azorski otoci na karti Ludovicusa Teisere, Amsterdam, 1584.



Sl. 6. Kartuša sa spomenom Ptolemejeva meridijana na karti Azora L. Teisere

Dana 1. srpnja 1634., prema prijedlogu povjerenstva koje je sastavio kardinal Richelieu, francuski kralj Louis XIII. odredio je da francuska mornarica i kartografi računaju geografsku dužinu od meridijana koji prolazi kroz otočić Ferro, oživljavajući tako ptolemejsku tradiciju. Odluka francuskog kralja referirala se na rezultate istraživanja A. G. de Cespedesa objavljene u djelu *Regimiento de Navegacion* (Madrid, 1601.). Na taj način početnim je meridijanom podijeljen Stari i Novi svijet. Međutim, W. G. Perrin sumnjičav je prema tako formuliranoj odluci i smatra da je kardinal Richelieu zapravo takav odabir početnog meridijana podredio tadašnjim političkim interesima Francuske (Washburn 1982). To jasno proizlazi iz dijela kraljeve odluke u kojoj izričito stoji da francuski ratni brodovi ne smiju napadati španjolske i portugalske brodove istočno od početnog meridijana i sjeverno od Rakove obratnice. S time se, očito, nije sputavalo ratno djelovanje francuske mornarice zapadno od početnog meridijana! Bez obzira na skrivene Richelieuove namjere, to je bio prvi pokušaj standardizacije početnog meridijana. Brojne europske zemlje prihvatile su početni meridijan upravo meridijan Ferroa i koristile su ga na svojim kartama sve do kraja 19. st.

Nakon što je francuski kralj Louis XIV. dao nalog za izgradnju kraljevske zvjezdarnice u Parizu 1666. istaknuti astronomi Jean Picard i Phillipe de la Hire predložili su 1682. da je bolje da se geografska dužina ne računa od meridijana Ferroa jer da nije moguće utvrditi preciznu vrijednost geografske dužine pariške kraljevske zvjezdarnice u odnosu na taj početni meridijan. Već i ranije, od 1667., pojedini su francuski geografi i kartografi počeli izražavati geografsku dužinu u vrijednostima u odnosu na meridijan novoosnovane pariške zvjezdarnice. Godine 1700. kraljevski geograf Guillaume De L'Isle (Delisle) izračunao je da se Pariz po meridijanu Ferroa nalazi na zaokruženoj vrijednosti od 20° E (Washburn 1982). Taj je geograf na svojim kartama uz meridijan Ferroa posebno isticao da se radi o početnom meridijanu (sl. 7). Međutim, De L'Isleova istraživanja nisu pridonijela da se geografska dužina u Francuskoj i dalje računa prema početnom meridijanu određenom kraljevskom odlukom iz 1634. Osim toga, kasnija preciznija mjerenja osporila su De L'Isleove zaključke jer je utvrđeno da se Pariz zapravo nalazi na 20°31' E od meridijana Ferroa. Poradi toga Francuzi su nastavili računati geografsku dužinu po meridijanu pariške zvjezdarnice (2° 20' 14" E od Greenwicha), i to sve do početka 20. st. (usp. sl. 8). Taj je početni meridijan kasnije preuzela i Austro-Ugarska, a potom i Kraljevina Jugoslavija pa je meridijanski dio stupanjske mreže otisnut na



Sl. 7. Oznaka početnog meridijana na karti Europe G. De L'Isle, J. Covenssa i C. Mortiera, Amsterdam, 1739.



Sl. 8. Pariški početni meridian na Binetovoj karti Europe iz 1836. (isječak)



Sl. 9. Položaj greenwichke zvjezdarnice u parku na istočnoj periferiji Londona, Ordnance Survey, London, 1801.

Izvor: Harris 2002, 228-229

brojnim izdanjima topografskih karata hrvatskoga područja određivan u odnosu na pariški meridijan (meridijan pariške zvjezdarnice).

