

A tengereken végzett földrajzi hosszúság meghatározásának problémája a 18. században.

A kronométer kifejlesztése

Dr. Nagy Dezső emeritus scientist
Geodetic Survey of Canada, Ottawa



Prológus

Évekkel ezelőtt, egy könyvesboltban böngészgetve megvásároltam egy ártatlan kinézésű könyvecskét, akkor még nem sejtve ennek a következményét. Ez volt a Longitude című kis könyvecske. Később, szinte életemben először olvasott újság könyv-ismertetőből értesültem, hogy közkívánatra a könyvnek egy nagyon szép színes képekkel ellátott változata jelent meg The Illustrated Longitude címen. Hát így kezdődött az évekig tartó témával kapcsolatos munkám, aminek rövid összefoglalója e kis dolgozat.

Bevezető

E rövid tanulmány célja – talán a geodéták számára is érdekes –, hogy kevésbé ismert részleteket tárjon fel a kronométer kifejlesztésével kapcsolatban. Fontosnak tartjuk, hogy az idetartozó témákat is ismertessük. Mi vezetett a Kínával és Indiával kialakult kereskedelem a Selyemútként ismert szárazföldi út mellett megkeresni e területek tengeren való elérését. Milyen hatása volt ebben a Föld alakjának, paramétereinek meghatározása (gömb, ellipszoid), a mérőeszközök fejlődése, a térképezés, a helymeghatározás (szárazföldön és tengeren), a számítástechnika fejlődése.

Földalak koncepció fejlődése

Gömb

Dacára annak, hogy még a VI. században is voltak, akik a Föld gömböt közelítő alakjában kétkedtek, már *Pythagoras* idején (~ Kr. e. 580–500.) ezen elképzelés kezdett elterjedni.

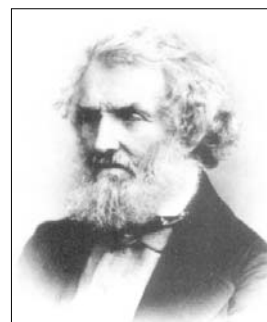
A gömb sugarának meghatározására az első számszerű kísérlet *Aristoteles* nevéhez fűződik (~Kr. e. 384–322.), azonban módszere nem ismert. 100 évvel később *Archimedes* becsülte meg a föld sugarát. Talán *Eratosthenes* (Kr. e. 276–195.) lehetett az első, aki mérések alapján jutott

el eredményéhez. Mivel ő volt a híres Alexandria (Egyiptom) könyvtár vezetője, nem ismert, hogy a gömbsugar értékét az általa végzett mérésekből határozta-e meg, vagy a könyvtárban levő gyűjteményt is használta.

Ellipszoid

Habár írásban *Gemma Frisius* (1533) említette először a háromszögelés alapelvét, amit *Tycho Brahe* tovább fejlesztett, a technika kifejlesztése – alapvonal méréssel egybekötve – *Willibrord Snellius* (1620) nevéhez fűződik. A háromszögelés tette lehetővé, hogy fokmérések segítségével a vonatkozási ellipszoid alakját véglegesen definiáljuk (narancs vagy citrom alak). E probléma eldöntésére számos mérést végeztek. A legnagyobb fokmérés az Indiai Nagy Fokmérés volt, amit *William Lambton* és *George Everest* (1802–1843) hajtottak végre.

A több mint 40 évig tartó felmérés a végrehajtottól jelentős erőfeszítést igényelt. A fokmérés India térképezése érdekében kezdődött: észak-déli irányban a 78. meridián mentén kb. 2400 km távolságon hét alapvonal biztosította a szükséges ellenőrzést. A terep nagyon



Sir George Everest

mostoha, erdős, mocsaras, tigrisekkel telt. Az alapvonalak átlag 12 km hosszúak voltak. Az alapvonal mérések két hónapot vettek igénybe. Az oda-visszamérések hibája néhány cm-t értek el. A háromszögdalok 50 km és 100 km között változtak. A mérőpontokon sokszor észlelési tornyokat kellett építeni, az útvonalakat pedig meg kellett tisztítani. A Nagy Teodolitként ismert műszer több mint 500 kg súlyú volt, 12 ember szállította és vonta fel az

észlelési tornyokba. Érdekességként megadjuk az 1833-ban Everest által vezetett mérő csoport összetételét:

- Everest,
- 2 csoportvezető,
- 3 beosztott,
- 4 elefánt,
- 32 teve,
- 30 ló,
- 700 munkás.

