

dardnog meridijana, pa razlika tih vremena određuje geografsku dužinu. Međutim, sastavljanje dobrih efemerida bio je uvjet za primjenu i Galilejevog prijedloga i metode Mjesečevih udaljenosti. Zbog toga se u Parizu gradi astronomska opservatorija za potrebe pomorstva 1672. godine, a 1675. godine i u Greenwichu za zadatkom »da se što brižljivije i marljivije stara da se poprave tablice o kretanjima nebeskih tijela i položajima nekretnica, kako bi bilo omogućeno određivanje geografskih dužina na moru, radi unapređenja pomorstva i astronomije«. (Iz teksta engleskog kralja Charlesa II).



S pariške opservatorije Jean Dominique Cassini je 1666. godine izradio posebne tablice pomrčine Jupiterovih satelita, ali se Galilejev prijedlog za određivanje geografske dužine ipak nije mogao primijeniti na brodu, jer se zbog valjanja broda nije moglo motriti ulazak ili izlazak Jupiterovih satelita iz sjene. Dalje efemride Mjeseca predstavljale su posebnu poteškoću. Sam Isaac Newton (1642-1727) pokušao je izračunati buduće kretanje Mjeseca, ali mu to nije uspjelo, pa je izjavio kako mu je jedino taj problem zadao glavobolju. Leonard Euler je tri puta objavljivao Mjesečeve tablice (1746, 1755. i 1772.) ali u početku točnost podataka nije prelazila 7 do 8'. Tek je Tobias Mayer (1723-1762) s Mjesečevim tablicama iz 1755. godine postigao točnost od 1,5'.

Metoda Mjesečevih udaljenosti sa svim tim poboljšanjima ostala je teška i nepouzdana, jer je pogreška u motrenju ili računanju od 1' davala 27' pogreške u rezultatu. Iako teorijski jednostavna, metoda je iziskivala napor mnogih glasovitih znanstvenika da bi se u praksi navigacije mogla pravilno iskoristiti.

Većina tadašnjih kapetana i pilota nije je nikada ni savladala.

Bilo je i drugih prijedloga metoda za određivanje geografske dužine pomoću vremena Mjesečevih kulminacija pomoću računa longitude i rektascenzije Mjeseca iz motrenja Mjeseca i ne-

kog drugog nebeskog tijela; pomoću vremena istovremenog prolaza Mjeseca i neke zvijezde kroz meridijan; pomoću motrenja Mjeseca i neke zvijezde u istom vertikalnu; pomoću okultacije neke zvijezde s Mjesecom. Sve su one bazirane na motrenju Mjeseca pa se i metode uglavnom svode na metodu Mjesečevih udaljenosti.

Bio je i jedan poseban prijedlog Williama Gilberta (1540-1630) da se geografska dužina određuje pomoću magnetske varijacije. Na temelju ovog prijedloga početkom 18. stoljeća je Edmond Halley (1656-1742) napravio prvu kartu izogona, ali zbog promjene varijacije ovo ipak nije moglo biti primjenljivo na moru.

Kroz 17. i 18. stoljeće u pomorskim zemljama mnogi su naučnici i urari, koji su već od ranije pravili mehaničke satove na kopnu, pokušali konstruirati mehaničke satove koji bi mogli nositi vrijeme nekog meridijana i na brodu.

Nizozemski znanstvenik Christian Huygens (1625-1695) konstruirao je 1660. godine sat na njihalo uz pomoć Aleksandra Bruca (lord Kinnairdine, škotski izbjeglica koji je tada živio u Nizozemskoj). Nakon obnove monarhije u V. Britaniji Bruce se vratio i uzeo sa sobom dva sata na njihalo. Ove satove su on i Robert Hook 1662. godine ukrcali na jahtu Charlesa II i smjestili u težište broda. Pokus su ponovili i dvije godine kasnije na Nautičkoj misiji za Gvineju. Nije postignut zadovoljavajući rezultat, iako je sat bio smješten u kardansko vjesište, jer je gubitak napetosti konopca njihala kada bi brod valjao i posrtao izazivao različito gibanje sata. Huygens je konstruirao novo njihalo u obliku konusa, a konopac zamijenio lancem, ne bi li kompenzirao raniji negativni utjecaj. Sat je isproban 1665. godine i pokazivao je veću točnost, ali još uvijek nedovoljnu za određivanje geografske dužine.

