

HISTORIE NAVIGACE

Petr Scheirich



Astronomický ústav AVČR
Ondřejov



La Grace

„Staří mořeplavci určovali polohu
lodě podle hvězd.“

„Staří mořeplavci určovali polohu
lodě podle hvězd.“

A jak to dělali, když bylo zataženo?

„Staří mořeplavci určovali polohu
lodě podle hvězd.“

„Před vynálezem chronometru
neměli mořeplavci ponětí o
zeměpisné délce.“



„Neměli?“



„Neměli?“

„Před vynálezem chronometru
neměli mořeplavci ponětí o
zeměpisné délce.“

Osnova přednášky

- Staré národy středomoří
- Vikingové
- Arabové a Kamal
- Kompas
- Renesance v Evropě
- 18. století – úsvit moderní navigace
- Neastronomické metody 20. století
- GPS a Galileo

Féničané, Kréťané, Řekové, Římané



Plavba napříč
středozezním
mořem trvá za
dobrého větru
maximálně
několik dnů!

- Příbřežní navigace („pilotáž“)

Vítr – kompas starověku



Homér (~ 800 př.n.l.)

- Boreas
- Notos
- Apeliotes
- Zephyros

- Příbřežní navigace („pilotáž“)
- Využití stálých větrů

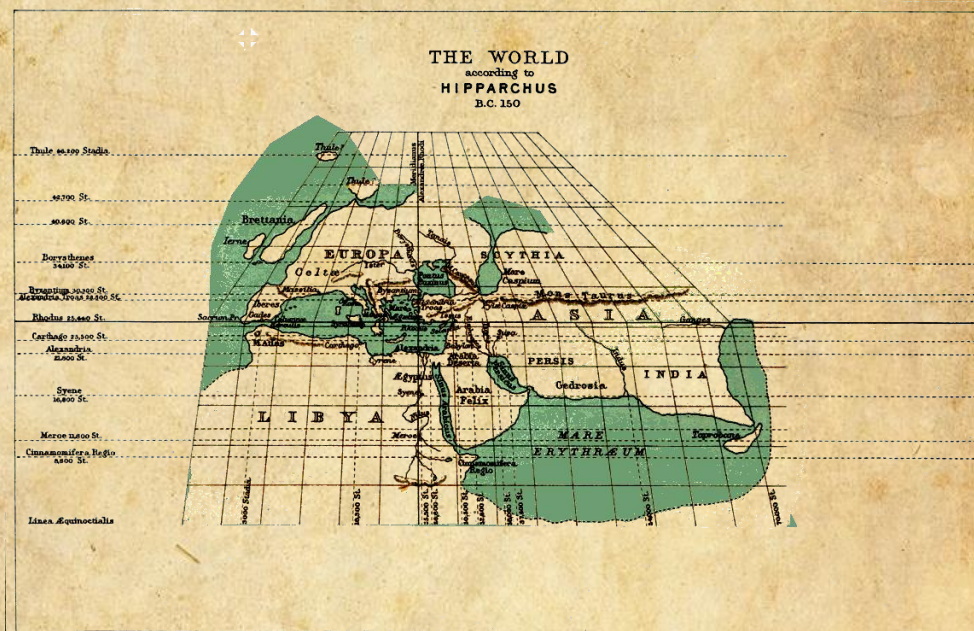
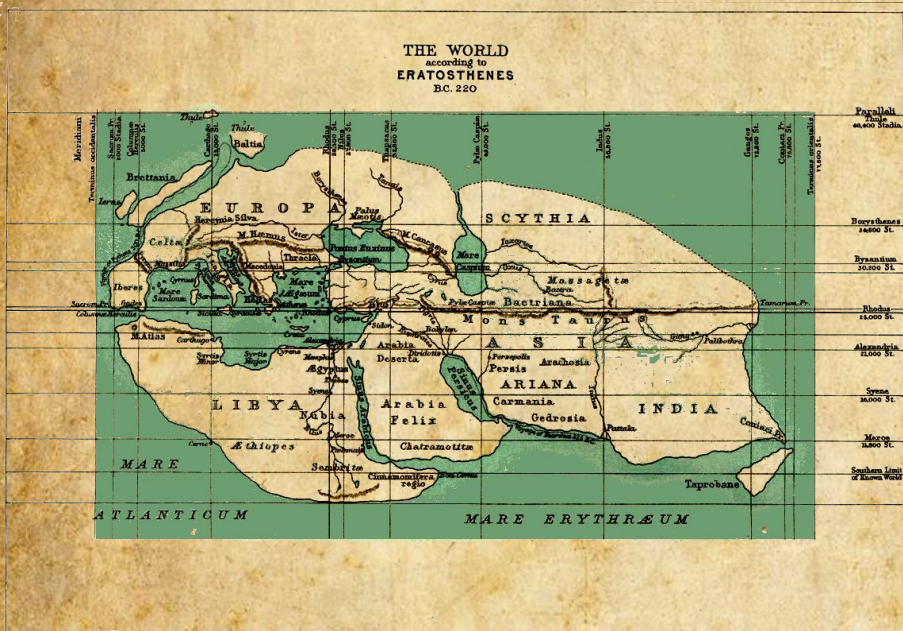
Vítr – kompas starověku



“Cross sea” vzniká při náhlé změně směru větru

Navigační pomůcky starověku

- Mapy (dochovaly se pouze písemné popisy)



Eratosthenova a Hiparchova mapa světa (~ 220 a 150 př.n.l.)

Rekonstrukce z 19. století!

První použití pojmů

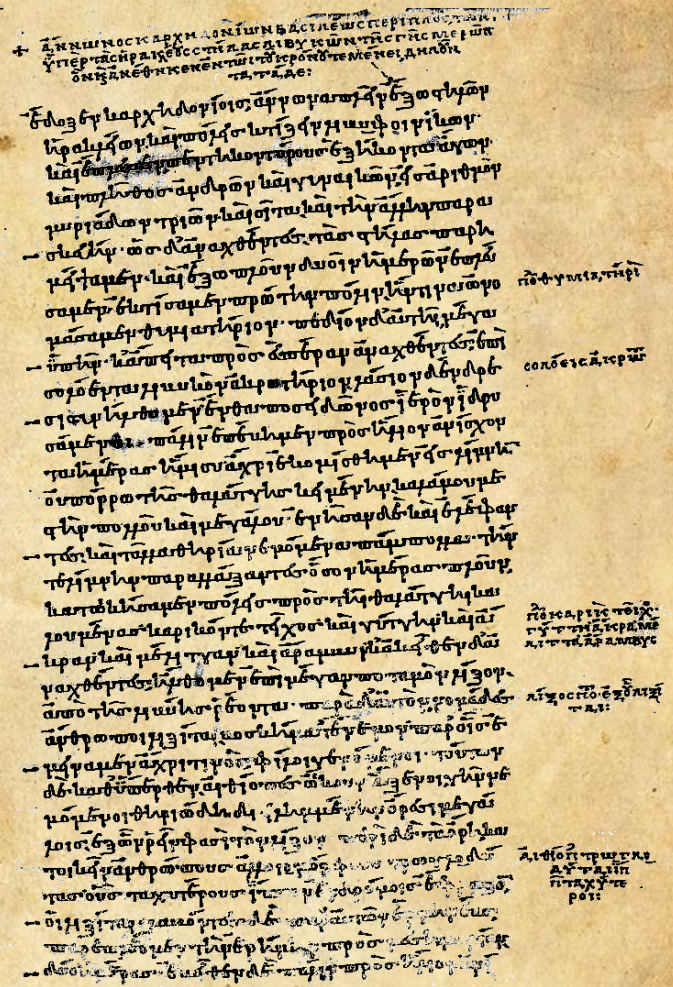
zeměpisná délka ($\mu\eta\kappa\omicron\varsigma$, longitudo) a šířka ($\pi\lambda\acute{\alpha}\tau\omicron\varsigma$, latitudo)

Navigační pomůcky starověku

- „Plavební příručky“
(periplus, *περίπλους*)

Nejstarší pocházejí z 6. století
př.n.l. z Kartága a Řecka (ale
pouze středověké překlady!)

Hannonův periplus
(~ 5. stol. př.n.l.) v
byzantském manuskriptu
z 9. stol.



Navigační pomůcky starověku

- Olovnice

(v prakticky nezměněné podobě až do 20. stol.)