Analogno postupku Francuske, godine 1675. engleski kralj Charles II. osnovao je u londonском predgrađu Greenwichu kraljevsku zvjezdarnicu. Za prvog upravitelja imenovan je engleski fizičar i astronom John Flamsteed. Englezi su počeli geografsku dužinu računati po meridijanu koji je prolazio kroz novoosnovanu greenwichku zvjezdarnicu (sl. 9). Da ne bi bilo kakve zabune, upravitelj zvjezdarnice kraljevski astronom George Biddell Airy dao je 1850. označiti tzv. Tranzitnu kružnicu (*Transit Circle*), tj. crtu u koju je, u dvorištu zvjezdarnice Greenwich, projiciran mali isječak početnog meridijana.

Rusija je po uzoru na Engleze i Francuze ta-

kođer uvela određivanje geografske dužine po glavnoj državnoj zvjezdarnici. Pulkovo, zvjezdarnicu Ruske akademije znanosti smještenu nedaleko od Sankt Petersburga i carske ljetne rezidencije Carskog sela (30° 19' 39" E od Greenwicha), osnovao je car Nikola I. Prvim upraviteljem zvjezdarnice imenovan je astronom i fizičar Friedrich Georg Wilhelm Struve (Passarge 1999.). Rusija je od tada počela geografsku dužinu računati prema meridijanu Pulkova.

Kasnije su i druge zemlje počele računati geografsku dužinu po meridijanima koji prolaze kroz njihove nacionalne zvjezdarnice (npr. Italija prema zvjezdarnici Monte Mario u Rimu, Belgija prema Bruxellesu, Španjolska prema Madridu i Cadizu, Švedska prema Stockholmu, pa i Albanija prema Tirani i sl.).

Početni meridijani u drugoj polovini 19. st.

ZEMLJA	POMORSKE KARTE	TOPOGRAFSKE KARTE
Austro-Ugarska	Greenwich	Ferro
Bavarska	-	München
Belgija	Greenwich	Bruxelles
Brazil	Greenwich i Rio de Janeiro	Rio de Janeiro
Danska	Greenwich, Copenhagen i Paris	Copenhagen
Francuska	Paris	Paris
Njemačka	Greenwich i Ferro	Ferro
Nizozemska	Greenwich	Amsterdam
Indija	-	Greenwich
Italija	Greenwich	Roma
Japan	Greenwich	Greenwich
Norveška	Greenwich i Christiania	Ferro i Christiania
Portugal	Lisabon	Lisabon
Rusija	Greenwich, Pulkovo i Ferro	Ferro, Pulkovo, Warsawa i Paris
SAD	Greenwich	Greenwich i Washington
Španjolska	Cadiz (S. Fernando)	Madrid
Švedska	Greenwich, Stockholm i Paris	Ferro i Stockholm
Švicarska	-	Paris
Ujed. Kraljevstvo	Greenwich	Greenwich

Izvor: <http://www.greenwichmeantime.com/info/prime-meridian.htm> (11. 02. 2008.)

Međunarodna meridijanska konferencija

Sve prisutnijim procesom međunarodne suradnje u svim sferama života ukazala se potreba uvođenja jedinstvenoga svjetskog početnog meridijana. Takvu ideju među prvima je istakao francuski znanstvenik Pierre Simon Laplace 1800. (Hooker 2006.). Nakon više rasprava svjetskih geografa na međunarodnim geografskim konferencijama održanim tijekom druge polovice 19. st., prevagu je odnio meridijan koji je koristila najjača pomorska i kolonijalna sila svijeta – Ujedinjeno Kraljevstvo. Unatoč prigovorima, na *Međunarodnoj meridijanskoj konferenciji* (International Meridian Conference) održanoj u Washingtonu u listopadu 1884. za početni meridijan je određen meridijan Greenwicha. Naime, kanadski predstavnik S. Fleming istakao je činjenicu kako 72% svjetskih brodova koristi karte s početnim meridijanom Greenwicha, a preostalih 28% karte s različitim drugim početnim meridijanima. Francuzi su se protivili, a kada su uvidjeli da argumenti stoje u prilog Greenwicha, tražili su da zauzvrat Britanci prihvate metrički sustav mjera. Britanci, dakako, nisu popustili. Francuska je ipak, premda je na konferenciji (uz Brazil) pri glasovanju bila suzdržana, 1911. prihvatila greenwichki meridijan.

