

# Potruga za longitudom

NEVA SLANI<sup>1</sup>

## Uvod

Kad bi ovo bio časopis kojim se propituju i populariziraju društvene znanosti, primjerice povijest, tema članka mogla bi potaknuti istraživanje o tome koje to društvene okolnosti i motivi mogu dovesti do razvoja, do novoga i naprednoga, do znanstvenih revolucija. Za znanstveni doprinos ključne su individualne sposobnosti, no društveni elementi, počevši od društvenog znanja, itekako na njega utječu. Financijska i društvena stabilnost, primjerice, čine se takvim pozitivnim faktorima. Zamišljamo da dobrostojeća društva ulažu u institucije znanja, čime potiču razvoj znanja i znanosti. Parametar ulaganja smatramo vrlo bitnim u procjeni prosperitetnosti društva. Pitanje za znanost poticajne okoline uvijek je aktualno i svakako puno suptilnije od zaključka o količini ulaganja u znanje.

Kada bismo ogolili povijesnu znanstvenu priču koja slijedi, rekli bismo da je pokretač razvoja i znanstvenog doprinosa u ovom slučaju neutaživa ljudska pohlepa. U veliku plovidbu za znanjem i istraživanjem neslućenih širina tako su neprimjetno utkane sebičnost i pokvarenost.

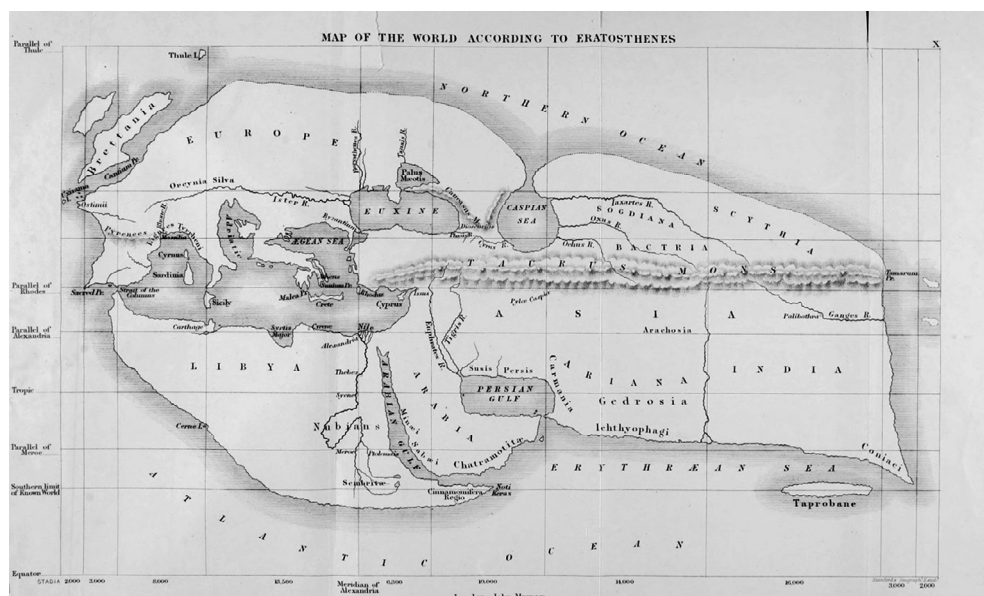
## Eratosten

Iako je, prema bizantskom enciklopedijskom rječniku Sudi iz 10. st., **Eratosten** (približno 276. g. pr. n. e. – 195/194 g. pr. n. e.) bio poznat po nadimku Beta, danas ne doživljavamo da je u intenzivnom bavljenju različitim poljima znanosti bio „vječiti drugi”, već ga često navodimo upravo kao prvog. Uostalom, izrazito kvalitetna filozofska kao i poetska ostvarenja učinila su da ga Ptolemej III Eurget imenuje glavnim aleksandrijskim knjižničarom. Na toj poziciji prvi je bio u prilici proučiti knjige koje su stizale u aleksandrijsku biblioteku, a stizala je svaka vrijedna pisana riječ tog vremena – s brodova koji bi uplovili u aleksandrijsku luku plijenile su se knjige, odnosile i minuciozno prepisivale te tek po nastanku vjerne kopije koja se pohranjivala u knjižnicu vraćale na brod. Ovaj polihistor, kojeg matematičari povezuju s algoritmom za generiranje prostih brojeva manjih od zadanog prirodnog broja, najpoznatiji je po vrlo uspješnom izračunu opsega Zemlje. Starije generacije pamte kako taj nadasve lucidni račun, odnosno metodu, s neizmjernim znanstvenim i predavačkim