Ponovno je konstruirao novi kronometar 1676. godine sa specijalnim balansirrom. Iako je ovo bio najbolji Huygensov kronometar, ipak je na njega osjetno djelovala promjena temperature i nije mogao biti upotrebljiv na brodu.

Pokazalo se da satovi na njihalo ne mogu zadovoljavajuće raditi na nestalnoj palubi broda, a pokusi Jeana Risherta u Cayenni 1672. godine su pokazali da se periodi oscilacije njihala mijenjaju s promjenljivim utjecajem gravitacije na različitim geografskim širinama. To je potvrdila i francuska ekspedicija pod pokroviteljstvom Pariške Akademije Nauka. Oni su 1682. godine plovili od zapadne obale Afrike do Guadalupe i Martiniqua u zapadnoj Indiji. Nada u budućnost ležala je u Robert Hookovom pronalasku ravnotežne opruge umjesto njihala, pa se takav kronometar mogao prenositi. Ipak, tokom sljedećih 50 godina nije napravljen značajan napredak u konstruiranju kronometra koji bi zadovoljavao tadašnju traženu točnost određivanja geografske dužine na moru. Zbog toga su često nestajali brodovi, teret i ljudski životi. Kada je

u maglovitoj noći 1707. godine 2000 ljudi izgubilo svoje živote nasukanjem britanske eskadrole, komanda Engleske ratne mornarice obratila se Parlamentu s molbom da pokrene neku konkretnu akciju. Sedam godina kasnije Parlamentu je podnesena i predstava koju su potpisali pomorski kapetani, brodovlasnici i londonski trgovci, u kojoj se obrazlaže važnost i potreba određivanja geografske dužine za navigaciju i pomorsku trgovinu. Parlament je iste godine (1714) osnovao Board of longitude (Odbor za geografsku dužinu) sastavljen od predstavnika pomoraca, brodovlasnika, astronoma i matematičara. Ovaj Odbor je za 114 godina svog postojanja kontrolirao razvoj kronometra. Odmah je na njegov prijedlog izglasan Zakon po kome se određuju nagrade od 10, 15 i 20 tisuća funti šterlinga onome koji pronađe sredstva da se odredi geografska dužina broda, s točnošću od 1° , $3/4^{\circ}$ i $1/2^{\circ}$ poslije šest tjedana putovanja. Po ovim visokim nagradama vidi se koliko je bio važan ovaj tada još nerješiv navigacijski problem.

Jedan Englez po imenu Sully, koji je živio u Francuskoj, predložio je 1724. godine Pariškoj akademiji jedan brodski sat, ali se on pokazao neupotrebljiv.

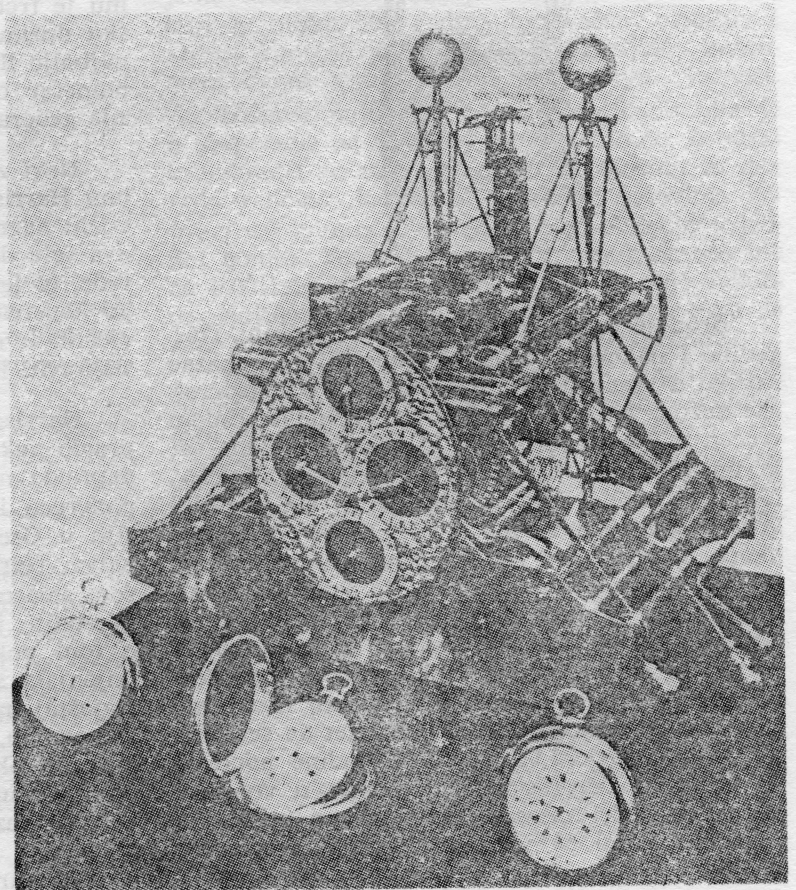
Prvi brodski kronometar i njegovo daljnje usavršavanje