Premještanje i institucionalno prestrukturiranje greenwichke zvjezdarnice

Nakon Drugoga svjetskog rata kraljevska zvjezdarnica preseljena je iz Greenwicha u renesansni dvorac Herstmonceaux u Sussexu. Međutim, njezino ime zbog značenja Greenwicha tijekom dugotrajnog pronalaska najbolje metode za određivanje geografske dužine i utvrđivanja pojasnog vremena nije izmijenjeno, već je samo dijelom prilagođeno pa je glasilo *Royal Greenwich Observatory, Herstmonceaux* (RGO). Glavni razlog preseljenja zvjezdarnice, koje je trajalo od 1948. do 1957., bio je intenzivni urbani rast i razvoj Londona te, s tim u vezi, onečišćenje atmosfere, posebno svjetlosno onečišćenje (Parker 1999). Ono je dostignulo nekad od gradskog tkiva odvojenu uzvisinu na periferiji Londona, pa je bio otežan, a ponekad i potpuno onemogućen rad astronoma.

Budući da se znanstvena metodologija astronomije tijekom druge polovice 20. st. stubokom promijenila, znanstveno-istraživačke aktivnosti kraljevske zvjezdarnice preseljene su 1990. iz Herstmonceauxa u Cambridge (Parker 1999). S tim promjenama lokacije britanske astronomske znanstvene jezgre, dakako, nije "preseljen" i početni meridijan. Na mjestu stare zvjezdarnice u Greenwichu danas je *Nacionalni pomorski muzej* (National Maritime Museum) s Airyjevom oznakom te modernom skulpturom koje označavaju početni meridijan (sl. 10). Godine 1998. odlukom *Istraživačkog vijeća za fiziku čestica i astronomiju* (Particle Physics and Astronomy Research Council) ta višestoljetna znanstvena ustanova je ugašena, a od tada ponovno djeluje *Kraljevska zvjezdarnica* (Royal Observatory), ali više ne kao

temeljna istraživačka astronomska ustanova, već kao muzeološka i izdavačka jedinica u sklopu Nacionalnoga pomorskog muzeja.



Sl. 10. Zaljubljeni par u dvorištu stare greenwichke zvjezdarnice na dodiru istočne i zapadne hemisfere

Zaključak

Određivanje geografske dužine bilo je stoljećima jedan od najvećih znanstvenih izazova. U praksi, ponajviše u pomorstvu, aplicirane su različite teoretske spoznaje o obliku i dimenzijama Zemlje te o gibanjima Zemlje u svemiru s ciljem određivanja položaja te orijentacije na Zemljinoj površini.

Nemjerljiv doprinos matematičko-geografskim spoznajama na tom području dali su brojni istaknuti znanstvenici od starog vijeka pa do najnovijeg doba (Eratosten, Hiparh, Ptolemej, Frisius, Galilei, Newton, Cassini i dr.). Oni su uspješno korelirali matematiku, astronomiju, geografiju, geodeziju i kartografiju, a to je neposredno utjecalo na razvoj mnogih društveno-gospodarskih aktivnosti kojima su prostorni odnosi od prvorazredne važnosti.

Ovim prilogom nastojao sam, na temelju analize postojeće literature (uglavnom na engleskom jeziku) te brojnih kartografskih izvornika, barem dijelom rasvijetliti problematiku određivanja geografske dužine i odabira početnog meridijana. Nadam se da će se, kao epilog kritičkog razmatranja ovoga teksta, kod geografa i svih drugih ljubitelja geografije u Hrvatskoj pobuditi interes za proučavanje ove, ali i sličnih tema u kojima se lijepo zrcali duboka protkanost geografije i kartografije sa srodnim egzaktnim znanostima te ističe mogućnost široke primjene znanosti o prostoru u različitim sferama života.

Literatura:

Baučić, I.; Baučić, V. (1967): *Geografija*, Biblioteka Školski leksikon, Panorama, Zagreb.

Binet (1836): *Carte d'Europe*, Paris.

Borčić, B. (1955): *Matematička kartografija (Kartografske projekcije)*, Tehnička knjiga, Zagreb.