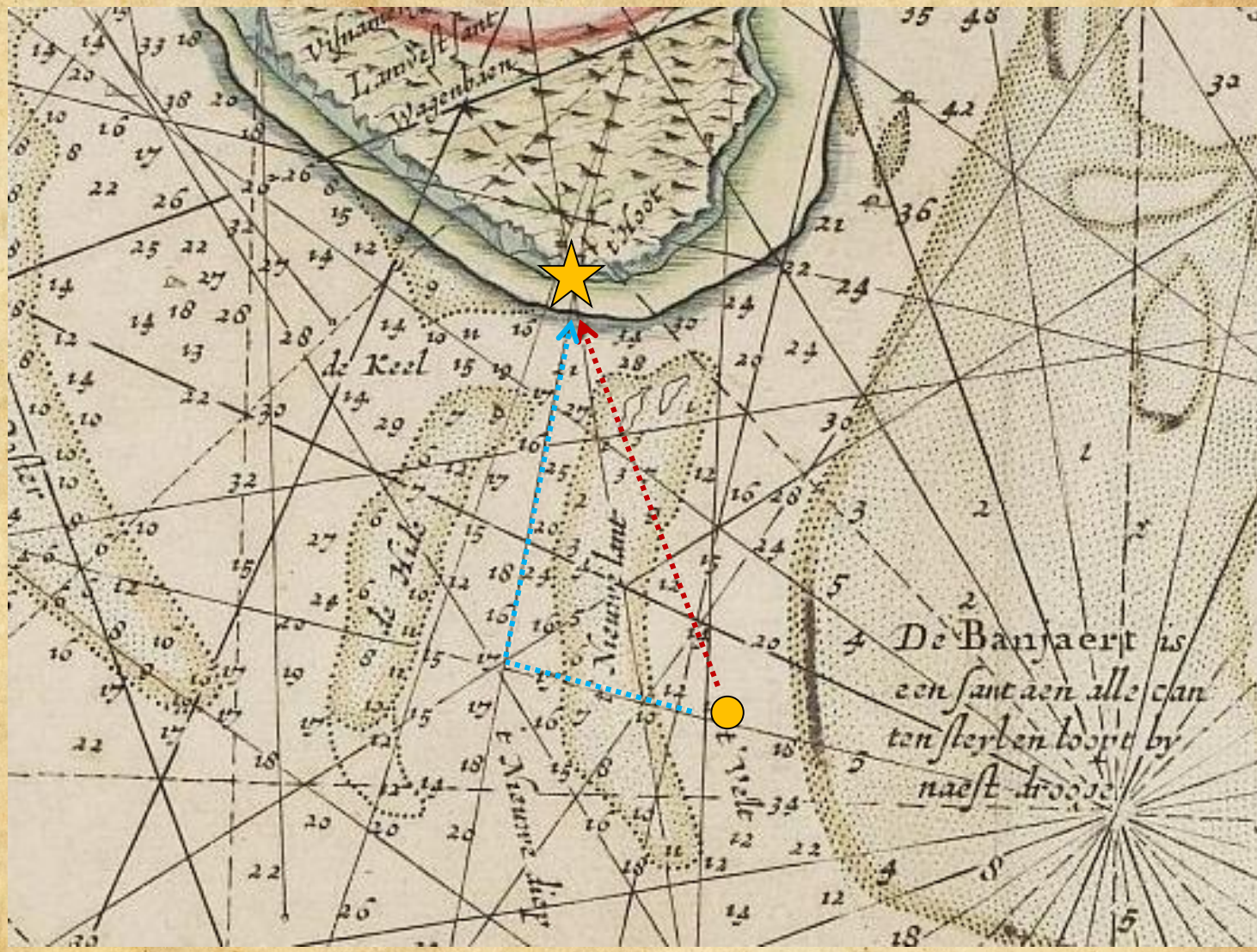


Model lodi z Meketreovy hrobky, ~ 2000 př.n.l.

Olovnice z doby ~ 5. stol. př.n.l. s jamkou pro vymazání lojem.

Navigační pomůcky starověku

- Olovnice





Velký vůz (Velká medvědice)

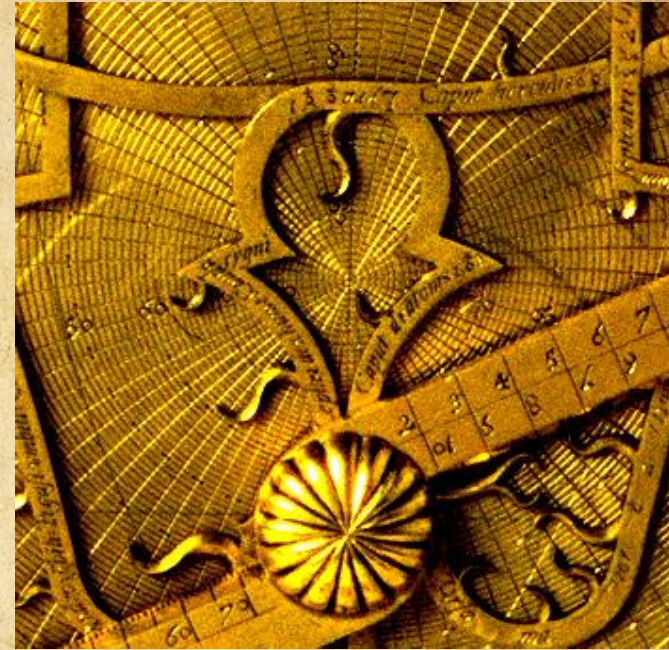
Severní pól ~ 500 př.n.l.

Malý vůz (Malý medvěd)

Polárka

Astronomie (a astronavigace?) starověku

- Hipparchos: astroláb



Caput draconis (hlava draka)

Cauda cygni (ocas labutě)

...

Astronomie (a astronavigace?) starověku



(Astronomický) astroláb je model oblohy, fungující pro jednu zeměpisnou šířku (případně několik), nikoliv navigační pomůcka!

Vikingové















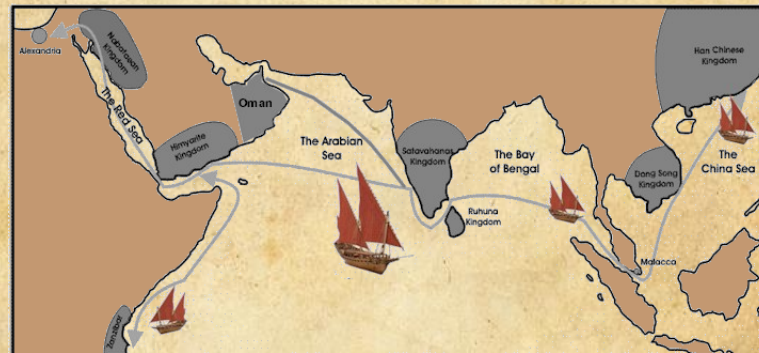
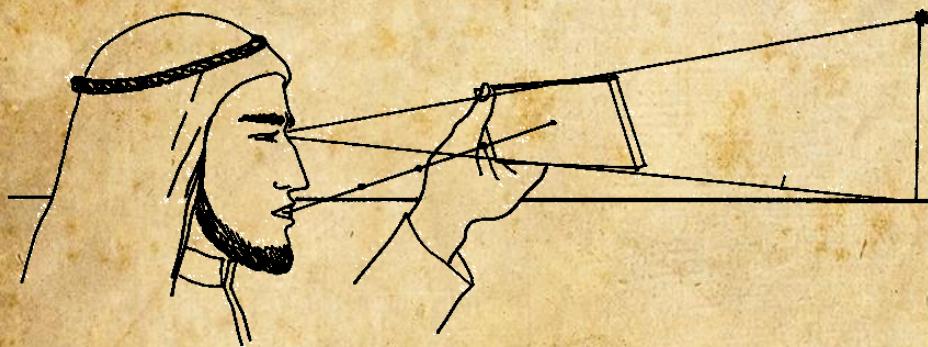
Vikingové

- Ani Vikingové neměli magnetický kompas
- Kurz udržovali nejspíš podobně jako starověcí mořeplavci: znalostí stálých větrů, pozorováním ptáků
- Kvůli letním dlouhým dnům a světlým nocím nejspíše nepoužívali orientaci podle hvězd (severního pólu)
- Ověřit směr lodi mohli při východu a západu Slunce, za předpokladu, že věděli v jakém směru má vycházet/zapadat (určitě ano)