Az Everest-ről elnevezett csúcs adatait James Nicholson 1850. évi mérései alapján Radhanath Sickdhar számította ki. Az eredményt azonban hivatalosan Everest utóda, Andrew Scott Waugh közölte 1856-ban, s ekkor javasolta az Everest nevet a csúcs azonosítására.

A Mount Everest koordinátái:

- szélesség: 27° 59' 16,7"
- hosszúság: 86° 58' 5,9"
- tengerszint feletti magasság: 29002 láb (8845,61 m).

Megemlítjük még, hogy az 1992 szeptemberében a LEICA GPS és földi mérések alapján a Mount Everest magasságára 29022,6 láb (8845,793 m) értékeket vezettek le.

Egy másik GSP mérésből (1999) 29035 (8855,675 m) az eredmény.

Kereskedelmi hálózat fejlődése

Az első századtól lassan elkezdődött az ázsiai fűszerek Európába való behozatala. Évszázadokon keresztül egy óriási úthálózat fejlődött ki Kína, India és Európa között, ami idővel a Selyemút (Silk Road) néven vált ismertté. Ezek az utakon szállították a karavánok értékes terheiket (fűszerek, selyem, drágakövek, s kelet egyéb csodás termékei). Természetesen a karavánoknak nem csupán a sivatagok, a rossz utak s az időjárás kártékony hatásaival kellett szembe szállniuk, hanem a rabló-támadások ellen is fel kellett venni a küzdelmet.

Ekkor a Föld gömb alakja már elfogadott volt, felmerült a kérdés, hogy nem lehetne-e Ázsiába nyugat felől is eljutni. Így került előtérbe a tengeri hajózás.

Hajóutak keresése

Míg a világ ismert szárazföldi részéről ekkor már aránylag elég pontos térképek biztosították az országok közötti utazáshoz szükséges információt, addig a tenger szinte teljesen ismeretlen volt. A hajózás fejlődésével kapcsolatosan egyre in-

kább ismeretesek a hosszabb tengeri utak. Először az afrikai partok menti utakról vannak leírásaink (Dias 1487–1488, da Gamma 1492–1493, Magellan 1519–1521, Drake 1577–1580). Columbus (492–493) volt talán az első, aki nem követte a partvonal menti hajózást, hanem nyugat felé indulva akart eljutni Indiába. Mivel a Föld sugrát kb. 30%-kal alá becsülték, így amikor Amerikában kikötött, úgy vélte, hogy elérte Indiát.

Ezután a tengeri kereskedelem gyorsan növekedett, s így a Selyemút fontossága arányosan csökkent.

Egyre inkább világossá vált, hogy a tengeren való helymeghatározás módszere, pontossága nem kielégítő. Míg a földrajzi szélesség meghatározása nem okozott nagy problémát, addig a földrajzi hosszúság kellő pontossági meghatározása megoldhatatlannak látszott.

A földrajzi hosszúság meghatározásának problémája

Az 1707 októberében győztes angol flottilla Gibraltárból való visszatérése alkalmából az Angol Csatornát megközelítve nagy ködben kellett a földrajzi koordinátát megállapítani. Amint később kiderült, a helymeghatározás hibás volt, s a 21 hajóból négy elsüllyedt, 1647 ember halt meg.

E tragédia olyan nagyméretű volt, hogy a probléma kivizsgálására és megoldására megalakult a Hosszúsági Tanács (Bizottság). A vizsgálódások eredményeképpen III. Anna angol királynő 1717. július 8-én kihirdette a Hosszúsági Törvényt (Határozatot, Longitude Act).

E törvény díjat tűzött ki a hosszúsági érték pontos meghatározójának, amely díjat a pontosság arányában állapítottak meg:

- I. díj: £20 000, ha a szélességet 1/2 fokon belül,
- II. díj: £15 000, ha a szélességet 2/3 fokon belül,
- III. díj: £10 000, ha a szélességet 1 fokon belül

határozza meg (£20 000 mai becslés szerint több mint \$2 000 000!).

A meghatározás módszerét a Törvényben nem kötötték meg, a feltétel csupán az volt, hogy a mérési módszert a Tanács kivizsgálja és ha ez felelőség, elfogadja.