Čovjek kome je bilo suđeno da postigne slavu, koju su toliko njih prije njega uzaludno tra-

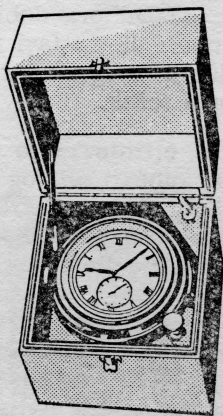
žili, bio je John Harrison (1693—1776). Bio je sin stolara i u ranoj mladosti je slijedio očev posao, ali se kasnije zainteresirao za popravak i konstrukciju satova. Kada mu je bilo 20 godina izvršio je svoj prvi sat na njihalo s drvenim kotačima. Kasnije je zamijenio njihalo uspinjačem i potaknut nagradama Odbora za geografsku dužinu nastavio na radu pomorskog kronometra. Kao rezultat mnogih razmišljanja i pokusa nakon pet godina rada J. Harrison je 1735. godine predstavio svoj kronometar broj 1, poznat kao H₁, kraljevskom znanstvenom društvu u Londonu. Pet eminentnih članova ovog društva potpisali su dokument u kojem se kaže da on pokazuje veliku točnost i da se treba detaljno isprobati. Ovu preporuku je prihvatio Odbor i sklopljen je ugovor s Harrisonom da se kronometar ispita na putovanju do Lisabona u svibnju 1736. godine. Nakon povratka broda u Englesku, greška u geografskoj dužini iznosila je samo 3', što je bila više nego dobra točnost u određivanju geografske širine ili dužine i iznenadila je članove Odbora. Prema tome, ovim kronometrom, napravljenim pred 250 godina, bio je po prvi put u povijesti točno riješen do tada nerješiv problem određivanja geografske dužine na moru.

J. Harrison je od Odbora dobio nagradu od 500 funti sa zadatkom da nastavi usavršavanje i konstruira praktičniji kronometar, jer je ovaj prvi bio nezgrapnan i težak.

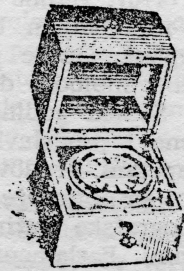
Na slici se vidi prvi (veliki) kronometar H₁. Gornja tri brojčanika pokazuju sate, minute i sekunde, dok najniži označuje dane u mjesecu. Na istoj slici prikazana su tri manja sata. Onaj u sredini je četvrti Harrisonov kronometar poznat kao H₄ napravljen 1759. godine. Desno je prva kopija H₄ napravljena od Larcuma Kendalla (K₁) 1769. godine koju je poznati kapetan James Cook upotrebljavao na svojim putovanjima (New Zeland i Australija). Lijevo je jeftinija verzija K₂, koja je bila u vlasništvu kapetana Wiliama Bligha za vrijeme poznate pobune na HMS Bounty.