<sup>1</sup>Neva Slani, Učiteljski fakultet, Sveučilište u Rijeci

žarom objašnjava Carl Sagan u svom ekraniziranom djelu *Kozmos*. Pojednostavljeno, Eratosten je opseg izračunao promatrajući podnevnu sjenu okomitog štapa u dva grada koja su se nalazila na istom meridijanu, Aleksandriji i tadašnjoj Sieni a današnjem Asuanu, i to za ljetnog solsticija. Odnosno, znao je da sjene na taj dan u podne u Sieni nema, te uz važnu pretpostavku da su Sunčeve zrake koje dolaze do Zemlje međusobno paralelne, dobio veličinu kuta između štapa i sjene u Aleksandriji. Tada je iz podatka o udaljenosti Siene i Aleksandrije, a radilo se o oko 5000 stadija (a svaki je stadij iznosio šest stotina stopa) došao do duljine cijelog meridijana. U ovom računu matematičari će prepoznati osnovne ideje trigonometrije. Prvi sljedeći pokušaj mjerenja opsega Zemlje u Europi javlja se tek u 16. stoljeću.

Očito je Eratosten morao dobro razumjeti prirodu Zemlje, Sunca i njihova odnosa da bi izveo ovakav račun. Iz tog vremena, uostalom, datira i naziv za lokaciju svih mjesta na Zemlji u kojima na dan ljetnog solsticija sjene u podne nema, a riječ je o Rakovoj obratnici. *Rakova* jer se tada, prije više od dvije tisuće godina, Sunce u zenitu nalazilo na mjestu gdje se noću vidjelo zvijezde Raka. *Obratnica* jer ako promatramo poziciju izlaska jutarnjeg Sunca, ono se na horizontu pomiče unutar dvaju solsticija, odnosno upravo u ljetnom i zimskom suncostaju „obrne” smjer kretanja. Prikupljena znanja i razmišljanja o Zemlji Eratosten je (sjetimo se, do Eratostena su dolazile sve one knjige koje su na svom putu zastale u aleksandrijskoj luci, pa tako mnoge u kojima su opisivana putovanja i razni dijelovi svijeta) objedinio crtajući kartu svijeta (*Slika 1.*). Nije to bila prva karta svijeta, no bitno je poboljšavala prethodne i, što je najvažnije, prva je za koju znamo s ucrtanim rasterom meridijana i paralela.



Slika 1. Rekonstrukcija Eratostenove karte svijeta. Iz Bunbury, E. H. (1883.)

*A History of Ancient Geography among the Greeks and Romans from the Earliest Ages till the Fall of the Roman Empire.* Str 667. John Murray, London. <https://commons.wikimedia.org/w/inde>

Ta je mreža bila pravokutna. Doduše, naznake ideje o koordinatnom opisivanju geografske lokacije nalazimo nekoliko stotina godina ranije na području Mezopotamije. Narodi Mezopotamije, u prvom redu Babilonci, saznanja iz astronomije prenose u geografiju i obratno. Babilonske astronome, naime, proslavilo je detaljno opisivanje karti neba i astronomskih tablica položaja nebeskih tijela koje nazivamo efemeridama. S druge strane, izrazito se bave zemaljskim mjerenjima te nalazimo gotovo 4000 godina stare katastarske upise. Iz Mezopotamije stiže i prva pronađena geografska karta svijeta na glinenoj pločici, Navedena karta svijeta predstavlja Zemlju u obliku diska, okruženu oceanom. Njena vrijednost nije bila u stvarnom prikazu Zemlje, koliko u onom simboličkom „Zemlja na dlanu”. Težnja da imamo „Zemlju na dlanu” prati nas, čini se, oduvijek.

Eratostena se pak naziva *Ocem moderne geografije*. Dapače, riječ „geografija” uveo je i popularizirao upravo Eratosten. O njegovom radu i djelu *Geografija* znamo indirektno, iz radova kasnijih povjesničara i geografa, prvenstveno Straba.