Cóvens, J.; Mortier, C.; De L'Isle, G. (1739): *Carte d'Europe*, [Atlas bez naslovnice], Amsterdam, Znanstvena knjižnica Zadar, Signatura: 18771-A/a

Daly, M. (2007): *Lunar distance (navigation)*, http://en.wikipedia.org/wiki/Lunar_distance_%28navigation%29 (11. 02. 2008.)

Faričić, J. (2005): *Kolike su dimenzije Zemlje?*, http://www.geografija.hr/novosti.asp?id_novosti=790&id_projekta=0&trazi= (11. 02. 2008.)

- Frančula, N.; Lapaine, M. (2005): *Mali rječnik kartografskih projekcija*, http://www.kartografija.hr/mali_rjecnik.html (11. 02. 2008.)
- Harris, N (2002): *Mapping the World – Maps and their History*, Thunder Bay Press, San Diego.
- Harley, J. B.; Woodward, D. (1987): *The History of Cartography*, Volume One: Cartography in Prehistoric, Ancient, and Medieval Europe and the Mediterranean, The University of Chicago Press, Chicago i London.
- Hooker, B. (2006): *A multitude of prime meridians*, <http://www.findingnz.co.nz/ab/jab1.htm> (11. 02. 2008.)
- Klarin, M. (1995): *Astronomska navigacija 1*, Školska knjiga, Zagreb.
- Marković, M. (2002): *Klaudije Ptolemej – O razvoju kartografije do otkrića longitude*, Naklada Jesenski i Turk, Zagreb.
- Novosel Žic, P. (1990): *Problem početnog meridijana i naše geografske karte*, Geografski horizont, god. 36, br. 1, Zagreb, 2-8.
- O'Connor, J. J.; Robertson, E. F. (1997a): *History topic: Longitude and the Académie Royale*, <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/HistTopics/Longitude1.html> (11.02.2008.)
- O'Connor, J. J.; Robertson, E. F. (1997b): *History topic: English attack on the Longitude Problem*, <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/HistTopics/Longitude2.html> (11.02.2008.)
- Parker, Ch. (1999): *Castle In The Sky – The Story Of The Royal Greenwich Observatory At Herstmonceux*, <http://www.cowbeech.force9.co.uk/RGO.htm> (10.02.2008.)
- Passarge, M. (1999): *Pulkovo – The main astronomical observatory of the Russian Academy of Sciences*, <http://www.sonnenobservatorium.de/pulkovo/ptext.eng.html> (11.02.2008.)
- Sobel, D. (2000): *Longituda – Istinita priča o usamljenom geniju koji je riješio najveći znanstveni problem svoga vremena*, Naklada jesenski i Turk, Zagreb.
- Šulek, B. (1875): *Hrvatsko-njemačko-talijanski rječnik znanstvenog nazivlja*, II, Zagreb.
- Teisera, L. (1584): *Açores Insulae*, Plantijn, Antwerpen.
- Washburn, W. E. (1982): *The Canary Islands and the Question of the Prime Meridian: The Search for Precision in the Measurement of the Earth*, V Coloquio de Historia Canario-Americana (1982): Coloquio Internacional de Historia Maritima, pp. 877-883. <http://www.millersville.edu/~columbus/data/geo/WASHBR04.GEO> (11.02.2008.)

Izvori:

- Greenwich and the Millennium*, <http://www.nmm.ac.uk/server/show/conWebDoc.198>, (11.02.2008.)
- John Harrison and the Longitude problem*, <http://www.nmm.ac.uk/server/show/conWebDoc.355>, (11.02.2008.)
- Prime Meridian*, <http://www.greenwichmeantime.com/info/prime-meridian.htm> (11.02.2008.)
- The Prime Meridian at Greenwich*, <http://www.nmm.ac.uk/server/show/conWebDoc.1343>, (11.02.2008.)

dr. sc. Josip Faričić, doc.

Odjel za geografiju, Sveučilište u Zadru

Ulica dr. Franje Tuđmana 24 i, 23000 Zadar, Hrvatska, e-mail: jfariacic@unizd.hr