Kamal (جهاز كمال) Arabů a Indů

Ahmad ibn Majid (~ 1490): *Kniha o užitku principů a pravidel navigace*

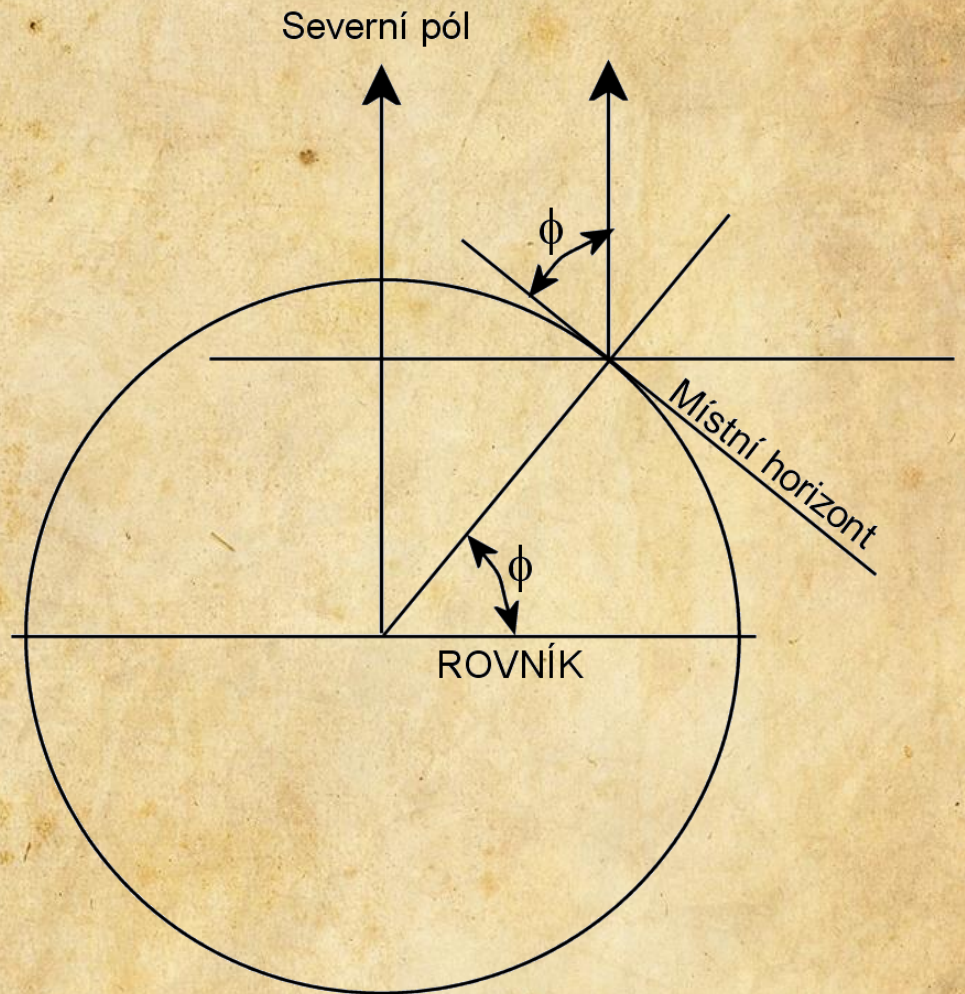
- Ještě před „vynálezem“ Kamalu používali arabští mořeplavci k měření výšek hvězd (Polárky) prsty na ruce.
- Kamal (~ 1000) – dřevěná destička s uzlíky, které vyznačovali úhlovou výšku v ekvivalentu stupňů, nebo „zeměpisnou šířku“ důležitých přístavů.



Zeměpisná šířka

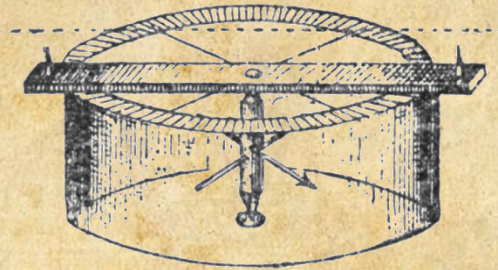
a její určování pomocí Polárky

Zeměpisná šířka je rovna
úhlové výšce pólu (Polárky)
nad horizontem



Kompas

- Původ: Čína, (4. století př.n.l. ???)
- První zprávy o využití kompasu k navigaci (v Číně): 11. století n.l.
- Brzy poté se kompas dostává do Evropy a k Arabům
- Alexander Neckhem, De Naturis Rerum, 1180: První evropská zmínka o použití magnetického kompasu k orientaci na moři.



Peter Peregrinus,
Epistola de magnete,
1269

Iberijští mořeplavci ve 2. pol. 15. století



Alberto Cantino, 1502

Plavby otevřeným mořem si vynutily nové metody navigace.

Iberijští mořeplavci ve 2. pol. 15. století

Základní metoda navigace (až do konce 20. století!):

„Nautické spočtení“:

- V pravidelných intervalech zaznamenáváme rychlost a kurz lodi. Rychlost lodě **odhadem**.
- Uplutou vzdálenost vynášíme do mapy.



Přesýpací hodiny



„Toleta de marteloio“



Kompas

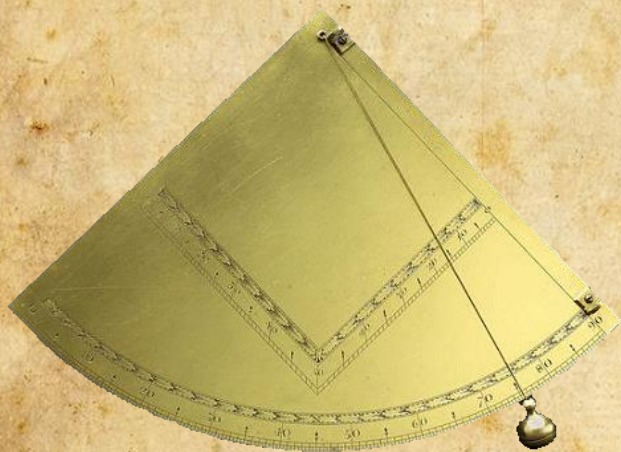


Olovnice

Iberijští mořeplavci ve 2. pol. 15. století

Astronomické metody (určení zeměpisné šířky a času)

Jedná se o **doplňěk** k nautickému spočtení, ale nenahrazuje ho.



Kvadrant



Námořní astroláb

Iberijští mořeplavci ve 2. pol. 15. století

Měření zeměpisné šířky:

Původně: kvadrantem nebo oktantem – výška Polárky.

Na jižní polokouli: výška Slunce v poledne.

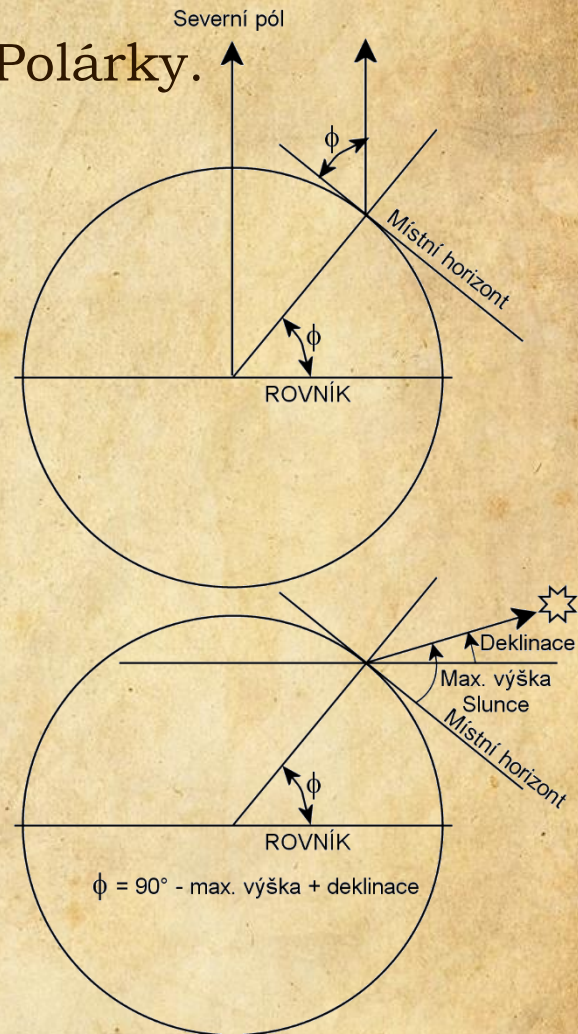
K tomu ovšem potřebujeme tabulky deklinace Slunce.

Alfonso's tables, 1252. A manuscript page with dense Latin text and numerical columns, likely astronomical tables for navigation.

Alfonsové tabulky, 1252, a pozdější vydání

Abraham Zacuto's Almanach Perpetuum Celestium, 1478. A manuscript page with dense Latin text and numerical columns, likely astronomical tables for navigation.