Mivel egy pont helyét a szélesség és a hosszúság egyértelműen meghatározza, a kérdés arra egyszerűsödött, hogyan lehet e két értéket a tengeren, egy erősen mozgó hajón, megállapítani.

A probléma megértéséhez figyelembe kell venni az 1700-as években rendelkezésre álló műszerek és azok pontosságát.

Ebben az időben a szélesség mérése a Nap helyzetének megfigyeléséből elegendő pontossággal volt észlelhető.

A hosszúság meghatározása

Az egyik a csillagászati megoldást javasolta. E módszer alapja, hogy a Hold, egyéb bolygók s csillagok egymáshoz való helyzetének ismerete mind a vonatkozási pontban, mind pedig a tengeren (a hajóról észlelve) rendelkezésre álljon. Ez utóbbi azt jelenti, hogy az égitestek mozgási törvényeit figyelembe véve – bizonyos időintervallumokra – előre kiszámítják azok helyzetét, az eredményeket pedig térkép formájában hagyják meg a hajósok. E módszer azonban a XVIII. században nem volt alkalmas a probléma megoldására.

A másik megoldás alap gondolata az időkülönbség megállapítása egy vonatkozási pont és a hajó tényleges helye között. Vagy más szavakkal: ha tudjuk az időt pl. Greenwich-ben (vonatkozási pont) akkor, amikor a hajón meghatározzuk a helyi időt, a két idő különbsége megadja a szükséges adatot, a hajó helye ismert lesz, s ábrázolható pl. a térképen.

Pontos időmérő (óra) kifejlesztése

E korszakban készült órák annyira pontatlanok voltak, hogy remény sem volt arra, hogy pontosságuk valaha is eleget tehetne a hajózáshoz szükséges követelményeknek (még *Newton* is ezen a véleményen volt). Az ingaórák ugyan kecsegtettek reménnyel a pontosságot illetően, azonban a hajón teljesen használhatatlannak bizonyultak. Ilyen körülmények előzték meg a kronométer kifejlesztésére tett erőfeszítéseket, melyek eredményeként kb. 50 évi munka után sikerült ennek több típusát kifejleszteni, amelyek végül is elnyerték a Tanács által kitűzött I. díjat.

John Harrison (1693–1776) órái

Harrison Angliában született s mint apja, ő is asztalos volt. Ez a magyarázata, hogy az első órái fából készültek. Fiatal éveit falun, a városi hatásoktól elszigetelten töltötte. Talán ez segítette abban, hogy a kronométert sikerült kifejlesztenie. 1713-ban fejezte be első óráját. 1717. és 1730. kö-

zött még legalább 8 órát készített. Alábbiakban *Harrison* által készített legfontosabb órákat ismertetjük.

A H1 óra

Harrison 1726 körül szerzett tudomást a *John Harrison* kitűzött díjakról. Az első rajzokat 1727-ben készítette, a tényleges munka – a későbbiekben H1 néven ismert órán – 1729-ben kezdődött el. Ebben az időben már valószínűleg minden szükséges tudása megvolt ahhoz, hogy elkezdje a tengeren is használható óra tervezését és kivitelezését. Olyan kérdéseket kellett megoldani, mint pl. a hőmérséklet-változás és a barométeres nyomásváltozás. Nagyon fontos kérdés volt az olajozás, amit aztán sikerült teljesen kiküszöbölni: az általa készített órák nem igényeltek olajozást. E problémákon kívül az órának érzéketlennek kellett lenni a hajó mozgása következtében beálló hirtelen lökések, rázások, irányváltozások hatása ellen is. *Harrison* által készített órák e rövid ismertetésben a technikai részleteket nem tárgyaljuk, csupán a kb. 50 éves fejlesztési munka idősorrendbeli fő részeire térünk ki.

Harrison 1730-ban utazott Londonba, ahonnan támogatást kapván, visszatért Barrow-ba és folytatta a H1 fejlesztésével kapcsolatos munkát, amit 1735-ben fejezett be. Az órát 38 óránként kellett felhúzni egy zsinór segítségével. Habár az óra legtöbb része rézből készült, néhány elemét még fából készítette. A súrlódást annyira sikerült kiküszöbölni, hogy nem volt szükség olajozásra! *Harrison* szerint az H1 működne 40–50 évet tisztítás nélkül is. (1993-ban Jonathan Betts of the National Maritime Museum Horologis szerint az óra 1951-ben volt utoljára tisztítva, még mindig működik, s nem ad alkalmat arra, hogy szétszedve tanulmányozzák.)