J. Harrison je čitav svoj život posvetio izradi kronometra, pa je njegov drugi kronometar (H_2) napravljen 1737. godine, ali nije bio ispitan na moru. Treći Harrisonov kronometar (H_3) znatno se razlikovao od prva dva i završen je 1738. godine. Međutim, iako je od Odbora prihvaćen za probu i odobrena mu svota od 1250 funti, do probe ovog sata nije došlo sve do pojave H_4 , kada se Harrisonov sin Wiliam trebao ukrcati travnja 1761. godine sa H_3 i H_4 na putovanje za Jamaicu. Kako je to putovanje otpalo, tek je u studenom iste godine moglo doći do novog ukrcaja, ali je tada John Harrison odlučio da se pokus izvrši samo na satu H_4 , pa tako ni H_3 nije nikada bio isproban na moru. Druga posljedica ovog šestomjesečnog odlaganja bila je zbog toga što Jupiter nije bio u istom dijelu neba kao i Sunce, pa originalni plan Kraljevskog Društva »za adekvatni pokus Mr. Harrisonovog kronometra«, koji je ovisio o motrenju pomrčine Jupiterovih satelita, nije se više mogao primijeniti. Tako je H_4 bio naravan po pravom vremenu opservatorija u Portsmouthu. Zbog sigurnosti da ne bi došlo do prevare, bio je zaključan u stakleni ormarić i zaključan s četiri lokota čije su ključeve imale četiri različite osobe.



Brod je otplovio u Jamaicu u siječnju 1762. godine i nakon 81 dana plovidbe H_4 je pokazao razliku u vremenu od 26 sekundi ili 6,5' geografske dužine. Istog mjeseca je H_4 s drugim brodom vraćen u Portsmouth i za 147 dana plovidbe sat je imao zakašnjenje od 114,5 sekundi ili 28,6'. Iako su brodovi koji su nosili ovaj sat prolazili kroz velika nevremena i bili izloženi velikim razlikama temperature, sat je pokazivao grešku koja je zadovoljavala uvjete za najveću nagradu. Odbor je pohvalio rezultat ovog sata, ali što zbog nedostatka znanja samog Odbora o radu kronometra, što od straha isplate velike sume javnog novca bez najtočnijeg dokaza vrijednosti, Harrisonu je isplaćeno samo 5000 funti uz uvjet da se izvrši još jedna provjera, pa je 1764. godine ponovno na putovanju za Barbados i natrag, u vremenu od skoro četiri mjeseca, kronometar pokazivao pogrešku samo 54 sekunde ili 13,5' geografske dužine.



Harrison je još uvijek imao poteškoća da dobi svoju zasluženu nagradu. Odbor je 1765. godine odobrio da se dodijeli polovina maksimalne nagrade Harrisonu, ali i da se Mayerovoj udovici isplati suma koja ne prelazi 5000 funti. (Isplaćeno joj je 3000 funti). Ovo zbog toga što je Odbor imenovao Nevila Maskelyna i Charlesa Greena da motrenjem pomrčina Jupiterovih satelita i metodom Mjesečevih udaljenosti na Barbadosu odrede geografsku dužinu. Oni su tamo otputovali prije novog pokusa s H_4 i napravili brojne proračune metodom Mjesečevih udaljenosti uz pomoć Mayerovih tablica. Te proračune Maskelyn je koristio i na putovanju do Sv. Helene i natrag i objavio u Britanskom pomorskom vodiču. Tim rezultatima Odbor je bio zadovoljan, pa je zato odlučio da se nagradi i Mayerov rad na tablicama. Vrlo mali broj kapetana je znao rješavati matematički problem Mjesečevih udaljenosti. Čak se i Nevil Maskelyn, koji je bio doktor znanosti i kraljevski astronom, požalio da mu je trebalo nekoliko sati da izračuna geografsku dužinu metodom Mjesečevih udaljenosti. To najbolje ilustrira koliko je pouzdan brodski kronometar olakšavao rješenje problema određivanja geografske dužine.