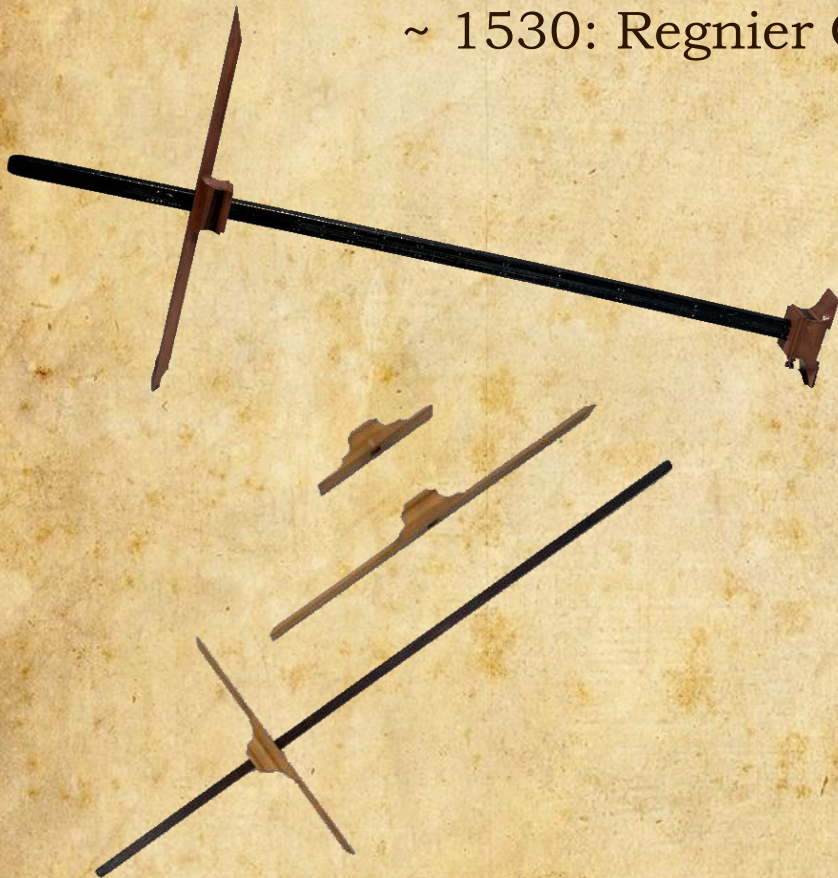
Abraham Zakuto, Almanach Perpetuum Celestium, 1478



Jakubova hůl (cross-staff, ballastella)

~ 1280: Jacob ben Machir ibn Tibbon

~ 1530: Regnier Gemma Frisius



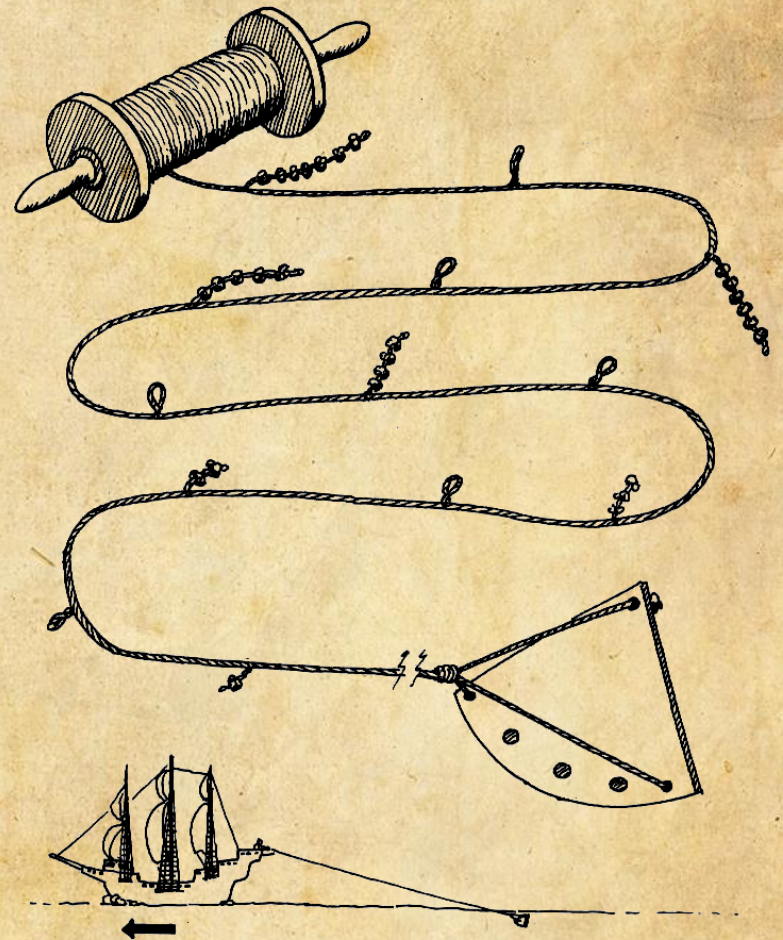
Log

1574: William Bourne, A Regiment for the Sea.

První písemná zmínka o Logu.

- 30s přesýpací hodiny:
vzdálenost mezi uzly 8 sáhů.
- 1 uzel = 1 nám. míle / hod.
(1' na poledníku, 1,852 km)

Bourne: *Toto zařízení (Log) považují za velice dobré. Iberijský námořník se ale stále obejde bez něj, on zná svou loď a její rychlost.*



Portolánové mapy

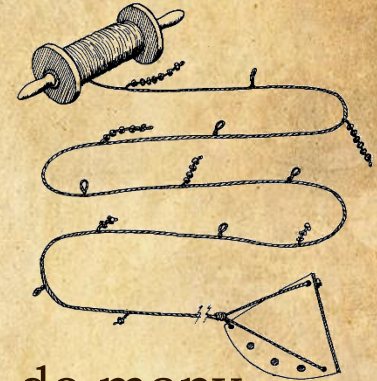


15. – 17. století – rekapitulace

- Kompas, přesýpací hodiny, log, **nautické spočtení**

- Mapy, plavební příručky, manuály

- Olovnice



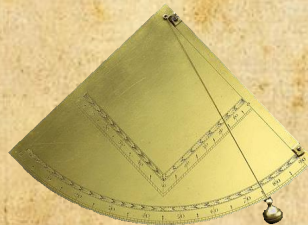
- Zeměpisná šířka – kulminace Slunce, nebo Polárka

- Zeměpisná délka – pouze výpočtem nebo vynášením do mapy

→ plavba podél rovnoběžky do cílového přístavu

- Plavební tabulka (traverse-board)

- Kamal, astroláb, kvadrant, Jakubova hůl, Davisův kvadrant (back-staff)



18. století – úsvit moderní astronavigace

18. století – úsvit moderní astronavigace

- (zrcátkový) Oktant
- Chronometr
- Teorie pohybu Měsíce → metoda lunárních vzdáleností

→ **měření** zeměpisné délky

Ceny vypsané za vyřešení problému délky:

Filip II: 1567

Filip III: 1598

Holandsko: 1627

Francouzská Akademie věd: 1714

Britská Board of Longitude: 1714

Newton
(1642 - 1727)

Leibnitz
(1646 - 1716)

Euler
(1707 - 1783)

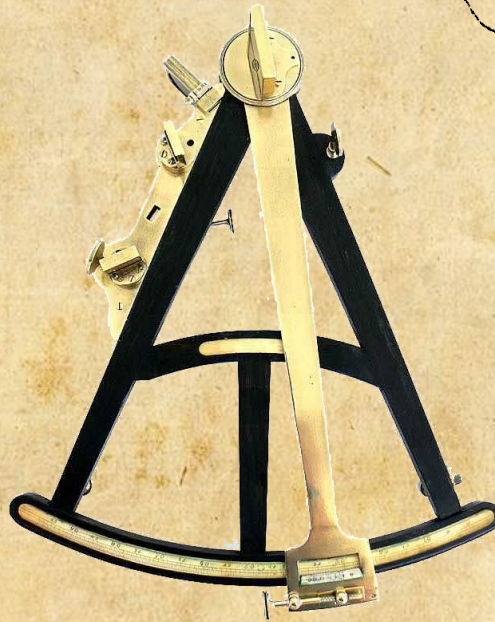
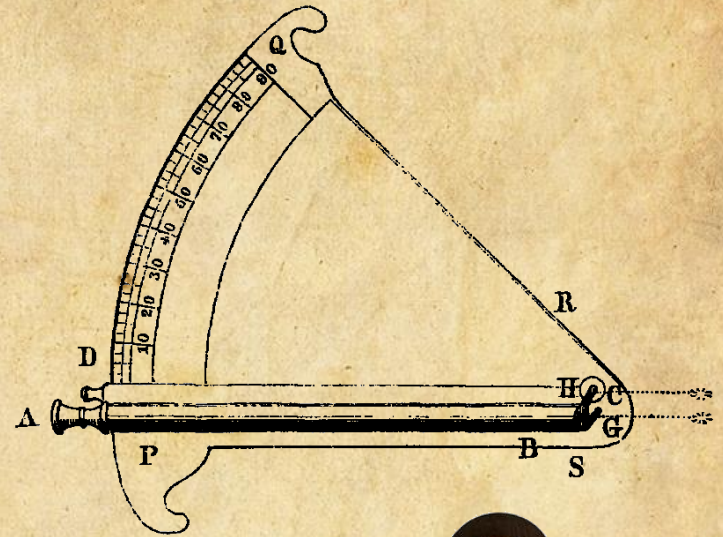
Lagrange
(1736 - 1813)

Laplace
(1749 - 1827)

Legendre
(1752 - 1833)

Oktant

- Newton, 1699
- **John Hadley 1730**



Námořní chronometr

- 1504 – mechanické hodiny (Peter Henlein, Norimberk)