1735-ben *Harrison* elvitte az órát Londonba, s kérte a hivatalos kiértékelést egy tengeri úton. Azonban a West Indies-i út helyett (ami szükséges az I. díj elnyeréséhez) a próbához Lisszabont jelölték ki, ahová 1736. május 19-én indult a hajó. Habár az út viharos volt és *Harrison* tengeri betegségben szenvedett, az óra kifogástalanul működött. Az út azonban kimutatott bizonyos hibákat, ami csak új óra elkészítésével volt kiküszöbölhető.



John Harrison

A H2 óra

A H2 néven ismert második óra mérete ugyan kisebb lett, azonban magasabb és súlyosabb, a fakerekek helyett pedig már réz alkalmaztak. Az órát 1739-ben fejezték be. Több mint két éven keresztül a H1 órával való összehasonlítása minden próbát kiállt, azonban a tengeri próbaútra nem került sor, talán tartván az 1740-ben a spanyolokkal való háború idején az óra elrablásától. Úgy tűnik, hogy *Harrison* a próbaméréseknél felfedezte, hogy a centrifugális erő nagyban befolyásolhatja az óra pontosságát. Habár több ezernyi óra időt vett igénybe a H2 elkészítése, a fenti ok miatt *Harrison* nem akarta a H2-t tengeri próbára vinni, mert már 1740-ben elkezdte készíteni a következő óra, a H3 terveit, ami az óra pontosságát volt hivatott növelni.

A H3 óra

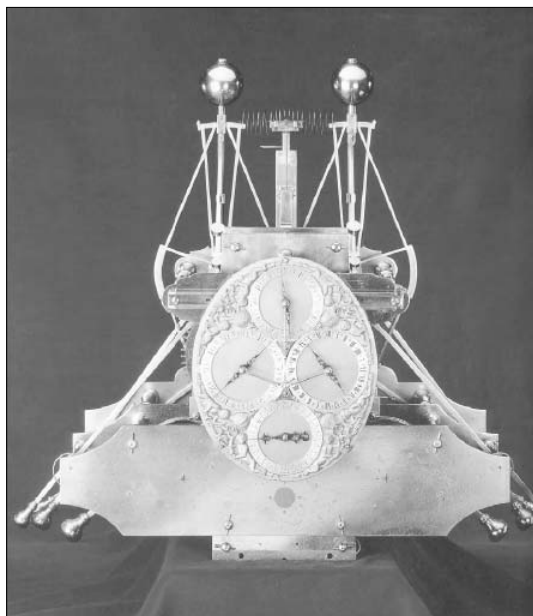
A munka folytatásához tovább anyagi támogatást kért a Tanácstól, amit meg is kapott. Ígéretet tett arra, hogy az új óra 1743. augusztus 1-jén kész a próbaútra. Habár H3 már 1741-ben közel volt a befejezéshez, *Harrison* maga – egészen 1757-ig – nem volt megelégedve az óra működésével.

A H3 1759-ben való befejezése után azonnal kész volt a próbaútra, azonban azt a hétéves háború miatt elhalasztották. Úgy tűnt, hogy már ezek után nem sok hiányzik a díj megszerzéséhez. Azonban nem így volt. 30 évet töltvén az órák elkészítésével, időközben *Harrison* támogatói meghaltak, nyugalomba vonultak, az ellentábor pedig több és több követelményt állított fel a készítendő órával kapcsolatban, olyanokat, amelyek Tanács eredeti előírásaiban nem szerepeltek.