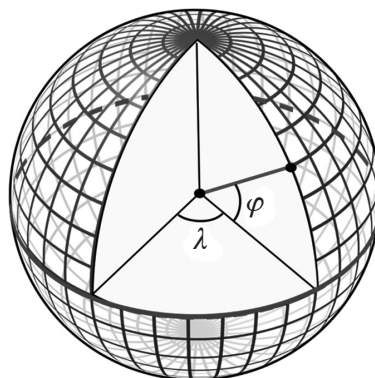
Njegov je rad dalje značajno unaprijedio **Ptolemej** (oko 100. – 170. g.), ucrtavši u bitno precizniju kartu poznatog svijeta preko 6000 toponima s naznačenim zemljopisnim dužinama i širinama. Nije u potpunosti jasno kako je Ptolemej odredio zemljopisne dužine te još uvijek nastaju radovi u kojima se daje objašnjenje njegove metode (primjerice (Russo, 2013.)).

## Zamišljene linije

Potreba za preciznim mjerenjem pozicije na Zemlji te preciznim određivanjem udaljenosti, površina i kutova je svakodnevna. Većinom je ne primjećujemo zbog digitalnih naprava i pametnih telefona koji nas opskrbljuju tim informacijama bez da poniremo u problematiku. Klik, i dostupne su nam geografska širina i dužina pozicije na kojoj se nalazimo. Globalni položajni sustav (GPS) omogućava nam jednostavnu navigaciju, kako na kopnu, tako na moru i u zraku. Njime su unaprijeđene geodetske izmjere, a time i povećana preciznost katastarskih planova. Upravljanje i planiranje prostorom nezamislivo je bez moderne kartografije, a ona je u potpunosti prebačena u korisnicima vrlo pristupačan digitalni oblik, takozvani geografski informacijski sustav (GIS). Mapiranje imovine, voda, zelenila, kulturno vrijednih objekata i sl. osnova je za kvalitetan rad ministarstava, županija, jedinica lokalne samouprave, komunalnih društava, konzervatorskih odjela i slično. GIS sustavi omogućuju i statističke analize podataka, preklapanja različitih skupova podataka odnosno karata, simulacije gibanja u sustavima koje opisuju i još puno toga.

Koordinatni sustav kojim smo prekrili Zemlju opisuje svaki položaj na njenoj površini uz pomoć zemljopisne dužine (longitude) i zemljopisne širine (latitude). Meridijani su linije točaka s istom zemljopisnom dužinom, paralele linije točaka s istom zemljopisnom širinom. Položaj nultog meridijana, za razliku od položaja nulte paralele, Ekvatora, proizvoljan je. Pritom je zemljopisna širina kut koji točka zatvara

s ekvatorijalnom ravninom i spojnicom točke sa središtem Zemlje (prema sjeveru ili jugu; kut  $\varphi$  na Slici 2.), dok je zemljopisna dužina kut koji zatvara ravnina koja prolazi meridijanom zadane točke i središtem s isto takvom ravninom kroz nulti meridijan (prema istoku ili zapadu; kut  $\lambda$  na Slici 2.). Ovako definirani meridijani i paralele sijeku se pod pravim kutom.

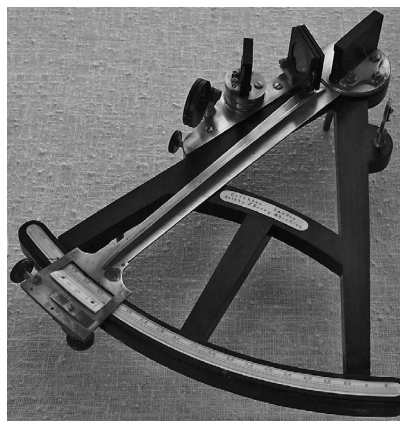


Slika 2. Sustav meridijana i paralela.  
Preuzeto s [https://en.wikipedia.org/wiki/Geographic\\_coordinate\\_system#](https://en.wikipedia.org/wiki/Geographic_coordinate_system#)