Problémy: nerovnoměrnost chodu v důsledku odvíjení péra, změn teploty a tlaku

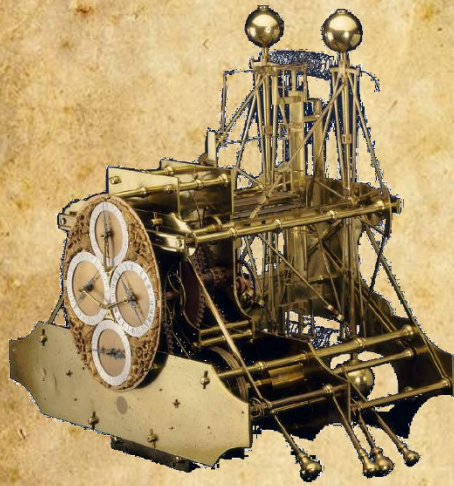
- 1656 – kyvadlové hodiny (Christian Huygens) – na lodi nepoužitelné
- John Harrison – námořní chronometr

Námořní chronometr

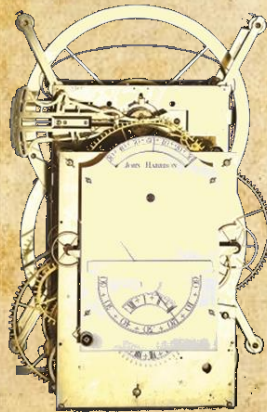
- 1504 – mechanické hodiny (Peter Henlein, Norimberk)

Problémy: nerovnoměrnost chodu v důsledku odvíjení péra, změn teploty a tlaku

- 1656 – kyvadlové hodiny (Christian Huygens) – na lodi nepoužitelné
- John Harrison – námořní chronometr



H1 – 1735



H3 – 1759



H4 – 1759



Arnold No. 36 – 1777
První „**chronometer**“.
Předtím: „timepiece“.

K2 chronometr

- Larcum Kendall (1719 – 1790)



Admiralty Oct^r 27th 1790⁴⁹⁰

Sir

I am to inform you that the
time keeper, which was given to my charge on board
His Majesty's Ship Bounty, was left in the said
Ship when Pirated from my command on the 28th
of April 1790. —

I have the honor to be
Sir
Your most obed^t
very H^{umble} servant
Wm. Brouncker

K2 chronometr

- Larcum Kendall (1719 – 1790)
- 1773 – Constantine Phipps (hledání severozápadního průjezdu)
- 1787 – William Bligh (Bounty)
- 1789 – Fletcher Christian (vzbouřenci z Bounty)
- 1808 – Mayhew Folger – znovuobjevení ostrova Pitcairn
- Zkonfiskován v Chile
- 1840 – návrat do Anglie



Námořní chronometr



~1830, téměř nezměněná podoba až do 20. století.

Námořní chronometr

Pravidlo britské Admirality v 19. století:

Každá válečná loď musí být vybavena **jedním chronometrem**. Protože ale není moudré spoléhat pouze na jediný přístroj, doporučuje se, aby kapitán lodi pořídil na své vlastní náklady chronometr druhý. Pokud tak učiní, admirality dodá **třetí přístroj** (bude tedy možno rozlišit, který z chronometrů jde špatně).

Objevitelské a vědecké expedice mají ale bohatou výbavu chronometrů:

Hecla & Griper (1819 – 1820): dohromady 14 chronometrů

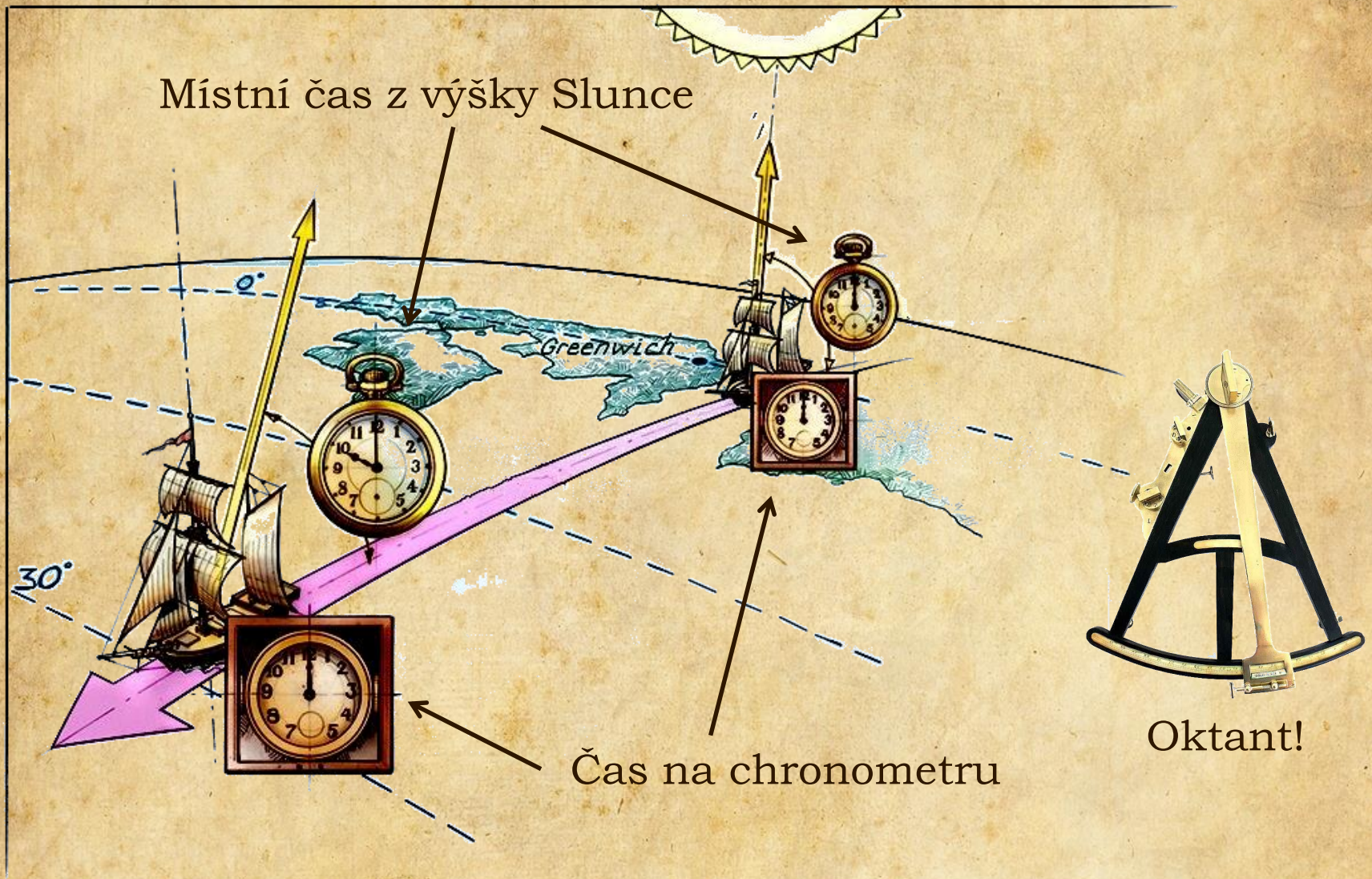
Hecla & Fury (1824 – 1825): asi 8 chronometrů