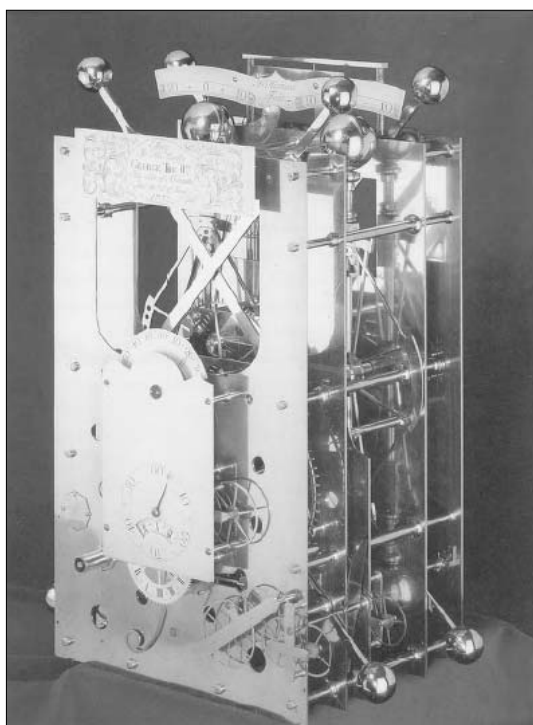
H4, a kronométer

Az 1750-es években *Harrison* tervezett egy zsebórát, amit egyik alkalmazottja készített el számára. Mivel a H3-mal kapcsolatosan felmerült problémákat *Harrison* kielégítően nem tudta megoldani, így most ezen órával próbálta, a 35 éves munkája tapasztalatait felhasználva, megszerezni a Tanács nagydíját.

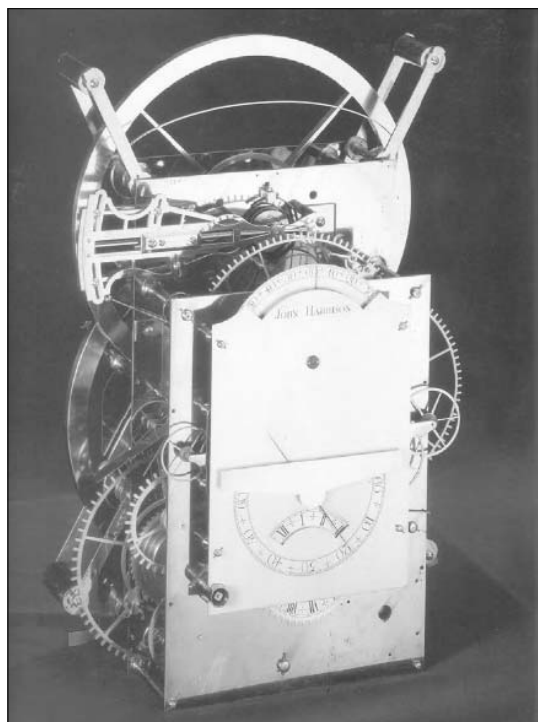
A H4 kronométerként ismert órát, a Tanácsnak 1760-ban mutatták be. Az óra 12 cm átmérőjű, 1,45 kg súlyú. Az eredeti terv szerint az H3 és H4 órákat együtt akarták próbaútra küldeni,



Harrison timekeepers H1
(súly: 24 kg, magasság 63 cm, szélesség 70 cm, mélység 45 cm)



Harrison timekeepers H2
(súly: 39 kg, magasság: 66 cm, szélesség: 47 cm, mélység: 32 cm)



Harrison timekeepers H3
(súly: 27 kg, magasság: 59 cm, szélesség: 39 cm,
mélység: 22 cm)



Harrison timekeepers H4
(súly: 1.45 kg, átmérő: 12 cm)

azonban végül is csupán az H4 vett részt a hajóúton.

A kronométer az alábbi próbautakon vizsgálták:
JAMAICA

- indulás 1761. november 18., Portsmouth, Anglia,
- érkezés 1762. január 20., Port Royal, Jamaica,
- utazási idő 81 nap,
- az óra 5,1 másodpercet késett;

PORTSMOUTH

- indulás 1762. január 28., Port Royal,
- érkezés 1762. március 27., Portsmouth,
- 147 napi út,
- az óra 1 perc 54,5 másodpercet késett;
- indulás 1764. március 28., Spithead, Anglia,
- érkezés 1764. május 13., Bridgetown, Barbados,
- indulás 1764. augusztus 31., Portsmouth,
- utazási idő 156 nap,
- az óra 54 másodpercet sietett.

A <http://www.nmm.ac.uk/server/show/conWebDoc.355> internetes oldalon még több információ található ebben a témában.

Anyagi támogatás

Az első előleg (1737) és az utolsó végleges számlakigyenlítés (1773) között 16 alkalommal kapott Harrison támogatást a munkájához.