Sada odrediti položaj nekoga ili nečega na Zemljinoj površini znači odrediti mu (onako kako je Eratosten zamislio, a Ptolemej marljivo crtao u prvi GIS sustav na svijetu) zemljopisnu dužinu i širinu. Pokazalo se da je odrediti zemljopisnu širinu relativno jednostavno uz pomoć astronomskih promatranja. Najlakše je, za nas na sjevernoj polutki, noću izmjeriti kut koji zatvara Sjevernjača s horizontom, nakon što se odavno uočilo da što smo sjevernije, to nam je ta najsajjnija zvijezda sazviježđa Mali medvjed direktnije iznad nas. Za dana se pak latituda može odrediti uz pomoć položaja Sunca. Malo je kompliciranije od računa sa Sjevernjačom – otklon položaja Sunca od vertikale na jesenju i proljetnu ravnodnevnicu upravo je naša zemljopisna širina. Na ljetni solsticij dodali bismo 23.45 stupnjeva, na zimski oduzeli toliko, a za sve datume između morali poduzeti određene „poštivanje” koje su ljudi odavno tablično zapisali. Kad govorimo o kutovima, od davnina su postojale naprave koje pomažu u određivanju vertikalnih i horizontalnih kutova: kvadrant (predložio ga je Ptolemej) i astrolab (Slika 3.), zatim oktant (Slika 4.), sekstant te teodolit čija je unaprijeđena varijanta i danas u profesionalnoj upotrebi. Zamah u razvoju navedenih uređaja nastaje s mogućnostima precizne obrade stakla, odnosno leći, krajem 17. stoljeća.



Slika 3. Astrolab iz 9. st.  
Preuzeto sa <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=107985697>



Slika 4. Oktant.  
Preuzeto sa [https://en.wikipedia.org/wiki/Octant\\_\(instrument\)#/media/File:Oktant.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Octant_(instrument)#/media/File:Oktant.jpg)

No, zemljopisna dužina dugo je predstavljala nerješiv problem. Podsjetite se da su Ekvator, a time i paralele, određeni zakonima fizike, dok meridijani nisu. Razmišljanja oko određivanja longitude išla su u dva smjera: problem će se riješiti astronomskim računom ili spravom za precizno mjerenje vremena. Ova druga ideja postaje jasna ako se sjetimo da Zemlja napravi punu rotaciju od  $360^\circ$  oko svoje osi za 24 sata. To znači da u jednom satu napravi zaokret od  $15^\circ$ , odnosno, u 4 minute okrene se za  $1^\circ$ . Tako se mijenjaju vremenske zone na Zemlji, a vrijeme je jednako u točkama istog meridijana. Kada bismo znali koliko je sati u mjestu isplovljavanja, a koliko na brodu, znali bismo koliko se stupnjeva geografske dužine brod odmaknuo od polazne luke. Za to će se pokazati dovoljnima dva sata – jedan koji mjeri vrijeme neprekidno od polaska te pokazuje vrijeme luke, i drugog koji mjeri lokalno vrijeme, tako da ga „resetiramo” svakog sunčanog dana na lokalno podne uz pomoć promatranja sjene štapa.

S vremenom je, i sa zamahom plovidbe jedrenjacima, otkrivanjima novog svijeta i novih bogatstava, ovo pitanje postajalo sve važnije. Mučilo je najnaprednije umove svoga vremena. Tako su se njime među ostalima bavili Galileo, Newton, Huygens, Halley... Problem nije izazivao samo znanstvenike. Svim tadašnjim pomorskim silama rješenje za određivanje longitude predstavljao bi svojevrсни *sveti gral* i neusporedivu premoć u odnosu na suparnike. Nije se radilo samo o pitanju premoći, već vrlo konkretne potrebe. Tu potrebu zorno je moguće opisati nesrećom kod britanskog otočja Scilly iz 1707. godine, nažalost ni prvom ni posljednjom pomorskom nesrećom vezanom uz to otočje. Utopilo se preko 2000 pomoraca, a potonula su četiri od pet ratnih brodova flote. Ne samo da je flota izgubila orijentaciju pod utjecajem snažnog nevremena, već je i samo otočje na tadašnjim kartama bilo ucrtano na krivoj poziciji, zamaknuto za desetak kilometara. Gubici su bili česti i nisu se odnosili samo na ljude i brodove, već na ono što je njihove „gazde” puno više boljelo, blago koje je dolazilo iz Zapadne Indije. Radilo se o tonama zlatnika, srebrnjaka, dijamanta, bisera, jantara, zatim raznih začina, tkanina, ebanovine i sličnog.

U gotovo ljutnji u odnosu na nemoć tadašnje znanosti, britanski parlament 1714. donosi takozvani Zakon o longitudi, raspisavši nagradu od 20 000 tadašnjih funti (a današnjih preko 2,5 milijuna) za precizno određivanje longitude, s greškom od najviše pola stupnja. Za rješenje s greškom do  $2/3$  stupnja predviđena je druga nagrada u iznosu od 15 000 funti, za rješenje s točnošću unutar jednog stupnja treća nagrada i 10 000 funti. Potraga kreće, a cijeli postupak pomno prati ozbiljno tijelo sastavljeno od astronoma i fizičara, među njima profesora s Oxforda i Cambridgea, zatim mornaričkih časnika te predstavnika Vlade. Odbor za longitudu mogao je dodatno davati financijske poticaje osiromašenim perspektivnim izumiteljima.