Adventure & Beagle (1826 – 1830): dohromady 15 chronometrů

Beagle (1831 – 1836): 22 chronometrů

Beagle (1837 – 1843): 9 chronometrů

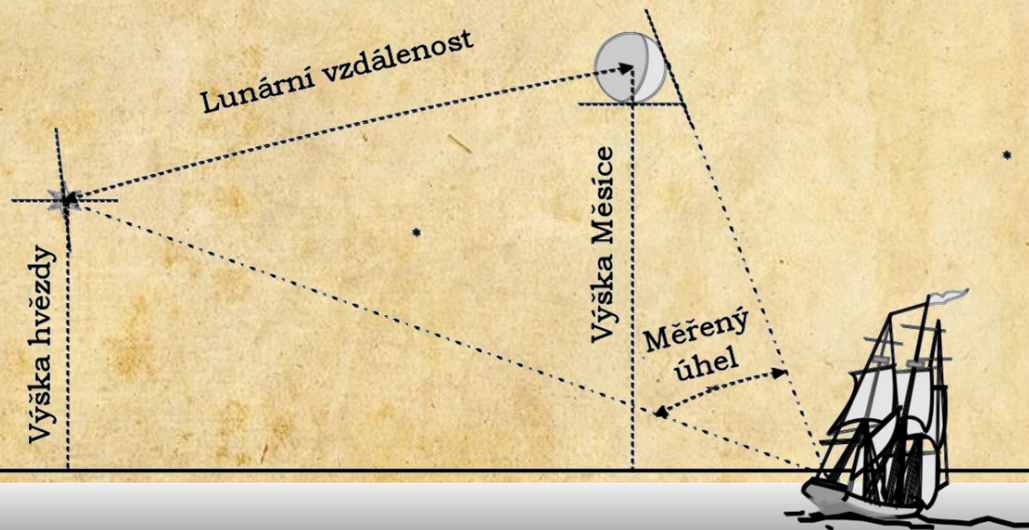
Určení zem. délky za pomoci chronometru



Metoda lunárních vzdáleností



Petrus Apianus, Introductio geographica, 1533



Metoda lunárních vzdáleností

- Tobias Mayer, 1752
- Nevil Maskelyne: 1. Námořní Almanach, 1767

JANUARY 1767. [9]					
Distances of γ 's Center from Stars, and from \odot east of her.					
Days	Stars Names.	Noon.	3 Hours.	6 Hours.	9 Hours.
		° ' "	° ' "	° ' "	° ' "
1	z Pegasi.	46. 41. 15	44. 57. 51	43. 14. 53	41. 32. 32
2		33. 15. 35	31. 40. 16	30. 6. 42	28. 35. 2
3					
4	z Arietis.	57. 55. 16	56. 6. 21	54. 17. 44	52. 29. 25
5		43. 32. 47	41. 46. 31	40. 0. 36	38. 15. 1
6	Aldebaran.	62. 4. 49	60. 22. 21	58. 40. 17	56. 58. 37
7		48. 36. 32	46. 57. 27	45. 18. 47	43. 40. 35
8		35. 37. 28	34. 2. 38	32. 28. 29	30. 55. 5
9		23. 22. 20	21. 55. 18	20. 30. 0	19. 7. 3
10	Pollux.	51. 3. 14	49. 27. 59	47. 52. 57	46. 18. 9
11		38. 27. 43	36. 54. 20	35. 21. 12	33. 48. 17
12	Regulus.	62. 42. 22	61. 9. 30	59. 36. 47	58. 4. 13
13		50. 23. 35	48. 51. 53	47. 20. 18	45. 48. 52
14		38. 13. 40	36. 43. 0	35. 12. 28	33. 42. 3
15		26. 11. 51	24. 42. 9	23. 12. 34	21. 43. 10
16	Spica γ	68. 17. 41	66. 48. 34	65. 19. 30	63. 50. 31
17		56. 26. 28	54. 57. 51	53. 29. 15	52. 0. 41
18		44. 38. 16	43. 9. 50	41. 41. 25	40. 13. 0
19		32. 50. 51	31. 22. 21	29. 53. 51	28. 25. 19
20		19. 33. 33	18. 4. 47	16. 36. 0	
21	Antares.	54. 40. 6	53. 9. 18	51. 38. 17	50. 7. 5
22		42. 27. 36	40. 54. 57	39. 22. 2	37. 48. 50
20	The Sun.	120. 36. 39	119. 14. 38	117. 52. 30	116. 30. 15
21		109. 36. 50	108. 13. 39	106. 50. 14	105. 26. 38
22		98. 25. 11	97. 0. 7	95. 34. 48	94. 9. 12
23		86. 56. 45	85. 29. 15	84. 1. 25	82. 33. 14
24		75. 6. 56	73. 36. 29	72. 5. 38	70. 34. 23
25		62. 51. 46	61. 17. 54	59. 43. 36	58. 8. 51
26		50. 8. 25	48. 30. 56	46. 53. 0	45. 14. 36

[10] JANUARY 1767.					
Distances of γ 's Center from Stars, and from \odot east of her.					
Days	Stars Names.	12 Hours.	15 Hours.	18 Hours.	21 Hours.
		° ' "	° ' "	° ' "	° ' "
1	z Pegasi.	39. 50. 58	38. 10. 19	36. 30. 46	34. 52. 28
2					
3					
4	z Arietis.	65. 13. 31	63. 23. 32	61. 33. 51	59. 44. 25
5		50. 41. 24	48. 53. 46	47. 6. 28	45. 19. 27
6	Aldebaran.	55. 17. 21	53. 36. 26	51. 55. 59	50. 16. 1
7		42. 2. 53	40. 25. 41	38. 49. 2	37. 12. 57
8		29. 22. 31	27. 50. 53	26. 20. 15	24. 50. 43
9					
10	Pollux.	57. 26. 37	55. 50. 25	54. 14. 28	52. 38. 44
11		44. 43. 36	43. 9. 17	41. 35. 12	40. 1. 20
12	Regulus.	56. 31. 48	54. 59. 33	53. 27. 25	51. 55. 26
13		44. 17. 33	42. 46. 23	41. 15. 21	39. 44. 26
14		32. 11. 46	30. 41. 35	29. 11. 34	27. 41. 38
15		20. 13. 55	18. 44. 51	17. 15. 54	15. 47. 8
16	Spica γ	62. 21. 35	60. 52. 44	59. 23. 56	57. 55. 11
17		50. 32. 8	49. 3. 39	47. 35. 11	46. 6. 43
18		38. 44. 36	37. 15. 10	35. 47. 44	34. 19. 17
19		26. 56. 47	25. 28. 11	23. 59. 35	22. 30. 56
20	Antares.	60. 41. 38	59. 11. 30	57. 41. 12	56. 10. 42
21		48. 35. 39	47. 4. 0	45. 32. 7	43. 59. 59
22		36. 15. 22	34. 41. 36	33. 7. 32	31. 33. 5
20	The Sun.	115. 7. 53	113. 45. 22	112. 22. 42	110. 59. 51
21		104. 2. 43	102. 38. 43	101. 14. 25	99. 49. 55
22		92. 43. 22	91. 17. 10	89. 50. 40	88. 23. 51
23		81. 4. 44	79. 35. 52	78. 6. 36	76. 36. 58
24		69. 2. 45	67. 30. 39	65. 58. 7	64. 25. 10
25		56. 33. 42	54. 58. 3	53. 21. 58	51. 45. 25
26		43. 35. 45	41. 56. 29	40. 16. 48	

EXAMPLE.

(From Mr. MASKELYNE'S Mariner's Guide, p. 17, &c.)

1762, May 9, at 12^h. 34'. 19'' apparent Time at Greenwich, according to Account at Sea,

The apparent Distance of the Moon's Centre from Spica Virginis was } 51. 28. 35

The apparent Altitude of the Star 24. 48
The apparent Altitude of the Moon's Centre 12. 30

Difference of the apparent or observed Altitudes 12. 18

Correction of the Moon's Altitude from Table I. } 50. 42 }
Refraction of the Star } 2. 3 }
Sum subtracted 52. 45

Difference of their true Altitudes 11. 25. 15

Natural-cosine of the Difference of apparent Altitudes } 97705
Natural-cosine of 51°. 28'. 35'', the apparent Distance } 62283

Difference of the Natural-cosines 35422

Logarithm thereof 4.54927
Logarithmic Difference taken from Table II, subtract } 135

Remainder 4.54792

Number corresponding thereunto 35312

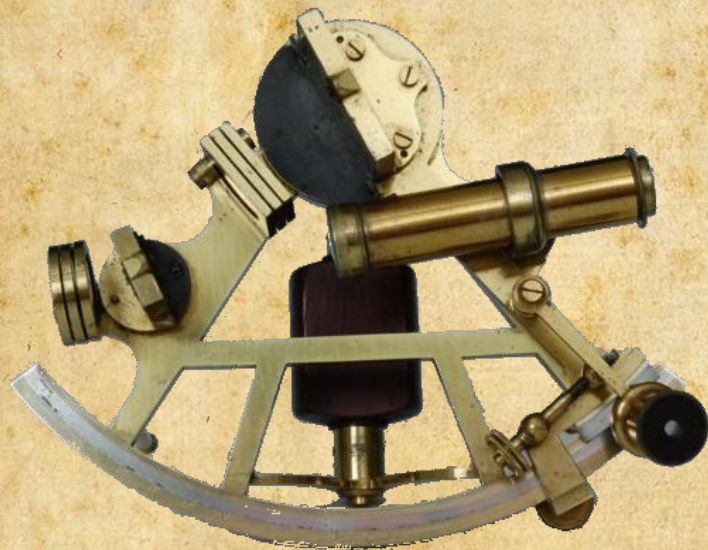
Natural-cosine of 11°. 25'. 15'', the Difference of their true Altitudes } 98020
From which subtract the above corresponding Number } 35312

Leaves Natural-cosine of 51°. 9'. 54'', the Moon's true Distance from the Star } 62708