Az utolsó összeg kifizetése III. György király közbenjárásának volt köszönhető. A király látva az elmúlt évtizedek igazságtalanságait, rendelettel kívánta ezt Harrison felé jóvátenni.

Harrison három év múlva meghalt.

Utószó

A három nagy tengeri órát (H1, H2, H3) Harrison házából 1766. május 23-án szállították Greenwich-be, ahol azokat nedves helyen tárolták. 1836-ban négy éves munkával az órákat megtisztították és ugyanazon helyen tárolták. 80 év után, köszönet Rupert T. Gould-nak, aki az angol Királyi Tengerészeti tisztje volt, az órákat ismét elővették, most már beleértve a H4-et is, és elkezdődött nemcsak a tisztítás, hanem a teljes felújítás, beállítás és beindítás munkája is. Ezt a munkát Gould végezte, ami 12 évet vett igénybe, éjjel nappal dolgozva, minden fizetés nélkül, csupán a felújítandó részekért kapott anyagi segítséget.

Habár az óráknak számtalan része tönkrement, elveszett, az órákat sikerült működőképes állapotba hozni, és 1933. február 1-jén, délután 4 óra 5 perckor – első alkalommal az 1767. június 17. óta eltelt 165 év után – a H1 elindult, azóta is jár.

Az órák most a Greenwich Maritime Múzeum Harrison Gallery részlegében láthatók. Minden nap mutatják az időt. Kivéve az H4-et, amit csupán különleges alkalmakkor indítanak el.

Epilógus

Természetesen a téma még nincs lezárva. Az itt közölt anyag egy általam összeállított Slide Show-n alapszik, amit már több helyen előadtam. Évtizedekkel ezelőtt, még mielőtt a fenti témát elkezdtem, egy Kitaro – Silk Road című dupla LP-t vásároltam. További tervem, hogy ebből az anyagból a Slide Show-hoz kísérő zenét állítsak elő.

Befejezésként pedig az irodalomban megadott DVD-ből akarok néhány percnyi vizuális bemutatót csatolni.

IRODALOM

Andrewes, William J. H., ed. The Quest for Longitude, Cambridge, Massachusetts: Collection of Historical Scientific Instruments, Harvard University, 1996. 448 oldal

Betts, Jonathan Time Restored: The Harrison Timekeepers and R.T. Gould, The Man Who Knew (Almost) Everything. 2006, 464 oldal

Everest, George: An Account of a Measurement of Two Sections of a Meridional Arc, 2 vols, London, 1847

Gould, Rupert T.: John Harrison and His Timekeepers. London: National Maritime Museum, 1978

Höllman, Thomas O.: A Selyemút, Magyar fordítás: Uray-Kőhalmi Katalin, 2006. Corvina Kiadó.

Tartalmaz válogatást mind a külföldi, mind a magyar nyelvű szakirodalomból. 133 oldal

Sobel, Dava: Longitude. The True Story of a Lone Genius Who Solved the Greatest scientific Problem of His Time. 1995 184 oldal

Sobel, Dava: Hosszúsági fok. Egy magányos géniusz igaz története, aki megoldotta kora legnagyobb tudományos problémáját. 1995. Alexandra. 255 oldal; fordította Babits Péter

Sobel, Dava and Andrewes, William J. H.: The Illustrated Longitude, 1995, 216 oldal

LONGITUDE I & II DVD, mindegyik kb. 100 perces. A Sobel és Andrewes könyv megfilmesítése. Magyarul is megjelent 2006-ban

Kitaro – SILK ROAD: 1980 Canyon Records, Inc. 2 LP 051/052

The problem of longitude determination at sea in the XVIII. century The development of the chronometer

Nagy, D.

Summary

Thousands of years ago slowly the treasures of China and India started to reach Europe. Various routes were established what the caravans followed, carrying spices, silk and other items. This route later became known as the Silk Road. With the growth of commerce, problems developed (such as robbery), so alternate way to China, on sea, was sought. The sea routes however presented new problems, such as to find the position of the ships at sea. The great loss of the British Navy upon its return to England in 1707, 4 ships lost with 1,647 men dead, III. Queen Anne of England set up a price of 20,000 pound, whoever solves the longitude problem.

This lead to the development of the chronometer by the British carpenter John Harrison. His 50 years work on the clocks and after 150 years, their restoration to working condition, concludes the paper.

All clocks work and are on exhibit at the National Maritime Museum in Greenwich, England.