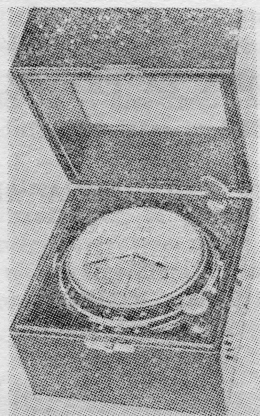
Novi zakon iz 1765. godine nametnuo je Johnu Harrisonu dodatne teškoće, jer da bi dobio cijelu nagradu tražilo se da konstruira najmanje dva sata da bi se potvrdila »opća korisnost« metode, te je morao objaviti pod zakletvom principe konstruiranja usmeno i pismeno trojici ljudi vještih u mehanici i trojici urara koji bi mogli napraviti iste satove.

Harrison je uz veliko protivljenje i ovo napravio nakon nekoliko mjeseci. Tako je Kendall napravio njegove kopije, dok se Harrisonov sat podvrgao ispitivanju na Kraljevskom opservatoriju u Greenwichu, a sud je imao donijeti Maskelyna. Harrison nije bio zadovoljan ovim izborom smatrajući da Maskelyn ne može objektivno prosuditi, jer ima određene predrasude. Tako se u tom pokusu sat okretao u razne položaje i mijenjala se okolna temperatura. Maskelynov izvještaj nakon završetka pokusa bio je vrlo nepovoljan, uglavnom zbog razlika temperatura i raznih okretanja koja ne odgovaraju periodičnom valjanju broda, pa je Harrison ukazivao koji su razlozi paradoksalnog rezultata od onog dobivenog na moru. Napravio je i posljednji kronometar (H_5) 1770. godine i s dozvolom kra-

lja Georga III dao ga na testiranje na privatnu kraljevsku opservatoriju u Richmondu. Nakon deset tjedana pokusa sat je pokazao zadovoljavajuću točnost i Harrison je podnio peticiju Parlamentu da mu se isplati cijela nagrada. Kako je sam kralj podržavao ovu peticiju, Donji dom je 1773. godine konačno odobrio najveću nagradu tada već osamdesetgodišnjem Harrisonu. Ipak su mu od nje odbili 1250 fundi kao kaznu što se nije držao dodatnih uvjeta koje je Odbor postavio Zakonom iz 1765. godine.

Kasniji razvoj kronometra

Od toga vremena nastaje stalno usavršavanje kronometra. Dobri kronometri pravili su se i u Francuskoj, gdje je napoznatiji bio Pierre Le Roy. On je 1763. godine predao francuskoj akademiji kronometar, čiji je opis u zapečaćenom omotu predao već 1754. godine. Ovaj kronometar Le Roy je prvo isprobao na pariškim fijakerima, a zatim su na moru isprobana dva ovakva kronometra, koji su posatvljeni na bokove broda kao najnepovoljnijim mjestima. Poslije jedne oluje, kada je naginjanje broda bilo i do 25°, satovi su pokazali razliku samo 1 i jedna trećina sekunde.



Le Roy je na svoj sat postavio i kompezator za promjenu temperature, čime je na temelju strogog ispitivanja Cassinia postigao veliku stabilnost hoda i pri ekstremnim promjenama temperature.

Thomas Earnshow je napravio prvi siguran kronometar uz relativno nisku cijenu. Njegovi kronometri koštali su samo 45 funti, dok su oni napravljeni po nacrtu Harrisona koštali deset puta više.

Ipak, kronometri nijesu brzo prihvaćeni od brodovlasnika. Za njih je to bila skupa investicija, a i kontrola njihovih stanja nije uvijek bila moguća. Zato se kroz 19. stoljeće pišu čitave studije o kronometru, koji pomalo postaje »duša navigacije«. Sugerira se da brod ima čak tri kronometra, kako bi mogao sigurno odrediti stanje. Određivanje stanja kronometra prije telegrafskih radio signala pričinjalo je veliku poteškoću pomorcima. U mnogim lukama davani su signali, najčešće spuštanjem kugle u trenutku srednjeg

podneva standardnog meridijana dotične zemlje. U lukama koje nijesu davale takve signale kontrola se morala vršiti mjerenjem visine nekog nebeskog tijela, pa se s poznatom širinom računao mjesni satni kut. Iz satnog kuta određivalo se vrijeme kronometra na osnovi poznate geografske dužine mjesta.

Stanje kronometra na otvorenom moru određivalo se približno, jer se moralo ekstrapolirati na osnovi ranije utvrđenog dnevnog hoda kronometra.