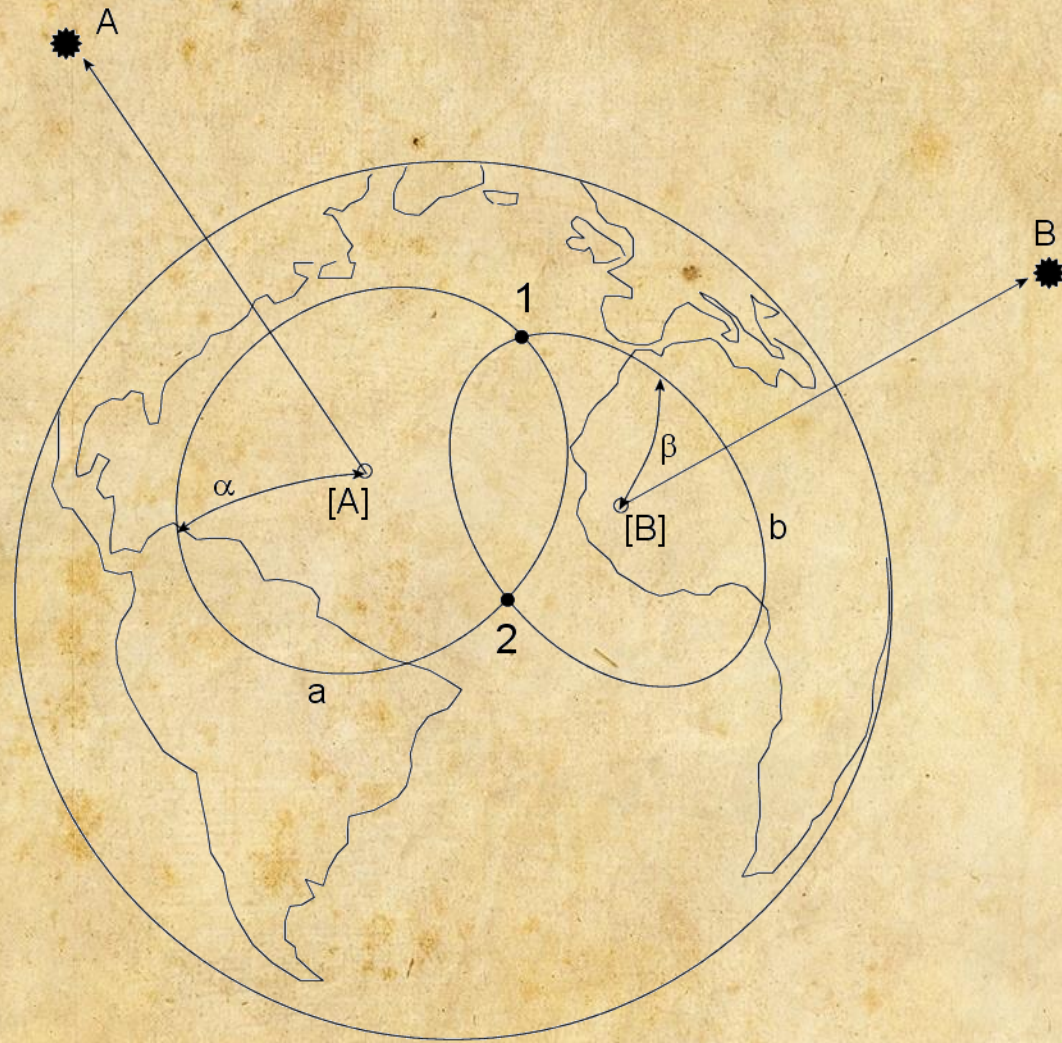
Metoda lunárních vzdáleností

Měření úhlů větších než 90° (oktant) vyžaduje nové přístroje:

- Multiplikační kruh
- Sextant



Marcq St.-Hilaire – Metoda Interceptu



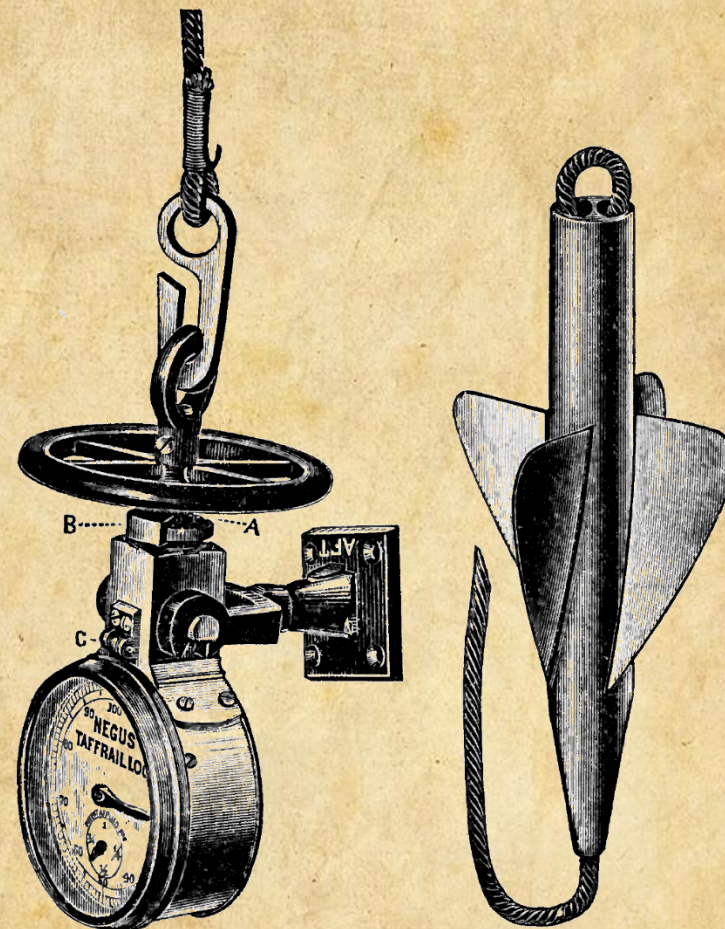
Patentní log (taffrail log)

2. polovina 19. století

Na rozdíl od klasického logu:

- pracuje stále
- měří nikoliv rychlost, ale přímo uploutou vzdálenost (z počtu otáček)

U lodí poháněných šroubem se počítají přímo otáčky šroubu.



W.C.P. Muir, Navigation and Nautical Astronomy, 1911

Telegraf

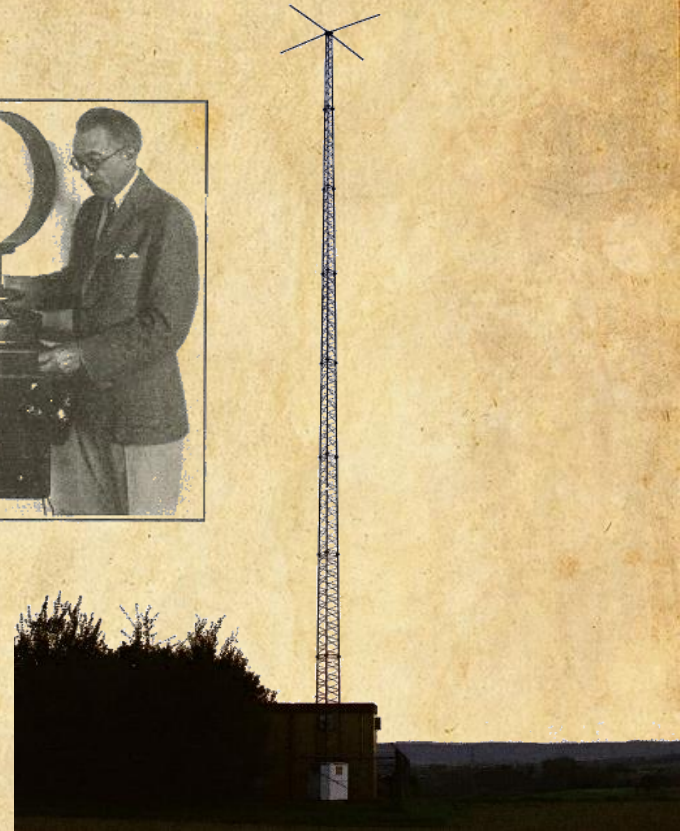
1866 – natažení telegrafního kabelu mezi Evropou a USA



Telegrafní kabely v roce 1891

Bezdrátový telegraf a rádio

- 1905 – šíření časových signálů bezdrátovým telegrafem, později rádiem
- 1930 – 1970 – Všesměrové radiomajáky (NDB) – vysílání kódu v Morseově abecedě – maximální dosah cca 75 NM
- Hyperbolické systémy