## Harrison

Određivanje longitude postao je nikad veći izazov, a u svakodnevnom govoru sinonim za nemoguće, čak i povodom za međusobno ismijavanje takmaca. Pokušaji su zaista bili inventivni, često i komični. Izumitelj **Jeremy Thacker** osvrnuo se na tu situ-

aciju: „Jednom riječju, zadovoljan sam što čitatelj uviđa da fonometri, pirometri, sele-nometri, heliometri, i svi ostali metri nisu ravni mom kronometru.” I tako je šaljivim osvrtom iskovan općeprihvaćen naziv za brodski sat. No, još je dug put predstojao do pravog kronometra. Thacker je zaista pokušao napraviti odgovarajući brodski sat, no nije se pokazao dovoljno dobrim. Iako je imao dobre strane, primjerice stakleno vakuumsko kućište koje je šttilo od atmosferilija, nije se mogao prilagoditi promje-nama temperature. Naime, sat je radio na bazi njihala, a njihalo bi se širilo i mekšalo s povećanjem temperature te skupljalo i otvrdnjivalo na hladnoći.

**Isaac Newton** svrstao se u onu skupinu eminentnih znanstvenika koji rješenje nisu vidjeli u izradi preciznog sata, već u oslanjanju na najprecizniji, svemirski satni mehanizam – zvjezdano nebo. Upravo je on ukazao da promjene u temperaturi i vla-zi, zatim samo ljuljanje broda, kao i razlike u gravitaciji na različitim zemljopisnim širinama čine izradu takvog sata gotovo nemogućom. No on je ipak izrađen, gotovo četiri desetljeća nakon Newtonove smrti. Tako se ovaj veliki znanstvenik nije za živo-ta suočio sa spoznajom da je bio u krivu.



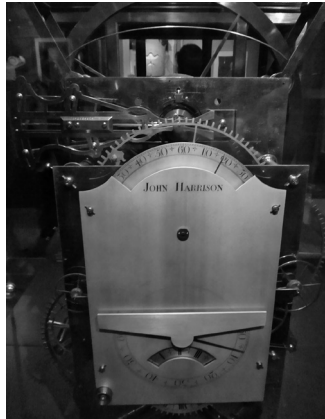
Slika 5. Portret Johna Harrisona.  
Philippe Joseph Tassaert [1767]  
Preuzeto sa <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=318112>

Napravu za mjerenje vremena s traženom preciznošću izradio je **John Harrison**, samouki urar, po profesiji stolar. Spadao je u onu kategoriju „siromašni i perspektivni”, no Odbor za longitudu bio je sve samo ne poticajan prema njemu. Nepoznato je kako se i zašto Harrison odlučio izrađivati satove. No, prvi sat, koji je radio na principu njihala, izradio je 1713. Princip rada njihala bio je poznat još od **Galilea** koji je uočio da duljina njihala određuje vremenski period njihanja. Galileo koji je to znao „oduvijek” na kraju nikad nije realizirao ideju u vidu izrade sata, već je to učinio njegov sin Vincenzio. U Firenzi je pak prema njegovoj konstrukciji napravljen sat na zvoniku. Kako to u znanosti često biva, slava izrade prvog sata nije pripala Galileiji-ma, već talentiranom **Christiaan Huygensu**, koji je itekako dobro poznao Galileov rad, no ipak je tvrdio da je na ideju sata došao samostalno. Huy-

gens je svoje izume dao testirati na moru. Pokazalo se da sat može dobro raditi i rješavati problem orijentacije na moru, no također da je naprava izuzetno osjetljiva i praktički nefunkcionalna pri nevremenu. Kako bi tome doskočio, Huygens je 1675. izumio oprugu koju će ugraditi u sat, takozvanu nemirnicu. Za autorstvo nad njom javio se pak **Robert Hooke** (da, onaj isti od stanice), tvrdeći da mu je Huygens ukrao ideju.

Svejedno će povijest kao najvećeg izrađivača satova zabilježiti skromnog stolara Johna Harrisona. Od prvog sata pa do onog savršenog koji je riješio problem longi-

tude proći će 46 godina u kojih će Harrison izraditi nekoliko modela kronometra. Prvi Harrisonovi satovi, satovi jednog stolara, bili su izrađeni gotovo isključivo od drveta! Zupčanike je izrađivao od najboljeg odležalog drveta, pazeći na godove. Neki od Harrisonovih satova rade još i danas.