Međutim, brodovi su uglavnom imali jedan kronometar, pa se zbog nepoznavanja njegovog točnog stanja često u susretima s drugim brodovima na moru najviše razmjenjivao podatak geografske dužine (»vodili čakule radi londjitudine«).

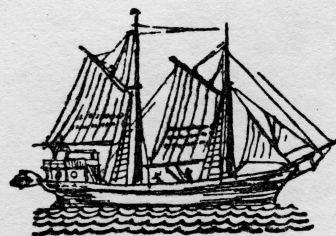
1884. godine je konačno prihvaćen meridijan kroz Greenwich za početni. Uvođenjem parnih brodova putovanja su skraćena, pa se mogućnost akumuliranja pogrešaka kronometra smanjila.

Danas se vremenski signali emitiraju više puta dnevno iz radio-stanica raspoređenih po cijelom svijetu, a prvi takav signal emitiran je 1910. godine s Eifelovog tornja u Parizu.

Najnoviji brodski kronometri, koji rade na temelju titranja kristala kvarca, mogu imati najveću pogrešku od 15 sekundi u godinu dana. Takvi precizni satovi ugrađeni su i u prijemnike globalnih sistema navigacije, a i neki mali navigacijski kalkulatori (Plathov Navicomp) imaju ugrađen kvarcni sat koji može nositi srednje vrijeme Greenwicha (GMT). Tako se kronometar koji je preko 200 godina bio važan, osjetljiv i strogo kontroliran brodski navigacijski instrument danas izgubio svoju nekadašnju važnost.

Točnost najboljih satova na njihalo bila je u granicama od 0,001 do 0,0003 sekunde. Brodski kronometri su za ovom točnošću zaostali za dva reda veličina. Kristal u kvarcnim satovima napravi u 5 minuta vibracija kao kronometar u jednoj godini. Točnost običnih kvarcnih satova ide na 0,001sekunde, a boljih od 10^{-6} do 10^{-7} sekunde. Najtočniji su atomski satovi koji u toku 24 sata imaju točnost od 10^{-12} do 10^{-13} sekunde.

Prema tome, današnji kvarcni ručni satovi su precizni od nekadašnjih brodskih kronometara, a zabilježenim vremenom po ručnom satu i njegovim upoređenjem s GMT možemo uspješno izvršiti sve potrebne navigacijske račune bazirane na poznavanju srednjeg vremena Greenwicha.



Lateratura:

Pomorska enciklopedija br. 4.

Jugoslavenski Leksikografski Zavod — Zagreb, 1957. g.

Boris Franušić: Kratka povijest astronomske navigacije Naše more, god. XXVIII br. 5. Dubronik, 1981. g.

Rene Podhorski: O navigaciji i navigacijskim sredstvima u prošlosti.

Mornarički glasnik, Zemun, Godina IV — 1936. g.

Franjo Simović: Nautička astronomija II dio (skripte) Viša pomorska škola Rijeka, 1952. g.

Eric G. Forbes: The Birth of Navigational Science National Maritime Museum, Greenwich, London Maritime monographs and reports No. 10 — 1979. g.

Miloš Lipovac: Astronomska navigacija Hidrografski Institut JRM, Split 1981. g.

Charles Cotter: A History of Nautical Astronomy Hollis Carter — London, Sydney, Toronto, 1968. g.



MEDITERANSKA PLOVIDBA KORČULA

DIREKCIJA — KORČULA

Telegram: Mediteranska Korčula

Telex: 27528 YU MEDKOR

Telefoni: centrala 81-154-7 (4 linije)

**RASPOLAŽE SPECIJALNIM BRODOVIMA HLADNJAČAMA ZA PREVOZ LAKO
POKVARLJIVIH TERETA PO SVIM MORIMA SVIJETA,**

**ODRŽAVA REDOVITU LINIJU JADRAN — SJEVERNA I ZAPADNA AFRIKA,
SPANJOLSKA I KANARSKI OTOCI,**

SUVREMENIM TRAJEKTOM ODRŽAVA VEZU KORČULA — KOPNO,

VRŠI USLUGE PRIJEVOZA PITKE VODE.