GEE: 2. sv. válka (Británie) ~ 400 NM

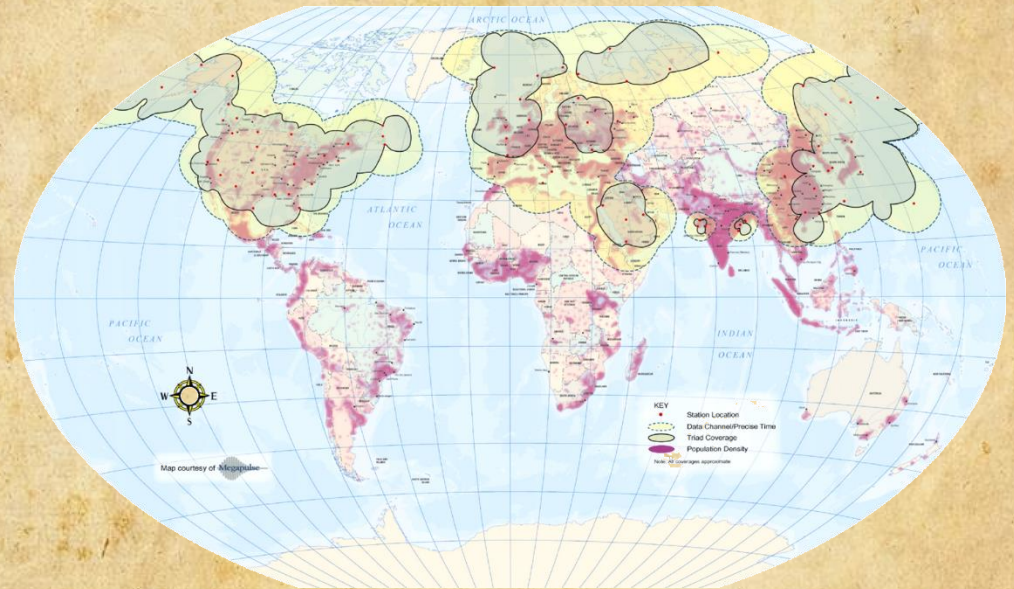
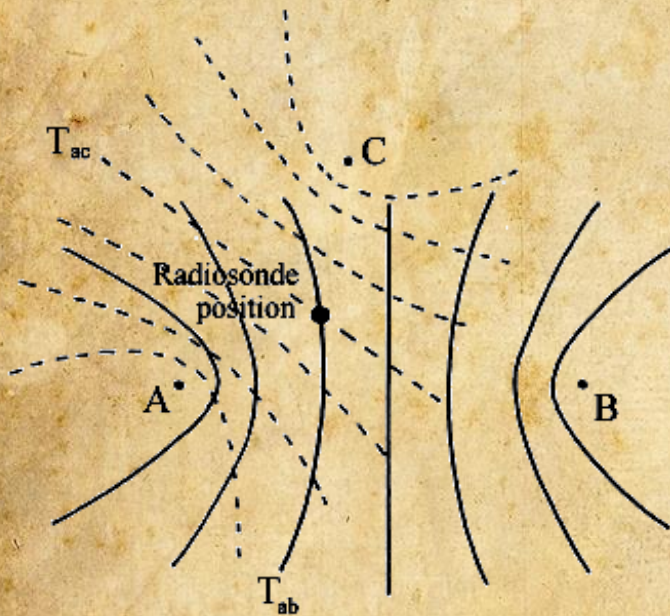
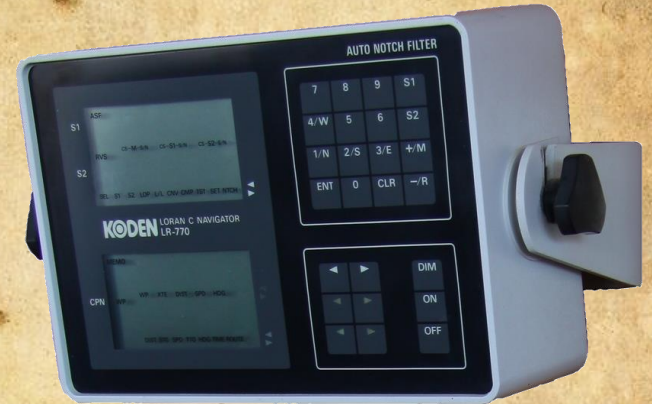
LORAN, LORAN-C: 2. sv. válka ~ 1200 NM
– 2010

LORAN

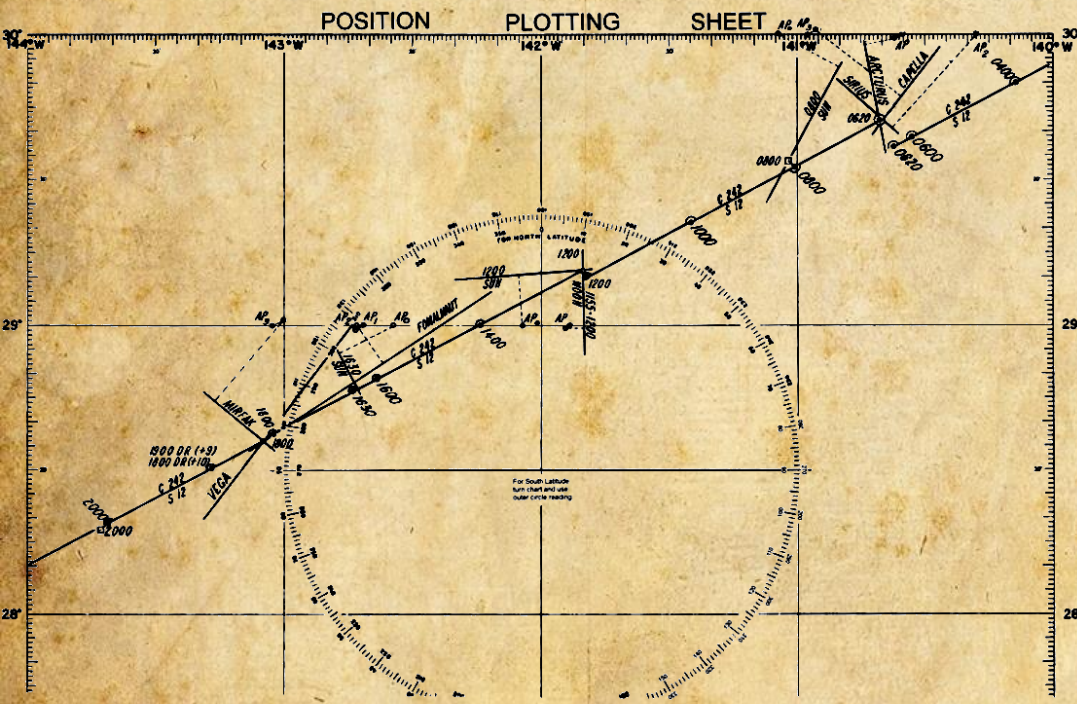
(LONg RANge Navigation)

USA, Evropa, Japonsko. (Rusko – Čajka)

Princip: měření rozdílu časů (= rozdílů vzdáleností) impulsů ze dvou vysílačů

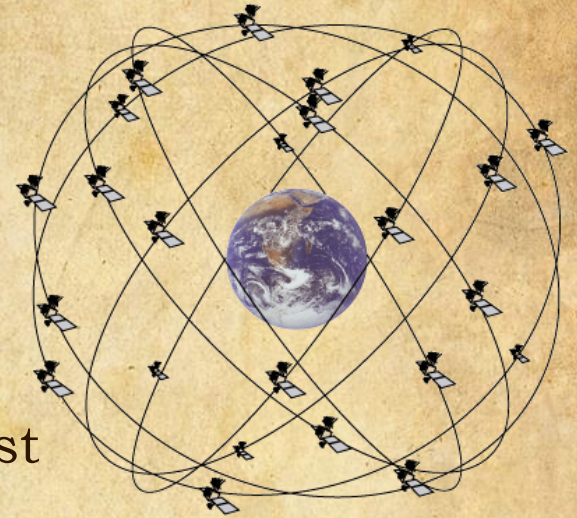


Na otevřeném oceánu představují **nautické spočtení** a **astronavigace** hlavní navigační metody až do nástupu GPS.



GPS (Global Positioning System)

- Původně 24 satelitů, nyní 30, ve výšce cca 20000 km.
- Již během příprav schváleno i jeho civilní využití
- 2000 – civilní signál bez omezení na přesnost
- 2 frekvence: 1,57542 GHz a 1,2276 GHz
- Každý satelit vysílá neustále informaci o času, dráze (poloze) a predikci dráhy. Přijetí jedné takové zprávy trvá asi 30 s.



GPS (Global Positioning System)

Princip:

- doba letu signálu od satelitu \sim vzdálenosti
- Známa vzdálenost od satelitu – polohu tvoří sféra v prostoru
- 2 satelity: průnik dvou sfér – kružnice
- 3 satelity: průnik tří sfér – 2 body
- Problém: přijímač nezná přesně dobu letu signálu od satelitu, protože hodiny přijímače nejsou tak přesné.
- Obecnější úloha: určení čtyř souřadnic $[x,y,z,t]$ najednou – k tomu je třeba signál ze 4 satelitů
- Průmět $[x,y,z]$ na povrch elipsoidu (zeměpisné souřadnice)
- Podobné systémy: GLONASS, Galileo

Navigační systém Galileo

- Společný projekt ESA a EU
- Plán: 30 satelitů (včetně 3 záložních) ve výšce cca 23000 km
- 2005: Giove-A, 2008: Giove-B
- 2016: 18 operačních satelitů.
- Operační schopnost: 2016, kompletní systém: 2020.

- Přesnost otevřená ~ 1 m
- Přesnost komerční ~ 1 cm
- SAR služby
- Kompatibilita přístrojů s GPS

*Ochraň loď před pobřežím,
a ona tě ochrání před mořem*



petr.scheirich@gmail.com

sajri.astronomy.cz/astronavigace/



www.lagrace.cz