*Slika 6. Harrisonov brodski sat H-3. CC BY-SA 3.0, preuzeto sa <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=22796359>*



*Slika 7. Harrisonov kronometar H-4. Preuzeto sa <https://www.gearpatrol.com/watches/a89119/history-of-the-harrison-h4-marine-timekeeper/>*



*Slika 8. Detalji na H-4. <https://www.gearpatrol.com/watches/a89119/history-of-the-harrison-h4-marine-timekeeper/>*

Harrison se također odmaknuo od njihala i konstruirao dva vlastita mehanizma. Kombinirajući dijelove od mjedi i čelika realizirao je njihalo otporno na promjene temperature. Preciznost satova pomno je testirao uspoređujući njihov rad s kretanjem zvijezda. Zvijezde su s horizonta zamicala svaku noć 3 minute i 56 sekundi ranije nego prethodne, zbog rotacije Zemlje. Od H-1, prvog brodskog sata koji je izradio 1735. pa nadalje, satove je testirao i u plovidbi. Iako se H-1 pokazao sjajnim, i time kandidatom za nagradu od 20 000 funti, perfekcionista Harrison zaključio je da ima neke nedostatke koje će pokušati popraviti. Tako je 1737. nastao opet dovoljno precizni H-2. No, sad slavljenu Harrison ni njime nije bio zadovoljan. Do H-3 trebalo mu je devetnaest godina, pri čemu mu je pomoćnik postao sin William. U treći je sat Harrison ugradio izum koji se i danas koristi kako bi se anulirao učinak promjene temperature, bimetalnu pločicu. Ovi satovi bili su veliki i teški; najveći od njih H-1, a najteži H-2, oko 38 kg. Jedanaest kilograma lakši H-3 činio se čak elegantnim u odnosu na prethodnike. No, ni njime Harrison nije bio zadovoljan te je odgađao testiranje H-3, čineći Odbor za longitudu nervoznim i zapravo sve više nekorektnim u odnosu na njega. Umjesto velike slave, perfekcionizmom mu je priskrbio ismijavanje, da bi 1759. konačno isporučio H-4 koji po mnogočemu kao da ništa ne duguje svojim prethodnicima. Mali, džepni kronometar, pred Odbor je donio u maloj kutiji. Za potrebe ovog malog mehaničkog savršenstva, na koje je Odbor reagirao prilično ravnodušno, naučio je obrađivati drago kamenje te dijamantima i rubinima usavršio mehanizam. Navijeni sat radio je trideset sati. Sačuvan je i može raditi i danas, iako je izvan uporabe upravo kako bi se sačuvao od trenja, trošenja i nužnog čišćenja. No, da ga netko aktivira danas, ili za parsto godina, sat će sigurno raditi.

Harrison se do kraja života natezao s Odborom oko isplate zaslužene nagrade. Nije doživio da bude do kraja isplaćen.

#### Literatura:

1. Boyer, C.B. i Merzbach, U.C. (2011.) *A History of Mathematics*. John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey.
2. Grasshoff, G., Rinner, E., i dr. (2016.). *Longitude*. Journal for Ancient Studies, 6. Excellence Cluster Topoi, Berlin.
3. McCormick Adams, R., Ayala, F. i dr. (1995.). *On Being a Scientist*. National Academy Press, Washington, D.C. Pribavljeno s <https://nap.nationalacademies.org/read/4917/>
4. Mlodinov, L. (2007.) *Euklidov prozor: priča o geometriji, od paralelnih pravaca do hiperprostora*. Izvori, Zagreb.
5. Russo, L. (2013.) *Ptolemy's longitudes and Eratosthenes' measurement of the Earth circumference*. Mathematics and mechanics of complex systems, 1(1). Mathematical sciences publishers, Berkeley.
6. Sobel, D. (2000.) *Longitude*. Jesenski i Turk, Zagreb.
7. Šikić Z. : *Knjiga o kalendarima*. Profil, Zagreb, 2001.

#### Izvori:

1. <https://www.gislounge.com/mapping-through-the-ages/>
2. <https://www.worldhistory.org/Eratosthenes/>
3. <https://sites.math.rutgers.edu/~cherlin/History/Papers2000/sullivan.html>